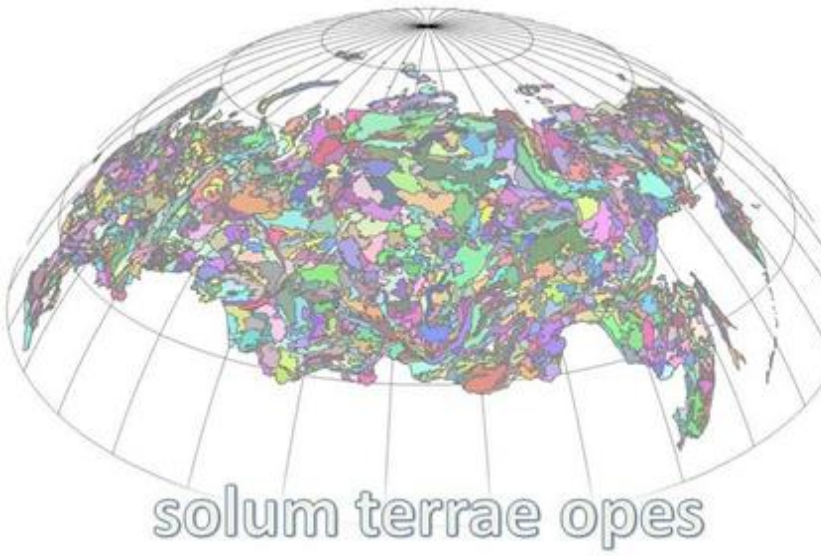
СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ИЗУЧЕНИЯ ПОЧВЕННЫХ И ЗЕМЕЛЬНЫХ РЕСУРСОВ



Москва

2022

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ
И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ПОЧВЕННЫЙ ИНСТИТУТ ИМЕНИ В.В. ДОКУЧАЕВА
ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ НАУЧНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ

Российская Академия Наук

СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ИЗУЧЕНИЯ ПОЧВЕННЫХ И ЗЕМЕЛЬНЫХ РЕСУРСОВ

Сборник докладов

ЧЕТВЕРТОЙ ВСЕРОССИЙСКОЙ ОТКРЫТОЙ КОНФЕРЕНЦИИ

«ПОЧВЕННЫЕ И ЗЕМЕЛЬНЫЕ РЕСУРСЫ: СОСТОЯНИЕ, ОЦЕНКА, ИСПОЛЬЗОВАНИЕ»

к 95-летию основания
Почвенного института имени В.В. Докучаева

5 - 7 декабря 2022 г., Москва

УДК 631.4
ББК 40.3

Под редакцией
академика РАН А.Л. Иванова

Составитель:
Н.В. Савицкая

Современные проблемы изучения почвенных и земельных ресурсов. Сборник докладов Четвертой Всероссийской открытой конференции. Москва, 5 - 7 декабря 2022 г., – М.: ФГБНУ ФИЦ «Почвенный инт им. В. В. Докучаева», 2022. – 486 с.

Сборник содержит избранные доклады Четвертой Всероссийской открытой конференции «Почвенные и земельные ресурсы: состояние, оценка, использование», приуроченной к 95-летию основания Почвенного института имени В.В. Докучаева. В них освещается широкий круг вопросов, касающихся инвентаризации, мониторинга, оценки и планирования рационального использования почвенных и земельных ресурсов.

ISBN 978-5-86921-083-8

© ФИЦ «Почвенный Институт им. В.В. Докучаева», 2022

Содержание

Стр.

Секция А 15

География, картография и мониторинг почвенных и земельных ресурсов. почвенные и земельные ресурсы страны, регионов, хозяйств

Апарин Б.Ф., Захарова М.К., Мингареева Е.В. Гумусовые профили почв полигонов почвенно-экологического мониторинга Волгоградской области 16

Aparin B.F., Zakharova M.K., Mingareeva E.V. Humus profiles of soils of soil-ecological monitoring polygons in the Volgograd region

Герасимова М.И., Ананко Т.В., Конюшков Д.Е., Савицкая Н.В. Агропочвы и агрозёмы на обновляемой почвенной карте РФ масштаба 1:2.5 млн. 25

Gerasimova M.I., Ananko T.V., Konyushkov D.E., Savitskaya N.V. Agrosoils and agrozems on the updated map of Russian Federation, scale 1:2.5M

Геронимо Маликов А.Л.М., Хомяков Д.М., Самсонова В.П. Анализ динамики показателей почвенного плодородия почв на территории АО «Емельяновка» за 5 лет с использованием данных двух туров агрохимического обследования 33

Geronimo Malikov A.L.M., Homyakov D.M., Samsonova V.P. Analysis of the dynamics of indicators of soil fertility in the territory of JSC "Emelyanovka" for 5 years using data from two rounds of agrochemical surveys

Кашулина Г.М., Литвинова Т.И. Почвы юго-западного побережья острова Западный Шпицберген 43

G. M. Kashulina, Litvinova T. I. Soils of southwest coast of West Spitsbergen Island

Кулик К.Д. Анализ динамики почвенно-растительного покрова Арчедино-Донских песков 51

Kulik K. D. The analysis of the Archedino-Don sands' land cover

Лапа В.В., Матыченков Д.В. Интеллектуальная информационная система по использованию земельных ресурсов для сельскохозяйственного производства 59

Lapa V.V., Matychenkau D.V. Intellectual information system on the use of land resources for agricultural production

Линник В.Г., Савельев А.А., Иваницкий О.М. Стохастическое моделирование распределения CS-137 в почвах Брянской области 67

Linnik1 V.G., Saveliev A.A., Ivanitsky O.M. Stochastic modeling of Cs-137 distribution in the soils of the Bryansk region

Мешалкина Ю.Л., Самсонова В.П. Оценка неопределенности, обусловленной аналитическими и позиционными погрешностями, при цифровом картографировании почвенных свойств 80

Meshalkina J.L., Samsonova V.P. The uncertainty estimation caused by analytical and positional errors in digital soil properties mapping

Михайлов И.С. Земельные ресурсы и почвенный покров Арктической зоны РФ 87

Mikhailov I.S. Land resources and soil cover of the Arctic zone of Russia

Наумов В.Д., Каменных Н.Л., Поличевская А.П., Шмакова К.А. Структура почвенного покрова Лесной опытной дача РГАУ-МСХА имени К.А.Тимирязева 96

Naumov V.D., Kamennykh N.L., Polichevskaya A.P., Shmakova K.A. The structure of the soil covers of the Forest experimental dacha RGAU-MSHA named after K.A. Timiryazev

Никитин Д.А., Семенов М.В., Тхакахова А.К., Ксенофонтова Н.А., Кутовая О.В., Мергелов Н.С., Долгих А.В., Горячкин С.В. Почвенный микробиом — эффективный инструмент для понимания закономерностей географии почв полярных областей 112

Nikitin D.A., Semenov M.V., Tkhakakhova A.K., Ksenofontova N.A., Kutovaya O.V., Mergelov N.S., Dolgikh A.V., Goryachkin S.V. Soil microbiome is an effective tool for understanding patterns of soil geography in polar regions

Никифорова А.А., Флейс М.Э., Белёнова Н.К. Системный подход как основа мультимасштабного почвенно-ландшафтного ГИС картографирования 120

Nikiforova A.A., Fleis M.E., Belyonova N.K. The systems approach as a basis for multiscale soil-landscape GIS mapping

Пятина Е.В. Характеристика макропедофауны почвенно-экологических полигонов Лисино (Ленинградская область) 129

Pyatina E. V. Characteristics of macropedofauna of soil-ecological polygons of Lisino (Leningrad region)

Раудина Т.В., Смирнов С.В., Истигечев Г.И. Экспериментальное исследование процессов деструкции растворенного органического вещества в почвенных и поверхностных водах заболоченного водосбора южной тайги Западной Сибири 137

Raudina T.V., Smirnov S.V., Istigechev G.I.Experimental study of dissolved organic matter degradation and in soil and surface waters of a small wetland watershed in the southern taiga of Western Siberia

Рухович Д.И., Королева П.В., Вильчевская Е.В. Динамика интенсивности эксплуатации почвенно-земельного покрова Юхновского района Калужской области в 1984 – 2021 гг. 145

Rukhovich D.I., Koroleva P.V., Vilchevskaya E.V. Dynamics of the intensity of exploitation of the soil and land cover in the Yukhnovsky district of the Kaluga region in 1984 - 2021

Смирнова М.А., Геннадиаев А.Н., Чендев Ю.Г., Ковач Р.Г. Пространственное варьирование характеристик гумусового профиля пахотных черноземов (Белгородская область) 154

Smirnova M.A., Gennadiev A.N., Chendev Yu. G., Kovach R.G. Spatial variability of the humus horizon properties of arable chernozems (Key site in Belgorod region)

Столбовой В.С., Гребенников А.М., Шилов П.М. ГИС платформа "Почвенные ресурсы сельскохозяйственных угодий РФ" 161

Stolbovoy V.S., Grebennikov A.M., Shilov P.M.GIS platform "Soil resources of agricultural lands of the Russian Federation"

Сухачева Е.Ю., Апарин Б.Ф., Касаткина Г.А., Богданов З.Ю. Информационный потенциал цифровой почвенной карты Ленинградской области 171

Sukhacheva E.U., Aparin B.F., Kasatkina G.A., Bogdanov Z.U. Information Potential of the Digital Soil Map of the Leningrad Region

Хархардинов Н.А. Влияние ландшафтных условий на формирование урожайности озимой Ржи сорта Дымка 179

Kharkhardinov N.A.The influence of landscape conditions on the formation of the yield of winter rye variety Dymka

Секция Б 187

Современное почвообразование. Эволюция, деградация и трансформация почв. Мелиорация почв и земель

Абакумов Е.В., Моргун Е.Н., Низамутдинов Т.И., Поляков В.И. Залежные агропочвы криолитозоны России: текущее состояние и потенциал повторного вовлечения в сельскохозяйственное использование 188

Abakumov E.V., Morgun E.N., Nizamutdinov T.I., Polyakov V.I. Fallow agrosoils in the cryolithozone of Russia: current condition and potential for reuse in agriculture

Гасанова З.У. Климатические изменения и динамика песков в Северном Дагестане 197

Gasanova Z. Ul. Climate Change and Sand Dynamics in Northern Dagestan

Голованов Д.Л., Кравченко Е.И., Кушербаев С., Аманжолов А., Мырзабаев А., Ишмуратова М.Ю., Матвеев А.Н., Мушникова Н.А., Добрыднева Л.В. Засоление, гипсоносность и загрязнение почв Джезказганского ботанического сада: 80 лет с момента организации и начала орошения 203

Golovanov D.L., Kravchenko E.I., Kusherbayev S., Amanzholov A., Myrzabayev A., Ishmuratova M.Yu., Matveev A.N., Mushnikova N.A., Dobrydneva L.V. Salinization, gypsum content and soil pollution of the Dzhezkazgan Botanical Garden. 80 years after its organization and the beginning of irrigation

Горбов С.Н., Скрипников П.Н., Наливайченко А.А., Безуглова О.С. Специфика гумусонакопления в парково-рекреационных зонах Ростовской агломерации 211

Gorbov S.N., Skripnikov P.N., Nalivaichenko A.A., Bezuglova O.S. The specificity of humus accumulation in the park and recreational areas of the Rostov agglomeration

Горобец А.В., Ларионов Г.А., Литвин Л.Ф., Кобыльченко (Куксина) Л.В., Крючков Н.Р. Динамика противоэрозионной стойкости агропочв лесостепи в широком диапазоне скоростей водного потока 219

Gorobets A.V., Larionov G.A., Litvin L.F., Kobylchenko (Kuksina) L.V., Kriuchkov N.R. Dynamics of Erosion Resistance of Forest-Steppe Cultivated Soils in a Wide Range of Velocities of Water Flow

Горохова И.Н., Панкова Е.И., Круглякова Н.Г. Этапы изменения почв солонцовых комплексов сухой степи более чем за 50-летний период орошения (на примере Волгоградской области) 227

Gorokhova I.N., Pankova E.I., Kruglyakova N.G. The Stages of Alternations in Soils of Solonetzic Complexes of the Dry Steppe over a 50-Year Irrigation Period (on the Example of the Volgograd Region)

Жидкин А.П., Голосов В.Н., Фомичева Д.В. Верификация эрозионных моделей на основе полевых оценок эрозии почв и аккумуляции наносов на малых водосборах в северной и центральной частях Среднерусской возвышенности 236

Zhidkin A.P., Golosov V.N., Fomicheva D.V. Verification of erosion models by field assessments of soil erosion and accumulation in small watersheds in the northern and central parts of the Central Russian Upland

Кашулина Г.М. Основные тенденции современной трансформации почв в условиях экстремального загрязнения выбросами медно-никелевого предприятия на Кольском полуострове 244

Kashulina G.M. The main trends of modern soil transformation by extreme pollution from copper-nickel industry on the Kola Peninsula

Ковалев И.В. Диагностика степени заболоченности минеральных почв и оценка целесообразности их осушения 252

Kovalev I.V. Diagnosis of the degree of waterlogging of mineral soils and assessment of the feasibility of their drainage

Ковалева Н.О. Антропогенная эволюция горных почв и геоэкологические прогнозы (на примере Северного Кавказа) 260

Kovaleva N. O. Anthropogenic evolution of mountain soils and geoecological forecasts (on the example of the North Caucasus)

Козлов А.В., Куликова А.Х. Подвижность кремния в дерново-подзолистых почвах Нижегородской области и применение кремнистых мелиорантов комплексного действия как элемент оптимизации ресурсного потенциала почв подзолистого ряда 269

Kozlov A.V., Kulikova A.H. Silicon mobility in sod-podzolic soils of the Nizhny Novgorod region and the use of complex-action siliceous meliorants as an element of optimizing to resource potential of podzolic soils

Моргач Ю.Р., Захарова М.К. Трансформация почвенного покрова зоны автомобильных дорог 277

Morgach Y.R., Zakharova M.K.Soil cover transformation in the zone of automobile roads

Нижельский М.С., Вилкова В.В., Приходько В.Д., Казеев К.Ш. Влияние дыма от пожаров на биологическую активность почв 286

Nizhelskiy M.S., Vilkova V.V., Prikhodko V.D., Kazeev K.Sh. Impact of fires smoke on soil biological activity

Окунев Р.В., Смирнова Е.В., Гиниятуллин К.Г., Сахабиев И.А. Учет влажности черноземов при оценке содержания органического вещества с помощью спектрометрии 293

Okunev R.V., Smirnova E.V., Giniyatullin K.G., Sahabiev I.A. Accounting of moisture content of chernozems when assessing the content of organic matter using spectrometry

Плотникова О.О., Лебедева М.П., Демидов В.В. Изменение микростроения чернозема типичного под действием водной эрозии (Курская область) 300

Plotnikova O.O., Lebedeva M.P., Demidov V.V. Changes in the microstructure of Haplic Chernozem under the influence of water erosion (Kursk region, Russia)

Русаков А.В., Мирин Д.М., Симонова Ю.В., Лемешко Н.А., Лебедева М.П. Почвенно-геоботанические записи эволюции разновозрастных залежей Ярославского Поволжья на фоне климатических изменений 309

Rusakov A.V., Mirin D.M., Simonova Yu.V., Lemeshko N.A., Lebedeva M.P. Soil and geobotanical records of the abandoned lands with different age evolution of the Yaroslavl Region against the background of climate change

Смотрина Ю.А., Лаптева Е.М., Захожий И.Г., Далькэ И.В. Влияние heracleum sosnowskyi manden на плодородие постагрогенных почв (на примере республики коми) 319

Smotrina Yu.A., Lapteva E.M., Zakhozhiy I.G., Dalke I.V.Influence of heracleum sosnowskyi manden. On the fertility of post-agrogenic soils (on the example of the komi republic)

Токарева О.А., Лебедева М.П., Сосин П.М., Кубранов Р.Н. Позднечетвертичный педогенез в лёссово-палеопочвенных сериях долины реки Оби-мазар (Таджикистан) 325

Tokareva O.A., Lebedeva M.P., Sosin P.M., Kurbanov R.N. Late Quaternary pedogenesis in loess-paleosol se-quence of Obi-Mazar (Tajikistan)

Хитров Н.Б. Почвенный покров орошаемых агроландшафтов: современное состояние, пути и причины трансформации, тренды эволюции 332

Khitrov N.B. Soil cover pattern of irrigated agrolandscapes: modern status, ways and reasons of transformation, evolution trends

Шихова Л.Н., Филимонова А.В. Влияние способа обработки дерново-подзолистой почвы на содержание органического вещества 340

Shikhova L.N., Filimonova A.V. Effect of sod-podzolic soil treatment method on organic matter content

Ямнова И.А., Лебедева М.П., Черноусенко Г.И., Хитров Н.Б., Убугунов В.Л., Убугунова В.И. Микроморфологические признаки почвообразования и эндогенных процессов в почвах диапировых структур Кучигерского термального поля 350

Yamnova I. A., Lebedeva M. P., Chernousenko G. I., Khitrov N. B., Ubugunov V. L., Ubugunova V. I. Micromorphological features of soil formation and endogenous processes in soils of diapiric structures of the Kuchiger thermal field

Секция В 358

Агроэкологическая и кадастровая оценка почвенных и земельных ресурсов. Планирование и моделирование рационального использования почв и земель.

Азовцева Н.А., Парфенова А.М., Францев В.В., Варламов Е.Б. Прочностные характеристики урбаноземов города Москвы 359

Azovtseva N.A., Parfenova A.M., Frantsev V.V., Varlamov E.B. Strength characteristics of urban soils of Moscow

Андреева О.В., Куст Г.С., Лобковский В.А. Модели устойчивого землепользования для достижения нейтрального баланса деградации земель 372

Andreeva O.V., Kust G.S., Lobkovskiy V.A. Sustainable land management models for achieving land degradation neutrality

Буряк Ж.А., Полетаев А.О. Влияние исторической трансформации землепользования на эродированность пахотных почв Белгородской области 380

Buryak Zh.A., Poletaev A.O. The influence of the historical transformation of land use on the erosion of arable soils in the Belgorod oblast

Васильева Н.А., Владимиров В.В. Оценка с/х земель на основе агроэкологической группировки и динамики плодородия почв 389

Vasilyeva N. A., Vladimirov V. V. Assessment of agricultural lands based on agroecological grouping and dynamics of soil fertility

Дабахов М.В., Дабахова Е.В. Проблемы установления факта загрязнения почв при оценке ущерба почвам как компоненту окружающей среды 396

Dabakhov M. V., Dabakhova E.V.Problems of establishing the fact of soil pollution when assessing damage to soils as a component of the environment

Железова С.В., Савоськина О.А. Экономические и экологические аспекты минимизации обработки почв в Нечернозёмной зоне 406

Zhelezova S.V., Savoskina O.A. Economic and environmental aspects of soil minimizing treatment in the Non-Chernozem zone

Инишева Л.И. Торфяные ресурсы страны, отраслевая принадлежность, использование 414

Inisheva L.I. Peat resources of the country, sectoral affiliation, use

Козлов А.В., Куликова А.Х. Состояние микробиологической активности дерново-подзолистой почвы в условиях повышенных концентраций аморфного кремнезема и кремниевых кислот в почвенном растворе 422

Kozlov A.V., Kulikova A.H. State of microbiological activity of sod-podzolic soil under conditions of increased concentrations of amorphous silica and silicic acids in soil solution

Котельникова А.Д., Борисочкина Т.И., Рогова О.Б., Колчанова К.А., Шишкин М.А., Егоров Ф.С., Окорков В.В., Фенова О.А. Тяжелые металлы в агроценозах различной окультуренности Владимирского ополья 429

Kotelnikova A.D., Borisochkina T.I., Rogova O.B., Kolchanova K.A., Shishkin M.A., Egorov F.S., Okorkov V.V., Fenova O.A. Heavy Metals in Agrocenoses of Different Cultivation in Vladimirskoe Opol'e

Рабинович Г.Ю., Трешкин И.А. Почвенные ресурсы Тверской губернии: современное состояние и перспективы использования 437

Rabinovich G.Yu., Treshkin I.A.Soil resources of the Tver province: current state and prospects for use

Сапожников П.М., Шехтер К.П., Данилова Н.И. Роль почвенно-географических факторов в формировании кадастровой стоимости агроландшафтов 452

Sapozhnikov P. M., Shekhter K.P., Danilova N.I. The role of soil-geographical factors in the formation of the cadastral value of agricultural landscapes

Семенов М.В., Никитин Д.А., Иванова Е.А., Железова А.Д., Ксенофонтова Н.А. Перспективные микробиологические индикаторы оценки качества и деградации почв 462

Semenov M.V., Nikitin D.A., Ivanova E.A., Zhelezova A.D., Ksenofontova N.A. Promising microbial indicators of soil quality and degradation assessment

Черноусенко Г.И. Оценка ресурсной базы и свойств засоленных почв юга Восточной Сибири 471

Chernousenko G.I. Assessment of the resource base and properties of saline soils in the south of Eastern Siberia

Чуева Н.В., Кашулина Г.М., Коробейникова Н.М. Почвы коллекционных питомников Полярно-альпийского ботанического сада-института 479

Chueva N.V., Kashulina G.M., Korobeynikova N.M. Agrochemical properties of soil of Polar-alpine bo-tanical garden-institute

Секция А

ГЕОГРАФИЯ, КАРТОГРАФИЯ И МОНИТОРИНГ ПОЧВЕННЫХ И ЗЕМЕЛЬНЫХ РЕСУРСОВ. ПОЧВЕННЫЕ И ЗЕМЕЛЬНЫЕ РЕСУРСЫ СТРАНЫ, РЕГИОНОВ, ХОЗЯЙСТВ

УДК 631.4

Гумусовые профили почв полигонов почвенно-экологического мониторинга Волгоградской области

© 2022 г. Б.Ф. Апарин, М.К. Захарова*, Е.В. Мингареева

Центральный музей почвоведения им В.В. Докучаева – филиал ФИЦ «Почвенный институт им. В.В. Докучаева», Россия, 199034, Санкт-Петербург, Биржевой пр, 6.
**123masha123@mail.ru*

Резюме: В работе рассмотрены гумусовые профили черноземов на двух полигонах Волгоградской области. Исследования проводились в почвах трех типов угодий: степной участок с естественной растительностью, пашня и лесное насаждение. Почвы под лесом исследовались под Козловским лесным массивом и государственной полезащитной лесной полосой «Пенза-Каменск». Особенность исследования заключается в том, что все почвы полигонов имеют строгую пространственно-временную привязку и являются объектами мониторинговых исследований разных лет. Возраст лесных насаждений Козловского полигона составляет 125 лет, а Белопрудского полигона – 70 лет. Длительность сельскохозяйственного использования на обоих участках около 200 лет.

Под гумусовым профилем почвы понимаем структурную организацию вертикального распределения органического вещества в профиле, характер его изменения, его тип, степень разложенности и минерализации. В рамках данной работы представлены данные по гумусовым профилям почв разных угодий в двух аспектах – содержание органического вещества и его распределение в профилях почв. За нижнюю химическую границу гумусового профиля принимаем содержание гумуса равное двум процентам согласно работам Е. А. Афанасьевой и Пономаревой, Плотниковой.

В работе дана сравнительная характеристика гумусовых профилей почв разных угодий – лес (5 разрезов), пашня (4 разреза), целина (1 разрез). Почвы полигонов сформировались при одной климатической норме гумусово-аккумулятивного процесса, при одних и тех же характеристиках факторов почвообразования (материнская порода, рельеф, история землепользования).

На графиках распределения гумуса в профилях почв выделены зоны изменения, определена нижняя граница гумусовых профилей. Проведена типизация гумусовых профилей (выделено 4 типа).

Ключевые слова: гумус, типизация, полезащитное лесоразведение, мониторинг.

Humus profiles of soils of soil-ecological monitoring polygons in the Volgograd region

© 2022 B.F. Aparin, M.K. Zakharova*, E.V. Mingareeva

Federal Research Centre "V.V. Dokuchaev Soil Science Institute",
6 Birjevoi proyezd, Saint-Petersburg 199034, Russian Federation,
** e-mail: 123masha123@mail.ru,*

Abstract: This article discusses the humus profiles of chernozems that are located under the state protective forest belt "Penza-Kamensk" and the Kozlovsky forest area in the Volgograd region. Forest areas were created in order to study the conditions for the growth of tree plantations during field-protective afforestation. The research was carried out in three types of land: steppe area with natural vegetation, arable land and forest plantation. The uniqueness of this study lies in the fact that all the forest soils of the polygons have a strict time reference and are objects of monitoring studies of different years. The forest plantation of the Kozlovskiy polygon is 125 years old, the age of the plantations of the Beloprudskiy polygon is 70 years old.

As a humus profile of the soil, we understand the structural organization of the vertical distribution of organic matter in the profile, the character of its change, its type, degree of decomposition and mineralization. This paper presents data on humus profiles of soils of different lands in two aspects – the content of organic matter and its distribution in soil profiles. As the lower chemical boundary of the humus profile, we accept the humus content equal to two percent according to the works of E. A. Afanasyeva and Ponomareva, Plotnikova.

The characteristic of humus profiles of soils of different lands is given – forest (5 profiles), arable land (4 profiles), virgin land (1 profile). The key plots of soil profiles location are characterized by similar parent substrate, climate parameters (mean annual precipitation and temperature), and humus-accumulative type of pedogenesis. The areas have gone through a similar system of land use. The key plots of soil profiles location are characterized by similar parent substrate, climate parameters (mean annual precipitation and temperature), and humus-accumulative type of pedogenesis. The areas have gone through a similar system of land use.

Keywords: humus, humus profile, field-protective afforestation, monitoring.

ВВЕДЕНИЕ

Исследования гумусовых профилей (ГП) почв проводилось в полезащитном насаждении «Козловский лесной массив» и государственной лесополосе (ГЛП) «Пенза-Каменск» в районе поселка «Белые пруды». Первые исследования почв данных территорий были проведены сотрудниками Почвенного института им. В.В. Докучаева на «Белопрудском стационаре» АН СССР 1949-1952 гг. (Труды, 1952, 1955; Афанасьева, 1980). В 2009-2010 гг. сотрудниками ЦМП было определено точное местоположение разрезов стационарных исследований, заложены опорные разрезы в лесу, на целинном участке и пашне (Рис.1). С этого момента они стали использоваться как полигоны почвенно-экологического мониторинга.

Под гумусовым профилем почвы авторы понимают структурную организацию вертикального распределения органического вещества в профиле, характер его изменения, его тип, степень разложенности и минерализации. В рамках данной работы представлены результаты изучения гумусовых профилей почв разных угодий (целина, лес, пашня) в двух аспектах – содержание органического вещества и его распределение в профилях почв.

Исследования гумуса почв различных угодий имеет свою историю (Глинка, 1893; Селянинов, 1914; Байко, 1949; Соловьев, 1967; Тумин, 1930; Тюрин, 1966, и др.). В основном такие исследования были посвящены оценке влияния лесополос на почвы. Особенность данного исследования заключается в том, что все лесные почвы полигонов имеют строгую пространственно-временную привязку и являются объектами мониторинговых исследований.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Исследования почв проводились на трансектах, пересекающих пашни и лесонасаждения. Разрез целинного чернозема был заложен в границах Козловского полигона (Рис.1.б).



а) **б)**

Рис. 1. Расположение почвенных разрезов на полигонах.
а) Белопрудский; б) Козловский

Исследуемые почвы представлены следующими типами: чернозёмом текстурно-карбонатный - разнотравно-злаковая степь; агрочернозём текстурно-карбонатный - сельскохозяйственное угодье (пашня), чернозём текстурно-карбонатный постагрогенный - лес (полезащитное лесонасаждение). Посадка дуба черешчатого в Козловском лесном массиве была произведена в 1896 (возраст насаждения составляет 125 лет). Массив представляет собой одну полосу шириной 600 м и располагается перпендикулярно преобладающему направлению ветров. Посадка ясеня пенсильванского с примесью клена татарского и дуба черешчатого в государственной лесополосе «Пенза-Каменск» (возраст насаждений – 70 лет) проводилась с 1949 по 1953 гг. Лесная полоса состоит из трех лент шириной по 60 м каждая и двух межлентных пространств, занятых пашней, шириной 300 м.

Почвы полигонов сформировались при одной климатической норме гумусово-аккумулятивного процесса, при одних и тех же характеристиках факторов почвообразования (материнская порода, рельеф, история землепользования). Это дает основания для проведения сравнительного анализа изменения почв преимущественно в результате различных видов антропогенного воздействия (распашка, создание полезащитных лесных полос на пахотных почвах). В качестве естественного аналога

принята целинная почва под разнотравно-злаковой растительностью участка Козловского полигона.

В работе дается сравнительная характеристика содержания и профильного распределения гумуса в почвах различных угодий по состоянию на 2021 год. За нижнюю (химическую) границу гумусовых профилей почв, согласно Е. А. Афанасьевой (Афанасьева, 1966) и Пономаревой, Плотниковой (Пономарева Плотникова, 1974), принято его содержание равное - 2%.

Определение углерода органических соединений производили титриметрическим вариантом метода И.В. Тюрина (Воробьева, 2006).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Почва целинного участка.

Целинная почва (Р 8.21) представлена чернозёмом текстурно-карбонатным (Рис. 2). Она характеризуется очень высоким содержанием гумуса (15,7%) в слое 0-5 см. Ниже, на глубине 5-10 см, его содержание резко снижается (более чем на 9 %), а затем плавно убывает. Нижняя граница гумусового профиля установлена на глубине 60 см.

Лесные и пахотные почвы полигона «Козловский».

В верхней части профиля распределения гумуса в почвах под всеми угодиями имеет аккумулятивный характер, при очень широком диапазоне его содержания. Меньше всего гумуса в пахотных почва (Рис. 2). Глубже 20 см диапазон содержания гумуса во всех почвах резко сужается и до 50 см происходит его уменьшение. Однако, в лесной почве (Р 4.21) в пределах глубины 30-40 – 70-80 отмечается наибольшее увеличение в содержании гумуса. Самый короткий гумусовый профиль диагностирован в разрезе Р 3.21 южной (по отношению к лесополосе) пашни (50 см), самый глубокий – в разрезе северной пашни Р 7.21 (90 см).

Почвы Белопрудского полигона.

Сравнение характера распределения гумуса по профилям всех почв Белопрудского полигона выявило сложную картину. Наиболее близкими друг к другу являются профили лесной почвы БП 1.21 и пахотной БП 3.21 (Рис. 3).

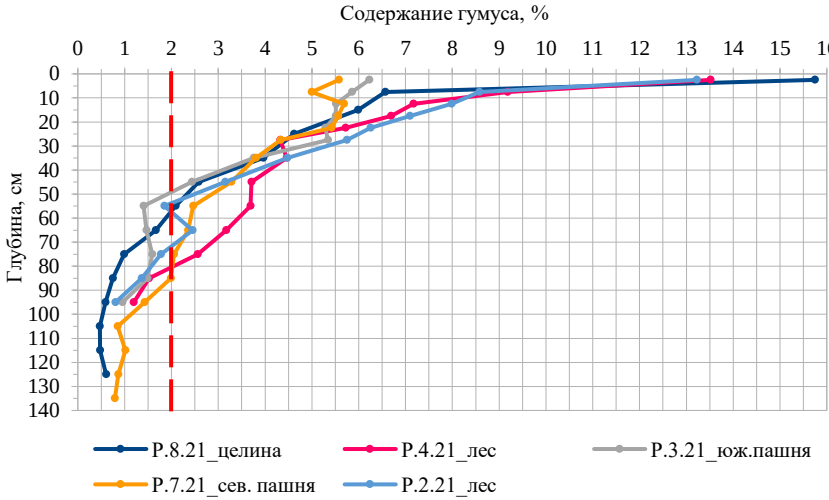


Рис. 2. Содержание гумуса во всех почвах Козловского полигона

Наиболее резко отличается от других характер распределения гумуса в профиле лесной почвы БП 2.21. Наибольшие значения в содержании гумуса отмечены преимущественно в лесной почве профиля БП 4.21. Наибольшая вариабельность значений наблюдается в слое 0-20 см, максимально близки значения содержания гумуса на глубине 80-90 см. Среди всех почв участка наиболее короткий гумусовый профиль имеют лесные почва БП 1.21 и 2.21, пахотная БП 3.21, наиболее глубокий – лесная почва БП 4.21.

Сравнительная характеристика почв полигонов.

В характере профильного распределения гумуса прослеживаются 4 зоны.

I (0-5 см) – зона наибольшей вариабельности. Максимальное содержание гумуса среди всех почв этого слоя в целинной почве, а минимальное - лесной БП 2.21.

II (5 – 30(40) см) -зона резкого падения значений для большинства исследованных почв.

III (30(40) –80(90) см) – зона плавленого изменения содержания гумуса. В тоже время вариабельность значений содержания гумуса возрастает.

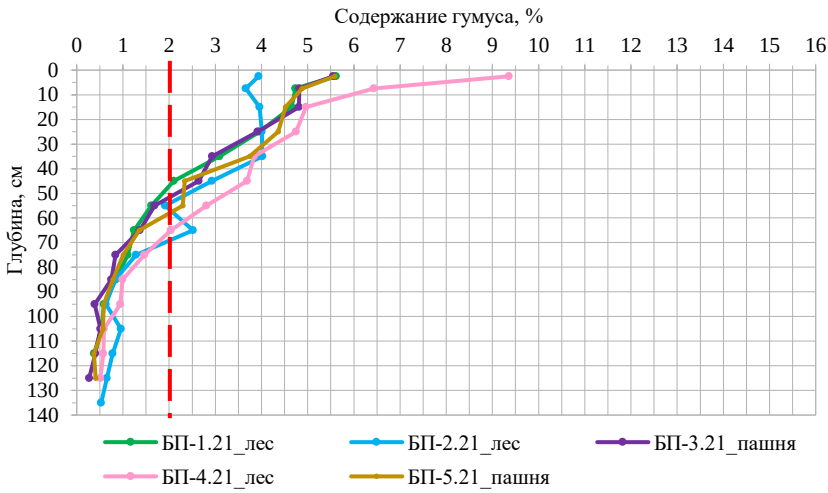


Рис. 3. Содержание гумуса в почвах Белопрудского полигона

IV (80(90) – 140 см) - в этой зоне значения содержания гумуса снижаются наиболее равномерно. Максимально узкий диапазон наблюдается на глубине 100-110 см.

Мощность гумусового профиля большинства исследованных почв заканчивается на глубине около 50 см. К ним относятся почвы обоих полигонов, лесные (Р 2.21, БП 1.21, БП 2.21) и пахотные (БП 3.21, Р 3.21). ГП целинной почвы (Р. 8.21) составляет 60 см. Самый мощный ГП отмечен в северной пашне полигона «Козловский» (Р 7.21) – 90 см.

Типизация гумусовых профилей почв.

По характеру профильного распределения гумуса в почвах выделено 4 типа.

Первый тип - высокое или очень высокое содержание гумуса в самой верхней части профиля (0-5 см) и резкое его падение до глубины 10 см. Далее следует его плавное снижение в профиле. С глубины 70 см содержание гумуса становится почти стабильным. Такой тип гумусового профиля характерен для целинной почвы Р 8.21 ПК и почвы под лесом БП 4.21.

Второй тип - высокое или очень высокое содержание гумуса в тоще 0-30 см с максимумом в слое 0-5 см и резким падением на глубине 10 см. К данному типу относятся почвы под лесом Р 2.21 и

Р 4.21. Ниже по профилю, до глубины 50-60 см в разрезе Р 4.21 содержание гумуса становится более стабильным, а в профиле Р 2.21, продолжает снижаться. С глубины 60 см до нижней границы профиля характер изменения гумуса почти стабилен.

Третий тип - среднее содержание гумуса в толще 0-40 см. Ниже следует плавное его уменьшение до глубины 90-100 см, где становится практически стабильным. К данному типу отнесли профили лесной почвы БП 1.21 и два профиля пахотной БП 3.21 и Р 7.21.

Четвертый тип - узкий диапазон содержания гумуса с небольшим интервалом изменения в толще 0–40, затем резким его падением до 1-2 % с последующим плавным снижением. К этому типу отнесены пахотные почвы БП 5.21 и Р 3.21 и лесная почва БП 2.21.

ВЫВОДЫ

Сравнительный анализ профильного распределения гумуса имеет индивидуальные особенности, обусловленные типом землепользования (пашня, лес, целина). Меньше всего гумуса в верхней части профиля (0-10 см) наблюдается в почвах сельскохозяйственных угодий.

По содержанию гумуса в профиле всех почв выделяются 4 зоны: I - наибольшей вариабельности значений; II - резкого падения значений; III – плавного изменения содержания гумуса; IV - узкий диапазон содержания гумуса.

По общему характеру распределения гумуса все почвы полигонов «Козловский и Белопрудский» разделены на 4 типа.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Афанасьева Е.А.* Водно-солевой режим обыкновенных и южных черноземов Юго-Востока европейской части СССР. М.: Наука, 1980. - 216 с.
2. *Байко В.П., Горбуденко А.С*. К вопросу о воздействии полезащитных лесных полос на почву // Почвоведение, 1949, № 6 - С. 313-324.
3. *Воробьева Л. А*. Теория и практика химического анализа почв // М.: ГЕОС. – 2006. – Т. 400 с.
4. *Глинка К.* Степное лесоразведение в связи с вопросом о причинах заселения русских степей преимущественно степною растительностью //Материалы по изучению русских почв – СПБ: «Общественная польза». – 1893. выпуск 8. С. 11-28.
5. Пономарева В.В. Плотникова Т.А. Гумусовый профиль. – В кн.:

Черноземы СССР. – Т. 1. М.: Колос, 1974. С. 122-145.
6. Труды комплексной научной экспедиции по вопросам полезащитного лесоразведения. Том II. Выпуск первый. 1952, Изд-во академии наук СССР, Москва – 1952. - 158 с.
7. *Тумин И.В.* Влияние лесных полос на почву в каменной степи. Воронеж, 1930 - 40 с.
8. *Тюрин И.В.* Состав и свойство гумуса черноземов Стрелецкой степи. – В кн: Вопросы генезиса и плодородия почв. М.: Наука, 1966 -С. 9-21

УДК 631.4

Агропочвы и агрозёмы на почвенной карте РФ масштаба 1:2.5 млн.

© 2022 г. М.И. Герасимова[1,2*], Т.В. Ананко[1], Д.Е. Конюшков[1], Н.В. Савицкая[1]

[1]ФИЦ «Почвенный институт им. В.В. Докучаева», Россия, 119017, Москва, Пыжевский пер, 7, стр. 2,
[2]Московский Государственный университет им. М.В. Ломоносова, географический факультет, Россия, 119991, Москва, Ленинские горы,1.

**maria.i.gerasimova@gmail.com*

Резюме: Проведенное исследование является продолжением работы по введению пахотных почв в содержание почвенной карты РСФСР масштаба 1:2.5 млн. 1988 года издания на уровне полигонов в базе данных карты. Новые детальные сведения об ареалах пашен были получены И.Ю. Савиным с соавторами дистанционными методами и предоставлены авторам статьи для обоснования почвенного содержания пахотных земель и введения его в БД по разработанной методике. Агрогенные почвы, агропочвы и агрозёмы, выделялись по соответствующим критериям классификации почв России, исходя из имеющихся сведений о преобразовании природных почв в ходе использования в земледелии. Они представлены 114 единицами легенды и почти 5000 полигонами на карте; их количество определяется разнообразием свойств исходных природных почв, число которых в легенде обновляемой карты превышает 300, а также формированием агрогенных модификаций природных почв. Проведен анализ результатов ранжирования почв в ячейках базы данных. Последовательность почв в ячейках иллюстрирует географические закономерности размещения агрогенных почв, в частности, однородность или мозаичность их распределения в ареалах разных почв. Так, высокой однородностью отличаются полигоны в ареалах черноземов, в которых резко преобладают агропочвы, однако, в восточных частях ареала появляются агрозёмы, что отражает известные фациальные тренды в географии черноземов. Текстурно-дифференцированные почвы, напротив, встречаются небольшими ареалами, редко являются преобладающими, сочетаясь с подзолами на песчаных отложениях, дерново-карбонатными, литоземами и почвами болотных массивов.

Ключевые слова: агрогенные почвы, единицы легенды, состав полигонов, преобладающие и сопутствующие почвы, почвенный покров

Agrosoils and agrozems on the updated map of Russian Federation, scale 1:2.5M

© 2022 M.I. Gerasimova[1,2*], T.V. Ananko[1], D.E. Konyushkov[1], N.V. Savitskaya[1]

[1]Federal Research Centre "V.V. Dokuchaev Soil Science Institute", 7 Bld. 2 Pyzhevskiy per., Moscow 119017, Russian Federation,
[2]Faculty of Geography, Moscow Lomonosov University, Moscow 119991, Russian Federation,
**maria.i.gerasimova@gmail.com*

Abstract: The research performed is a part of the project of updating the Soil map of Russian Federation, scale 1:2.5M, 1988, including the introduction of agrogenic soils into the map's content at the level of polygons in the database. Recent information on cropland areas was obtained by I.Savin with co-authors using remote sensing data; they have been transferred to the authors of this paper for substantiating the corresponding soil units for each polygon using a proposed conventional methodology. Agrogenic soils, namely agrosoils and agrozems, were identified in accordance with diagnostic criteria for these taxa in the soil classification of Russia. Soil properties required for agrosoils and agrozems diagnostics were derived of the knowledge accumulated by numerous studies on the effects of farming on diverse soils. Agrogenic soils comprise 114 legend units and almost 5000 mapping units - polygons in the database. Great number of agrogenic soils is explained by the diversity of properties of native soils, which number is above 300 in the updated legend, as well as by their special agrogenic modifications. Ratings of four soils in the cells of polygons were analyzed; the sequences of soils there manifest some geographical patterns, in particular, homogeneous or mosaic distribution in different soil zones. Thus, chernozemic polygons are highly homogeneous and almost everywhere dominated by agrosoils. However, in the eastern parts of chernozemic zone, agrozems appear which correlates with the traditional facies trends in chernozems geography. Texturally-differentiated soils, on the contrary, occur as small areas (clusters of few polygons), rarely occupy the postion of a dominant soil, and are associated with podzols on sands, rendzinas, lithozems and soils of bog massives.

Keywords: agrogenic soils, legend units, composition of polygons, dominant and associated soils, soil cover

ВВЕДЕНИЕ

Измененные земледелием почвы не входят в содержание мелкомасштабных карт за редкими исключениями. С одной стороны, масштаб таких карт ограничивает изображение относительно небольших участков пашен в малонаселенных обширных территориях страны на фоне мелкоконтурности природных почв. С другой стороны, доля пахотных земель в лесостепной и степной зонах нередко превышает 50-80%, и очевидна возможность отражения реального почвенного покрова, включающего пахотные почвы. В настоящий момент на немногих обзорных почвенных картах к цветовому слою природных почв добавлены штриховки ареалов пашен (Почвенная карта.., 2004).

Более точные сведения о пахотных почвах имеются в работе И.Ю. Савина с соавторами. На основе анализа дистанционных материалов ими составлена карта распаханности почв, выявлены наиболее интенсивно распахиваемые почвы (в терминах Единого государственного реестра почвенных ресурсов России, 2014), подсчитаны площади 15 почв с самой высокой степенью распаханности (Савин и др., 2018). Подсчеты были привязаны к почвенной карте РСФСР масштаба 1:2.5 млн. (Почв. карта…,1988), и содержали данные о распределении пашни по полигонам оцифрованной карты. Данные были предоставлены нам в рамках выполняемой в Почвенном институте работы по обновлению ПКРФ, включающей введение агрогенных почв в содержание карты; напомним, что на ПКРФ показаны только природные почвы - 205 единиц легенды. Более детальный анализ ареалов агрогенных почв в формате классификации почв России является продолжением этих работ, и их результаты представлены в статье.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Объектом исследования являются ареалы пахотных почв различного таксономического уровня в классификации почв России на обновляемой версии ПКРФ. По правилам классификации, к *агропочвам* относятся почвы, в профиле которых под агрогенным горизонтом имеется еще один горизонт или его оставшаяся ненарушенной распашкой часть над срединным горизонтом (Классификация почв России, 2004; Полевой определитель почв России, 2008;

Хитров, Герасимова, 2021). *Агрозёмы* имеют более простой профиль, состоящий из агрогенного горизонта и срединного (В), либо почвообразующей породы (С); они образуются из полнопрофильных почв вследствие интенсивной эрозии, или из почв без срединных горизонтов.

Введение агропочв и агрозёмов в БД карты осуществлялось следующим образом. Сначала почвы - единицы исходной легенды идентифицировались по своим свойствам в таксонах классификации почв России (Программа.., 1972; Ананко и др., 2017, 2021; Почвенный покров…, 2001), затем им подбирались агрогенные аналоги в соответствии со строением профиля и средней мощностью распашки 22-30 см. Доля агро-аналогов в полигонах определялась на основании количественных данных И.Ю. Савина, привязанных к полигонам БД карты по условной схеме.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В легенде обновляемой карты *количество агрогенных почв* составляет 114 при том, что природных почв стало более чем в 1.5 раза. Бóльшую часть составляют *агропочвы* (93) - производные полнопрофильных почв - дерново-подзолистых и черноземов, в меньшей степени, серых почв, а также почвы органо-аккумулятивного отдела при условии мощности верхнего горизонта превышающей глубину вспашки (таблица). *Агрозёмы* (21 единица легенды) образовались при освоении почв метаморфических отделов, в первую очередь, различных буроземов с их недостаточно мощным природным горизонтом AY или AU, так что агрогоризонт непосредственно подстилается горизонтом BM. Распаханные подзолы и дерново-подзолы в силу особенностей профиля, не могут трансформироваться в агропочвы, единственный вариант - агрозёмы альфегумусовые. Часть агроземов в новой легенде являются результатом эрозионных потерь почв разных отделов.

Большое количество единиц агрогенных почв объясняется сохранением диагностических элементов природных почв в срединных и нижних горизонтах, которые наследуются агрогенными почвами, например, формы карбонатных новообразований в черноземах. На соотношения природных и производных агрогенных почв незначительное влияние оказывает появление новых свойств

и, соответственно, агрогенных почв, например, признака «оксиглеевый» в осушенных почвах, «проградированный» при высокой культуре земледелия. С другой стороны, распашка «объединяет» некоторые почвы, например, виды подзолистых почв: мелко- и неглубоко-подзолистые, разделяемые по глубине нижней границы горизонта EL, включены в агродерново-подзолистые.

Пространственную картину агрогенных почв отражает количество полигонов с их участием – 4813 из 27 511; в 1736 полигонах агрогенные почвы являются преобладающими. Как и в случае с классификационными единицами легенды агропочв существенно больше, чем агроземов: 4082 и 731 полигонов, соответственно. По общему количеству полигонов преобладают агрогенные черноземые и текстурно-дифференцированные почвы, что отражает не только природную, но и социально-экономическую ситуацию. Третье место принадлежит органо-аккумулятивным почвам, которые встречаются небольшими ареалами почти повсеместно (Табл.1).

Таблица 1. Количественные характеристики агрогенных почв: результаты подсчетов по обновляемой карте.

Природные почвы	Агрогенные почвы					
	Количество единиц легенды	Количество полигонов				
		Агропочвы		Агрозёмы		Всего агрогенных почв
		преобладающие	все*	преобладающие	все*	
Текстурно-дифференцированные	30	240	1122	5	30	1152
Альфегумусовые	2	0	0	8	159	159
Ржавоземы	2	0	0	2	35	35
Буроземы и коричневые	9	4	44	3	50	94
Глеевые и квазиглеевые	5	7	147	0	13	160
Аккумулятивно-гумусовые	25	935	1367	2	25	1392
Каштановые и бурые аридные	12	5	26	17	44	70
Солонцы	4	37	136	1	1	137

Органо-аккумулятивные	15	146	359	131	207	566
Аллювиальные	8	19	192	0	0	192
Торфяные	2	4	132	0	0	132
Итого	**114**	**1567**	**4082**	**169**	**731**	**4813**

* преобладающие и сопутствующие

Малая доля преобладающих почв отмечена для почв отдела текстурно-дифференцированных, что соответствует более расчлененному рельефу и пестроте почвообразующих пород по сравнению с крупными однородными ареалами черноземов на лессовых равнинах. Среди распаханных черноземов очень мало агроземов (аккумулятивно-карбонатных и глинисто-иллювиальных), причем в их пространственном распределении выявляется известный для черноземов фациальный тренд: доля агроземов в составе полигонов БД увеличивается к востоку в связи с уменьшением мощности гумусового горизонта.

ВЫВОДЫ

Одним из элементов обновления почвенной карты масштаба 1:2.5 млн. является введение агрогенных почв в ее содержание. Оно осуществлялось путем перевода природных почв в агрогенные на основе интерпретации их свойств и подбора соответствующего названия в системе классификации почв России; таких почв, агропочв и агрозёмов, оказалось 114 на фоне 205 почв - единиц легенды исходной карты. Агрогенные почвы были введены в состав почти 5000 полигонов БД по определенной схеме.

В итоге, была получена достаточно детальная картина распределения агропочв и агрозёмов в почвенном покрове страны. Подтвердились имеющиеся представления о наиболее высокой распаханности черноземов и текстурно-дифференцированных почв (Прасолов, 1945; Розов, 1962; Савин и др., 2018), а также о различиях в долях их участия в составе почвенного покрова; среди обеих групп преобладают агропочвы, агрозёмов мало в отличие от органо-аккумулятивных почв, занимающих третье место по распространенности. Увеличение доли агрозёмов связано с тем, что органо-аккумулятивные почвы имеют неполный профиль типа АС.

Малые мощности профилей буроземов, ржавоземов, коричневых и особенно альфегумусовых почв объясняют преобладание агрозёмов среди агрогенных вариантов этих почв (Таб. 1).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Ананко Т.В., Герасимова М.И., Конюшков Д.Е.* Опыт обновления почвенной карты РСФСР масштаба 1 : 2.5 млн. в системе классификации почв России // Почвоведение. 2017. № 12. С. 1411–1420. https://doi.org/10.7868/S0032180X17120024
2. *Ананко Т.В., Герасимова М.И.* Темногумусовые почвы на обновленной почвенной карте Российской Федерации масштаба 1 : 2.5 млн // Бюл. Почв. ин-та им. В.В. Докучаева. 2021. Вып. 108. С. 31–54. https://doi.org/10.19047/0136-1694-2021-108-31-54
3. Единый государственный реестр почвенных ресурсов России. Версия 1.0 (коллективная монография) /под ред. А.Л.Иванова, С.А.Шобы. - Москва : Почвенный ин-т им. В. В. Докучаева, 2014. 760 с.
4. Классификация и диагностика почв России. Смоленск: Ойкумена, 2004. 342 с.
5. Полевой определитель почв России. М.: Почв. ин-т им. В.В. Докучаева, 2008. 182 с.
6. Почвенная карта России масштаба 1:15 млн. Национальный Атлас России. М.: Роскартография, 2004. Т. 1.
7. Почвенная карта РСФСР масштаба 1 : 2.5 млн / Под ред. В.М. Фридланда. М.: ГУГК, 1988. 16 листов.
8. Почвенный покров и земельные ресурсы Российской Федерации. М.: Почв. ин-т им. В.В. Докучаева, 2001. 400 с.
9. *Прасолов Л.И.* География и площадь распространения почв // Почвоведение. 1945. № 3–4. С. 146–151.
10. *Розов Н.Н.* Общий учет и качественная характеристика земельных ресурсов СССР // Проблемы почвоведения. М.: Изд-во АН СССР. 1962. С. 7–42.
11. *Савин И.Ю., Столбовой В.С., Аветян С.А., Шишконакова Е.А*. Карта распаханности почв России // Бюл. Почв. ин-та им. В.В. Докучаева. 2018. Вып. 94. С. 38–56.
12. Программа почвенной карты СССР масштаба 1 : 2 500 000. М.: Почв. ин-т им. В.В. Докучаева, 1972. 160 с.
13. *Хитров Н.Б., Герасимова М.И.* Диагностические горизонты в классификации почв России, версия 2021 г. // Почвоведение. 2021. № 8. С. 899–910.

14. Khitrov N. B. and Gerasimova M. I. "Diagnostic Horizons in the Classification System of Russian Soils: Version 2021," Eurasian Soil Science, 54 (8), 1131-1140 (2021). https://doi.org/10.1134/S1064229321080093

УДК 631.4

Анализ динамики показателей почвенного плодородия почв на территории АО «Емельяновка» за 5 лет с использованием данных двух туров агрохимического обследования

© 2022 г. А.Л.М. Геронимо Маликов*, Д.М. Хомяков,

В.П. Самсонова

ГБОУ ВО «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова», Россия,

119991, Москва, Ленинские горы, д.1, стр.12, Факультет почвоведения.

** e-mail: migelgeronimo@gmail.com*

Резюме: На территории Московской области 58 лет ведутся регулярные агрохимические обследования сельскохозяйственных почв. Отбор проб производится методом элементарных участков. Для каждого образца определяется обменная кислотность, содержание подвижных форм P2O5 и обменного K2O. Гидролитическая кислотность, обменные формы Ca2+ и Mg2+ определяются в смешанных образцах. С использованием данных двух последовательных туров агрохимобследования проанализирована динамика данных показателей на территории АО «Емельяновка» площадью около 1300 га. В 2015 году было отобрано 183 образца. В 2020 году 199 образцов. Выявлено увеличение среднего содержания обменных форм Ca2+ и Mg2+ и снижение гидролитической кислотности, что может быть связано с мелиоративными мероприятиями. Коэффициент вариации содержания P2O5 почв и K2Oобм более 60%, что может быть связано с применением высоких доз минеральных удобрений на отдельных полях. Возможно, необходима иная методика отбора проб при анализе динамики данных показателей. Выявлено увеличение кислотности на 0.4-0,5 ед. pH за 5 лет для несмытых и слабосмытых тяжелосуглинистых светло-серых лесных и среднесуглинистых серых лесных почв на покровных глинах. Характер распределения значений pH_{KCl} за 5 лет для отдельных разновидностей почв может меняться и отличаться от нормального. При сравнении средних значений солевой кислотности, при использовании данных регулярных агрохимических обследований, предпочтительнее использовать тест Уилкоксона при небольших объемах выборок.

Ключевые слова: серые лесные почвы, динамика показателей плодородия почв, агрохимобследование, почвенная кислотность, подвижный фосфор, обменный калий.

Analysis of the dynamics of indicators of soil fertility in the territory of JSC "Emelyanovka" for 5 years using data from two rounds of agrochemical surveys

© 2022 г.A.L.M. Geronimo Malikov*, D.M. Homyakov, V.P. Samsonova

Lomonosov Moscow State University

Soil Science Faculty, Moscow State University, Leninskie Gory 1-12, Moscow 119991, Russia,

** e-mail: migelgeronimo@gmail.com*

Abstract: For 58 years, regular agrochemical surveys of soils used in agriculture have been conducted on the territory of the Moscow Region. Sampling is carried out using the method of elementary plots. For each sample, hydrochloric acidity, the content of mobile forms of P2O5 and exchangeable K2O are determined. Hydrolytic acidity, exchangeable forms of Ca2+ and Mg2+ are determined in mixed samples. Using the data of two consecutive rounds of agrochemical survey, the dynamics of hydrolytic and saline acidity, the content of mobile forms of P2O5 and exchangeable forms of Ca2+, Mg2+ and K2O on a part of the territory of about 1300 ha of territory of JSC "Emelyanovka" was analyzed. 183 samples were taken in 2015 and 2020. samples. In the studied territories determined an increase of the average content of exchangeable forms of Ca2+ and Mg2+ with a decrease in the value of hydrolytic acidity, which may be associated with land reclamation measures. The coefficient of variation in the content of mobile P2O5 and exchangeable K2O is more than 60%, which may be due to high dosages of mineral fertilizers in individual fields, so a different sampling technique is needed for these indicators. An increase in acidity by 0.4-0.5 units pH for 5 years for non-washed and slightly washed-out heavy loamy light gray forest and medium loamy gray forest soils on cover clays was revealed. The type of the distribution of pH_{KCl} may exchange from normal to abnormal and vice versa. Therefore, when comparing averages when using data from regular agrochemical surveys, it is preferable to use the Wilcoxon test with small sample sizes.

Keywords: gray forest soils, Greyic Phaeozems, Haplic Greyzems, soil acidity, dynamics of soil fertility indicators, agrochemical survey, soil acidity, mobile phosphorus, exchangeable potassium.

ВВЕДЕНИЕ

За время существования агрохимической службы, накоплен значительный объем данных, в который входят сведения о гидролитической и обменной кислотности, содержании подвижных форм P2O5 и обменных форм Ca^{2+}, Mg^{2+} и K_2O.

Согласно приказу Минсельхоза РФ № 150 от 19.04.2016 « Об утверждении Порядка государственного учета показателей состояния плодородия земель сельскохозяйственного назначения » отбор проб начинается с деления полей на элементарные участки, в каждом из которых собирается смешанный образец. Данная методика удобна при проведении масштабных регулярных исследований и позволяет оценивать динамику почвенных показателей на уровне отдельных полей. Однако, почвенный покров обладает природной неоднородностью во времени и в пространстве, которую нужно учитывать для объективной оценки плодородия почв конкретных участков, занятых в агропроизводстве, а также дифференциации агротехнологий и приемов возделывания сельскохозяйственных культур для повышения их эффективности, и при реализации «точного земледелия» (Железова С.В., 2020; Иванов и др., 2018; Фридланд В.М., 1972). Некоторые авторы отвергают саму методику отбора проб, принятую при регулярных агрохимобследованиях, поскольку она не учитывает пестроту почвенного покрова (Якушев В.П. и др. 2001), другие предлагают делать поправку на степень почвенной неоднородности элементарного участка (Самсонова и др., 2019). Кроме того, результаты агрохимобследований используются в том числе и при построении цифровых почвенных карт (Сахабиев И.А., 2022).

Целью данной работы является оценка динамики гидролитической и обменной кислотности, а также содержания подвижных форм P2O5 и обменных форм Ca2+ и Mg2+ за период с 2015 по 2020 год с учетом изменчивости почвенного покрова, выявленной при составлении почвенной карты 1986 года, на примере полей АО «Емельяновка» с использованием данных двух туров агрохимических обследований.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

АО «Емельяновка» находится в Озерском районе Московской области. Для части территорий хозяйства в 1985 году проводилась почвенная съемка, установившая, что почвенный покров совхоза представлен в основном серыми и светло-серыми лесными почвами разной степени смытости (Рис.1).

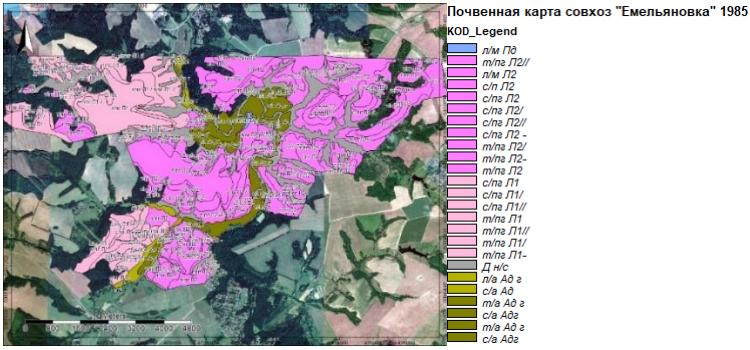


Рис. 1. Почвенная карта совхоза «Емельяновский», 1985 г.

Анализировались результаты агрохимических обследований полей АО «Емельяновка» за 2015 и 2020 год, для которых есть данные почвенной съемки. Отбор образцов проводился путем деления полей на элементарные участки, с последующим получением смешанного образца серией уколов тростевым почвенным буром по ГОСТ 28168-89. Размеры элементарных участков в 2015 году в среднем составил 6,65 га в 2015 году и 7,51 га в 2020 году.

Бумажные планы отбора проб были оцифрованы в Q GIS версии 3.10.5 с использованием модуля GDAL версии 3.1. Те образцы, для которых не удалось однозначно определить идентификационный номер, не использовались в дальнейшем анализе.

Контуры элементарных участков изначально формировались безотносительно почвенной карты, поэтому для установления соответствия каждого элементарного участка шифру почвенной карты была использована регулярная сеть точек с шагом в 100 м в программной среде Saga GIS v. 8.2.1. Каждому элементарному участку присваивался шифр почвы с наибольшим числом точек.

Лабораторные испытания отобранных образцов проводились на базе ООО «ЦСЭМ «Московский» (аттестат аккредитации RA.RU.21ПИ75). Подготовка образцов выполнялась по ГОСТ ISO 11464-2015. Измерение обменной кислотности проводилось по ГОСТ 26483-85 с использованием автоматизированной системы «иономер лабораторный И-160 М» (производства ООО «Антех» респ. Беларусь). Определение подвижных форм фосфора и обменного калия осуществлялось по ГОСТ Р 54650-2011, с использованием пламенного фотометра PFP-7 производства Jenway Ltd. Содержание обменных форм кальция и магния проводилось согласно ГОСТ 26487, с использованием атомно-адсорбционного спектрофотометра Varian SpectrAA 140/250/280.

Полученные данные обрабатывалась в программной среде R v. 4.2.0, где в том числе производилось разделение согласно шифру на почвенной карте. Для полученных выборок была определен нормальность распределений с использованием критерия Шапиро, а также проводилось сравнение средних по t-критерию и критерию Вилкоксона.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Параметры общего распределения агрохимических характеристик представлены ниже (Табл.1, Табл.2).

Распределение значений случайных величин Ca^{2+} и Mg^{2+} показали среднюю степень рассеяния в 2015 году, но гидролитическая кислотность имела коэффициент вариации более 50%. Эти показатели имели значительную правую асимметрию. Выбивающихся значений нет. В 2020 году степень рассеяния Ca2+ и Mg2+ средняя, при этом для Mg2+ значительно усиливается правая асимметрия.

За 5 лет средние значения возросли для Mg^{2+} и Ca^{2+}. Гидролитическая кислотность в целом снизилась. Подобная динамика данных показателей может быть связана с мелиоративными мероприятиями.

Содержания $P2O5_{подв}$ и $K2O_{обм}$ были распределены не нормально. Данные характеризовались крайней правой асимметрией, крайней степенью вариативности и большими значениями коэффициента эксцесса, что могло быть связано с внесением крайне высоких дозировок удобрений на отдельных полях. Средние содержания $P2O5_{подв}$ и $K2O_{обм}$ увеличились за 5 лет.

Распределение значений обменной кислотности в 2015 году характеризуется значительной правой асимметрией и средней степенью варьирования. Изменение среднего значения pH_{KCl} в целом на исследуемой территории за пятилетний период не выявлено.

Таблица 1. Статистические характеристики почвенных свойств обследованной территории в 2015 году.

n=183

	Среднее	Медиана	Минимум	Максимум	Ст.откл.	Коэф.вар.	Асимметрия	Эксцесс
ca	9.88	9.70	7.20	13.2	1.21	12.2	0.68	-0.28
mg	1.89	1.71	1.31	2.97	0.38	20.2	0.95	0.01
phh	2.97	2.52	0.81	7.59	1.53	51.5	0.76	-0.17
ph	5.58	5.48	4.37	7.01	0.58	10.4	0.53	-0.19
p2o5	256	215	51	967	161.0	62.9	1.48	3.34
k2o	117	89	37	748	92.8	79.0	3.27	15.55

Таблица 2. Статистические характеристики почвенных свойств обследованной территории в 2020 году.

n=199

	Среднее	Медиана	Минимум	Максимум	Ст.откл.	Коэф.вар.	Асимметрия	Эксцесс
Ca	11.6	11.2	7.7	15.8	2.23	19.1	0.26	-0.96
Mg	2.37	2.17	1.57	4.49	0.54	22.9	1.73	4.18
Phh	1.48	1.70	0.29	2.68	0.62	41.6	-0.31	-0.69
ph	5.45	5.27	4.19	7.16	0.71	12.9	0.66	-0.38
p2o5	332	198	33	2647	368	110.9	3.50	16.3
k2o	207	144	67	1524	205	99.0	4.00	17.9

При анализе динамики кислотности использовались только те шифры почв, которым соответствовало 10 и более элементарных участков. Значения P2O5 подв и K2Oобм в крайней степени

варьируют, а значений Ca^{2+} и Mg^{2+} слишком мало, сравнивались только значения pH_{KCl}. Выделено 9 групп почв: комплекс смытых и намытых овражно-балочных почв (Д н/с), пойменные дерново-глееватые почвы (с/а Ад г), тяжелосуглинистые светло-серые лесные почвы разной степени смытости на покровных глинах (т/пг Л1), среднесуглинистые и тяжелосуглинистые серые лесные почвы разной степени смытости на покровных глинах (с/пг Л2 и т/пг Л2). Результаты представлены в таблицах 3 и 4.

Таблица 3. Динамика pH_{KCl} за 5 лет. Д н/с – комплекс смытых и намытых овражно-балочных почв, с/а Ад г – пойменные дерново-глееватые почвы, т/пг Л1 – тяжелосуглинистые светло-серые лесные почвы на покровных глинах, / - слабосмытые, // - среднесмытые.

	Д н/с		с/а Ад г		т/пг Л1		т/пг Л1/		т/пг Л1//	
Год	2015	2020	2015	2020	2015	2020	2015	2020	2015	2020
N обр.	24	34	23	19	31	24	24	22	10	11
Норм.	0,36	<0.05	0,89	0,76	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	0.07
Ср. знач. pH	5.7	5.6	6,4	6,7	5.5	5.0	5.5	5.1	5.5	5.1
t-test	0.71		**<0.05**		<0.05		<0.05		0.16	
Wil-cox test	0.44		**0.29**		<0.05		<0.05		0.10	

Для комплекса смытых и намытых овражно-балочных почв было выявлено изменение распределения pH_{KCl}. В 2015 году значения были распределены нормально, а в 2020 году ненормально. При сравнении средних по t-критерию и критерию Вилкоксона статистически значимой разницы не выявлено.

Для среднесуглинистых пойменных дерново-глееватых почв распределение значений кислотности оставалось нормальным. Однако, статистически значимые отличия получены только при применении t-критерия, который применяется для нормально распределенных выборок. Значение критерия Вилкоксона в данном конкретном случае не показателен. Таким образом, за 5 лет кислотность на пойменных участках в целом снизилась на 0.3 ед pH.

Использование теста Шапиро для данных по почвенной кислотности, для светло-серых лесных почв на данной территории, показал низкие значения p-критерия при уровне α=0.05, поэтому при сравнении средних здесь был применен критерий Вилкоксона. Было выявлено, что в период с 2015 по 2020 год на несмытых и слабосмытых светло-серых лесных почвах снижение pH_{KCl} составило 0,5 и 0,4 ед. pH соответственно. Для среднесмытых светло-серых лесных почв в целом не выявлено значимого снижения кислотности.

Таблица 4. Динамика pH_{KCl} за 5 лет. с/пг Л2 – среднесуглинистые серые лесные почвы на покровных глинах, / - слабосмытые, // - среднесмытые; т/пг Л2 – тяжелосуглинистые серые лесные почвы на покровных глинах, / - слабосмытые, // - среднесмытые.

	с/пг Л2		с/пг Л2/		с/пг Л2//		т/пг Л2		т/пг Л2/		т/пг Л2//	
Год	2015	2020	2020	2020	2015	2020	2015	2020	2015	2020	2015	2020
N обр.	31	27	26	27	19	18	79	76	77	74	51	58
Норм	0,48	<0.05	0.11	<0.05	0,41	0.52	0.28	0.11	0.93	<0.05	0.81	<0.05
Ср. знач. pH	5.5	5.6	5.6	5.4	5.7	5.3	5.4	5.4	5.4	5.4	5.6	5.6
t-test	0.54		0.06		**<0.05**		0.95		0.66		0.97	
Wilcox test	0.46		0.09		**0.05**		0.77		0.26		0.51	

На исследованных территориях, согласно почвенной карте 1985 года, выделяются среднесуглинистые и тяжелосуглинистые серые лесные почвы на покровных глинах разной степени смытости. Для несмытых и слабосмытых среднесуглинистых серых лесных почв характер распределения pH_{KCl} изменяется, согласно критерию Шапиро, тогда как для сильносмытых почв распределение остается нормальным. Изменения выявлены только для сильносмытых почв с использованием t-критерия, где в целом снижение pH_{KCl} за 5 лет составило 0,4 единицы pH.

Характер распределения значений почвенной кислотности для тяжелосуглинистых почв изменился с нормального на

ненормальный на смытых почвах, в то время как на несмытых остался нормальным. Изменений в средних значениях pH_{KCl} за 5 лет не выявлено.

Отбор проб по элементарным участкам для измерения pHKCl не всегда дает нормально распределенные данные. Кроме того, сам характер распределения может измениться за 5 лет. Тем самым, использование непараметрических критериев при сравнении средних надежнее, например, критерия Вилкоксона.

ВЫВОДЫ

1. На исследуемых территориях выявлено увеличение среднего содержания обменных форм Ca^{2+} и Mg^{2+} при снижении значения гидролитической кислотности, что может быть связано с проведенными мелиоративными работами.
2. Варьирование случайных величин для $P2O5_{подв}$ и $K2O_{обм}$ столь велико, что оценка динамики данных показателей для отдельных групп почв затруднительна. Возможно, необходимо использовать метод регулярной сетки при отборе проб.
3. Характер распределения значений pH_{KCl} за 5 лет для отдельных разновидностей почв может изменяться и отличаться от нормального. Поэтому, при сравнении средних по данным агрохимических обследований предпочтительнее использовать тест Вилкоксона при небольших объемах выборок.
4. На исследуемых территориях выявлено увеличение кислотности порядка 0,5 ед. pH за 5 лет для несмытых и слабосмытых тяжелосуглинистых светло-серых лесных почв на покровных глинах.
5. Для среднесуглинистых серых лесных почв на покровных глинах в целом выявлено снижение pH_{KCl} только для средней степени смытости в 0,4 ед pH за 5 лет. На серых лесных почвах тяжелосуглинистых почвах изменений pH_{KCl} не выявлено.
6. Пестрота и неоднородность почвенного покрова на почвах сельскохозяйственных угодий, используемых в агропроизводстве, должна обязательно учитываться при оценке их плодородия и подготовке соответствующего паспорта на участки и поля севооборотов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Железова С.В.* Научно-методическое обоснование технологий точного и ресурсосберегающего земледелия для зерновых культур в Нечерноземной зоне РФ: Дис. … докт. с.-х. наук. М.: РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, 2020. 415 с.
2. *Иванов А.Л., Козубенко И.С., Савин И.Ю., Кирюшин В.И.* Цифровое земледелие // Вестник российской сельскохозяйственной науки. 2018. № 5. С. 4–9.
3. *Фридланд В.М.* Структура почвенного покрова. М.: Мысль, 1972. 424 с.
4. *Якушев В.П., Полуэктов Р.А., Смоляр Э.И., Топаж А.Г.* Использование ГИС в точном земледелии. Агрохимический вестник, №1, 2001, стр. 34-39.
5. *Самсонова В.П., Кондрашкина М.И., Кротов Д.Г.* Пространственное многообразие агрохимических свойств пахотных почв (на примере Трубчевского района Брянской области) //Вестник Московского университета. Серия 17. Почвоведение. – 2019. – №. 2. – С. 28-35.
6. *Сахабиев И.А.* Цифровое картографирование пространственной неоднородности свойств почв территорий сельскохозяйственного использования (на примере двух государственных сортоиспытательных участков Республики Татарстан) : дис. … канд. биол. наук: МГУ.03.05: защищена 31.05.2022 – М., 2022, 180 с.

УДК 631.48

Почвы юго-западного побережья острова Западный Шпицберген

© 2022 г. Г.М. Кашулина*, Т.И. Литвинова

Полярно-альпийский ботанический сад-институт КНЦ РАН, Россия, 184209, г. Апатиты, Ферсмана 18а
** galina.kashulina@gmail.com*

Резюме: Уникальное сочетание факторов почвообразования в юго-западной части острова Западный Шпицберген (высокое широтное положение, более мягкий и влажный климат благодаря влиянию теплого атлантического течения Гольфстрим, сложный низкогорный рельеф, большое разнообразие типов пород и четвертичных отложений, наличие участков с сомкнутым покровом из тундровой растительности, глубокое залегание вечной мерзлоты – 0.8-2 м) обусловливает формирование здесь специфичных и разнообразных почв. Сотрудниками лаборатории почвоведения ПАБСИ КНЦ РАН при проведении экспедиционных работ на побережьях Ис-фьорда и его ответвлений – Гренфьорда, Колесбухты и Биллефьорда в 2004-2018 гг. были подробно изучены морфолого-генетические особенности 6-ти типов почв: серогумусовых грубогумусовых почв, торфяно-глеезема, глеезема, серогумусовой почвы полигонального комплекса, абразема серогумусового и слаборазвитой почвы – пелозема гумусового. В каждом из более 40 почвенных разрезов были определены следующие показатели: сделано морфологическое описание профиля и в основных генетических горизонтах определен гранулометрический состав, валовой химический состав, физико-химические свойства, содержание и фракционный состав органического вещества. Наиболее распространенным типом почв на обследованной территории являются серогумусовые грубогумусовые почвы. Они формируются на участках под сплошным мохово (лишайниково) – ивковым покровом на породах разного гранулометрического и химического состава на разных элементах ландшафта, где обеспечен свободный поверхностный и внутрипочвенный дренаж. Характерной особенностью серогумусовых грубогумусовых почв является относительно высокое для таких широт содержание Сорг в диагностическом горизонте AYao (от 1.5 до 13%), слабая дифференциация профиля по цвету и химическому составу. В условиях избыточного увлажнения на тяжелых суглинках и легких глинах под мохово-ивковым растительным покровом формируются карликовые глееземы и торфяно-глееземы. Ведущим фактором формирования серогумусовых почв полигональных комплексов, абраземов серогумусовых и пелоземов

гумусовых являются морозные процессы (выталкивание камней и растрескивание). Преобладающее большинство почв имело кислую реакцию среду при относительно высокой степени насыщенности ППК основаниями (от 40 до 90%). Характерной особенностью территории также является широкое варьирование состава гумуса (Сгк:Сфк варьировало от 0.2 до >2) не только между разрезами, но и в пределах одного почвенного профиля.

Ключевые слова: серегумусовые почвы, торфяно-глеезем, глеезем, абразем, пелозем, Шпицберген

.

Soils of southwest coast of West Spitsbergen Island

© 2022 G.M. Kashulina*, T.I. Litvinova

Polar-alpine botanical garden-institute KSC RAS, Russia,
184209, Apatity, Fersman st., 18a,
** e-mail: galina.kashulina@gmail.com*

Abstract: The unique combination of soil formation factors (a high latitudal position, a milder and wetter climate due to influence of the warm Atlantic Current of the Golf Stream, a complex low-mountain relief, a wide variety of types of rocks and Quaternary deposits, the presence of areas with a tundra vegetation, a deep permafrost location – at 0.8-2 m depth) causes the formation of specific and diverse types of soils here. Employees of the Laboratory of Soil Science of PABGI KSC RAS during expeditions on coasts of Is-Fjord and its branches – Grenfjord, Kolesbykhta and Billefjord in 2004-2018 studied in detail the morphological and genetic features of the following soil units: Folic Skeletic Umbrisols, Skeletic Umbrisols of the polygonal complexes, Histic and Folic Gleysols of tussock bog, and Skeletic Dystric Regosols. In each of more than 40 soil profiles, the following parameters were determined: description of morphological features, the gran-size, bulk total chemical composition, physicochemical properties, content and composition of organic matter were determined for each major soil horizons. The most common soil types in the area were Folic Skeletic Umbrisols. They are formed under continuous moss (lichen) - polar willow cover with the parent material of different grain-size and chemical composition at different landscape position under conditions of free surface and intra-soil drainage. Characteristic features of Folic Skeletic Umbrisols are the relatively high for such latitudes Corg content in the diagnostic AYao horizon (from 1.5 to 13%), weak differentiation of the mineral part of the profile in color and chemical composition. In conditions of excessive moisture on heavy loam or light clay under moss-polar willow vegetation, Histic and Folic Gleysols are formed. The leading factor in the formation of Skeletic

Umbrisols of polygonal complexes and Skeletic Dystric Regosols are frost processes (pushing stones and cracking).

Keywords: Folic Skeletic Umbrisols, Skeletic Umbrisols, Histic Gleysols, Folic Gleysols, Skeletic Dystric Regosols, Svalbard.

ВВЕДЕНИЕ

Уникальное сочетание факторов почвообразования в юго-западной части острова Западный Шпицберген (высокое широтное положение, более мягкий и влажный климат благодаря влиянию теплого атлантического течения Гольфстрим, сложный низкогорный рельеф, большое разнообразие типов горных пород и четвертичных отложений, наличие участков с сомкнутым покровом из тундровой растительности и глубокое залегание вечной мерзлоты - 0.8-2 м) обусловливает формирование здесь специфичных и разнообразных типов почв (Добровольский, 1990). Поэтому исследования почв на Шпицбергене предоставляют особый научный интерес для более глубокого понимания процессов почвообразования вообще и арктического почвообразования в особенности. В данном докладе будет представлена подробная морфолого-генетическая характеристика 6 типов почв побережий юго-западной части острова Западный Шпицберген.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Экспедиционные работы на Шпицбергене велись в районе Исфьорда и его ответвлений: Гренфьорда, Колесбухты и Биллефьорда, а также в долине рек Конгресдален и Грендален с 2004 по 2018 гг. Всего за этот период было заложено более 40 почвенных разрезов. При определении типа почв ориентировались на классификацию почв России 2004 года (Классификация.., 2004).

Полевые работы включали морфологическое описание профиля и отбор образцов основных генетических горизонтов. В образцах (фракция <1 мм) определяли: гранулометрический состав по Качинскому, валовой состав, физико-химические свойства, органические углерод (по Тюрину), групповой и фракционный состав гумуса по Тюрину в модификации Пономаревой и Плотниковой.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Наиболее распространенными на обследованной территории являются *серогумусовые грубогумусовые почвы*. Они формируются на породах широкого гранулометрического спектра (от рыхлого песка до среднего суглинка и легкой глины, обычно с большим содержанием гравия и камней) и разного химического состава на участках со сплошным мохово(лишайниково)-ивковым покровом. Типичные серогумусовые грубогумусовых почвы с набором горизонтов O(AO)-AYao-AYaoC-C формируется на более легких рыхлых отложениях в условиях свободного поверхностного и внутрипочвенного дренажа (Рис.1).



Рис. 1. Верхняя часть профиля типичной серогумусовой грубогумусовой почвы. Верхняя часть слона горного хребта Гренфьорд

На поверхности серогумусовых грубогумусовых почв из растительных остатков формируется подстилочно-торфяный горизонт O мощностью от 1 до 5 см. Минеральная часть профиля, как правило, слабо дифференцирована. В верхнем минеральном диагностическом горизонте мощностью 5-12 см сосредоточена основная масса корней растений, он имеет комковато-зернистую структуру. Присутствие кустарничков в составе корневого опада обусловливает формирование более грубого гумуса и горизонт был диагностирован как серогумусовый грубогумусный AYao. Для горизонта AYao свойственно относительно высокое для таких широт

содержание Сорг: варьирует от 1.5 до 13.5%, среднее 5.0%. С глубиной содержание органического вещества постепенно уменьшается, но ощутимые концентрации Сорг. наблюдаются до дна разрезов. На глубине 30-50 см концентрация Сорг составляет 1.4±0.47%.

Свойства серогумусовых грубогумусовых почв достаточно хорошо изучены (Переверзев, 2012; Переверзев, Литвинова, 2010; Литвинова, Кашулина, 2015; Kashulina et al., 2021). Реакция среды всего профиля является кислой. Емкость катионного обмена (ЕКО) в верхнем органогенном горизонте О достигает 100 смоль(экв)/кг (среднее±стандартное отклонение - 72.4±13.7 смоль(экв)/кг). Почвенно-поглощающий комплекс (ППК) этого горизонта в среднем на 56.5±6% насыщен основаниями. ЕКО горизонта AYao в среднем составляет 19.0±11.4 смоль(экв)/кг. Доля основных катионов в ППК варьирует от 44 до 81%, среднее – 62%.

В пониженных элементах рельефа в условиях избыточного увлажнения на кочковатых болотах около устья реки Грендален под ивково-моховой растительностью на тяжелых суглинках формируются два типа почв: почва кочки представлена *торфяно-глееземом* с системой горизонтов T-Th,g-CG, ровные пространства между кочками – *карликовым глееземом* с профилем O-$CG^{=}$ (Рис.2).

В *торфяно-глееземе* торфяный горизонт Т состоит из остатков мхов, которые до глубины 20 см мхи сохраняют целостность и свои морфологические признаки. И только на границе с минеральным горизонтом торф приобретает перегной характер. Тяжелосуглинистый горизонт CG под кочкой приподнят над поверхностью на 2-3 см за счет морозного вспучивания. Торфяные горизонты торфяно-глеезема характеризуются кислой реакцией среды (pHH_2O – 5.5-5.8), относительно высокой ЕКО (от 54 до 97 смоль(экв)/кг) и высокой степенью насыщенности ППК основаниями (от 55 до 77%). Из-за различной доли минеральной примеси содержание Сорг в торфяной части профиля варьирует от 14.5 до 36.6%. Состав гумуса имеет фульватный характер (Сгк:Сфк 0.2 - 0.4).

Профиль *глеезема (карликового)* состоит из темно-коричневого подстилочно-торфяного горизонта О мощностью 2 см, который подстилается слабо оглеенным среднесуглинистым горизонтом CG. Весь профиль глеезема характеризуется кислой реакцией среды (pHH_2O 5.3-5.7). ЕКО горизонта О составляет около 100 смоль(экв)/кг. Доля основных катионов В ППК достигает 63%.

Содержание Сорг в горизонте О составляет около 20%. Состав гумуса в верхней части торфяного горизонта является фульватным (Сгк:Сфк = 0.4), в нижней – гуматным (Сгк:Сфк = 2).

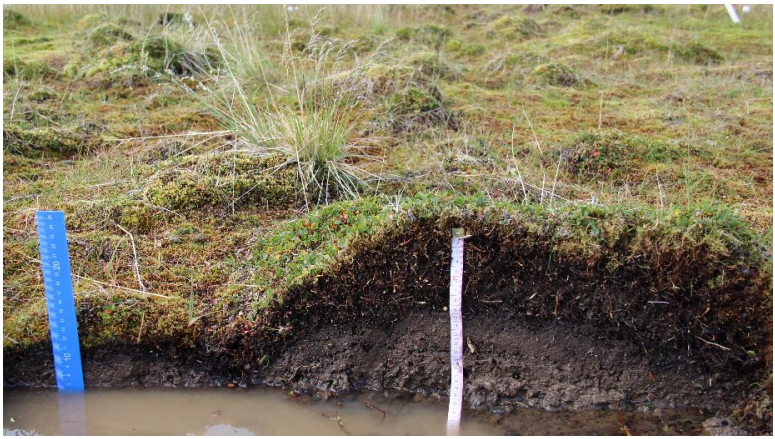


Рис. 2. Карликовый глеезем и торфяно-глеезем на кочковатом болоте у устья реки Грендален

Серогумусовую почву полигональных комплексов представляет разрез-траншея № 8-13. Он был заложен на пологом склоне северной экспозиции в верхней части хребта Гренфьорд. Полигональные отдельности представлены оголенным грунтом элюво-делювия песчаников и алевролитов с интенсивно эродирующей поверхностью. Растительность – ожика (*Luzula confusa*) со мхами и лишайниками присутствует только по периметру полигональных отдельностей. Серогумусовая почва с профилем AY–AYC-C формируется под куртиной ожики. Горизонт AY мощностью 7 см характеризуется большим содержанием корней ожики и зернисто-комковатой структурой. Для горизонта AY характерно лишь небольшое (до 1.8%) повышение содержания Сорг по сравнению с почвообразующим материалом. Реакция среды всего профиля кислая (pHH_2O варьирует от 4.8 до 5.4). ЕКО не превышает 14 смоль(экв)/кг, доля основных катионов в ППК варьирует от 40 до 90%. Состав гумуса имеет четкий гуматный характер: Скг:Сфк >2.

Разрез-траншея № 10-14, заложенный у подножия горного хребта Гренфьорд вскрывает 2 других типа почв: абразем серогумусовый и слаборазвитую почву - пелозем гумусовый (Рис.3).

Абразем серогумусовый образуется из серогумусовой грубогумусовой почвы в результате утраты верхнего подстилочно-торфяного горизонта О: выталкиваемый льдом крупный камень поднимает поверхность, и подстилка под действием силы тяжести и осадков сползает по краям образовавшегося бугорка. В оставшемся на поверхности серогумусовом горизонте AYao еще сохраняется комковатая структура, немного корней растений и часть органического вещества (Сорг = 1.5-2%). Почва характеризуется кислой реакцией среды (pHH_2O 5.2-5.7), ЕКО не превышает 14 смоль(экв)/кг, ППК на 80% представлен основными катионами.



Рис. 3. Абразем серогумусовый (А) и пелозем гумусовый в каменной воронке (Б). Подножие горного хребта Гренфьорд

Слаборазвитая почва каменных воронок - *пелозем гумусовый* состоит из гумусового слаборазвитого горизонта W и тяжелосуглинистого горизонта $C^{=}$. Он формируется на участках с недавно поселившимися мхами и лишайниками, под которыми формируется слаборазвитый гумусовый горизонт W. Содержание Сорг в самом верхнем 1 см слое достигает 4.2, в слое 1-4 см – 1.3%. Почва характеризуется кислой реакцией среды (pHH_2O 5.0 – 5.6), невысокой ЕКО (около 12 смоль(экв)/кг) и высокой степенью насыщенности ППК основаниями (около 80%).

ВЫВОДЫ

Таким образом, на юго-западном побережье острова Западный Шпицберген за период с 2004 по 2018 гг. было изучено морфологическое сложение и свойства 6-ти типов почв: серогумусовых грубогумусовых почв, торфяно-глеезема и глеезема на кочковатом болоте, серогумусовой почвы полигонального комплекса, абразема серогумусового и слаборазвитой почвы – пелозема гумусового.

Наиболее распространенным типом почв являются серогумусовые грубогумусовые почвы. Они формируются под сплошным мохово(лишайниково)-ивковым покровом на породах разного гранулометрического и химического состава в различных ландшафтных условиях при наличии свободного поверхностного и внутрипочвенного дренажа.

Характерной особенностью серогумусовых грубогумусовых почв является относительно высокое для таких широт содержание Сорг в диагностическом горизонте AYao (от 1.5 до 13%), слабая дифференциация минеральной части профиля по цвету и химическому составу.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Добровольский В.В*. Геохимия почв Шпицбергена // Почвоведение. 1990. № 2. С. 5-20.

2. *Классификация* и диагностика почв России. Смоленск: Ойкумена, 2004. 343 с.

3. *Литвинова Т.И., Кашулина Г.М*. Органическое вещество почв побережий фьордов острова Западный Шпицберген. Апатиты: Изд. Кольского научного центра РАН, 2015. 123 с.

4. *Переверзев В.Н*. Почвы на морских и моренных отложениях побережья Биллефьорда (остров Западный Шпицберген) // Почвоведение. 2012. № 11. С. 1160-1170.

5. *Переверзев В.Н., Литвинова Т.И*. Почвы морских террас и коренных склонов на побережьях фьордов острова Западный Шпицберген // Почвоведение. 2010. № 3. С. 259-269.

6. *Kashulina G., Litvinova T., Drogobuzhskaya S.* Multi element soil biogeochemistry on the southwest coast of Svalbard // Workshop 2020: Biosciences in polar and alpine research (extended abstracts) // Czech Polar Reports, 2021. V. 11, № 1. P.184-186.

УДК 634.93

Анализ динамики почвенно-растительного покрова Арчедино-Донских песков

© 2022 г. К.Д. Кулик

ФГБОУ ВО «Московский государственный университет геодезии и картографии», Россия,
105064, Москва, Гороховский пер, 4,
kulik.k2000@gmail.com

Резюме: В данной статье приведен сравнительный анализ фитоэкологической ситуации Арчедино-Донских песков в районе х. Никуличев на основе изучения динамики преобразования колковых массивов. В ходе подготовки материалов для исследования была проанализирована, упорядочена и переведена в цифровой формат методом сканрования часть фондовых материалов аэрофотосъемки ФНЦ агроэкологии РАН периода 60-90-х годов прошлого века; произведён отбор материалов космической съемки. В ходе первого этапа работ в геоинформационном программном обеспечении были осуществлены выбор системы координат и пространственая привязка материалов АФС к космоснимкам. С использованием методологии агролесомелиоративного картографирования и геоинформационной системы ArcGIS разработаны карты, отображающие динамику развития почвенно-растительного покрова. При составлении карт использовалась векторизация цифровых растров, создана база данных с наборами шейп-полигонов колковых массивов на каждый исследуемый этап. Просчитанные аболютные и относительные числовые показатели динамических изменений, и дан прогноз развития этих процессов в регионе. Описана текстура и структура колковых массивов, особенности изменения их конфигурации со временем. Сделаны выводы о причинах вымирания массивов, выдвинуты теоретические заключения о фитоэкологических последствиях данного процесса и его влияния на генезис почвы на исследуемых и прилегающих территориях. Разработаны перспективные направления развития исследовательского проекта: обозначен этап разработки математической модели для описания исследуемого процесса и её применения при исследовании аналогичных территорий; указана возможность разработки рекомендательных карт-схем по участкам посадки культур (сосновых насаждений) для замещения вымирающих колковых участков для ограничения распространения опустынивания.

Ключевые слова: колковые массивы, динамические изменения, генезис почвы, опустынивние.

The analysis of the Archedino-Don sands' land cover

© 2022 K.D. Kulik

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Moscow State University of Geodesy and Cartography", 4, Gorokhovsky by-str., Moscow 105064, Russian Federation, e-mail: kulik.k2000@gmail.com

Abstract: This article presents a comparative analysis of the phytoecological situation of the Archedino-Don sands in the region near the Nikulichev based on studying the dynamics of the transformation of woods. During the preparing the materials for the study, a part of the stock materials of aerial photography from the Federal Scientific Center of Agroecology of the RAS of the period of the 60-90s of the last century was analyzed, streamlined and converted into a digital format by scanning; selection of satellite imagery materials has been made. During the first stage of work in the geoinformation software, the choice of the coordinate system and the spatial binding of the AFS materials to satellite images were carried out. Using the methodology of agroforestry mapping and the ArcGIS geoinformation system, maps were developed that display the development dynamics of the soil and vegetation cover. During the compiling maps, we used vectorization of digital rasters; a database with sets of shape-polygons of woods for each stage under study was created. We calculated absolute and relative numerical indicators of dynamic changes, and forecast the development of these processes in the region. The texture and structure of the woods, the features of their configuration change with time are described. Conclusions were drawn about the causes of massif extinction; theoretical conclusions were made about the phytoecological consequences of this process and its influence on soil genesis in the studied and adjacent territories. We have developed the promising directions for the further development of the research project: the stage of developing a mathematical model for describing the process under study and its application in the study of similar territories has been outlined; we indicated the possibility of developing recommendatory maps-schemes for the areas of planting tree crops (pine species) to replace endangered woods, limiting the spread of desertification.

Keywords: woods, dynamic changes, soil genesis, desertification.

ВВЕДЕНИЕ

В Волгоградской области Придонские террасовые пески

расположены в междуречье Дона, Хопра, Медведицы, Арчеды и Иловли и занимают площадь около 450 тыс га. Это уникальные экосистемы, имеющие важное экологическое, хозяйственное, лесокультурное и рекреационное значение. Благодаря высокой фильтрационной способности они существенно опресняют поверхностный сток и атмосферную влагу (Гаель и др., 1972). В результате чище и полноводнее становятся реки, улучшается микроклимат и фитоэкологические условия. Однако ввиду «хрупкости» субстрата и в результате действия природных и антропогенных факторов, пески подвержены дефляции, что приводит к значительным негативным последствиям (Гаель и др., 1972). Колковые лесные массивы являются естественным барьером, защищающим территории от дефляции и опустынивания. Поэтому вызывает значительный интерес изучение современного состояния экосистем и их изменение во времени, что позволяет рассчитывать прогноз изменений и намечать мероприятия по предотвращению последствий.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Объектом исследования выступают колковые леса во Фроловском районе Волгоградской области. Ключевой участок 49°44'30" с. ш., 43°17'43" в. д. – массивы колок, расположенные в 7 км к юго-западу от хутора Никуличев, в 2-5 км к югу от левого берега Арчеды, в северной части Арчедино-Донских песков. Временные рамки исследования охватывают период с 1961 по 2022 гг.

По исследованиям ряда авторов (Гаель и др., 1973; Грищенко, 1939), Придонские террасовые пески – неоднократно подвергавшиеся эоловой переработке древнеаллювиальные отложения Дона и его притоков, в основании которых залегают третичные кварцевые пески.

Выбранный для исследования ключевой участок представляет полигон – ограниченную территорию, типичную для данного региона по физико-географическим условиям (Рис.1). Южная и восточная части Арчедино-Донского песчаного массива имеет однообразную структуру и характеризуется наличием схожих по конфигурации и размерности колковых массивов. Рельеф исследуемой территории бугристый, волнообразный, с чередованием возвышенностей и межгрядовых понижений, в которых располагаются колки. Межгрядовые понижения характеризуются серым тоном

лугово-степной и темным тоном древесной растительности. Глубина залегания грунтовых вод в межгрядовых понижениях 0,5–2,0 м, их минерализация менее 1 г/л (Кулик К., 2004). Общее солесодержание составляет 0,02–0,01%. Удельная электропроводность в них не превышает 0,08 См, лишь в суглинистых прослоях она достигает 0,6 См, что объясняется высокой промачиваемостью почвогрунтов и сформированным промывным типом водного режима (Кулик Н., 1979).

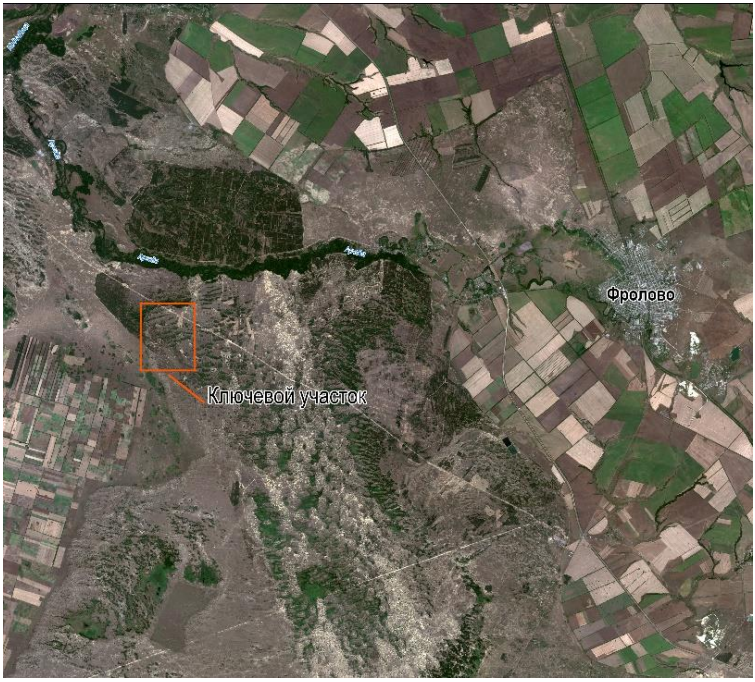


Рис. 1. Ключевой участок

На территории ключевого участка выделены отдельно произрастающие участки колкового леса. Они поддаются надежному дешифрированию.

Выбор данных ДЗЗ для проведения исследования обусловлен как спецификой изучаемого явления, так и распространённостью в современной картографии и географии. Аэрокосмическая съемка предоставляет обширный материал для изучения развития

растительных биотопов во времени, экологического мониторинга и охраны природы аридной зоны. Решению этих вопросов посвящены работы различных авторов, в которых отмечается, что изучение разновременных материалов аэрокосмической съемки позволяет проследить динамику изменения природной среды, осуществлять прогнозирование процессов опустынивания, намечать пути рационального ведения хозяйства. (Vinogradov и др., 1986; Кулик, 2004)

Выбор фотоматериалов спутниковой и аэросъемок был обусловлен временем развития растительности. Древесные породы, из которых состоят колки – это ольха и осина, реже встречается берёза. Были отобраны снимки временного периода с начала июля по начало сентября, когда крона находится в развитом состоянии и полученные в этот период снимки наиболее информативны, так как контрастность выделов максимальна за счет интенсивного развития растительности. Использовались фондовые материалы аэрофотосъемки ФНЦ агроэкологии РАН за 1961, 1976, 1987 гг. и снимки на 2016 и 2022 гг. спутника Sentinel-2, полученные из сервиса EarthExplorer государственной геологической службы США.

Объекты выявлялись методом визуального дешифрирования аэрофотоснимков и космоснимков по прямым дешифровочным признакам: тёмные оттенки серого цвета и чёрный цвет на АФС, тёмные тона зелёного на космоснимках; характерные округлые, пятнообразные и вытянутые формы, размер и тени.

Расчёт площадей производился в геоинформационной системе ArcGIS, в ПО ArcMap. Методика расчёта площадей заключалась в создании shape-полигонов на исследуемые объекты для каждого фотоснимка, результаты визуального дешифрирования переносились в векторные объекты, выделяющие растительный покров колок, методом ручной векторизации. Данная методика позволяет не только измерить площади растительного покрова, но и составить картографические материалы, наглядно демонстрирующие его динамику. Производилась настройка измерения геометрии полигонов в таблицах атрибутивных данных и автоматический расчёт площадей каждого объекта и их суммы (Табл.1)

Таблица 1. Динамика изменения площадей полигонов и их количества.

	1961	1976	1987	2016	2022
$S_{общ.}$	0,886 км^2	0,804 км^2	0,64 км^2	0,5 км^2	0,5км^2
Кол-во полигонов	102	124	116	98	102

Карты составлялись в системе координат UTM зоны 38N, соответсвующей долготе, на которой расположена бóльшая часть территории Волгоградской области.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Анализ снимков выявил общую тенденцию деградации колковых массивов, начиная с последних двух десятилетий XX века. Большая часть деревьев в колках исчезла, площади сократились в 1,8–2 раза. На данный момент от этих биотопов остались только контуры, состоящие из тонкой полосы деревьев, расположенных выше по склонам песчаных гряд. Наблюдается зависимость очередности вымирания древесных культур в исследуемых участках от их высотного положения внутри впадины, это означает, что при анализе АФС и космоснимков колковый участок деградирует из своей центральной части по направлению к границам (Рис.2). Тенденция вымирания колковых лесов на данной территории обусловлена их вымоканием. Это произошло по нескольким причинам. Во-первых, уровень грунтовых вод в межгрядовых понижениях находится довольно близко к поверхности – до 1 м, иногда они даже образуют небольшие озерца. Во-вторых, с 60-70-х годов прошлого века наблюдается постоянное увеличение ежегодных атмосферных осадков в районе Арчедино-Донских песков, что в сумме к 2020 гг. составляет повышение примерно на 35–40 мм. Хорошо фильтрующий воду песок пропускает осадки, насыщая грунтовые воды. Избыток влаги привёл к перенасыщению водой местной древесной растительности. Анализ снимков показал общую деградацию крупной флоры на данной территории, восстановление площадей слабозаросшего песка.

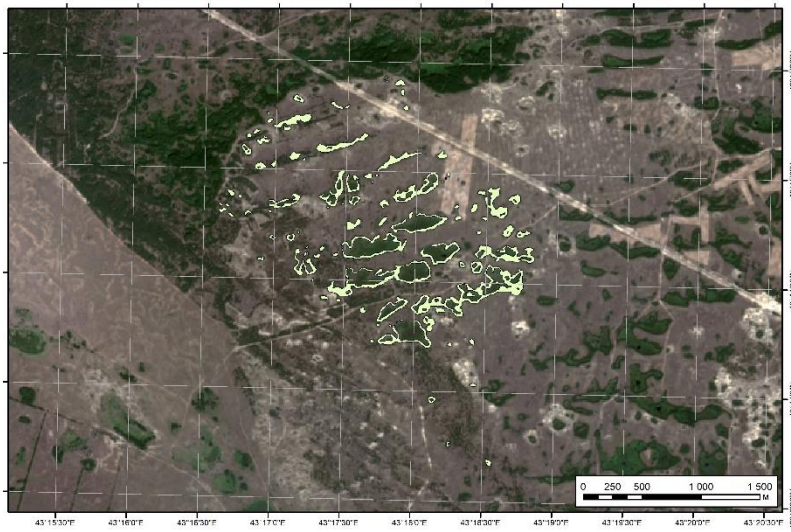


Рис. 2. Состояние древесной растительности колковых лесов на ключевом участке в 2022 г. Светло-зелёными полигонами выделены участки колкового леса

ВЫВОДЫ

Итоги работы станут базисом для создания математических моделей (матриц), описывающих процесс деградации древесного растительного покрова в субаридной зоне, выработки общей концепции, применимой для описания подобных процессов в схожих почвенно-климатических условиях. Отмирание древесной растительности в зоне песчаных массивов усиливает дефляцию и ведёт к опустыниванию, поэтому с практической стороны работа будет полезна при проектировании лесовосстановительных мероприятий. Возникающее отмирание растительности древесного типа влечёт за собой ухудшение агроэкологической ситуации, разрушение экосистем, отчётливо наблюдается необходимость в проведении лесомелиоративных мероприятий. На основе картографических материалов возможно создание рекомендаций по наиболее эффективным местам посадки культур сосны для закрепления почвы на данной местности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Кулик К. Н.,* Агролесомелиоративное картографирование и фитоэкологическая оценка аридных ландшафтов. – Волгоград: изд. ВНИАЛМИ, 2004. 248 с.
2. *Кулик Н. Ф.,* Водный режим песков аридной зоны. – Л.: Гидрометеоиздат, 1979. 280 с.
3. *Гаель А. Г., Смирнова Л. Ф.* Извечно развеваемые пески в Донских степях // Геоморфология, 1972. № 1. С. 36-45.
4. *Гаель А. Г., Смирнова Л. Ф.,* Влияние деятельности ветра на водно-физические свойства почв Доно-Арчединского песчаного массива // Эрозия почв и русловые процессы. – М.: Изд-во МГУ, 1973. Вып.3. С. 6-22.
5. *Грищенко М. П.,* Неогеновые и четвертичные террасы Дона // Бюл. МОИП, отд. геол. 1939. Т. XVII(б). С. 68-96.
6. Vinogradov B. V., Lebedev V. V., Kulik K. N. Measurement of ecological desertification from repeated aerospace photographs // Proc. Acad. Sci. USSR. Biol. Sci. Sect. 1986. № V. – V. 285. № 1-6. P. 690-692.

УДК 631.4

Интеллектуальная информационная система по использованию земельных ресурсов для сельскохозяйственного производства

© 2022 г. В.В. Лапа, Д.В. Матыченков

Институт почвоведения и агрохимии, Республика Беларусь
220108, Минск, ул. Казинца, 90
odm@brissa.by

Резюме: В РУП «Институт почвоведения и агрохимии» разраба-тывается интеллектуальная информационная система сельско-хозяйственного производства землепользований для целей планирования оптимального использования земельных ресурсов, результатом работы которой является установление пригодности почвенного покрова элементарных участков для возделывания сельскохозяйственных культур, установление лимитирующих урожай факторов и проведение многоцелевой оценки, разработка и выбор комплексов мероприятий по использованию удобрений, планирование заданной урожайности сельскохозяйственных культур и подбор их наиболее целесообразного чередования.

Ключевые слова: soil information systems, soil suitability, fertilizers, Belarus.

Intellectual information system on the use of land resources for agricultural production

© 2022 V.V. Lapa, D.V. Matychenkau

Institute of soil science and agrochemistry,
Kazintsa 90, Minsk 220108, Republic of Belarus
e-mail: odm@brissa.by

Abstract: The Institute of Soil Science and Agrochemistry is develop-ing the Intelligent information system for agricultural land use pro-duction for the purposes of planning the optimal use of land re-sources. This system determines the suitability of the soil cover of elementary plots for the cultivation of agricultural crops, establish-es crop limiting factors and conducts a multi-purpose assessment, develops a set of measures for the use of fertilizers, plans a given crop yield and selects the best crop rotation.

Keywords: soil, conference, Moscow.

ВВЕДЕНИЕ

Для внедрения цифровых технологий в сельском хозяйстве необходимы такие подходы и методы, в основе которых лежат не только геоинформационные технологии, но и знания о продуктивности почвенного покрова, современные технологии повышения урожайности, комплексный подход к наиболее рациональному использованию органических и минеральных удобрений, наиболее современные и наукоемкие системы сельскохозяйственного производства.

Почвенные информационные системы должны послужить основой для разработки информационно-ресурсной цифровой платформы интеллектуального управления системами земледелия и землепользования на разных уровнях – от одного поля до страны.

Цифровизация почвоведения затрагивает не только такие традиционные для нее области как создание цифровых почвенных карт, баз данных, информации об агрохимическом состоянии почв, но и создание интеллектуальных систем, которые в автоматизированном виде могли бы давать рекомендации по оптимальному размещению посевов сельскохозяйственных культур, размещению севооборотов, агротехнологиям возделывания культур. Наиболее актуальными разработками в данной области являются:

- информационно-справочные системы по почвенно-ресурсному потенциалу;
- методики получения заданного количества и качества растениеводческой продукции соответственно специализации хозяйств посредством программирования продуктивности севооборотов;
- методики проектирования севооборотов и оптимальной структуры посевных площадей;
- разработки по прогнозированию и планированию заданной урожайности сельскохозяйственных культур;
- научное обеспечение мероприятий по повышению плодородия земель;
- внедрение научно обоснованных ресурсосберегающих и природоохранных технологий в сельскохозяйственном производстве.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Объектами исследований являлись данные о почвенном покрове сельскохозяйственного предприятия и возделываемые сельскохозяйственные культуры, занимающие основную долю в структуре посевных площадей республики и их требования к почвенным условиям. Их требования к условиям произрастания являются определяющими для установления пригодности почв для их возделывания. Таким образом, объектом исследований является почвенный покров сельскохозяйственных предприятий с учетом его использования в сельскохозяйственном производстве. Предметом исследований являются пригодность почв элементарных участков для возделывания конкретных сельскохозяйственных культур, пригодность элементарных и рабочих участков для рекомендованных севооборотов, а также взаимосвязь производительной способности почв элементарных участков и воздействия на них различных агротехнологических приемов. Для реализации поставленной цели применялись следующие методы исследований: картографический, аналитический, статистический анализ данных, экспертных оценок, системного анализа.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Разработанные ранее в РУП «Институт почвоведения и агрохимии» системы информационного обеспечения рационального использования почвенных ресурсов отдельных землепользований подтвердили возможность и необходимость создания подобной системы для Республики Беларусь [1]. На основе цифровых почвенных карт слоя «Почвы» ЗИС института «Белгипрозем» и материалов различных туров агрохимического обследования нами разрабатывается интеллектуальная информационная система сельскохозяйственного производства землепользований для целей планирования оптимального использования земельных ресурсов, которая позволить решить следующие задачи:

- создание информационно-справочных систем по почвенно-ресурсному потенциалу;
- выявление лимитирующих урожай факторов по анализу почвенных и агрохимических условий для каждой возделываемой культуры;

- проведение многоцелевой оценки пригодности почвенного покрова для возделывания сельскохозяйственных культур с учетом его потенциального плодородия;

- планирование размещения сельскохозяйственных культур посредством наиболее пригодных севооборотов для каждого рабочего участка;

- разработка необходимых мероприятий для ввода наиболее пригодных севооборотов с учетом существующего распределения посевных площадей и уровнем агротехники;

- прогнозирование урожайности сельскохозяйственных культур с учетом существующих и запланированных свойств почвенного покрова и агротехнологических мероприятий;

- разработка комплекса агротехнических мероприятий для заданного максимально возможного уровня урожайности при существующих материальных ресурсах;

- создание необходимой картографической, табличной и описательной выходной информации для практического использования, в удобном и понятном для широкого круга пользователей виде.

Важнейшими фактором, определяющим и, в конечном счете, плодородие почв, является ее классификационная принадлежность, определяемая рядом соподчиненных свойств: типовая принадлежность почв, гранулометрический состав, подстилание, а также режим увлажнения почв. Почвы республики характеризуются большой пестротой по уровню плодородия. Большие различия между полями наблюдаются по типам почв, гранулометрическому составу, степени увлажнения, эродированности, закамененности, агрохимическим показателям, удаленности от производственных центров и другим показателям. Поэтому при планировании системы использования земли, оптимизации структуры посевных площадей и системы севооборотов следует учитывать особенности каждого рабочего участка (поля).

Для учета максимально возможного количества факторов, лимитирующих производительность возделываемых культур, в основу базы данных положена информация об агроприозводственных группировках почв [2]. В этих группировках для конкретной сельскохозяйственной культуры в каждой степени пригодности приводится перечень классификационных единиц почв с учетом типовой принадлежности, степени и режима увлажнения,

гранулометрического состава почвообразующих и подстилающих пород, агроэкологического состояния, которые по своим показателям и производительной способности соответствуют той или иной группе пригодности почв.

Для функционирования интеллектуальной информационной системы сельскохозяйственного производства для целей планирования оптимального использования земельных ресурсов необходима оценка факторов, лимитирующих урожайность сельскохозяйственных культур. Оценка проводится посредством построения картограмм данных факторов, созданных на основе геостатистического анализа почвенного покрова на уровне сельскохозяйственного предприятия. Это позволяет выявить элементарные участки с недопустимым, допустимым, пригодным и оптимальным значениям кислотности почвенного покрова, содержанием гумуса, содержанием подвижных форм фосфора и калия отдельно для каждой из следующих культур: озимой пшеницы, озимого тритикале, яровой пшеницы, ячменя, льна, сахарной свеклы, озимого рапса [3]. Данные о классификационной принадлежности почвенного покрова позволят установить степень его пригодности для данных культур не только для почвенных контуров, но и для каждого элементарного участка. Исходя из классификационной принадлежности почвенного покрова, факторов, лимитирующих урожайность возделываемой культуры, производится присвоение почвенному контуру цифровой почвенной карты то или иное значение самого фактора. Лимитирующим может быть не только один, но и целая совокупность факторов. Здесь следует различать те факторы, которые могут быть изменены в процессе окультуривания почвенного покрова, и те, которые являются перманентными, то есть постоянными и не могут быть изменены в обозримом будущем.

Разрабатываема интеллектуальная информационная система позволяет создавать картограммы комплексной агрохимической характеристики для возделывания сельскохозяйственных культур по элементарным участкам, картограммы комплексного показателя плодородия для возделывания вышеперечисленных культур по элементарным участкам с учетом классификационной принадлежности почвенного покрова.

Комплекс агротехнологических мероприятий для максимально возможного уровня урожайности сельскохозяйственных

культур при существующих материальных ресурсах позволит достигать возможных и запланированных показателей определенного уровня пригодности почв при возделывании как отдельных сельскохозяйственных культур, так и для чередования культур в целом. Это дает большие возможности для постановки оперативных, краткосрочных и долгосрочных целей и задач, позволяет путем планирования расходования материальных ресурсов на каждом конкретном поле перейти к планированию ведения сельскохозяйственного производства в целом для хозяйства. Кроме этого, появляется возможность создания резерва более пригодных почв за счет создания наиболее окультуренных почв, обладающих большим запасом питательных веществ, которые позволяют получать высокие урожаи возделываемых культур. В рамках интеллектуальной системы разработан комплекс агротехнических мероприятий посредством расчета нормативных и балансовых доз внесения азота, фосфора и калия для озимой пшеницы, озимого тритикале, яровой пшеницы, ячменя, льна, сахарной свеклы и рапса по каждому уровню планируемой урожайности при различных дозах внесения органических удобрений (0 т/га, 20 т/га, 40 т/га) для каждого элементарного участка (140 вариантов норм внесения основных элементов питания).

Геостатистическая оценка использования удобрений при различных уровнях планирования урожайности сельскохозяйственных культур с учетом нормативов возмещения выноса элементов питания по элементарным участкам позволило создать картограммы, отражающие распространение лимитирующих урожайность сельскохозяйственных культур факторов, многоцелевой оценки пригодности почвенного покрова элементарного участка, внесения минеральных удобрений при различных уровнях запланированной урожайности, которые являются основой выходных форм разрабатываемой интеллектуальной информационной системы сельскохозяйственного производства и позволяют наглядно показать необходимые агротехнические мероприятия и требуемые затраты для достижения запланированных валовых сборов и прибыли сельскохозяйственного предприятия.

Особенностью развития современного земледелия является то, что наращивание производства продукции растениеводства приходится осуществлять в условиях ограниченности ресурсов. В

этих условиях особенно важно максимально задействовать малозатратные нематериальные факторы. К числу таких факторов, являющихся важнейшим резервом повышения продуктивности полей, относится грамотное ведение севооборотов и оптимизации структуры посевных площадей. Исходя из специализации, в каждом хозяйстве должна быть система севооборотов, способствующая увеличению производства продуктов земледелия и животноводства при наиболее рациональном использовании природных и трудовых ресурсов и материально - технических средств с одновременным непрерывным повышением плодородия почвы.

ВЫВОДЫ

Таким образом, функционирование разрабатываемой интеллектуальной информационной системы по использованию земельных ресурсов для сельскохозяйственного производства является взаимосвязанной работой следующих блоков:

- установление пригодности почвенного покрова элементарных участков для возделывания конкретных сельскохозяйственных культур;
- установление лимитирующих урожай факторов для каждой возделываемой культуры и элементарного участка;
- проведение многоцелевой оценки пригодности почвенного покрова элементарного участка для возделывания сельскохозяйственных культур;
- разработка и выбор комплексов мероприятий по использованию удобрений под сельскохозяйственные культуры для достижения максимальной урожайности в зависимости от свойств отдельных компонентов почвенного покрова элементарного участка;
- планирование заданной урожайности сельскохозяйственных культур с учетом существующих и запланированных свойств почвенного покрова и агротехнологических мероприятий и наличия материально-технической базы и финансовых возможностей сельскохозяйственного предприятия
- подбор наиболее целесообразного чередования сельскохозяйственных культур в зависимости от специализации производства сельскохозяйственного предприятия.

Использование разрабатываемой интеллектуальной информационной системы сельскохозяйственного производства для

целей планирования оптимального использования земельных ресурсов позволит повысить урожайность сельскохозяйственных культур и отдачу от применения удобрений за счет научно обоснованных критериев их применения согласно многоцелевой оценки пригодности элементарных участков сельскохозяйственных организаций.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Лапа В.В., Матыченков Д.В., Азаренок Т.Н.* Информационная система учета динамики и прогноза свойств почвенного покрова // Почвоведение и агрохимия.– 2019.– № 2 (63).

2. *Лапа В.В. и др.* Пригодность почв Республики Беларусь для возделывания отдельных сельскохозяйственных культур : (рекомендации) / В; РУП "Институт почвоведения и агрохимии".– Минск : 2011. – 64 с.

3. *Лапа В.В., Матыченков Д.В., Азаренок Т.Н., Матыченкова О.В., Дыдышко С.В.* База данных лимитирующих урожай факторов сельскохозяйственных культур для почвенных информационных систем / Рациональное землепользование: оптимизация земледелия и растениеводства: сб. докладов V Международной научно-практической конференции, посвященной 80-летию со дня рождения академика РАСХН А.П. Щербакова (Курск, 28-30 сентября 2021 г.). – Курск: ФГБНУ «Курский федеральный аграрный научный центр», 2021. – 161-165 с.

УДК 574:631.438.2

Стохастическое моделирование распределения Cs-137 в почвах Брянской области

© 2022 г. В.Г. Линник[1*], А.А. Савельев[2], О.М. Иваницкий[1]

[1]ФГБУН Ордена Ленина и Ордена Октябрьской Революции Институт геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского Российской академии наук, 119991, Россия, г. Москва, ул. Косыгина, д. 19,
e-mail: vlinnik_53@mail.ru
[2]Институт экологии и природопользования Казанского (Приволжского) федерального университета
ул.Товарищеская, 5, Казань, Респ. Татарстан, 420097
E-mail: Anatoly.Saveliev.aka.saa@gmail.com

Резюме Проблема гетерогенности (неоднородности) физических и физико-химических свойств почвы и их роли в организации структуры почвенного покрова относится к числу фундаментальных проблем почвоведения, которая имеет также важное практическое значение. На примере распределения Cs-137 удобно исследовать неоднородность проявления латеральных процессов, как одного из важных факторов в организации структуры почвенного покрова. Латеральный перенос радионуклидов - это многофакторный процесс, который проявляется в трансформации паттернов техногенного загрязнения, до сих пор остается малоизученной проблемой. В работе исследуется распределение Cs-137 «чернобыльского» происхождения в почвенном покрове Брянской области в зависимости от высотного положения и пространственных координат для выявления характера латеральной связности паттернов Cs-137. В качестве модельных объектов исследования выбраны два участка агрокатен в западной части Брянской области, различающихся ландшафтными условиями миграции Cs-137. Первый участок («Дубровка») характеризует почвы предполесских ландшафтов второй - ландшафты ополий («Костица»). Для моделирования применялся метод GAM, моделирование проводилось в среде статистической системы R. Для участка «Дубровка» использование модели Cs-137 ~ s(H) показало наличие слабой (R-sq.(adj) = 0,05)., но значимой (табл.1) нелинейной зависимости распределения Cs-137 от высотного положения. (R-sq.(adj) = 0,05). Применение модели вида Cs-137 ~ s(H) + s(X,Y) (R-sq.(adj) = 0,98) фактически реализует интерполяцию, в которой высота остается значимой, как и местоположение. При этом распределения Cs-137 имеет нелинейный характер. Для участка «Костица» установлен практически линейный вид зависимости распределения Cs-137 от абсолютной высоты в транзитной части склона, по характеру изменения

функции (точки «перегиба»), отчетливо выделяются зоны выноса (водораздельная часть) и зоны аккумуляции в нижней части склона пашни на границе с уступом поймы р.Костица. Высотные уровни 144-147 м маркируют пойменную часть участка, на которой фиксируется незначительное снижение плотности загрязнения Cs-137 в результате проявления пойменных процессов. Разнообразие нелинейных откликов Cs-137 на влияние двух факторов (высота и местоположение) может свидетельствовать о сложном устройстве динамических процессов латеральной миграции, протекающих в почвенном покрове ландшафта, для объяснения которых может оказаться недостаточным детерминированное моделирование. Очевидная нелинейность закономерностей латерального распределения Cs-137 требует обращения к стохастическим методам моделирования.

Ключевые слова: почва, цезий-137, стохастическое моделирование

Stochastic modeling of Cs-137 distribution in the soils of the Bryansk region

© 2022 V.G. Linnik[1*], A.A. Saveliev[2], O.M. Ivanitsky[1]

[1]Vernadsky Institute of Geochemistry and Analytical Chemistry, Russian Academy of Sciences, Moscow, 119991 Russia
**e-mail: vlinnik_53@mail.ru*
[2]Institute of Ecology and Land Use, Kazan (Volga Region) Federal University, Kazan, 420097 Russia

Abstract: The problem of heterogeneity of the physical and physico-chemical properties of the soil and their role in the organization of the soil cover structure is one of the fundamental problems of soil science, which is also of great practical importance. Using the case of the Cs-137 distribution, it is convenient to investigate the heterogeneity of the manifestation of lateral processes as one of the important factors in the organization of the structure of the soil cover. Lateral radionuclide transfer is a multifactor process that manifests itself in the transformation of patterns of technogenic pollution, and still remains a little-studied problem. The paper investigates the distribution of Cs-137 of "Chernobyl" origin in the soil cover of the Bryansk region, depending on the altitude position and spatial coordinates to identify the nature of the lateral connectivity of Cs-137 patterns. Two agricultural plots in the western part of the Bryansk region, differing in the landscape conditions of Cs-137 migration, were selected as model objects of research. The first study area ("Dubrovka") characterizes the soils of the Predpolesje landscapes, the second - the landscapes of the Opolie ("Kostitsa"). The GAM method was used for modeling, modeling

was carried out in the environment of the statistical system R. For the Dubrovka test site, the use of the Cs-137~s(H) model revealed a rather complex nonlinear nature of the distribution of Cs-137 from the altitude position (R-sq.(adj) = 0,05). Application of a model of the form Cs-137 ~ s(H) + s(X,Y) (R-sq.(adj) = 0.98) confirmed the nonlinear character of the distribution of Cs-137 depending on altitude and location. For the "Kostitsa" study area, an almost linear view of the dependence of the Cs-137 distribution on the absolute height in the transit part of the slope is established, by the nature of the change in function (the "inflection" point), the removal zones (the watershed part) and accumulation zones in the lower part of the slope of arable land on the border with the ledge of the Kostitsa floodplain are clearly distinguished. Altitude levels of 144-147 m mark the floodplain part of the site, where a slight decrease in the density of Cs-137 pollution is recorded as a result of the manifestation of floodplain processes. The variety of nonlinear responses of Cs-137 to the influence of two factors (height and location) may indicate a complex arrangement of dynamic processes of lateral migration occurring in the soil cover of the landscape, for which deterministic modeling may not be sufficient to explain. The obvious nonlinearity of the regularities of the lateral distribution of Cs-137 requires recourse to stochastic modeling methods.

Keywords: soil, Cs-137, stochastic modeling

ВВЕДЕНИЕ

Авария на Чернобыльской АЭС, произошедшая 26 апреля 1986 года, предоставила уникальную возможность использовать Cs-137 как радиоактивный трассер для оценки интенсивности латеральных процессов в различных ландшафтах. Начальное радиоактивное загрязнение характеризовалось значительной неоднородностью (гетерогенностью) на различных масштабных уровнях (Линник и др., 2017). Первоначальная "пятнистость" загрязнения Cs-137 почвенного покрова, сформированная весной 1986 года, остается неизвестной. В последующие годы на локальном уровне в результате латерального переноса поле загрязнения Cs-137 в ряде случаев могло измениться.

Латеральный перенос радионуклидов - многофакторный процесс, который проявляется в трансформации паттернов техногенного загрязнения, до сих пор остается малоизученной проблемой (Линник и др., 2017). Эффективным методом его исследования служит математическое моделирование, использующее в качестве входных переменных морфометрические параметры рельефа (Linnik et al, 2018).

На примере распределения Cs-137 удобно исследовать характер гетерогенности протекания латеральных процессов, как одного из важных факторов в организации структуры почвенного покрова, который занимает в почвоведении важное место (Фридланд, 1972).

Проблема гетерогенности (однородности) физических и физико-химических свойств почвы и их роли в организации структуры почвенного покрова наряду с теоретическим значением имеет также важное практическое значение. В работе (Parsons&Foster, 2011) поставлен под сомнение используемый в эрозии почв принцип однородности выпадений Cs-137, и обращается особое внимание именно на гетерогенность радиоактивных выпадений.

В целом выявление и анализ причин неоднородности почвенного покрова и его свойств – это фундаментальная проблема современного почвоведения (Красильников, Таргульян, 2019). Проблема гетерогенности почвенного покрова и его свойств (физических, химических и биологических) рассматривалась в работах многих отечественных почвоведов (Дмитриев, 2001; Козловский, 2003), Самсонова, 2008) и др. Фундаментальные причины пространственного варьирования почвенных свойств рассмотрены в работах (Burrough, 1983a; 1983b).

В конце 1950-х годов на смену функционально-факторным моделям почвообразования, которые базировались на представлениях В.В. Докучаева и Г. Йенни, стали развиваться подходы, нацеленные на моделирование процессов почвообразования, под которым подразумевалось накопления и перемещение почвенного материала, а также его дифференциацию на почвенные горизонты (Dixon, 2015). Однако проблема гетерогенности почвенных свойств в моделировании стала настоящим «проклятием», которое сложно решать в рамках детерминированного моделирования. Варьирование почвенных свойств в разных масштабах происходит неодинаково (Kravchenko et al., 1999), что делает проблематичным моделирование почвенных структур и процессов исключительно в рамках детерминированного подхода. Поэтому важное значение приобретает развитие стохастических методов моделировании в почвоведении.

Цель данной работы заключается в исследовании распределения цезия-137 «чернобыльского» происхождения в почвах Брянской области в зависимости от высотного положения и

пространственных координат для выявления характера латеральной связности паттернов Cs-137 в почвенном покрове.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

В качестве модельных объектов исследования выбраны 2 участка агрокатен в западной части Брянской области, различающихся ландшафтными условиями миграции Cs-137. Первый участок характеризует почвы предполесских ландшафтов (Дубровка), второй - ландшафты ополий (Костица). Уровень загрязнение Cs-137 на выбранных участках превышает фоновые (глобальные) выпадения примерно в 10 раз (Линник и др., 2020).

К моменту проведения аэрогаммасъемки в Брянской области в 1993 году, поле радиоактивного загрязнения было существенно трансформировано в результате проявления латеральной миграции различной интенсивности (Рис.1, Рис.2). Поэтому представленные результаты моделирования характеризуют зависимости распределения Cs-137 от высотного положения и пространственного расположения спустя 7 лет после аварии.

Для моделирования применялся аппарат обобщенных аддитивных моделей (General Additive Model, GAM) согласно работе (Wood, 2006). Моделирование проводилось в среде статистической системы R (R Core Team, 2019). Достоинства GAM заключаются в возможности оценки нелинейных тенденций, которые характерны для зависимости распределения Cs-137 от набора различных параметров цифровой модели рельефа (ЦМР). Для моделирования использовались два информационных слоя: 1) SRTM DEM – рельеф земной поверхности (разрешение 90x90 м) и 2) аэрогамма-съемка, выполненная в 1993 г. (загрязнение Cs-137, разрешение 100x100 м). Для моделирования исходные данные были пересчитаны на сетку 50x50 м.

Макро- и микроструктуры рельефа контролируют кинетическую энергию склонового потока, как движущую силу эрозии и транспорта наносов. В качестве эффективных параметров оценки латерального переноса Cs-137 можно рассмотреть морфометрические параметры рельефа. В настоящей работе рассмотрен параметр «высотное положении», Cs-137 ~ s(H) а также дополнительно учитывается пространственное положение, как функция Cs-137 ~ s(H)

+ s(X,Y), где s(H) - сглаживающий сплайн (одномерный или двумерный).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Участок “Дубровка” (Рис. 1) расположен в диапазоне высот 165–185 м и включает два автономных участка с разным направлением латерального переноса: 1) северная и северо-западная часть (зона аккумуляции Cs-137) и 2) максимального эрозионного смыва Cs-137 (центральная и южная). Почва слабоподзолистая, средне смытая, среднесуглинистая. Мощность пахотного горизонта Апах достигает 20 см. В понижениях (северная часть участка) развиты агродерново-подзолистые глееватые намытые среднесуглинистые почвы, с увеличенной мощностью пахотного горизонта Апах до 25 см. В результате интенсивного выноса эрозионного материала наиболее загрязненной Cs-137 тонкой фракции на южном участке выявлены самые низкие значения удельной активности Cs-137 (до 7–8 Бк/кг), причем в верхних 5 см концентрация Cs-137 минимальна – 5 Бк/кг (Линник и др., 2020).

Схема плотности загрязнения Cs-137 на участке «Дубровка» представлена на Рис. 1а. Обращает внимание явно выраженная «пятнистость» в плотности загрязнения Cs-137, вызванная процессами сноса и накопления радионуклида. Для выявления характера зависимости распределения Cs-137 от высоты и местоположения применили GAM моделирование. Результаты GAM моделирования представлены в Табл.1.

Использование простой модели Cs-137 ~ s(H) выявило довольно сложный нелинейный характер распределения Cs-137 от высотного положения (Рис.1б). Однако R-sq.(adj) (корреляция значима) принимает низкое значение – 0,05, что следует учитывать, анализируя результаты моделирования. Выделятся глобальный минимум плотности загрязнения Cs-137 (зона максимального выноса радионуклида на высоте 175-177 м), а также два локальных максимума плотности загрязнения Cs-137 на высотах 167 м и 182 м, обусловленные сложностью ландшафтного строения, который определяет направление и интенсивность латерального переноса Cs-137.

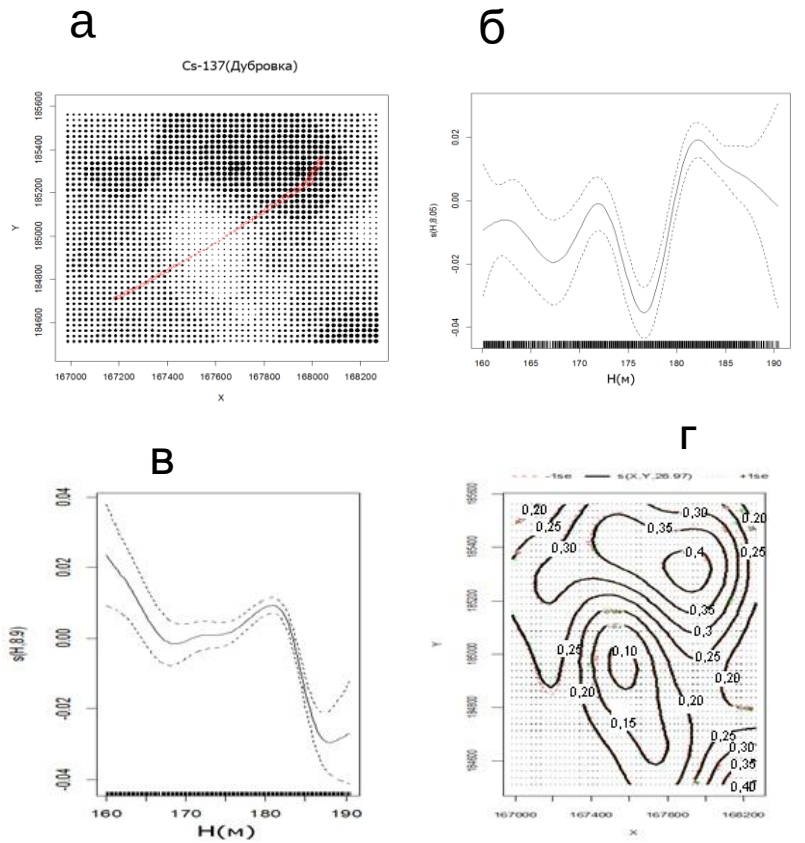


Рис.1. Модельный участок Дубровка. **а-** плотность загрязнения цезия-137 почвы (0,08-0,44 Ки/км^2); Красная линия – линия профиля для отбора проб почвы; **б** – GAM моделирование зависимости цезия-137 от высотного положения (Cs-137 ~ s(H)); пунктирная линия –границы доверительного интервала. **в** - – GAM моделирование зависимости Cs-137 от высотного положения и пространственного положения (Cs-137 ~ s(H) + s(X,Y)); **г-** модельное значение уровней плотности загрязнения цезием-137 (Ки/км^2) с доверительными интервалами

Таблица 1. Параметры GAM моделирования зависимости Cs-137 от высоты Cs ~ s(H) и высоты с учетом пространственного положения Cs ~ s(H) + s(x, y)

	Модель						
Район исследования	Cs ~ s(H)			Cs ~ s(H) + s(x, y)			
	Модельный участок			Модельный участок			
	Уровень значимости s(H)	R-sq.(adj)	n	Уровень значимости s(H)	Уровень значимости s(X,Y)	R-sq.(adj)	n
Дубровка	***	0.0489	2236	***	***	0.979	2236
Костица	***	0.628	805	***	***	0.999	805

Примечание: *** - Двусторонний уровень значимости корреляции равен 0.001

Использование более сложной модели (Cs-137 ~ s(H) + s(X,Y)), включающей наряду с высотным положением также пространственное положение (Рис.1в), существенно увеличивает значение R-sq.(adj) (0,98), что делает более надежными результаты моделирования. По результатам этой модели отчетливо идентифицируется зона максимального накопления Cs-137 в диапазоне высот 160-167 м, что также было получено при использовании более простой модели Cs-137 ~ s(H). Локальный рост плотности загрязнения Cs-137 также подтверждается для высоты 182 м. Участки с высотой 182-188 м выделяют зону максимального латерального выноса радионуклида, тогда как с высоты 188-192 м отмечается стабилизация уровня загрязнения Cs-137 (зона незначительного выноса радионуклида на залесенном участке водораздела).

Таким образом, для сложного рельефа («Дубровка») высота хоть и является значимым фактором, но не является ведущим (R-sq.(adj маленький), однако значимость влияния высоты сохраняется даже на фоне пространственной интерполяции.

Модельная карта пространственного распределения Cs-137 представлена на рис.1в. По результатам моделирования отчетливо выделяются два автономных участка с различным режимом

латерального переноса: в зоне накопления плотность Cs-137 достигает 0,4 Ки/км^2, в зоне выноса - 0,1 Ки/км^2.

Модельный участок "Костица" (высотные уровни 165– 150 м) протяженностью около 500 м (Рис. 2) включает распаханный северный склон северной экспозиции долины р.Костица с серыми лесными смытыми супесчаными почвами, а также фрагмент пойменной части (Линник и др., 2020). На распаханном склоне наблюдается проявление эрозионных процессов. Углы наклона в нижних частях склонов достигают 2-3 градусов.

Мощность пахотного горизонта (до глубины плужной подошвы) неравномерна в пределах склонового сопряжения, на водораздельной части варьирует от 20 до 35 см, в транзитно-аккумулятивной части мощность составляет 28–32 см, в нижней части почвенной катены зафиксирован намытый пахотный горизонт мощностью до 25(28) см. Гранулометрический состав почв пахотного горизонта закономерно изменяется от супесчаного (верхняя часть катены), пылеватой супеси (средняя часть склона) до легкого суглинка в нижней части катены.

Пойменная часть сложена аллювиальными суглинками. Благодаря поступлению эрозионного материала с распаханного склона северной экспозиции, а также с верховьев бассейна реки Костица в пойме фиксируются максимальные уровни загрязнения цезием-137, достигающие значения 0,57 Ки/км^2 (Линник и др., 2020).

Минимальное загрязнение Cs-137 (0,21 Ки/км^2) фиксируется на водораздельной части участка, занятой пашней. Максимум загрязнения Cs-137 (0,45 Ки/км^2) ожидаемо отмечается в нижней части склона пашни.

Схема плотности загрязнения Cs-137 на участке «Костица» представлена на рисунке 2а. Визуальный анализ показывает наличие явного тренда возрастания плотности загрязнения Cs-137 вниз по склону (в северном направлении). Результаты моделирования (R-sq.(adj) = 0,6, Табл.1) выявили, что в диапазоне высот 150-167 м (зона транзита) наблюдается линейная зависимость возрастания плотности загрязнения вниз по склону за счет эрозионных процессов (Рис. 2б).

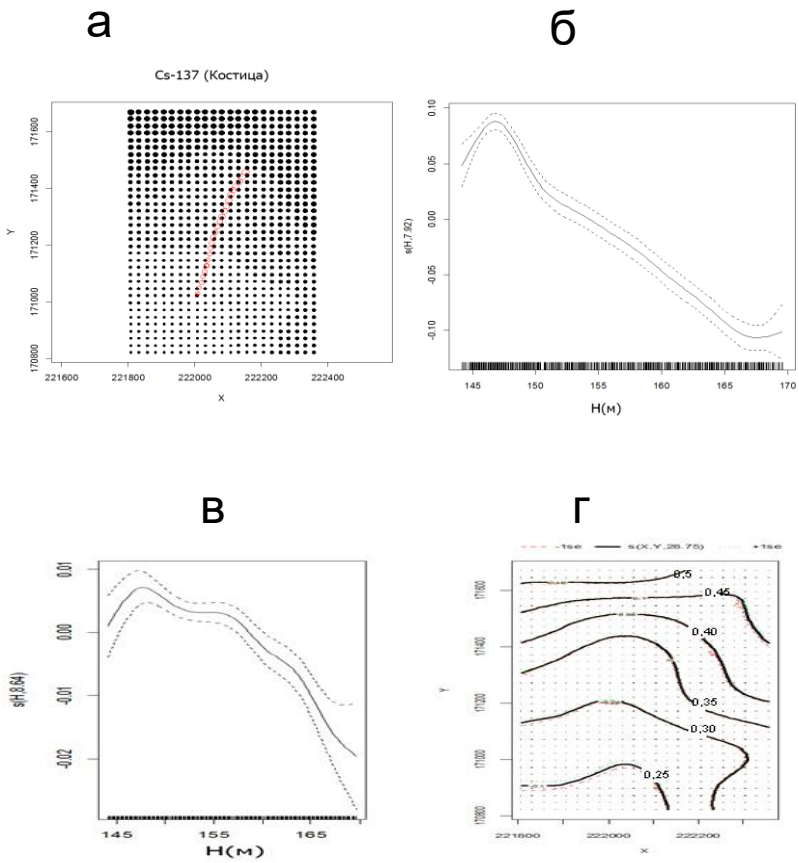


Рис.2. Модельный участок Костица. **а-** плотность загрязнения Cs-137 почвы (0,21-0,5 Ки/км^2); Красная линия – линия профиля для отбора проб почвы; **б** – GAM моделирование зависимости Cs-137 от высотного положения (Cs-137 ~ s(H)); пунктирная линия –границы доверительного интервала. **в** - – GAM моделирование зависимости Cs-137 от высотного положения и пространственного положения (Cs-137 ~ s(H) + s(X,Y)); **г**- модельное значение уровней плотности загрязнения Cs-137 (Ки/км^2) с доверительными интервалами

На водораздельной части участка (167-170 м) вид функции Cs-137 ~ s(H) меняется, это может рассматриваться как точка «перегиба», которая идентифицирует начало зоны выноса эрозионного

материала. В нижней части склона (147-150 м) скорость возрастания запаса Cs-137 возрастает, что говорит в пользу выявления зоны аккумуляции радионуклида в нижней части склона пашни на границе с уступом поймы р.Костица. Высотные уровни 144-147 м маркируют пойменную часть, на которой фиксируется незначительное снижение плотности загрязнения Cs-137 в результате проявления пойменных процессов.

Анализ результатов более сложной модели (Cs-137 ~ s(H) + s(X,Y)), в которой наряду с высотным положением принимается в расчет также пространственное положение (рис.2в), показал, что для простого рельефа (участок «Костица») высота хорошо отображает результат латерального перераспределения Cs-137, оставшуюся часть можно отнести к пространственной вариабельности выпадения, и прочим факторам. Результаты моделирования поля загрязнения Cs-137 в изолиниях с доверительными интервалами по модели Cs-137 ~ s(H) + s(X,Y) представлены на рисунке 2в.

В работе (Линник и др., 2021) было установлено, что нелинейная динамика и многофакторность взаимодействия паттернов Cs-137 с параметрами рельефа (уклон, кривизны и др.) существенно затрудняет интерпретацию и предсказуемость трансформации паттернов Cs-137 на уровне речного бассейна. Только единственный фактор (H) убедительно демонстрировал линейный отклик (r=0.78) в анализируемой системе: начиная с высоты 167 м и до высоты 147.5 м (граница поймы) наблюдалось монотонное возрастание плотности загрязнения Cs-137 вниз по склону от 0,27 до 0,38 Ки/км^2.

ВЫВОДЫ

Результаты GAM моделирования выявили нелинейные закономерности в распределении Cs-137 в зависимости от двух параметров – высотного положения s(H) и пространственного положения s(X,Y). Разнообразие нелинейных откликов Cs-137 на влияние всего лишь двух этих факторов свидетельствует о сложном устройстве динамических процессов латеральной миграции, протекающих в почвенном покрове ландшафта, которые вряд ли могут быть объяснены с позиций детерминированного подхода. В условиях радиоактивного загрязнения это выражается в различной интенсивности латеральной миграции Cs-137 в генетически однородных ландшафтных комплексах, которые по-разному реагируют на

множество взаимодействующих ландшафтных факторов. Стохастическое моделирование, к которому относится GAM, является удобным инструментом для анализа распределения Cs-137 от различных факторов рельефа. Его использование наглядно демонстрирует, что в поведении ландшафтной системы возможны различные варианты эволюции, а не единственность развития детерминированной динамической системы. Это не исключает из арсенала почвенно-ландшафтного моделирования принципы детерминированного моделирования и ее наиболее простой случай – линейные динамические модели. Например, для участка «Костица» для склонового сопряжения установлено, что латеральное распределение Cs-137 практически линейно возрастает вниз по склону, подчиняясь правилу убывания потенциальной энергии ландшафтной системы, связанной с высотным положением. В таких случаях выбор детерминированных моделей вполне уместен и с успехом может быть применен для почвенно-ландшафтного моделирования.

Благодарность: Работа выполнена в ГЕОХИ РАН согласно Госзаданию (тема 0137-2019-0008), а также при поддержке Программы стратегического академического лидерства Казанского (Приволжского) федерального университета (статистический анализ)

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Дмитриев Е.А.* Теоретические и методологические проблемы почвоведения. М.: ГЕОС, 2001.
2. *Козловский Ф.И.* Теория и методы изучения почвенного покрова. М.: Геос, 2003.
3. *Красильников П.В., Таргульян В.О.* На пути к «новой географии почв»: вызовы и решения (обзор)// Почвоведение, 2019. № 2. С. 131–139.
4. *Линник В.Г., Мироненко И.В., Волкова Н.И., Соколов А.В.* (2017) Ландшафтно-биогеохимические факторы трансформации поля загрязнения Cs-137 в Брянской области//Геохимия. 2017. №(10. С. 891-906.
5. *Линник В.Г., Борисов А.П., Иваницкий О.М., Мироненко И,В., Соколов А.В.* Вертикальное распределение Cs-137 в почвах агрокатен Брянской области//Геохимия, 2020. № 12. С. 1198–1211.
6. *Линник В.Г., Соколов А.В., Иваницкий О.М.* Нелинейные

закономерности трансформации паттернов Cs-137 в бассейне р.Костица (Брянская область)//В сборнике: Фундаментальные основы биогеохимических технологий и перспективы их применения в охране природы, сельском Хозяйстве и медицине. Труды Международной биогеохимической школы, посвященной 175 летию со дня рождения В.В. Докучаева. Тула, 2021. С.278-281.

7. *Самсонова В.П.* Пространственная изменчивость почвенных свойств на примере дерново-подзолистых почв. М.: Изд-во «ЛКИ», 2008. 160 с.

8. *Фридланд В.М.* Структура почвенного покрова. М.: Мысль, 1972. 424 с.

9. *Burrough P. A.* Multiscale sources of spatial variation in soil. I. The application of fractal concepts to nested levels of soil variation//J. Soil Sci. 1983a. Vol. 34. P. 577-597.

10. *Burrough P. A.* Multiscale sources of spatial variation in soil. II. A non-Brownian fractal model and its application in soil survey//J. Soil Sci., 1983b. Vol. 34. P. 599-620.

11. *Dixon J.C.* Soil Morphology in the Critical Zone: The Role of Climate, Geology, and Vegetation in Soil Formation in the Critical Zone// In: Developments in Earth Surface Processes,. 2015. Vol. 19. P. 147- 172.

12. *Kravchenko, A. N., Boast, C. W., & Bullock, D. G.* Multifractal Analysis of Soil Spatial Variability//Agronomy Journal, 1999. Vol. 91. №6. P.1033-1041.

13. *Linnik V.G., Sokolov A.V., Saveliev A.A., Mironenko I.V., Volkova N.I.* Landscape-scale modelling to predict soil lateral migration using ^{137}Cs on the Bryansk Opolje region (Russia). Book: GlobalSoilMap-Digital Soil Mapping from Country to Globe. Taylor & Francis Group, London, 2018. P. 159-164.

14. *Parsons, A.J., Foster, I.D.L.,* 2011. What can we learn about soil erosion from the use of ^{137}Cs? //Earth-Sci. Rev. 2011, Vol.108, №1–2). P. 101–113.

15. R Core Team (2019) R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. https://www.R-project.org/

16. Wood, S.N. (2006) Generalized Additive Models: An Introduction with R. Chapman and Hall/CRC.

УДК 631.4

Оценка неопределенности, обусловленной аналитическими и позиционными погрешностями, при цифровом картографировании почвенных свойств

© 2022 г. Ю.Л. Мешалкина[1,2*], В.П. Самсонова[1]

[1]Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, факультет почвоведения, Россия,
119991, Москва, Ленинские горы, 1, стр.12,
[*] jlmesh@list.ru
[2]Российский государственный аграрный университет –
МСХА имени К. А. Тимирязева, Россия
127550, Москва, ул. Тимирязевская, 49.

Резюме: На примере опробования сельскохозяйственных угодий Брянского ополья оцениваются следующие виды неопределенностей: неопределенность, порождаемая аналитическими погрешностями и смещениями, обусловленными неопределенностью фиксации координат точек опробования. Показано, что для такого свойства, как содержание гумуса, оба этих фактора оказывают небольшое влияние на конечные картограммы, если аналитическая погрешность составляет около 10% от среднего значения, а смещение точек опробования не превышает 10 м. Коэффициенты корреляции между картограммами, построенными для смоделированных значений, остаются высокими (более 0.9) и визуально практически не отличаются.

Ключевые слова: параметры семивариограммы, Брянское ополье, точность позиционирования, сравнение картограмм гумуса

The uncertainty estimation caused by analytical and positional errors in digital soil properties mapping

© 2022 J.L. Meshalkina[1,2*], V.P. Samsonova[1]

[1]Soil Science Faculty of Moscow Lomonosov State University, Russia
Bld. 12, 1, Leninskye gory, Moscow, 119991, Russian Federation
[*] e-mail: jlmesh@list.ru

[2]Russian State Agrarian University - Moscow Timiryazev Agricultural Academy
49, Timiryazevskaya st., Moscow, 127550, Russian Federation

Abstract: The following types of uncertainties are estimated using the example of agricultural lands of the Bryansk Opolje: uncertainty generated by analytical errors and displacements caused by uncertainty of the sampling points locations. It is shown that for humus content, both of these factors have a slight effect on the final maps if the analytical error is about 10% of the average value, and the offset of the sampling points does not exceed 10 m. The correlation coefficients between the maps made for the simulated values remain high (more than 0.9) and visually practically do not differ.

Keywords: semivariogram parameters, Bryansk opolje, positioning accuracy, comparison of humus maps.

ВВЕДЕНИЕ

Цифровое почвенное картографирование в настоящее время становится все более востребованным для решения как теоретических, так и производственных задач, таких, например, как построение карт для точного земледелия или оценки запасов органического углерода в связи с прогнозированием последствий изменения климата. Однако качество карт зависит от качества первичной информации (Hengl, MacMillan, 2019). Показано, что даже при высокой плотности опробования и использовании дополнительных картографических источников моделирование объясняет не более 50% вариабельности содержания органического вещества (Kempen, Brus, Stoorvogel, 2011). Поскольку наиболее часто неопределенность конечного результата зависит от аналитических ошибок и от ошибок позиционирования, целью настоящей работы – оценка влияния аналитических погрешностей при определении почвенных свойств (на примере содержания органического вещества почвы) и ошибок позиционирования на точность почвенных карт.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Исследования проводились на территории Брянского ополья. Почвы – пахотные серые лесные с разной степенью эродированности (Phaeozems Luvic). Почвенные пробы в количестве 276 штук отобраны из слоя 0-20 см на сельскохозяйственном угодье площадью 12 га по случайно-регулярной схеме. Содержание

органического вещества в однократной повторности определялось по методу Тюрина в модификации ЦИНАО (ГОСТ 26213-91). Относительная погрешность определения составляла 10% и моделировалась как нормальнораспределенная случайная величина с параметрами: среднее- 0, а стандартное отклонение- 0,2 %. Координаты точек опробования определялись при помощи GPS Garmin. Предельное отклонение координат принималось равным 10 м и моделировалась как нормальнораспределенная случайная величина с параметрами: среднее- 0, а стандартное отклонение- 3 м. На рисунке 1 показаны «гроздья» смоделированных точек опробования в непосредственной близости от первичных точек.

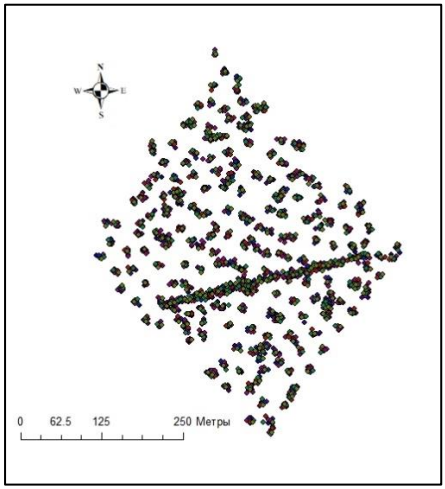


Рис.1. Точки опробования и смоделированные отклонения координат

Картограммы пространственного распределения содержания углерода строились методом ординарного кригинга с использованием программной среды R (R Core Team, 2022). Во всех случаях использовалась сферическая модель семивариограммы:

$$\gamma(h) = \begin{cases} C_0 + C_1\left(\frac{3h}{2R} - \frac{1}{2}\left(\frac{h^3}{R^3}\right)\right) & 0 < h \leq R \\ C_0 + C_1 & h > R \end{cases}$$

Обозначения:C_0 – наггет (значение в нуле, вариабельность на расстояниях, меньших шага опробования)), C_1 – порог, h- расстояние между точками опробования, R- радиус корреляции или расстояние независимости, начиная с которого значения не зависят друг от друга.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Обследованных участок характеризуется средним содержанием гумуса и обычной для этого показателя степенью варьирования (коэффициентом вариации) около 20% (Табл.1).

Таблица 1. Статистические характеристики содержания гумуса (%)

Повторность	276
Среднее	3,43
Ошибка среднего	0,04
Медиана	3,41
Стандартное отклонение	0,72
Коэффициент вариации, %	21
Коэффициент асимметрии	0,13
Коэффициент эксцесса	0,00
Минимум	1,20
Максимум	5,33

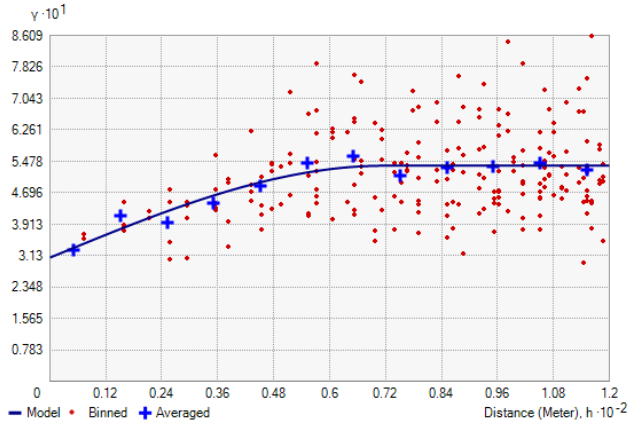


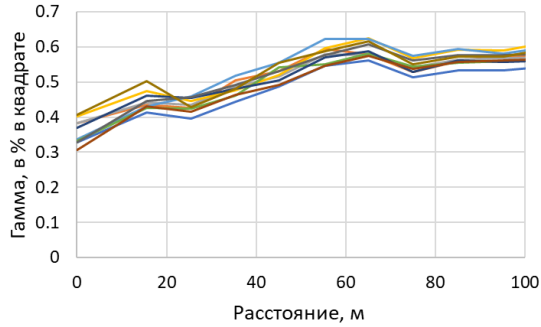
Рис.2. Вариограмма содержания гумуса (исходные значения)

Модель : Наггет =0,308; C_1=0,228; R =71,7; RMSE=0,651

Разброс значений содержания гумуса связан с тем, что на поле встречаются почвы разной степени эродированности: от ненарушенных до сильносмытых, когда гумусовый горизонт буроватого оттенка залегает на нижней части горизонта ВС. Медиана и среднее очень близки, статистическое распределение практически симметрично и имеет нулевой эксцесс, что может рассматриваться как подтверждение его соответствия нормальному распределению.

Вариограмма содержания гумуса имеет классический транзитивный вид, то есть выходит на плато примерно равное дисперсии гумуса. Наггет- эффект хорошо выражен, он описывает варьирование гумуса для точек опробования, расположенных на малых расстояниях (Рис.2). Пространственные зависимости наблюдаются до расстояния 72 м.

(А)



(Б)

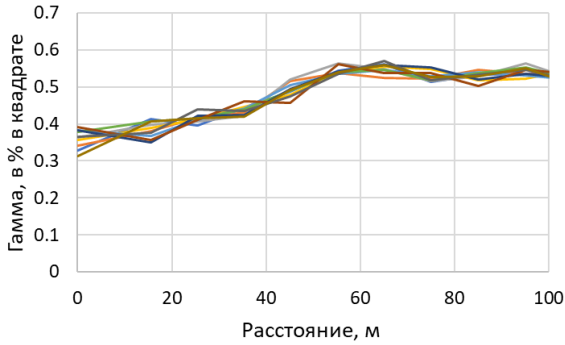


Рис.3. Вариограммы для смоделированных данных со сдвигом значений, связанным с аналитической погрешностью (А) и смещением точек опробования от исходных точек с учетом ошибки позиционирования (Б)

Наггет- эффект составляет 57% от порога, то есть пространственные зависимости описывают 43% от общей дисперсии. Анизотропия для участка не выражена.

Моделирование пространственных распределений содержания гумуса и оценивание вариограмм для этих данных показывает, что учет аналитической погрешности приводит к большему многообразию вариограмм, нежели смещение координат точек опробования. Так, на рисунке 3 можно видеть, что интервалы значений вариограмм при разных шагах опробования примерно одинаковы во всем диапазоне учитываемых расстояний.

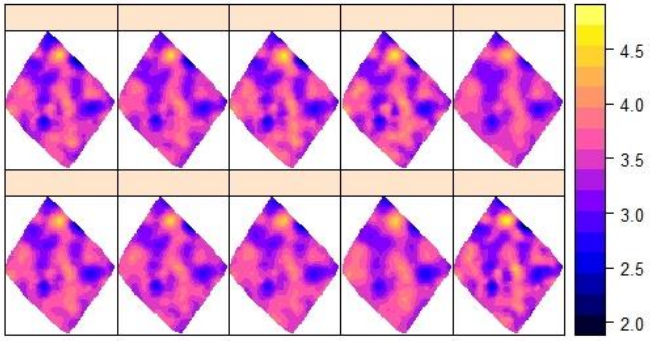


Рис. 4. Картограммы содержания гумуса, построенные для данных с добавленной аналитической погрешностью

Однако диапазон изменчивости для моделей с учетом аналитической ошибки существенно больше. При смещении координат точек общая форма вариограмм сохраняется и повторяет форму предыдущего моделирования, но диапазон изменчивости для каждого значения расстояния существенно уже.

Картограммы, построенные для разных реализаций моделирования, визуально отличаются слабо. Коэффициенты корреляции для картограмм варьируют от 0,89 до 0,99. На рисунке 4 приведены крайние варианты, для остальных реализаций картограммы практически одинаковы.

Работа выполнена в рамках государственного задания факультета почвоведения МГУ имени М.В. Ломоносова

(регистрационный номер 122090800042-2) в соответствии с распоряжением Правительства Российской Федерации № 2515-р от 2 сентября 2022 г. в целях реализации важнейшего инновационного проекта государственного значения, направленного на создание единой национальной системы мониторинга климатически активных веществ».

ВЫВОДЫ

1. Аналитическая погрешность, увеличивая наггет-эффект, практически не сказывается на структуре пространственной изменчивости содержания гумуса в слое 0-20 см для серых лесных почв Брянского ополья разной степени эродированности.
2. Смещение местоположения точек опробования в пределах ошибки позиционирования до 10 м также не приводит к заметному изменению результирующей картограммы.
3. Коэффициенты корреляции между отдельными картограммами оказываются неожиданно высокими и превышают 0,9.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ 26213-91. Почвы. Методы определения органического вещества.
2. *Hengl, T., MacMillan, R.A.,* Predictive Soil Mapping with R. OpenGeoHub foundation. 2019. Wageningen, the Netherlands, 370 pages, www.soilmapper.org, ISBN: 978-0-359-30635-0.
3. *Kempen B., Brus D., Stoorvogel J.* Three-dimensional mapping of soil organic matter content using soil type-specific depth functions. Geoderma. 2011. 162(1-2):107 – 123, DOI 10.1016/j.geoderma.2011.01.010.
4. *R Core Team* (2022). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. Available online at https://www.R-project.org/ .

УДК 631.4

Земельные ресурсы и почвенный покров Арктической зоны РФ

© 2022 г. И.С. Михайлов*

ФИЦ «Почвенный институт им. В.В. Докучаева», Россия,
119017, Москва, Пыжевский пер, 7, стр. 2,
**e-mail: is-mikhaylov@yandex. ru*

Резюме: Арктическая зона занимает пространство, прилегающее к морям Северного Ледовитого океана, и включает 5 субъектов и северные районы ещё 6 субъектов РФ. Эта территория богата запасами углеводородов и минерального сырья. Она прилегает к Северному Морскому пути. В перспективе эта территория является зоной опережающего развития. В настоящее время в зоне располагаются крупные горнодобывающие и промышленные центры. Создана система заповедников, национальных парков. Основное пространство зоны используется для отгонного оленеводства. Существуют опыты сельскохозяйственного использования земель как открытого грунта (Соловецкие острова, Хибины) и закрытого грунта (Норильск, Анадырь). В связи с потеплением климата следует ожидать расширения сельскохозяйственного использования земель зоны. Промышленное освоение Арктической зоны привело к нарушению больших площадей земель на освоенных территориях (Хибины, Норильск, Север Западной Сибири).

В Почвенном институте им. В.В. Докучаева с использованием космических материалов была создана цифровая почвенно-экологическая карта Арктической зоны РФ, отображающая характеристику и структуру почвенного покрова. Арктическая зона разделяется на три природных зоны: полярно-пустынную, тундровую и северо-таёжную. В полярно-пустынной зоне развиваются почвы-плёнки комплексные арктические почвы. арктические гидроморфные почвы.

В тундровой зоне характер почвенного покрова разнообразен и связан с особенностями почвообразующих пород, величины сезонно-талого слоя и степени дренированности территории. На равнинах значительные площади занимают глеезёмы торфянистые и торфяно-перегнойные. На наиболее дренированных участках развиваются серогумусные почвы, которые в Восточной Сибири палевыми и криоаридными почвами. Большие площади тундр занимают криозёмы торфянисто-перегнойные. Локально встречаются криотурбированные почвы. Выделяются комплексы почв в районах распространения жильных льдов в различных стадиях их эволюции. На песчаных равнинах преобладают псаммозёмы и

подбуры. По побережьям морей встречаются участки почв маршей. В горных районах преобладают гольцы - каменные россыпи и выходы коренных пород с пятнами петрозёмов.

Значительную часть северо-таёжной подзоны занимают почвы тундры. развивающиеся под редкостойнными лесами. а также подзолы иллювиально-гумусовые и иллювиально железистые. подбуры в Европейской части. В западной Сибири их замещают светлозёмы. В депрессиях могут развиваться торфяники олиготрофные и торфоглеезёмы.

Для почв Арктической зоны характерно наличие реликтовых черт, отражающих предшествовавшие этапы развития. В настоящее время в связи с изменением климата необходимо создавать прогнозы изменения почвенного покрова и его использования.

Ключевые слова: Арктическая зона Российской Федерации, цифровая почвенно-экологическая карта, почвенный покров, спутниковые данные, землепользование в Арктике

Land resources and soil cover of the Arctic zone of Russia

© 2022 I.S. Mikhailov*

Federal Research Centre "V.V. Dokuchaev Soil Science Institute", Pyzhevskiy per. 7, Moscow, 119017 Russia
** e-mail: is-mikhaylov@yandex. ru*

Abstract: The Arctic zone of Russia occupies the area adjacent to the seas of the Arctic Ocean and includes 5 subjects and the northern regions of 6 more subjects of the Russian Federation. This area is rich in hydrocarbon and mineral resources. It is adjacent to the Northern Sea Route and is expected to be the zone of priority development in the future. Currently, large mining and industrial centers are located in the Arctic zone. A system of reserves and national parks has been created. The main area is used for reindeer herding. There are experiences of agricultural land use both for traditional open-field farming (Solovki Islands, Khibiny) and greenhouse farming (Norilsk, Anadyr). In relation to the global climate warming, one should expect an expansion of the agricultural use of the Arctic. The industrial development of the Arctic zone has led to the disturbance of large areas in the developed territories (Khibiny, Norilsk, north of Western Siberia).

In the recent decade, a new vectorized soil-ecological map of the Arctic zone has been developed at the V.V. Dokuchaev Soil Science Institute with the use of modern satellite data. The map displays soil cover patterns and their major

characteristics. The Arctic zone is divided into three natural zones: polar-desert, tundra, and northern taiga. In the polar-desert zone, thin initial soil films, Arctic soil complexes, and hydromorphic Arctic soils are developed. In the tundra zone, soil cover patterns are more diverse and are associated with the characteristics of parent materials, depth of seasonal thawing, and the degree of drainage of the territory. On the plains, large areas are occupied by peat and mucky–peat gleyzems. In the most drained areas, gray-humus soils develop; in Eastern Siberia, pale-yellow (palevye) and cryoarid soils are formed in such positions. Large areas of the tundra are occupied by mucky–peat cryoarid soils. Locally, there are strongly cryoturbated soils, Soil complexes are formed in the areas with ice wedges at various stages of their evolution. Sandy plains are dominated by psammozems and podburs. Along sea coasts, there are areas of marsh soils. In the mountainous regions, bare rock outcrops and petrozems occupy considerable areas. A significant part of the northern taiga subzone is occupied by tundra soils. developing under sparse woods, as well as by humus-illuvial and iron-illuvial podzols and podburs in the European part. In western Siberia, they are replaced by svetlozems. Oligotrophic peatlands and peat gleyzems are formed in depressions.

The soils of the Arctic zone are characterized by the presence of relic features reflecting the previous stages of development. In relation to modern climate change, it is necessary to predict and take into account further changes in the soil cover and land use in the Arctic.

Keywords: Arctic zone of the Russian Federation, digital soil-ecological map, soil cover, satellite data, land use in the Arctic

ВВЕДЕНИЕ

Арктическая зона Российской Федерации (АЗРФ) сформирована согласно указу Президента РФ Владимира Владимировича Путина № 296 от 2 мая 2014 года с последующим уточнениями. Территория АЗРФ признана зоной опережающего развития. В состав АЗРФ входят субъекты РФ и северные части субъектов РФ. примыкающие к берегам морей Северного Ледовитого океана Это - Мурманская область. Ненецкий, Ямало-Ненецкий, Чукотский автономные округа; северные части республик Карелия, Коми, Саха, Архангельской области, Красноярского края. Она включает природные зоны арктических пустынь, тундры и частично северной тайги.

Этот регион является кладовой нашей страны. Здесь добывается значительная часть нефти и газа, угля. апатитов, железа, никеля, редкоземельных металлов, золота. По морям Арктической зоны походит Северный морской путь, кратчайшая дорога из

Европы в Восточную Азию. Не надо забывать об оборонном значении этого региона. На островах Диомида в Беринговом проливе находятся рядом расположенные пограничные станции РФ и США. Уже созданы крупные военные базы на Земле Франца-Иосифа и Новосибирских островах. Всё это требует привлечения в Арктическую зону больших человеческих ресурсов и обеспечения их нормальной жизнедеятельности, несмотря на суровые природные условия. Длительная полярная ночь, низкие температуры, сильные ветра сильно осложняют жизнь в этом регионе. Также неблагоприятным фактором является распространение многолетних мёрзлых пород на всей территории Арктической зоны за исключением Мурманской области и Карелии.

Начавшийся процесс потепления может привести для этого региона улучшение условий жизни. Футурологи предполагают, что к концу этого века основными производителями продовольствия будут северные районы Сибири и Канады. К этому сценарию мы должны быть готовы.

ФИЗИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ЗЕМЛЕПОЛЬЗОВАНИЯ В АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЕ

Около 5% всей территории Арктической зоны покрыто ледниками. Это ледниковые купола Земли Франца Иосифа, ледовый массив Новой Земли, ледники Северной Земли, купола островов Делонга. Каровые ледники в горах Чукотки, Верхоянского хребта, хребта Черского. Не следует ожидать существенного сокращения площади ледников. так как они накопили большие запасы холода. В настоящее время имеют отрицательный тепловой баланс, как показали наши исследования на леднике Ленинградский на Северной Земле.

Около 40% территории занимают горы и возвышенности, сложенные плотными изверженными и осадочными породами - гольцы, покрытые каменными россыпями с очень редкой растительностью. Горы разделены межгорными долинами, где условия микроклимата позволяют развиваться биоценозам, более продуктивным, чем на равнинах.

Равнины Арктической зоны занимают большую часть её территории. Это остатки обширной равнины, которая располагалась на

месте шельфа севера Евразии в плейстоцене. Большая часть равнин содержит полигональные жильные льды и подвержена действию термокарста. Обширные площади заняты подгорными шлейфами и древними дельтами сложенными породами лёгкого механического состава с дриадово-лишайниковой тундрой. Эти земли используются для отгонного оленеводства. К сожалению, эта отрасль использования земель угасает. В 1990 году количество домашних оленей составляло 2,3 млн. голов. К 2000 году их количество сократилось вдвое до 1,2 млн. голов. Есть надежда на их восстановление. В 2010 году их поголовье увеличилось до 1,5 млн. голов. Если улучшить быт пастухов оленьих стад, оснастить их современной техникой, то можно ожидать увеличения получения мясной продукции в этой зоне.

К сожалению, развитию оленеводства препятствует быстрое увеличение площади нарушенных земель. возведение объектов инфраструктуры. Основные массивы нарушенных земель возникают в районах интенсивной нефте-газодобычи в Западной Сибири, угледобычи в Воркутинском бассейне. В районе Норильского и Хибинского промышленных узлов. эти нарушения сказываются также на экологическом состоянии всей Арктической зоны.

Большие площади на территории Арктической зоны являются природоохранными землями. Это - заповедники: Центрально-Сибирский, Большой Арктический, Устьленский, Острова Врангеля, Национальный парк Русская Арктика. Но их недостаточно для такой обширной и легко ранимой территории, как Арктическая зона. Необходимо провести земельный кадастр всей Арктической зоны.

Сельскохозяйственное использование земель Арктической зоны в настоящее время незначительно. Ещё с XVII века монахи Соловецкого монастыря использовали прилегающие земли для выращивания сельскохозяйственных культур. В 30-е годы прошлого века при освоении Хибинских месторождений возникло подсобное хозяйство Хибинского комбината, впоследствии совхоз Полярный. В конце прошлого века это предприятие было высокорентабельным, предприятием, производившим овощи и корма. Урожайность этого предприятия была значительно выше, чем средние показатели по областям, расположенным южнее Новгородской и

Псковской. Нужно отметить успехи Норильского тепличного комбината, снабжавшего норильчан свежими овощами и зеленью.

Нужно отметить, что в условиях Арктики при наличии полярного дня суммарное количество солнечной радиации в два раза превышает эту величину для Москвы. Цветковые растения в Высокой Арктике проходят полный цикл развития за 25-35 дней вегетационного периода. Безусловно проблемы освоения Арктической зоны требуют ещё физиологических и генетических исследований. Существуют методы развития полезных растений в закрытых помещениях для космических экспедиций. Эти методы могут внедрены в условиях Арктической зоны. Почвы этой территории пригодны для использования в тепличном хозяйстве. Автор выращивал в закрытом помещении на Северной Земле огурцы и помидоры, используя местную почву.

НОВАЯ ПОЧВЕННО-ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ КАРТА АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЫ

В Почвенном институте им. В.В. Докучаева в течение 2008 - 2021 годов была создана цифровая векторизованная почвенно-экологическая карта Арктической зоны РФ на основе космических материалов, где показан почвенный покров и экологическое состояние этой территории.

В пределах Арктической зоны выделяются три ландшафтные зоны: арктическая, или полярно-пустынная, тундровая, северо-таёжная. Местами с юга заходят участки средне-таёжной зоны.

В арктической природной зоне в наиболее суровых условиях развиваются почвы-плёнки, образованные сине-зелёными водорослями, которые можно отнести к пелозёмам. К югу в защищённых от ветра местах появляются куртины цветковых растений. Под ними образуются "карманы" почв с грубогумусовым горизонтом и клиновидным гумусовым горизонтом. С плакорных участков снег зимой сдувается. Весной поверхность покрывается сетью трещин усыхания похожих на такыры. Борта трещин осыпаются и постепенно осваиваются моховой растительностью с включением цветковых растений. Мощность сезонного талого слоя под растительной дерниной меньше, чем вне неё. В углублениях сезонного талого слоя скапливается вода. При замерзании осенью происходит

пучение полигонов. Растительность на приподнятых полигонах срезается зимними метелями. Возникает устойчивая экосистема микрополигональных почв. Е.Н. Иванова на основании исследований автора отнесла эти почвы к типу арктических. Название не вполне удачное. Аналогичные почвы были обнаружены в Антарктике и на высоких плато Центральной Азии. Эти почвы содержат до 3% гумуса, нейтральную реакцию, насыщенный поглощающий комплекс, полное отсутствие оглеения. Существует и другая точка зрения на эти почвы. Их рассматривают как нанокомплекс почв трещин и пятен, что на мой взгляд неприемлемо, так как данная почва является единой экологической системой.

Большие площади занимают почвы склонов, орошаемые водами тающих летом снежников. Они представляют собой полосчатые тундры, покрытые моховой растительностью с включением цветковых растений. По их поверхности с начала таяния до осени движется вода с тающих снежников. Почвы насыщены влагой, но никаких признаков оглеения не обнаружено. Это связано с низкими температурами талых вод и большом содержании них кислорода. Аналогичные почвы были встречены и в тундровой зоне на шлейфах гор.

Тундровая зона. В середине прошлого века были выделен тип тундровых глеевых почв. Как показывают исследования последних лет, глеезёмы широко распространены в тундре, но не являются доминирующими, за исключением областей преобладающего тектонического опускания, где происходит застой влаги. Глеезёмов в тундре не больше, чем таёжной зоне. Среди глеезёмов наиболее распространён тип глеезёмов криометаморфических.

В наиболее дренированных участках под злаковой растительностью развиваются почвы с хорошо выраженным гумусовым горизонтом. Эти почвы относят к типу дерновых (серогумусовых) тундровых почв. Схожими с этим типом являются криоаридные почвы, встречающиеся только в наиболее аридный районах Сибири и отличающиеся наличием карбонатного горизонта. К этой же группе почв относятся и палевые метаморфические почвы, которые могут быть как карбонатными, так и бескарбонатными.

Значительные площади в тундре занимают криозёмы. В зарубежным классификациях термин Cryosols употребляется как обозначение почв, развивающихся на многолетних мёрзлых породах.

Такое широкое понимание этого термина существует у многих наших исследователей. Существует точка зрения. ограничивающая понятие криозём только гидроморфными почвами тундры, не имеющих признаков оглеения. Такие почвы широко распространены на равнинах в восточносибирской провинции.

Локально на понижениях и на поймах рек встречаются криотурбированные почвы, которые бывают влагонасыщенными. Во время осеннего замерзания над мерзлотой возникают напряжения и почвенная суспеензия выливается и замерзает. На поверхности возникают хаотические пятнистые комплексы.

Особого внимания заслуживает *почвенный покров регионов распространения полигонально-жильных льдов*. В стадии развития они представляют правильные тетрагоны размером 20-30 м, разделённые узкими полосками вершин ледяных жил. Вершины жил перекрыты моховой дерниной. В то время как плоскости полигонов залиты водой, под которой развивают глеезёмы или криозёмы. При деградации ледяных жил происходит трансформация почвенного покрова. На месте ледяных жил возникают цепочки озерец - челбаков, а середины полигонов просыхают. На них развиваются криозёмы. Дальнейшая эволюция приводит к формированию бугров - байджарахов, которые постепенно эволюционируют в бугристую тундру с преобладанием криозёмов.

На участках, где почвы до осеннего замерзания остаются насыщенными влагой: поймы рек. замкнутые котловины развиваются криотурбированные почвы. При смыкании сезонного мерзлого слоя образуются большие напряжения почвенная суспензия выливается на поверхность и замерзает. Автор наблюдал это явление на острове Фаддеевский в октябре 1959 г.

Большие площади на равнинах занимают почвы на песках под лишайниковой или дриадовой тундрой. Среди них преобладают псаммозёмы криометаморфические. Также значительные площади занимают подбуры. Исключение составляет песчаная равнина Земли Бунге. заливаемая морем во время приливов и ветровых нагонов. Там развиваются псаммозёмы солончаковатые. По побережьям морей у низменных берегов развиваются лайды - отмели, заливаемые водами морских приливов, где формируются почвы маршей.

В горных регионах тундры преобладают гольцы каменные россыпи, выходы коренных пород с пятнами петрозёмов и литозёмов. Шлейфы гор занимают полосчатые тундры. орошаемые водами снежников и ледников. Их занимают гидроморфные неглеевые почвы (криозёмы).

В подзоне северной тайги по разреженной лесной растительностью развиваются почвы. близкие к тундровым. криозёмы криометаморфические. глеезёмы. На участках с хорошим дренажем могут существовать подзолы иллювиально- гумусовые и иллювиально-железистые, подбуры. За Уралом на хорошо дренированных плакорных участках выделяются светлозёмы. По всей подзоне выделяются большие площади болотных ландшафтов с торфяниками олиготрофными и глеезёмами торфяными. На плохо дренированных равнинах преобладают глееподзолистые почвы.

Для почв Арктической зоны характерно наличие в профиле реликтовых черт, сохранившихся от предыдущих эпох голоцена и даже плейстоцена и их несоответствие актуальным биоклиматическим показателям. Даже их относительно высокое содержание гумуса является наследием прошедших эпох. Но среди стабильных почв выделяются участки нестабильные, подверженные быстрой эволюции. Это участки деградирующих тетрагональных болот и подверженные процессам криотурбации.

В связи с наступившим этапом потепления климата необходимо прогнозировать изменения почвенного покрова и его использования. Новая почвенно-экологическая карта АЗРФ может служить основой для прогнозирования и принятия решений в области рационального использования и охраны земельных ресурсов этого обширного и стратегически важного региона.

УДК 631.4

Структура почвенного покрова Лесной опытной дача РГАУ-МСХА имени К.А.Тимирязева

© 2022г. В.Д. Наумов, Н.Л. Каменных, А.П. Поличевская, К.А. Шмакова

Российский государственный аграрный университет- Московская сельскохозяйственная академия имени К.А.Тимирязева 127434, Москва, Тимирязевская ул. 49

**solnaumov@yandex.ru*

Резюме: Рост и развитие древесных растений во многом определяется почвенными условиями, но и растения также оказывают влияние на формирование почв, что определяет характер и интенсивность почвообразовательных процессов. Специфической особенностью дерново-подзолистых почв ЛОД является мощный гумусовый горизонт, который часто подразделяется на два-три подгоризонта, высокое содержание гумуса, глубокое залегания подзолистого горизонта. Средняя мощность гумусового горизонта составляет 24-33 см, в отдельных профилях достигает 53 см, а с горизонтом А1А2-64 см. Почвы ЛОД РГАУ-МСХА, отличаются большой глубиной залегания элювиального горизонта, нижняя граница которого достигает глубину 55-65 см. Эти особенности дерново-подзолистых почв ЛОД отражают специфику проявления дернового и подзолистого почвообразовательных процессов, характеристику элементарных почвенных ареалов, а, следовательно, и СПП.

Ключевые слова: дерново-подзолистые почвы, древесные растения, гумусовый и подзолистый горизонты, структура почвенного покрова.

The structure of the soil covers of the Forest experimental dacha RGAU-MSHA named after K.A. Timiryazev

© 2022. V.D. Naumov, N.L. Kamennykh, A.P. Polichevskaya, K.A. Shmakova

Russian State Agrarian University - Moscow Agricultural Academy named after K.A. Timiryazev 49 Timiryazevskaya str., Moscow, 127434.Russian Federation,

**e-mail: naumovsol@yandex.ru*

Abstract: The growth and development of woody plants is largely determined by soil conditions, but plants also influence the formation of soils, which determines the nature and intensity of soil-forming processes. A specific feature of the sod-podzolic soils of the LOD is a powerful humus horizon, which is often divided into two or three subhorizons, high humus content, deep occurrence of the podzolic horizon. The average thickness of the humus horizon is 24-33 cm, in some profiles reaches 53 cm, and with the A1A2 horizon-64 cm. The soils of the LOD RGAU- MSHA are characterized by a large depth of the eluvial horizon, the lower boundary of which reaches a depth of 55-65 cm. These features of sod-podzolic soils of LOD reflect the specifics of the manifestation of sod and podzolic soil-forming processes, the characteristics of elementary soil areas, and, consequently, SPP.

Keywords: sod-podzolic soils, woody plants, humus and podzolic horizons, soil cover structure.

ВВЕДЕНИЕ

В.В. Докучаев указывал на важность изучения влияния отдельных древесных пород на почву и считал, что в одинаковых климатических условиях под различными древесными породами формируются неодинаковые почвы (Ремезов,1965). О роли влияния отдельных древесных пород на свойства почв опубликовано значительное количество работ (М.Е. Ткаченко, 1939; Н.Г. Ремезов, 1953; С.В. Зонн, 1954); Б.Д. Зайцев, 1964, Г.В. Демин, 1997, Л.О. Карпачевский,1997, К.А. Гаврилов, 2000 и т.д.). В настоящее время исследователи по-разному оценивают влияние древесной растительности на почву. Л.О. Карпачевский и М.Н. Строганова (2006) ставят вопрос о том, что является первичным: изменение почв под влиянием древесной растительности, или, наоборот, происходит дифференциация древесной растительного в зависимости от свойств почв. При этом Л.О. Карпачевский (1996) выделяет два аспекта изучения влияния древесных пород на почвообразование: 1) влияние древесных растений в чистых насаждениях; 2) суммарное влияние в смешанных древесных насаждениях. В работах К.А. Гаврилова (2000), Г.В. Демина (1997) подтверждено, что при прочих равных условиях (климат, положение на рельефе, генезис и гранулометрических состав почвообразующей породы) наблюдается существенная разница в морфологии и химических свойствах почвы под различными лесными культурами. М.И. Герасимова, Л.Б. Исаченкова (2008),

Л.О. Карпачевский (1981), Ю.П. Демаков, А.В. Исаев (2009), В.Д. Наумов, А.Н. Поляков (2009) отмечают, что под влиянием древесных растений в почве происходит изменение тех признаков, которые характеризуют современное течение почвообразования, отражающееся на динамических свойствах почв: величине pH, степени насыщенности основаниями, биогенном накоплении некоторых зольных элементов и т.д. Анализ литературы показывает, что по вопросу о влиянии древесных растений на почву в настоящее время имеются различные мнения. Дискуссионным остается вопрос: древесные ли растения изменяют свойства почв, исходя из своих потребностей для роста и развития, или же почвенные условия определяют видовой состав древесных растений. Для исследования влияния различных по составу и происхождению древостоев на почвенный покров была выбрана территория Лесной опытной дачи (ЛОД) РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Лесная опытная дача (ЛОД), представляет собой научный стационар и образовательный полигон площадью 232,3 га на территории г. Москвы. В лесном массиве ведутся многолетние периодические (через 10-15 лет) наблюдения за ростом, строением и продуктивностью древостоев, а также оценивается их влияние на окружающую среду. Организация территории ЛОД связана с именем известного учёного-лесовода графа А.Р. Варгаса де Бедемара, который в 1863 г. провёл первое лесоустройство. Лесой массив был разбит на 14 кварталов с описанием в них насаждений и закладкой постоянных пробных площадей. В дальнейшем учёными-лесоводами Петровской и Тимирязевской академии В.Т. Собичевским, М.К. Турским, Н.С. Нестеровым, В.П. Тимофеевым, Г.Р. Эйтингеном, А.Н. Поляковыми др. продолжались наблюдения за естественно формирующимися древостоями и лесными культурами разного смешения и густоты. Всего в насаждениях было заложено156 пробных площадей, на которых уже более 150 лет ведутся регулярные наблюдения. Учитывая длительность выращивания леса, данная территория имеет неоценимое научное и производственное значение, поскольку представляет возможность проводить обобщения,

проверенные временем и исключающие ошибки, возникающие при краткосрочных исследованиях.

Территория объекта расположена в пределах Центрально-московского структурно-геоморфологического блока, представляющего собой пологое куполообразное поднятие изометрических очертаний. Интересной особенностью территории ЛОД является отсутствие «покровных» отложений (суглинков) верхнего плейстоцена, весьма характерных для остальной части города, за исключением восточной его части (В.Д. Наумов, А.Н. Поляков, 2009). Рельеф территории ЛОД - моренно-равнинный. Почвообразующие породы представлены моренными отложениями различного гранулометрического состава.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Почвенное обследование территории ЛОД связана с работами А.Р. Варгаса де Бедемара (1863), С.К. Соловьева (1889), И.П. Гречина (1955). Исследования почвенного покрова Лесной опытной дачи, начатые В.Д. Наумовым в начале 90-х годов прошлого столетия, в которых принимали участие Н.П. Сорокина, В.М. Градусов, Н.Л. Каменных и др. показали, что с момента последнего изучения почв в 1955 году почвенный покров ЛОД изменился. Преобладающими почвами на территории ЛОД были дерново-среднеподзолистые почвы с различной мощностью дернового горизонта, сформировавшаяся на мореном суглинке. По данным И.П. Гречина они занимали более 70% ее территории. Дерново - слабо и среднеподзолистые почвы с различной мощностью дернового горизонта, сформировавшиеся на песке и супеси, встречались в 12 из 14 кварталов ЛОД, однако их площадь была небольшая. Дерново-средне- и сильноподзолистые, преимущественно слабо- и среднедерновые глееватые почвы на суглинке составляли совсем небольшую площадь на территории ЛОД, около 5%. В настоящее время процесс оглеения проявляется почти во всех профилях дерново-подзолистых почв, что связано, прежде всего, с нарушением гидрологического режима территории ЛОД, что грозит существованию древостоев на уникальной природной лаборатории. Исследования показали, что специфической особенностью дерново-подзолистых почв ЛОД является мощный гумусовый горизонт, который часто подразделяется на два-три подгоризонта, высокое содержание гумуса,

глубокое залегания подзолистого горизонта. Средняя мощность гумусово-элювиального горизонта составляет 24-33 см, в отдельных профилях достигает 53 см, а с горизонтом А1А2-64 см. Почвы ЛОД РГАУ- МСХА, отличаются большой глубиной залегания элювиального горизонта, нижняя граница которого достигает глубину 55-65 см. Эти особенности дерново-подзолистых почв ЛОД не позволяют отразить специфику проявления дернового и подзолистого почвообразовательных процессов, более корректно оценить характеристику элементарных почвенных ареалов, а, следовательно, и СПП на данной территории при использовании «Классификация и диагностика почв СССР» (1977). Не снимают эти проблемы и более поздние классификации 1997, 2004 годов. В связи с этим в классификационное название дерново-подзолистых почв при оценке интенсивности проявления дернового почвообразовательного процесса были внести следующие поправки: а) по мощности гумусового горизонта выделять виды: крайне мелкие - Пд1 (А1 - <10 см), мелкие - Пд2 (А1 - 10-15 см), слабодерновые – Пд3 (А1– 15-20 см), среднедерновые – Пд4 (А1- 20-25 см), мощнодерновые – Пд5 (А1- 25-35 см), глубокодерновые – Пд6 (А1 - >35 см). Оценку проявления подзолистого процесса проводили в соответствии с действующими классификациями по нижней границе подзолистого горизонта (А2): поверхностно-подзолистые - А21 (<10 см), мелкоподзолистые - А22 (10-20 см), неглубокоподзолистые А23(20-30 см), глубокоподзолистые А24 (30-40см), добавив градацию сверхглубокоподзолистые А25(> 40 см). Считаем важным в действующую классификацию дерново-подзолистых почв дополнительно добавить в градацию вида мощность и интенсивность проявления подзолистого процесса: А21- слабоподзолистые (выражен пятнами, не более 5 см), А22- среднеподзолистые (5-15 см, сплошной, плитчато-комковатой, плитчатый структуры), А23 – сильноподзолистые (более 15 см, сплошной, рассыпчато-листоватой или чешуйчатой структуры). Используя эту редакцию классификационное название дерново-подзолистой почвы будет: дерново-подзолистая среднедерновая глубо-сильноподзолистая легкосуглинистая на моренном среднем суглинке. Индекс: ПД 4-4/3лсМс.

Формирование почвенных комбинаций по Фридланду (1972) определяется тремя основными причинами: рельеф, почвообразующие породы, растительность. Однако к этим трем основным

факторам, определяющим СПП, в таежно-лесной зоне можно добавить и такие факторы как климатические, гидрологические и антропогенные условия. Для южной зоны таежно-лесной области, где основным зональным типом будут дерново-подзолистые почвы, СПП покрова формируется под влиянием, прежде всего трех почвообразовательных процессов: подзолистый, дерновый и глеевый, которые в разный сочетаниях, с разной степенью интенсивности будут определять неоднородность, пестроту почвенного покрова.

На формирование почвенного покрова значительное влияние оказывает рельеф местности. Лесная опытная дача расположена на плоском водораздельном моренном холме с очень пологим склоном на юго-запад (в среднем на 1 погонный метр приходится 0,01 м падения) и с более крутым склоном на северо-восток. Наиболее высокая часть этого холма составляет 175 м над уровнем моря и находится посередине между VII и XI кварталами. Самая низкая часть составляет 160 м над уровнем моря и находится в северной части ЛОД на территории I и III кварталов. Рельеф представлен сочетанием среднеплейстоценовых, поздне-среднеплейстоценовых и позднеплейстоцен-голоценовых генетических типов поверхностей, которые образовались в результате процессов аккумуляции отложений ледника и потоков талых ледниковых вод. Уровень грунтовых вод при средней высоте 166 м находится на глубине 5 м. При высоте 172 м - на глубине 10 м. На поверхность грунтовые воды выходят при высоте 162 м над уровнем моря, например, в виде ключей - истоков реки Жабинки, а также в заболоченном участке первого квартала (В.Д. Наумов, Н.Л. каменных, 2020). Карта геоморфологических условий отражает информацию (местоположение, размеры, характер поверхности) о выделяемых на территории элементах мезорельефа, сформированных в результате проявления на ней различных геологических процессов. Водораздельные поверхности, расположенные на территории ЛОД ТСХА повсеместно занимают площадь - 108,3 га они характеризуются минимальными уклонами поверхности. Так же на территории присутствуют склоны различной формы и крутизны: выпуклые 1-2°, занимают площадь- 20,5 га, выпуклые 2-3° (1,2 га), прямые 1-2° (13,2 га), прямые 2-3° (20,4 га). На Рис.1,2,3,4 представлены характеристики геоморфологических условий территории ЛОД. На территории ЛОД преобладают несклоновые земли, занимающие площадь в 213,9 га.

Склоны крутизной 1-2° занимают площадь в 39,3 га и расположены в центральной и западной частях территории исследования. Склоны крутизной 2-3° занимают площадь в 26,8 га и расположены малыми ареалами в центральной части ЛОД. Северную склоновую часть территории представляют выпуклые склоны, которые занимают площадь 26,8 га. Прямые склоны располагаются в центре территории исследования повсеместно (39,7 га), в их нижней части почвы будут относительно более увлажнены. По карте экспозиции преобладают холодные склоны - 50,7 га, над теплыми экспозициями, занимающие 15,4 га.

Представленная территория характеризуется значительной пространственной неоднородностью литологических условий. Вершина холма, некоторая часть склонов и равнинных территорий занята суглинистыми почвами на флювиогляциальных песках и опесчаненном мореном суглинке, остальные склоновые и равнинные участки - суглинистыми почвами на суглинистой морене. Почвы супесчаные на флювиогляциальных песках занимают склоновую часть и понижения в северо-западной и западной частях окраины ЛОД. Таким образом литолого - геоморфологические условия создают значительную неоднородность почвенного покрова и лесорастительных условий.

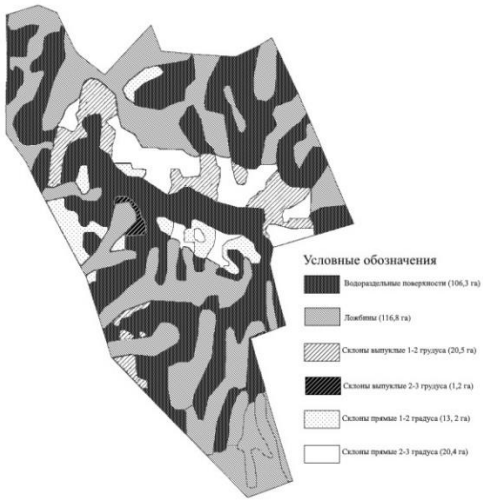


Рис.1. Карта геоморфологических условий

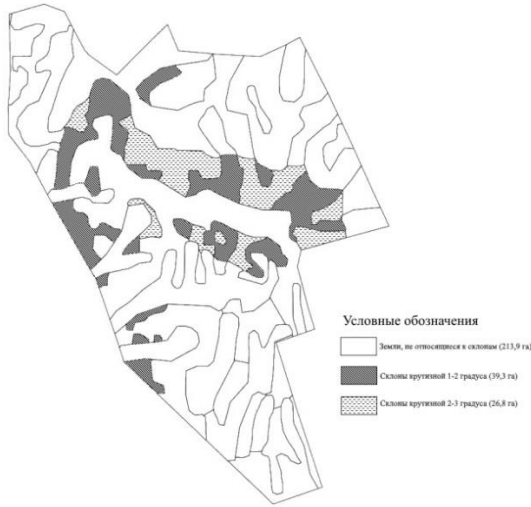


Рис.2. Карта крутизны склонов

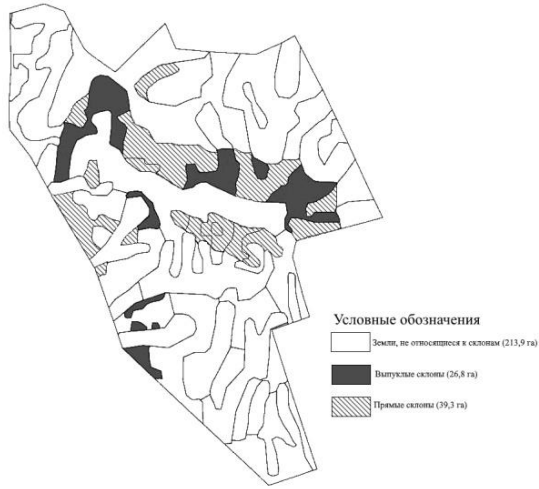


Рис. 3. Карта форм склонов

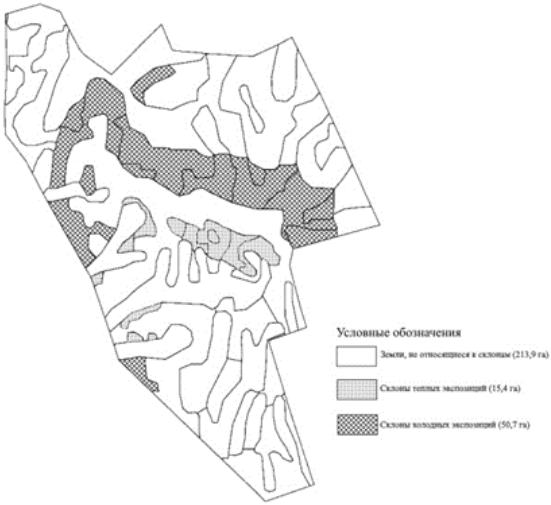


Рис. 4. Карта экспозиции склонов

Для дерново-среднеподзолистых почв с различной мощностью дернового горизонта, формирующихся на мореном суглинке, древесная растительность представлена сложными сосняками, травянистый покров состоит из зеленчука (Galeobdolonluteum), земляники (Fragariavesca), сныти (Aegopodiumpodagraria), малины (Rubusideus). Для дерново - слабо и среднеподзолистых почвы с различной мощностью дернового горизонта, сформировавшиеся на песке и супеси, типичен сплошной травянистый покров с преобладанием злаков - мятлика лугового (Poapratensis), полевица (Agrostis), реже встречаются клевер белый (Trifoliumrepens), подорожник (Plantago), лютик едкий (Ranunculusacris). Для дерново-средне- и сильноподзолистых почв с разной глубиной оглеения, формирующихся на моренных суглинистых отложениях характерна следующая растительность: первый ярус - сосна, второй ярус - дуб, подлесок-рябина и травянистая растительность представлена злаками (В.М. Градусов и др., 2007; В.Д. Наумов, А.Н. Поляков 2009).

По гранулометрическому составу почвы ЛОД неоднородны. Большую часть территории занимают почвы легкосуглинистого состава, занимают площадь 144,2 га, расположены повсеместно, в кварталах II, IV, V, VI, VII, XII, XIII, XIV. Почвы

среднесуглинистого состава, занимают площадь-66,6 га, расположены в III квартале, на севере IV квартала, на западе VIII, IX, X, XI кварталов и на юго-западе XIV квартала. Почвы супесчаного гранулометрического состава, встречаются на востоке VIII квартала, юго-востоке IV квартала, редко в VII квартале и на востоке IX квартала и занимают площадь 16,4 га. В западной части IX квартала небольшим массивом площадью 5,6 га представлен тяжелосуглинистый гранулометрический состав почв.

Исследования показали, что почвы, сформировавшиеся, на легкосуглинистых моренных отложениях - самая распространенная группа почв, к ней относится 56 разрезов. Большинство разрезов имеют мощнодерновый гумусовый горизонт, по глубине проявления подзолистого процесса—глубоко и сверхглубокоподзолистые, когда горизонт А2 доходит до глубины 45 см., по интенсивности проявления-сильноподзолистые. Гранулометрический состав в основном легко и среднесуглинистый. Преобладают почвы глубокоглееватые и профильно- глееватые, 9 разрезов не имеют оглеения. Вторая по численности группа почв сформирована на супесчаных моренных отложениях. Мощность гумусового горизонта очень разнообразна, под насаждениями различного состава, встречаются почвы от крайне мелких до глубокодерновых, преобладают мощнодерновые почвы. Нижняя граница подзолистого горизонта начинается с глубины >15 см и достигают 30-45 см. По гранулометрическому составу почвы- супесчаные и суглинистые. По проявлению процесса оглеения, большинство профильно-глееватые, в этой группе почв только 3 разреза без оглеения. Группа почв, формирующихся на песчаных отложениях, самая малочисленная. Гумусовый горизонт имеет различную мощность: выделены почвы мощно- и глубокодерновые. Все почвы относятся к виду и глубоко-сверхглубокоподзолистые, сильноподзолистые, по процессу оглеения - профильно-глееватые, гранулометрический состав-легкосуглинистый.

За последние 300 лет состав древесных насаждений и характер леса на территории ЛОД существенно изменился. Это вызвано, главным образом, хозяйственной деятельностью человека. В настоящее время площадь хвойных насаждений (51%) почти сравнялась с площадью лиственных (49%) (А.Н. Поляков, 2003).

Для установления связей между составом древостоя различного породного состава и свойствами почв, была произведена группировка растений. Выделено 4 группы древостоев (чистые хвойные, чисто лиственные, смешанные древостои с преобладанием хвойных и смешанные древостои с преобладанием лиственных пород) (Табл. 1)

Чистые хвойные древостои приурочены к территории III квартала (Е), IV квартала (Е, Б) V квартала (85, Ж), VI квартала (Е), VII квартала (П, Р), X квартала (Т) и XI квартала (Г*, К, Г). Для III, IV и VI квартала характерно преобладание сосны в древостоях с единичными включениями липы, клена, березы. В составе древостоев других участков преобладает лиственница, единично отмечены липа, дуб и береза. Для пробных площадей Е III квартала, Б IV квартала, П VII квартала отличительной чертой является наличие 2 яруса смешанных древостоев с преобладанием лиственных пород.

Чистые лиственные древостои представлены в III квартале (4), VI квартале (Ъ, 13), VIII квартале (3, О), XI1 квартале (Е), XIII квартале (8, Зе) и XIV квартале (1). В VI квартале выявлено преобладание березы в составе насаждений с 10% примеси липы, клена и дуба. Для III, VIII (О) и XI кварталов характерно преобладание дуба. VIII (З) и XIII (Зе) кварталы отличаются преобладанием липы в составе древостоев. Ива превалирует в составе насаждений XIII (8) и XIV кварталов с примесью вяза и дуба. Второй ярус древостоев, представленных смешанными лиственными насаждениями, выявлен в VIII и XIII кварталах.

Смешанные древостои с преобладанием хвойных пород распространены повсеместно на территории Лесной опытной дачи, на участках VI, VII и XIII кварталов. Преобладающей породой является сосна, реже лиственница. Примесь лиственных пород представлена в основном березой, дубом и кленом. Смешанные древостои с преобладанием лиственных пород также распространены равномерно по всей территории ЛОД. Большее число таких древостоев отмечено во II и XI кварталах. Преобладающими породами являются дуб и береза, в меньшей степени распространены липа и клен. Встречаются сосна, липа и ива.

Таблица 1. Группировка пробных площадей по составу древостоя.

Чистые насаждения					
хвойные			лиственные		
Квартал	Пробная площадь	Состав древостоя	Квартал	Пробная площадь	Состав древостоя
1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**
III	Е	I-10С ед.Б, Лп II-7Д3Кл ед.Лп,В			
IV	Е	9С1Лп,Кл ед.Б,Д,В	III	4	9Д1Лп
IV	Б	I-9С1Лп ед. Кл II-6Кл2Лп2Д	VI	Ъ	9Б1Лп,Д
			VI	13	9Б1Кл
V	85	10Л+Лп	VIII	З	10Лп
V	Ж	10Л ед.Д	VIII	О	I-10Д ед.Лп II-10Лп ед.Кл
VI	Е	9С1Кл ед.Лп			
VII	П	I-10Л+В ед.Б II-6В3Кл1Лп+Б	XI	Е	9Д1Лп ед.С,В 10ИВД
			XIII	8	
VII	Р	10Л+Лп	XIII	Зе	I-9Лп1Д ед.С II-6Лп3В1Кл
X	Т	10Л ед.Д,Б			
XI	Г*	10Л+Лп ед.Д	XIV	1	9Ив1Д ед. В,Б,Кл,О
XI	К	10Л+Лп			
XI	Г	10Л+Лп ед.Д			
Смешанные насаждения с преобладанием					
хвойных			лиственных		
Квартал	Пробная площадь	Состав древостоя	Квартал	Пробная площадь	Состав древостоя
III	6	5С4В1Б ед. Лп,К, О	II	1	8Б2Ед.Лп
III	1	6С4Д ед.Лп, Кл, О	II	2	6Б3Д1Лп ед.Ос
IV	2*	5С3Д2Л+Б,Лп, ед. Е	II	3	5Лп4С1Б ед.Ос
IV	Ъ	8С1Лп1Д ед.Б,Кл	II	4	8Д2С ед.Лп
V	М4	5С5Б ед.Д,Лп	III	5	7Д3С ед. Лп,Кл,С
V	У	6Л3Б1Кл ед.С,Д	III	2	6Д3Лп1С ед.Кл,С
VI	П	5С2Б1Лп1В1Д,Кл,Е	IV	Ш	4С6Б ед.В,Кл,Д
VI	Б	8С1Лп1Д,Кл ед. Б	V	В	4С6Лп
VI	15	5С5Лп ед.Д,В	VI	С	5Б3С1В1Д ед. Кл
VII	Е	I- 6Л2Кл1С1Лп ед.В II- 8Кл1Лп1В ед.Б	VIII	Т1	4Кл2Л2Б2Д
			VIII	Н	8Д2Лп ед.С
VII	С	8Л2Лп	X	4	5Б2Кл2В1Д ед.С
VII	К	I- 8С2Кл ед.Б II- 10Кл ед. Б,Д	XI	Б2	4С6Лп ед.Б
			XI	З	5Кл4Д1Р

Продолжение таблицы 1

1	2	3	4	5	6
VIII	П	5Л5Бед.Д,Кл,В,С,Лп	XI	М	4Д5Лп1Б ед.В,Кл
X	3	I- 7Л3С ед.Лп,Е,Б II- 10Кл ед.Лп,В	XII	10	7Д3Лп ед. Кл, О
X	1	I- 8С1Б1Лп ед.Е,Д II- 8Кл2Лп +Б	XII XIII	11 5	5Б3Д1Лп1Кл ед. О
XIII	9	5Л4Б1Лп ед. Кл, О	XIV	3	8Б1Лп1КлО
XIII	7	6С3Б1Кл,О	XIV	4	8Д2Б ед. Кл,О,В
XII	6	6Л2С1Лп1Кл,О			8Д1С1Ив ед.Д,В

Исследованиями не выявлено различий в строении и свойствах почв под древостоями различного состава. При этом отмечена значительная пестрота элементарных почвенных ареалов на территории ЛОД. Почвенные комбинации представлены сочетаниями и вариациями (Рис. 5)

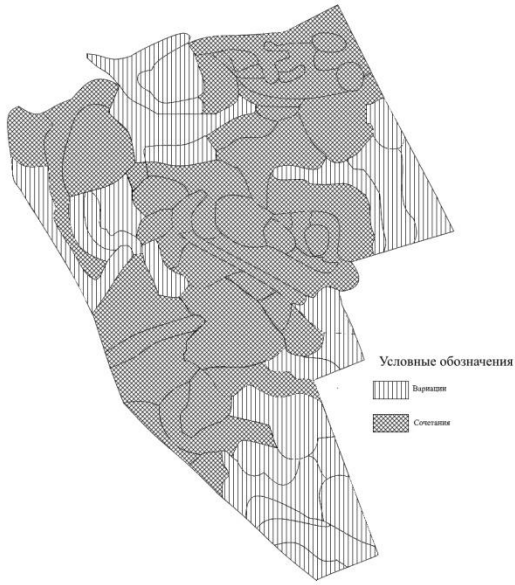


Рис.5. Структура почвенного покрова Лесной опытной дачи

ВЫВОДЫ

1. Почвенный покров ЛОД представлен дерново - подзолистыми почвами, как правило, легкосуглинистого гранулометрического состава, различающимися по проявлению дернового, подзолистого и глеевого процессов. Особенностью дерново-подзолистых почв ЛОД является мощный гумусовый горизонт, высокое содержание гумуса, глубокое залегание подзолистого горизонта, наличие в большинстве почвенных профилей оглеения.

2. Чистые хвойные насаждения представлены сосной, лиственницей с единичным участием липы, клена, дуба, березы. Чистые лиственные древостои представлены березой липой, дубом с участием вяза, ивы. Смешанные древостои с преобладанием хвойных пород распространены повсеместно на территории Лесной опытной дачи, преобладающей породой является сосна, реже лиственница. Примесь лиственных пород представлена в основном березой, дубом и кленом. Смешанные древостои с преобладанием лиственных пород представлены преимущественно дубом и березой с участием сосны, липы и ивы. По составу преобладают простые древостои, реже сложные.

3. Изучаемые группы древостоев располагаются на территории ЛОД на различных по генезису геоморфологических поверхностях, на дерново-подзолистых почвах, различающихся по мощности гумусового горизонта, интенсивности проявления и глубине залегания подзолистого горизонта, глубине проявления процесса оглеения.

4. Исследованиями не выявлено различий в строении и свойствах почв под древостоями различного состава. При этом отмечена значительная пестрота элементарных почвенных ареалов на территории ЛОД. Почвенные комбинации представлены сочетаниями и вариациями.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Варгас де Бедемар А.Р.* Таксация лесной дачи Петровской земледельческой академии: Рукописный отчет. М.: 1863. 281 с.

2. *Гаврилов К.А.* Влияние различных лесных культур на почву. – Лесное хозяйство, № 3, 2000, с. 30–37.
3. *Герасимова М.И.*, Исаченкова Л.Б. «Короткая память» дерново-подзолистых почв в лесовосстановительных сукцессиях / в книге «Память почв». М.: Издательство ЛКИ, 2008. С. 638-649.
4. *Градусов, В.М.* Структура почвенного покрова Лесной опытной дачи ТСХА. Пространственно-временная организация почвенного покрова: теоретические и прикладные аспекты / В.М. Градусов, Н.П. Сорокина, В.Д. Наумов. - Материалы междун. научн. конф. 1-3 марта 2007 года. Спб.: Изд.дом С-Петерб. Гос. ун-та, 2007. - 671 с.
5. *Гречин, И.П.* Почвы Лесной опытной дачи ТСХА //Изв.ТСХА, вып.1(11), 1957. - 127 с.
6. *Демаков Ю.П., Исаев А.В.* Динамика производительности и состава древостоев в различных экотопах заповедника «Большая Кокшага» // Научные труды государственного природного заповедника «Большая Кокшага». Вып. 4. Йошкар-Ола: МарГТУ, 2009. С. 24-67.
7. *Демин Г.В.* Влияние различных типов леса на содержание и качественный состав гумуса дерново-оподзоленных почв // Леса 22 Башкортостана: современное состояние и перспективы. Уфа, 1997 С. 118–119.
8. *Зайцев Б. Д.* Лес и почва (изд. второе), М., изд-во «Лесная промышленность», 1964. 162 с.
9. *Зонн С.В.* Влияние леса на почвы. - Москва: Изд-во Акад. наук СССР, 1954. - 160 с.: ил.; 20 см. - (Научно-популярная серия "В помощь сельскому хозяйству" / Акад. наук. СССР. Ин-т леса).
10. *Карпачевский Л.О.* Лес и лесные почвы. М.: Лесная промышленность, 1981. 264 с.
11. *Карпачевский* Л.О. Пестрота почвенного покрова в лесном биогеоценозе.М.: Изд-во МГУ, 1977 312 с.
12. *Карпачевский Л.О., Рожков В.А.*, и др. Лес, почва и лесное почвоведение // Почвоведение: выпуск 5. – М.: Изд.: Наука, 1996. – с. 586-598.
13. *Карпачевский, Л. О.*, Строганова М.Н Общие закономерности почвообразования в лесной зоне. // Почвообразование в лесных биогеоценозах, Наука, 2006. - 417 с.
14. *Наумов, В.Д.* 145 лет Лесной опытной даче РГАУ-МСХА им. К.А.Тимирязева/ В.Д. Наумов, А.Н.Поляков; под общей редакции В.Д. Наумова. М.: Изд-во РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева,2009. 512 с.
15. *Наумов В.Д., Каменных Н.Л.* Итоги экспериментальных работ на Лесной опытной даче РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева. Москва: Ай Пи Ар Медиа, 2020. — 766 с. — ISBN 978-5-4497-0626-3. — Текст: электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS: [сайт]. — URL: http://www.iprbookshop.ru/97335.html

16. *Поляков, А.Н.* Таксационно-лесоводственная характеристика пробных площадей Лесной опытной дачи МСХА/ А.Н. Поляков, В.Д. Наумов, Известия ТСХА-2003. -Выпуск №3- 176 с
17. *Ремезов Н.Г.* Лесное почвоведение. / Ремезов Н.Г., Погребняк П.С. – М.: Лесная промышленность, 1965. – 324 с.
18. *Ремезов Н.Г.* О роли леса в почвообразовании. Журн. «Почвоведение», 1953 г., Вып. № 12. с. 23-32.
19. *Соловьев С.К.* Состав почв Лесной опытной дачи//Изв. Петровской земледельческой и лесной академии. 1889. Вып. 2.
20. *Ткаченко М. Е.* Общее лесоводство/ проф. М. Е. Ткаченко, доц. А. И. Асосков, асс. В. Н. Синев; Под общей ред. проф. М. Е. Ткаченко; Утв. ВКВШ при СНК СССР в качестве учебника для лесотех. ин-тов. - Ленинград: Гослестехиздат, 1939. - 746 с.
21. *Фридланд В. М.* Структура почвенного покрова. М.: Мысль, 1972 - 394 с.

УДК 631.46

Почвенный микробиом — эффективный инструмент для понимания закономерностей географии почв полярных областей

© 2022 г. Д.А. Никитин[1*], М.В. Семенов[1], А.К. Тхакахова[1], Н.А. Ксенофонтова[1], О.В. Кутовая[1], Н.С. Мергелов[2], А.В. Долгих[2], С.В. Горячкин[2]

[1]ФИЦ «Почвенный институт им. В.В. Докучаева», Россия, 119017, Москва, Пыжевский пер, 7, стр. 2,
** dimnik90@mail.ru*
[2] Институт географии РАН, Россия, 119017, Москва, Старомонетный пер., д. 29

Резюме: Решение проблемы зональности Арктики и Антарктики требует новых подходов при исследовании всех компонентов экосистем, и, в первую очередь, биологической составляющей почв. Архипелаги Земля Франца-Иосифа (ЗФИ) и Новая Земля (НЗ) оставались практически не исследованными в биолого-почвенном аспекте. Определены физико-химические свойства, структура микробной биомассы, численность копий рибосомальных генов микроорганизмов (16S рРНК бактерий и архей, ITS рРНК грибов), таксономическое разнообразие прокариот и микромицетов в почвах ЗФИ и НЗ, а также в оазисах Антарктиды. Численность, биомасса и разнообразие микроорганизмов максимальны в поверхностных горизонтах, а все параметры биологической активности почвы резко уменьшались вниз по профилю. Показано, что интенсивность процессов почвообразования и биологическая активность почв ЗФИ и НЗ в первую очередь определяются не столько широтным положением, сколько сложившимися на них локальными условиями почвообразования, прежде всего, связанными с влиянием крупных ледников.

Ключевые слова: Земля Франца-Иосифа, Новая Земля, Антарктида, биомасса микроорганизмов, численность копий рибосомальных генов микроорганизмов, таксономическое разнообразие прокариот и микромицетов.

Soil microbiome is an effective tool for understanding patterns of soil geography in polar regions

© 2022

D.A. Nikitin[1*], M.V. Semenov[1], A.K. Tkhakakhova[1], N.A. Ksenofontova[1], O.V. Kutovaya[1], N.S. Mergelov[2], A.V. Dolgikh[2], S.V. Goryachkin[2]

[1] V.V. Dokuchaev Soil Science Institute,

7 Bld. 2 Pyzhevskiy per., Moscow 119017, Russia

[*] e-mail: dimnik90@mail.ru,

[2]Institute of Geography, Russian Academy of Sciences, Staromonetniy lane. 29, Moscow, 119017, Russia

Abstract: Solving the problem of zoning of the Arctic and Antarctic requires new approaches to study of all components of ecosystems, and, first of all, biological component of soils. The archipelagos of Franz Josef Land (FJL) and Novaya Zemlya (NZ) remained practically unexploredin the aspect of soil biology. Physicochemical properties, the structure of microbial biomass, number of copies of ribosomal genes of microorganisms (16S rRNA of bacteria and archaea, ITS rRNA fungi), taxonomic diversity of prokaryotes and micromycetes were studied in FJL and NZ soils as well as in Antarctic. Number, biomass and diversity of microorganisms have maxima in surface horizons, and all parameters of soil biological activity decrease sharply down profiles. It is shown that intensity of soil formation processes and biological activity of FJL and NZ soils are primarily determined not so much by latitudinal position as by the local conditions of soil formation that have developed on them, primarily associated with the influence of large glaciers.

Keywords: Franz Josef Land, Novaya Zemlya, Antarctica, biomass of microorganisms, number of copies of ribosomal genes of microorganisms, taxonomic diversity of prokaryotes and micromycetes.

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность изучения Арктики и Антарктики возрастает в связи с активным откликом полярных экосистем на глобальное изменение климата (Zhang et al., 2018; Никитин и др., 2021). Важной проблемой при исследовании высоких широт становится определение принадлежности региона к той или иной природной зоне (Горячкин, 2010; Никитин и др., 2020). Отличие подходов к зональности у географов, почвоведов и ботаников приводят к разной локализации границ этих зон. Поэтому поставленная проблема для полярных регионов требует комплексных исследований всех

компонентов наземных экосистем, в первую очередь, ранее неизученных почвенных микробиомов.

Земля Франца-Иосифа (ЗФИ) и север Новой Земли (НЗ) относятся к самой высокоширотной области Арктики и не изучались с 1950-х по 2010-е годы (Никитин и др., 2020, 2021). Почвы Антарктиды формируются в более экстремальных условиях (нет корневых систем). Их комплексное изучение началось с XXI века.

Для ЗФИ, НЗ и Антарктиды характерен сильно разреженный растительный покров, поэтому микроорганизмы – ведущая биота в цикле элементов и почвообразовании (Selbmann et al., 2014; Лысак и др., 2018; Никитин и др., 2020, 2021). Изучение микробиома ЗФИ и НЗ слегка касалось лишь микроскопических грибов (Кирцидели, 2015). Нет данных по микробной биомассе, численности клеток и количеству рибосомальных генов микроорганизмов для почв ЗФИ, НЗ и Антарктиды (Никитин и др., 2020, 2021, 2022; Лысак и др., 2018). Однако данные параметры нужны для оценки продуктивности экосистем, интенсивности цикла углерода и биологической активности почвы (Soong et al., 2019).

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Почвенный покров на ЗФИ представлен чередованием псаммоземов глееватых, криотурбированных, мерзлотных, брюнифицированных, серогумусовых грубогумусированных и перегнойно-грубогумусированных мерзлотных почв, криоземов глееватых, литоземов грубогумусированныхпелоземов перегнойных криотурбированных (Никитин и др., 2020). Почвенный покров севера НЗ представлен чередованием карбопетроземов, пелоземов гумусовых мерзлотных, пелоземов мерзлотных остаточно карбонатных, пелоземов глеевых мерзлотных и криоземов грубогумусовых; многие почвы сильнощебнистые (Никитин и др., 2021).

Почвы Антарктиды исследованы в оазисах Ширмахер, Холмы Тала, Холмы Ларсеманн, у мыса Беркс (ст. Русская), а также на Субантарктических островах Галиндез и Кинг-Джордж. Они относятся к Lithic Haplorthels, Typic Haploturbels, Typic Haplorthels, Aquic Haploturbels, Regoliths, Ornithosols и рапределены по группам первичных продуцентов органического вещества (Dolgikh et al.,

2015): I. Почвы с «гиполитными» органогенными горизонтами, где первичные продуценты – цианобактерии и водоросли; II. Почвы с эпиэдафическими органогенными горизонтами – моховым/лишайниковым покровом, под которыми формируются оторфованные слои; III. Оглеенные почвы с поверхностными органогенными горизонтами в виде альго-бактериальных матов; IV. Почвы без макроскопических органогенных горизонтов – «безгумусные почвы»/почвоподобные тела; V. Эндолитные почвоподобные тела на поверхности скал; VI. Субаквальные грунты.

Структура микробной биомассы определена методом люминесцентной микроскопии, а таксономический состав прокариот и микромицетов – методом посева (Звягинцев, 1991).

Число рибосомальных генов микроорганизмов оценивали методом количественной полимеразной цепной реакции (ПЦР) в реальном времени. Для учета архей и бактерий использовали праймеры на ген 16S рРНК, для учета грибов – на ITS. ПЦР проводили в амплификаторе Real-Time CFX96 Touch (“Bio-Rad”).

Таксономическая структура прокариот определена методом высокопроизводительного секвенирвания (Next Generation Sequencing: NGS) с использованием платформы Illumina MiSeq методом парно-концевого чтения (2×300 пар оснований) генерацией не менее 10000 парных прочтений на образец по последовательностям гена гипервариабельного региона V3-V4 16S рРНК. Обработка данных секвенирования проведена с использованием автоматизированного алгоритма QIIME.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Показано, что общая биомасса микроорганизмов варьировала в пределах от 15 до 922 мкг/г почвы (Табл. 1). Для большинства проанализированных почв ее значения составляли десятки и первые сотни мкг/г почвы, а наибольшие значения выявлены для редких переувлажненных биотопов ЗФИ и Антарктиды со сплошной моховой растительностью (Лысак и др., 2018; Никитин и др., 2020, 2021). В целом, НЗ характеризуется наименьшей микробной биомассой, по сравнению с другими рассмотренными территориями.

Основную часть (86-100%) биомассы микроорганизмов проанализированных почв составляли грибы, а не прокариоты (Табл. 1). Такая высокая доля грибов в почвах типична лишь для

экстремальных экосистем (Никитин и др., 2020). Минимум микобиоты выявлено в почвах ЗФИ, а максимум – в почвах севера НЗ.

Для Антарктиды обнаружена специфика в распределении микробной биомассы по почвенным профилям. Практически вся биомасса прокариот и грибов сконцентрирована в подповерхностных горизонтах на глубине 3-5(7) см, что обусловлено экстремальными климатическими факторами (Лысак и др., 2018).

Численность прокариот варьировала в широких пределах от 10^1 до 10^9 кл/г почвы (Табл. 1). Наименьшее количество прокариот характерно для почв Антарктиды, а наибольшее – для почв ЗФИ. Это может быть связано с иссушающим и охлаждающим влиянием покровного оледенения, в наибольшей степени выраженного в Антарктиде (Никитин и др., 2020).

Существенно отличалась биомасса грибов в изученных почвах. Ее значения изменялись от 12 мкг/г почвы для ЗФИ до 920 мкг/г почвы для Антарктиды (Табл. 1). Широкая вариабельность биомассы микобиоты обусловлена огромным разнообразием экологических условий на рассматриваемых территориях – от бесплодных «каменных мостовых» до сплошных альго-бактериальных матов и влажных долин с моховым покровом (Лысак и др., 2018).

Длина мицелия грибов в почвах ЗФИ, НЗ и Антарктиды была на порядок больше (1-380 м/г почвы), чем актиномицетов (0-24 м/г почвы) (Лысак и др., 2018; Никитин и др., 2020, 2021). Почвы севера НЗ характеризуется наименьшим, а почвы Антарктиды – наибольшим развитием мицелиальных организмов (Табл. 1). С увеличением глубины всех почв длина мицелия грибов и актиномицетов экспоненциально сокращалась.

Численность копий рибосомальных генов архей минимальна для ЗФИ, а бактерий и грибов – для Антарктиды. Большая часть таксонов прокариот и микроскопических грибов сходна для всех исследованных территорий, однако выявлены списки микроорганизмов, маркирующих те или иные биотопы (Лысак и др., 2018; Никитин и др., 2020, 2021, 2022).

Таблица 1. Микробиологические параметры почв ЗФИ, севера НЗ и Антарктиды.

Параметр	ЗФИ	НЗ	Антарктида
Широта	80-81° с.ш.	75-77° с.ш.	65-70° ю.ш.

Общая биомасса микроорганизмов, мкг/г почвы	15-886	23-379	48-922
Доля грибов в микробной биомассе, %	86-94	96-100	88-98
Распределения микроорганизмов по профилю	Максимум в 0-5(10) см	Максимум в 0-4(11) см	Максимум в 3-5(7) см
Численность прокариот, кл/г почвы	1.4×10^{8} -2.1×10^{9}	4.3×10^{6} - 1.6×10^{8}	3.0×10^{1} - 1.5×10^{8}
Биомасса грибов, мкг/г почвы	12-861	22-372	47-920
Длина мицелия грибов, м/г почвы	4-272	1-167	0-380
Длина мицелия актиномицетов, м/г почвы	0-23	1-24	0-10
Численность копий 16S рРНК генов архей/г почвы	$10^{5} – 10^{9}$	$10^{7} – 10^{9}$	10^{8} - 10^{9}
Численность копий 16S рРНК генов бактерий/г почвы	$10^{5} – 10^{10}$	$10^{8} – 10^{11}$	$10^{7} – 10^{8}$
Численность копий ITS рРНК генов грибов/г почвы	$10^{4} – 10^{10}$	$10^{6} – 10^{9}$	$10^{8} – 10^{10}$
Доминантные филумы прокариот	Actinobacteria, Acidobacteria, Chloroflexi, Gemmatimonadetes, Proteobacteria	Actinobacteria, Acidobacteria, Bacteroidetes, Chloroflexi, Firmicutes, Gemmatimonadetes, Proteobacteria, Verrucomicrobia	Acidobacteria, Actinobacteria, Bacteroidetes, Cyanobacteria, Firmicutes, Proteobacteria
Доминантные роды микроскопических грибов	*Cadophora, Hyphozyma, Goffeauzyma, Pseudogymnoascus, Penicillium, Thelebolus*	*Hyphozyma, Goffeauzyma, Phoma, Pseudogymnoascus, Thelebolus*	*Antarctomyces, Cadophora, Glaciozyma, Goffeauzyma, Mrakia, Phoma, Pseudogymnoascus, Thelebolus*

ВЫВОДЫ

Биомасса почвенных микроорганизмов ЗФИ, НЗ и Антарктиды практически полностью представлена грибами. В почвах Высокой Арктики микробная биомасса сконцентрирована в поверхностных, а в почвах Антарктиды – в подповерхностных горизонтах. Для всех рассмотренных территорий характерны общие таксоны прокариот и микромицетов, однако выявлены списки микроорганизмов, маркирующих те или иные биотопы. Биологическая активность почв полярных областей, в первую очередь, определяются не столько широтным положением, сколько сложившимися на них локальными условиями почвообразования, прежде всего, связанными

с влиянием крупных ледников. Поэтому почвенный микробиом может стать эффективным инструментом для понимания закономерностей географии почв полярных областей.

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы благодарят проект «Арктический плавучий университет» САФУ им. М.В. Ломоносова и лично К.С. Зайкова за организацию полевых работ на Земле Франца-Иосифа и Новой Земле.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-04-00328 (проведение микробиологических анализов), а также при поддержке проекта РНФ в рамках научного проекта № 20-17-00212.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Горячкин С.В.* Почвенный покров Севера (структура, генезис, экология, эволюция). М.: ГЕОС, 2010. 414 с.

2. *Звягинцев Д. Г.* (ред.). Методы почвенной микробиологии и биохимии. – Изд-во МГУ, 1991.

3. *Кирцидели И.Ю.* Микроскопические грибы в почвах о. Хейса (Земля Франца Иосифа) // Новости систематики низших растений. 2015. Т.49. С.151-160.

4. *Лысак Л.В., Максимова И.А., Никитин Д.А., Иванова А.Е., Кудинова А.Г., Соина В.С., Марфенина О.Е.* Микробные сообщества почв российских полярных станций Восточной Антарктиды // Вестник Московского университета. Серия 16. Биология. 2018. Т. 73. №3. С. 132-140.

5. *Никитин Д.А., Лысак Л.В., Мергелов Н.С., Долгих А.В., Зазовская Э.П., Горячкин С.В.* Микробная биомасса, запасы углерода и эмиссия CO_2 в почвах Земли Франца-Иосифа: высокоарктические тундры или полярные пустыни? // Почвоведение. 2020. № 4. С.1-19. https://doi.org/10.31857/S0032180X20040115

6. *Никитин Д.А., Лысак Л.В., Бадмадашиев Д.В., Холод С.С., Мергелов Н.С., Долгих А.В., Горячкин С.В.* Биологическая активность почв в условиях покровного оледенения в северной части архипелага Новая Земля // Почвоведение. 2021. №10. С. 1207-1230. https://doi.org/10.31857/S0032180X21100087

7. *Никитин Д.А., Лысак Л.В., Бадмадашиев Д.В.* Молекулярно-биологическая характеристика почвенного микробиома северной части

архипелага Новая Земля // Почвоведение. 2022. № 8. С. 1035-1045. https://doi.org/10.31857/S0032180X22080135
8. *Dolgikh A.V., Mergelov N.S., Abramov A.A., Lupachev A.V., Goryachkin S.V.* Soils of Enderby Land / The soils of Antarctica. 2015. pp. 45-63. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-05497-1_4
9. *Selbmann L., De Hoog G.S., Zucconi L., Isola D., Onofri S.* Black yeasts in cold habitats, Springer-Verlag Berlin Heidelberg. 2014. P.173–190. https://doi.org/10.1007/978-3-642-39681-6_8
10. *Soong J.L., Fuchslueger, L., Marañon-Jimenez S., Torn M.S., Janssens I.A., Penuelas J., Richter A.* Microbial carbon limitation the need for integrating microorganisms into our understanding of ecosystem carbon cycling // Global Change Biology. 2019. Vol.26(4). P. 1953-1961. https://doi.org/10.1111/gcb.14962
11. *Zhang W., Miller P.A., Jansson C., Samuelsson P., Mao J., Smith B.* (2018). Self-Amplifying Feedbacks Accelerate Greening and Warming of the Arctic. Geophysical Research Letters. Vol.45(14). P.7102-7111.

УДК 631.4

Системный подход как основа мультимасштабного почвенно-ландшафтного ГИС картографирования

© 2022 г. А.А. Никифорова[1*], М.Э. Флейс[2], Н.К. Белёнова[3]

[1] Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, факультет почвоведения, Россия,
119991, Москва, Ленинские горы, 1, стр. 12,
[*] nikifsoil@gmail.com
[2]Институт географии РАН, Россия,
119017, Москва, Старомонетный пер., 29, стр. 4.

[3]Центральный экономико-математический институт РАН, Россия
117418 Москва, Нахимовский проспект, 47.

Резюме: Одной из актуальных проблем почвенного картографии является отсутствие мультимасштабных почвенных карт, отражающих связь между свойствами почв и условиями почвообразования на системной основе. Для решения этой проблемы предложено использовать системный подход, заключающийся в рассмотрении объектов как систем и одновременно элементов систем более высокого порядка.

Реализация системного подхода осуществлялась в несколько этапов. На первом этапе устранялась философская понятийно-терминологическая путаница вокруг системного подхода. Второй этап заключался в разработке системной концепции природных почв и ландшафтов, третий – в разработке теоретических принципов иерархической почвенно-ландшафтной классификационной системы, которая не противоречит современным теориям классификации, имеет два объекта классификации (природные ландшафты и почвы), является генетической (почвы в ней делятся в соответствии с условиями их формирования) и служит основой легенд мультимасштабных почвенно-ландшафтных карт. На четвертом этапе реализации системного подхода эти теоретические принципы использовались для создания классификационной системы в процессе мультимасштабного почвенно-ландшафтного ГИС картографирования. Своеобразной физической основой и в то же время инструментом создания классификационной системы стала многопользовательская почвенно-ландшафтная информационная система.

Под мультимасштабными почвенно-ландшафтными картами понимается система высокоинформативных, согласованных по тематическому

содержанию карт всего масштабного ряда, имеющих единую классификационную основу и отображающих почвы прежде всего как производные ландшафтные элементы. Описаны основные моменты технологии создания карт, которая разрабатывалась на примере Европейской части России и Саратовской области. Создание карт начинается с глобального масштабного диапазона; карты определенного масштабного диапазона получают из одного интегрального полигонального слоя того же масштабного диапазона; интегральные полигональные слои создаются на основе экспертного анализа всей имеющейся информации о почвах и ландшафтах картографируемой территории; растровые изображения бумажных карт не векторизуются.

Реализация системного подхода в почвенной картографии позволила выявить причины проблем современного почвенного картографирования.

Ключевые слова: тематические карты, согласование карт, информативность карт, классификационная основа, интеграция информации, масштабные диапазоны, векторный формат, экспертное картографирование.

The systems approach as a basis for multiscale soil-landscape GIS mapping

© 2022 A.A. Nikiforova[1*], M.E. Fleis[2], N.K. Belyonova[3]

[1]Lomonosov Moscow State University, Faculty of Soil Science
1 Bld. 12 Leninskiye gory, Moscow 119991, Russian Federation,
[*] e-mail: nikifsoil@gmail.com

[2]Institute of Geography RAS,
29 Bld. 4 Staromonetny per., Moscow 119017, Russian Federation.

[3] Central Economics and Mathematics Institute RAS,
47 Nakhimovsky prospect, Moscow, 117418, Russian Federation.

Abstract: One of the urgent problems of soil cartography is the lack of multiscale soil maps that systematically reflect the relationship between soil properties and soil formation conditions. To solve this problem, it was proposed to use the systems approach, which consists in considering objects as systems and, at the same time, elements of higher order systems.

The implementation of the systems approach was carried out in several stages. At the first stage, the philosophical conceptual-terminological confusion around the systems approach was eliminated. The second stage consisted in the development of the system concept of natural soils and landscapes, and the third - in the development of the theoretical foundations of the hierarchical soil-landscape classification system, which does not contradict contemporary

theories of classification, has two objects of classification (natural landscapes and soils), is genetic (the soils in it are divided according to the conditions of their formation), and serves as the basis for the legends of multiscale soil-landscape maps. At the fourth stage, these theoretical provisions were used to create the classification system in the process of multiscale soil-landscape GIS mapping. A multi-user soil-landscape information system has become a kind of physical basis and at the same time a tool for creating the classification system.

Multiscale soil-landscape maps are a system of highly informative harmonized maps of all scale ranges (from global to local), which have a single classification basis and display soils, first of all, as derived landscape elements. The main points of the technology for creating maps, which was developed on the example of the European part of Russia and the Saratov region (RF), are described. The mapping starts from the global scale range; maps of a certain scale range are obtained from one integral polygon layer of the same scale range; integral polygonal layers are created on the basis of expert analysis of all available information on soils and landscapes of the mapped area; raster images of paper maps are not vectorized.

The implementation of the systems approach in soil cartography made it possible to identify the causes of the problems of modern soil mapping.

Keywords: thematic maps, map harmonization, informational contents of maps, classification basis, integration of information, scale ranges, vector format, expert mapping.

ВВЕДЕНИЕ

Создание высокоинформативных, согласованных тематических карт всего масштабного ряда, содержащих информацию не только о названиях почв, но и обо всех существенных gjxdtyys[свойствах и условиях почвообразования, является одной из важнейших теоретических и практических задач не только почвенной картографии, но и почвоведения в целом. Вместе с тем, в настоящее время сложилось устойчивое мнение, что решить эту задачу можно с помощью современных цифровых технологий, при этом значение теории почвенного картографирования явно недооценивается. Наши исследования показали, что теоретической основой почвенного картографирования может стать системный подход, а картами, отвечающими всем перечисленным выше требованиям, - мультимасштабные почвенно-ландшафтные карты, создаваемые в среде ГИС.

Системный подход определяют как направление в методологии науки, заключающееся в рассмотрении объектов как систем и одновременно как элементов систем более высокого порядка (Collins Dictionary of Sociology, 2000; Bertalanffy, 1968). Этот подход служит средством преодоления фрагментации знаний и помогает посмотреть на старые проблемы под новым углом зрения (Jackson et al., 2010; Skyttner, 2006). Начало применения системного подхода в почвоведении связывают с именем В.В. Докучаева (Добровольский, 1996; Карпачевский, 1981), однако он до сих пор не реализован, ограничиваясь признанием необходимости его применения и системной природы почв (Васильевская и др., 2000; Карпачевский, 1981; Basher, 1997; Gardner, 1993; Gerrard, 1981; Phillips, 1998). Сходная ситуация сложилась и в ландшафтоведении – научной дисциплине, также изучающем почвы (Haigh, 1985; Исаченко, 1981; Miklós et al., 2019; Naveh, 2000; Николаев, 2006; Сочава, 1975).

ПОЭТАПНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ СИСТЕМНОГО ПОДХОДА В ПОЧВЕННОЙ КАРТОГРАФИИ

Реализация системного подхода в почвенной картографии осуществлялась нами поэтапно. Сначала необходимо было разобраться в философской понятийно-терминологической путанице, существующей вокруг системного подхода. С этой целью были проанализированы и обобщены определения ключевых системных понятий и среди многочисленных терминов-синонимов, обозначающих эти понятия (либо используемых для их определения), выбраны наиболее широко распространенные и/или, с нашей точки зрения, удачные. В результате мы остановились на следующих терминах: «материальная система», «элементы материальной системы», «эмерджентное свойство», «структура материальной системы» и «иерархия материальных систем» (Nikiforova, 2022).

Полученный нами понятийно-терминологический аппарат был использован на втором этапе реализации системного подхода для разработки системной концепции природных почв и ландшафтов, в которую вошли определения природных почвенных и ландшафтных систем (далее – почв и ландшафтов), основных и производного элементов (Мамай, 2005; Николаев, 2006), вертикальной структуры ландшафтов, эмерджентных свойств почв и

ландшафтов, а также обоснование места, занимаемого почвами и ландшафтами, в иерархии систем. К основным ландшафтным элементам были отнесены горные породы, природные воды, воздух и организмы (живые и отмершие), к производному – почва, возникающая и формирующаяся в результате взаимодействия основных ландшафтных элементов, что в полной мере соответствует определению почв В.В. Докучаева (1886).

Третий этап реализации системного подхода стал определяющим и наиболее сложным. Он заключался в разработке теоретических принципов иерархической почвенно-ландшафтной классификационной системы, которая бы не противоречила современным теориям классификации, имела сразу два объекта классификации (природные почвы и ландшафты), и была генетической (Nikiforova et al., 2019), то есть обеспечивала деление почв в соответствии с условиями их формирования (Розова 1986). Обоснованием возможности создания такой классификационной системы стал тот факт, что границы природных ландшафтов и входящих в их состав почв, совпадают, следовательно, в процессе классификации последовательное деление ландшафтов, имеющих в своем составе почвы, закономерно сопровождается последовательным делением этих почв.

На четвертом этапе реализации системного подхода эти теоретические принципы использовались для создания иерархической почвенно-ландшафтной классификационной системы в процессе мультимасштабного почвенно-ландшафтного ГИС картографирования. В соответствии с разработанными нами объективными правилами, на первых трех уровнях классификации, в качестве оснований деления были выбраны существенные свойства ландшафтов как самостоятельных систем (стабильность/изменяемость и тип вертикальной структуры ландшафтов, наличие/ отсутствие в них почв), а на последующих - существенные свойства основных ландшафтных элементов, обусловливающих существенные свойства почв. В настоящее время, в зависимости от ветви классификации, разработано до девяти уровней классификации.

Своеобразной физической основой и в то же время инструментом создания иерархической почвенно-ландшафтной классификационной системы стала многопользовательская двуязычная (рус.-англ.) почвенно-ландшафтная информационная система (https://slcs-2021.ru/), создаваемая программистами ЦЭМИ РАН

(Белёнова и др., 2020). Эта система позволяет вводить, хранить, просматривать, систематизировать и анализировать информацию о почвах и ландшафтах без написания дополнительных программ. При этом к каждому классу почв и ландшафтов может быть привязана дополнительная информация об устойчивом управлении, охране и оценке почв и ландшафтов, названиях почв в соответствии с другими классификационными системами, а также различные рисунки, фото, видео, таблицы, тексты и т.д.

ТЕХНОЛОГИЯ МУЛЬТИМАСЩТАБНОГО ПОЧВЕННО-ЛАНДШАФТНОГО ГИС КАРТОГРАФИРОВАНИЯ

Мультимасштабными почвенно-ландшафтными картами мы называем систему карт всего масштабного ряда, согласованных по тематическому содержанию и имеющих единую классификационную основу – иерархическую почвенно-ландшафтную классификационную систему. Отличительной особенностью карт является отображение почв прежде всего как производных ландшафтных элементов, свойства которых обусловливаются свойствами основных ландшафтных элементов, или, если пользоваться несистемной терминологией, условиями почвообразования. Важно подчеркнуть, что связь между иерархической почвенно-ландшафтной классификацией и мультимасштабным почвенно-ландшафтным картографированием является двусторонней: с одной стороны, для классификационной системы эти карты служат источником информации и позволяют проверять правильность выбора и ранжирования оснований деления, с другой – классификационная система является основой легенд этих карт.

Технология мультимасштабного почвенно-ландшафтного ГИС картографирования разрабатывалась на примере Европейской части России и Саратовской области (Флейс и др., 2016; Nikiforova et al., 2020). Ее основные моменты заключаются в следующем. Картографирование начинается с глобального масштабного диапазона. Все карты определенного масштабного диапазона получают из одного интегрального полигонального слоя того же масштабного диапазона. Интегральные полигональные слои создаются на основе экспертного анализа всей имеющейся информации о почвах и ландшафтах картографируемой территории и содержат интегрированную информацию о названиях почв и ландшафтов, их

диагностических признаках, а также о существенных свойствах основных ландшафтных элементов, обусловливающих существенные свойства почв. Для каждого из слоев выбирается географическая основа и базовая система координат. При переходе от одного масштабного диапазона к другому детальность карт меняется скачкообразно. Растровые изображения бумажных карт не векторизуются. Отказаться от векторизации, являющейся очень трудоемкой (особенно, если учитывать значительное количество привлекаемых к анализу тематических карт), нам позволили так называемые «квазилегенды» - специально создаваемые точечные слои, содержащие информацию, извлеченную из легенд бумажных карт.

Примерами мультимасштабных почвенно-ландшафтных карт являются карты типов вертикальной структуры ландшафтов, различных свойств почв и свойств основных элементов ландшафтов. К последним относятся, например, карты типов мегарельефа, зональных типов растительности, гранулометрического состава рыхлых горных пород, химического состава грунтовых вод, засоления горных пород.

ПРИЧИНЫ ПРОБЛЕМ СОВРЕМЕННОГО ПОЧВЕННОГО КАРТОГРАФИРОВАНИЯ

Важным дополнительным результатом реализации системного подхода в почвенной картографии стало выявление причин проблем современного почвенного картографирования (Nikiforova et al., 2020), основными из которых являются: игнорирование или неправильное применение системного подхода; картографирование почв как основных, а не производных элементов ландшафтов; игнорирование или неправильное применение современных теорий классификации; недооценка связи между почвенным картографированием и почвенной классификацией; признание приоритетными практических, а не научных целей; сосредоточение основного внимания на использовании современных цифровых технологий, а не на разработке теоретических принципов почвенного картографирования.

ВЫВОДЫ

По результатам проведенного исследования можно сделать два главных вывода. Первый: реализация системного подхода в почвенной картографии невозможна при игнорировании современных теорий классификации. Второй: выбор системного подхода в качестве основы мультимасштабного почвенно-ландшафтного ГИС картографирования себя полностью оправдал, позволив создать высокоинформативные и согласованные по тематическому содержанию мультимасштабные карты и продемонстрировав реальность осуществления глобальной интеграции информации о почвах и ландшафтах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Белёнова Н.К., Ким К.В., Ким Ю.К., Никифорова А.А.* 2020. Создание иерархических классификационных систем в среде VIK-2019 // Вестник ЦЭМИ РАН. 2020. № 4. S265838870013841–8–1.
2. *Васильевская В.Д., Зборищук Ю.Н., Куст Г.С., Богатырев Л.Г.* Диагностика и номенклатура почв в мировых почвенно-классификационных системах. М.: Изд-во МГУ, 2000. 80 с.
3. *Добровольский Г.В*. Докучаев и современное естествознание // Почвоведение. 1996. № 2. С. 117-123.
4. *Докучаев В.В.* Главные моменты в истории оценок земель Европейской России, с классификацией русских почв. СПб.: Тип. Е. Евдокимова, 1886. 391 с.
5. *Исаченко А.Г.* Представление о геосистеме в современной физической географии // Известия Всесоюзного географического общества. 1981. № 4. С. 297-306.
6. *Карпачевский Л.О.* Лес и лесные почвы. М.: Лесная промышленность, 1981. 264 с.
7. *Мамай И.И.* Динамика и функционирование ландшафтов: Учебное пособие. М.: Изд-во Моск. ун-та, 2005. 138 с.
8. *Николаев В.А.* Ландшафтоведение. Семинарские и практические занятия. 2-ое изд. М.: Географ. ф-т МГУ, 2006. 208 с.
9. *Розова С.С.* Классификационная проблема в современной науке. Новосибирск: Наука, Сибирское отделение, 1986. 224 с.
10. *Сочава, В.Б.* Учение о геосистемах. Новосибирск: Наука, 1975. 39 с.
11. *Флейс, М.Э., Никифорова, А.А., Ныpцов, М.В., Борисов, М.М., Хропов, А.Г.* Создание масштабного ряда почвенно-ландшафтных карт в геоинформационной среде // Известия РАН. Серия географическая. 2016. № 1. С. 147–155.

12. *Basher L.R.* Is pedology dead and buried? // Aust. J. Soil Res. 1997. Vol. 35. P. 979-94.
13. *Bertalanffy L. von.* General system theory: foundations, development and applications. New York: George Braziller, 1968. 289 p.
14. Collins dictionary of sociology. 3rd edition. HarperCollins Publishers, 2000. http://encyclopedia2.thefreedictionary.com/systems+approach.
15. *Gardner W.R.* A call to action // Soil Sci. Soc. Am. J. 1993. Vol. 57. P. 1403-1405. https://doi.org/10.2136/sssaj1993.03615995005700060001x.
16. *Gerrard J.* Soils and landforms: an integration of geomorphology and pedology. George Allen and Unwin, Boston, 1981. 218 p.
17. *Haigh M.J.* Geography and general system theory, philosophical homologies and current practice // Geoforum. 1985. Vol. 16. P. 191-203. https://doi.org/10.1016/0016-7185(85)90028-4.
18. *Jackson S., Hitchins D., Eisner H.* What is the systems approach? // INCOSE Insight. 2010. Vol. 13. P. 41-43.
19. *Miklós L., Kočická E., Izakovičová Z., Kočický D., Špinerová A., Diviaková A., Miklósová V.* Landscape as a geosystem. Springer, 2019. 161 p.
20. *Naveh Z.* What is holistic landscape ecology? A conceptual introduction // Landsc. Urban Plan. 2000. Vol. 50. P. 7-26.
21. *Nikiforova A.A.* Systems approach. In: Hjørland B., Gnoli C. (eds.) ISKO Encyclopedia of Knowledge Organization. 2022. https://www.isko.org/cyclo/systems.
22. *Nikiforova A.A., Fleis M.E., Nyrtsov M.V., Kazantsev N.N., Kim K.V., Belyonova N.K., Kim J.K.* Problems of modern soil mapping and ways to solve them // Catena. 2020. Vol. 195. 104885. http://dx.doi.org/10.1016/j.catena.2020.104885.
23. *Nikiforova A.A.* Soil classification // Knowledge Organization. 2019. Vol. 46(6). P. 467–488.
24. *Nikiforova A.A., Bastian O., Fleis M.E., Nyrtsov M.V., Khropov A.G.* Theoretical development of a natural soil-landscape classification system: an interdisciplinary approach. Catena. 2019. Vol. 177 (6). P. 238-245. https://authors.elsevier.com/a/1Yg3w1Dk5AL7EP
25. *Phillips J.D.* On the relations between complex systems and the factorial model of soil formation (with discussion) // Geoderma. 1998. Vol. 86. P. 1-21.
26. *Skyttner L.* General systems theory: problems, perspectives, practice. 2nd ed. Hackensack, NJ: World Scientific Publishing Co, 2006. 536 p.

УДК 631.468

Характеристика макропедофауны почвенно-экологических полигонов Лисино (Ленинградская область)

© 2022 г. Е.В. Пятина[1*]

[1]ФИЦ «Почвенный институт им. В.В. Докучаева», Россия, 119017, Москва, Пыжевский пер, 7, стр. 2,
[*] kat1977kat@gmail.com

Резюме: Макрофауна почв служит надежным биоиндикатором изменения климата и антропогенного воздействия. В настоящей работе дана оценка видового состава и численности, ярусного и трофического распределения макропедофауны пяти полигонов почвенно-экологического мониторинга «Лисино» (Ленинградская область, Тосненский район). Выбранные полигоны для проведения почвенно-зоологических исследований характеризуются типичными для данного региона лесными биоценозами. Участки отличаются гидротермическим и трофическим почвенными режимами и антропогенной нагрузкой (осушение). Цель работы - охарактеризовать макропедофауну полигонов почвенно-экологического мониторинга Лисино. Почвенно-зоологические исследования были проведены в 2016-2021 гг. в ельнике кисличнике зеленомошном, осиновом лесу с елью и березой, ельнике черничнике, сосняке зеленомошно-сфагновом и в елово-сосновом разнотравном лесу. Количественные учеты макропедофауны проводились по стандартной методике ручной разборки проб размером 25 см х 25 см по слоям. Отмечены представители макропедофауны из трех типов и 7 классов. Наименьшая плотность беспозвоночных (61 экз./м^2) оказалась на осушенном участке, где только 10% фауны сосредоточены в органо-минеральном слое. В переувлажненных биогеоценозах наименьшая численность беспозвоночных составила 75,8 экз./м^2, где в органо-минеральном слое обитает около 30% макрофауны. Анализ трофической структуры показал, что доля сапрофагов превалирует над зоофагами на участках с более оптимальными гидротермическими условиями. Переувлажнение и осушение приводит к доминированию зоофагов. Установлено, что индикаторами состояния почв (подзолистые почвы на моренных суглинках, дерново-подзолистые, дерново-элювиально-метаморфические и торфяные почвы на ленточной глине) служат численность, видовое разнообразие и структура почвенного населения, соотношение доли сапрофагов к зоофагам.

Ключевые слова: макропедофауна, биоиндикация, почвенно-экологический мониторинг.

Characteristics of macropedofauna of soil-ecological polygons of Lisino (Leningrad region)

© 2022 E.V. Pyatina*

Federal Research Centre "V.V. Dokuchaev Soil Science Institute",
7 Bld. 2 Pyzhevskiy per., Moscow 119017, Russian Federation,
* *e-mail: kat1977kat@gmail.com*

Abstract: Soil macrofauna serves as a reliable bioindicator of climate change and anthropogenic impact. This paper presents the assessment of the species composition and abundance, longitudinal and trophic distribution of the macropedofauna of five areas of soil-environmental monitoring at Lisino (Leningrad Oblast, Tosnensky district). The selected polygons for soil-zoological studies are characterized by forest biocenoses typical for this region. The sites differ in hydrothermal and trophic soil regimes and anthropogenic impact (drainage activities). The aim of the study is to characterize the macropedofauna of the Lisino soil-environmental monitoring sites. The soil-zoological studies were conducted in 2016-2021 in spruce sorrel green-moss forest, aspen forest with spruce and birch trees, spruce bilberry forest, pine green-moss-sphagnum forest, and spruce-pine mixed grass forest. Quantitative counts of macropedofauna were conducted using the standard methodology of hand-sorting in 25 cm x 25 cm samples by layers. Representatives of macropedofauna from three types and seven classes were identified. The lowest density of macropedofauna (61 per one square meter) was in the dried area, where only 10% of fauna was concentrated in the organo-mineral layer. In the waterlogged biogeocenoses, the lowest number of invertebrates was 75.8 per sq.m., where about 30% of macrofauna lives in the organo-mineral layer. Analysis of the trophic structure showed that the share of saprophages prevails over zoophages in areas with more optimal hydrothermal conditions. Waterlogging and drainage lead to the dominance of zoophages. It was found that the soil conditions (podzolic soils on moraine loams, sod-podzolic, sod-eluvial-metamorphic and peaty soils on varved clay) correlate with the abundance, species diversity and structure of soil population, as well as the ratio of the proportion of saprophages to zoophages.

Keywords: macropedofauna, bioindication, soil-environmental monitoring.

ВВЕДЕНИЕ

Исследование почв на территории Лисинского лесничества (ООПТ Ленинградской области) имеет давнюю историю (Rode, 1930). Современный этап изучения почв и почвенного покрова начался в начале 21 века, в результате чего были выбраны и описаны мониторинговые площадки (Полигоны…, 2022). Макропедофауна представляет собой удобный объект биомониторинга. Являясь постоянными обитателями почвы (хотя бы на одной из стадий своего развития), обладая высоким видовым разнообразием и обилием беспозвоночные почвы служат надежными индикаторами экосистем (Гиляров, 1976; Криволуцкий, 1994; Phillips et al, 2019). Исследование макропедофауны данной территории проведено впервые.

Цель работы - дать характеристику макропедофауны полигонов почвенно-экологического мониторинга (ППЭМ) Лисино. Для её достижения были поставлены следующие задачи: изучить видовой состав и численность разных групп макрофауны почвы; изучить ярусное распределение и распределение на трофические группы; выявить группы, которые могут служить индикаторами почвенных условий.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Почвенно-зоологические исследования были начаты в 2016 году и проведены на пяти участках ППЭМ (Рис.1) с наиболее типичными для данного региона биогеоценозами, отличающимися гидротермическими и трофическими почвенными режимами и антропогенной нагрузкой (осушение).

Участок №1 - ельник кисличник зеленомошный, произрастающий на дерново-подзолистой глееватой почве на моренных суглинках. Участок №2 - осиновый лес с елью и березой, произрастающий на дерново-поверхностно-элювиально-глееватой почве на ленточных глинах. Участок №3 - ельник черничник, произрастающий на дерново-элювиально-метаморфической почве. Участок №4 - сосняк зеленомошно-сфагновый на торфяно-элювиально-метаморфической окисленно-глеевой глинисто-иллювиированной потечно-гумусовой легкосуглинистой почве на ленточных глинах осушенный открытыми канавами 45 лет назад (Бабиков, 2006).

Участок №5 - елово-сосновый разнотравный лес, произрастающий на дерново-элювиально-метаморфической потечно-гумусовой глеватой почве на ленточных глинах.

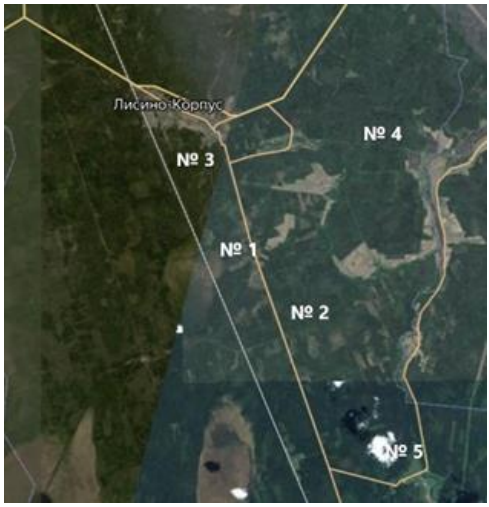


Рис. 1. Расположение участков

Количественные учеты макропедофауны проводились по стандартной методике ручной разборки проб (Количественные…, 1987). Размер пробы 25 см х 25 см. На участках № 1-4 было взято по 36 проб (по 12 проб на каждый весной, летом и осенью). На участке № 5 только осенью 36 проб. Верхний органо-минеральный (0-10 см, 10-20 см) слой почвы разбирали на месте, а подстилку (органогенный слой) собирали в пакеты и увозили для разбора в лаборатории. Пробы отбирались на расстоянии 5-10 м от опорного разреза и 3-5 м друг от друга на участках со сходным растительным покровом в подкроновом пространстве деревьев.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Таксономический состав и обилие почвенного населения исследованных участков формируют беспозвоночные животные трех типов (кольчатые черви, моллюски, членистоногие животные), 7 классов (поясковые черви, брюхоногие моллюски, высшие раки, паукообразные, губоногие многоножки, двупарноногие

многоножки, насекомые открыточелюстные). Среди насекомых отмечены представители шести отрядов (двукрылые, жесткокрылые, чешуекрылые, перепончатокрылые, полужесткокрылые и тараканновые). Отмечено более 120 видов беспозвоночных.

Послойный учет беспозвоночных животных показал, что в органогенном горизонте участков №1, №3 и №5 сосредоточено от 70% до 78% животных (20-30% геобионтов обитают в органоминеральном слое). В органо-минеральном слое участка №2 сосредоточено до 40% крупных почвенных беспозвоночных, в то время как в том же слое почвы участка №4 отмечено обитание лишь 10% от общего числа собранных животных. Следовательно, наиболее благоприятными условиями обитания в органо-минеральном слое (гидротермические и физико-химические свойства почв) отличается почва участка №2, а наиболее экстремальные условия для геобионтов отмечены на участке №4. Таким образом, заболачивание и осушение приводит к уменьшению плотности макропедофауны органо-минерального слоя почвы.

Групповой состав и численность крупных почвенных беспозвоночных участков ППЭМ показан на рисунке 2.

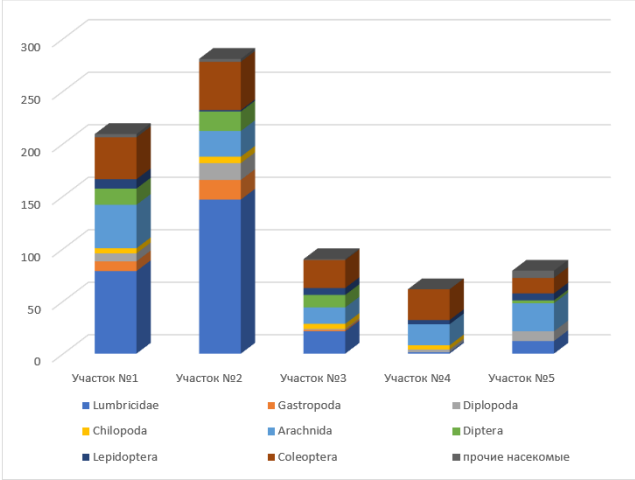


Рис. 2. Групповой состав и численность макропедофауны ППЭМ Лисино (экз./м^2)

Средняя численность геобионтов на участке №1 составила 209,2 экз./м^2 (55 видов). Анализ численности почвенных беспозвоночных по сезонам показал, что наибольшее количество геобионтов наблюдалось осенью – 269,1 экз./м^2, при этом основу населения составляли малощетинковые черви (44%) и насекомые (33,6%). Среди насекомых доминировали представители отряда жуков (11%). Весной и летом численность макропедофауны составила 195,9 экз./м^2 и 162,7 экз./м^2, при этом на долю малощетинковых червей пришлось 27,8% и 38,5 % соответственно. Более высокая численность геобионтов осенью связана, прежде всего, с увеличением численности дождевых червей в 2 раза.

Наибольшее видовое разнообразие (60 видов) и средняя численность беспозвоночных животных почвы в 280,7 экз./м^2 характерны для участка №2. Наибольшая численность отмечена в мае – 304 экз./м^2. Доминантным классом во все сроки сбора является малощетинковые черви (40,7% - 59%), а весной еще и насекомые (28,9%).

Участок №3 по средней численности почвенных беспозвоночных уступает выше рассмотренным участкам - 90 экз./м^2 (41 вид). Основу населения во все сроки сбора составляют насекомые (56,7%, 60% и 33,2%). Только осенью более высокая численность и обилие характерна для дождевых червей (38,6%).

Участок №4 характеризует невысокая численность геобионтов, бедный групповой и видовой состав. Средняя численность макропедофауны - 61 экз./м^2 (22 вида). Основу почвенного населения составляют насекомые (56%) и паукообразные (33%).

На участке №5 исследования проводились только осенью. Плотность популяции геобионтов составила 79 экз./м^2 (21 вид). Наибольшей численностью характеризуются представители классов паукообразных – 26,6 экз./м^2 и насекомых –30,6 экз./м^2. На их долю приходится 33,7% и 38,8% соответственно. На долю дождевых червей приходится 15% макрофауны почвы.

Трофическая структура макропедофауны исследованных участков представлена сапрофагами (дождевые черви, двупарноногие многоножки, некоторые личинки двукрылых, тараканы, мокрицы), зоофагами (губоногие многоножки, паукообразные, жужелицы, стафилины, некоторые личинки двукрылых), фитофагами

(личинки чешуекрылых, пластинчатоусых, мягкотелок) и полифагами (брюхоногие моллюски и личинки щелкунов).

По степени участия в фауне сапроблока участки расположены следующим образом: №2 (57%) - №1 (41%) - №3 (25%) и №5 (24%) - №4 (6,5%). По степени участия блока зоофагов в макропедофауне участки расположены сходно, но от меньшего значения к большему (27% - 65%).

Высокая плотность хищников, низкая численность и разнообразие сапрофагов по сравнению с другими группами макрофауны на заболоченном участке является характерной чертой заболоченных биотопов и соответствует литературным данным (Козловская, 1976; Ильин, 2007). В то же время низкую численность и разнообразие сапрофагов осушенного участка можно объяснить следующим. Во-первых, после проведения осушительной мелиорации произошло сильное иссушение верхних 5-10 см органогенного слоя (состоящего из сильно высохших, не разложившихся стеблей и листьев сфагновых мхов), которое усилилось в аномально сухое лето 2018 г., когда проводили исследования на данном участке. Во-вторых, современные исследования доказали, что бактериальные эндофиты сфагнума обладают антифунгальными и антибактериальными свойствами (Shcherbakov, 2013).

ВЫВОДЫ

Проведенные почвенно-зоологические исследования на пяти полигонах почвенно-экологического мониторинга «Лисино» (Ленинградская область, Тосненский район) показали, что макропедофауна может использоваться в качестве биоиндикатора изменения климата и антропогенного воздействия на экосистемы таежной зоны.

Установлено, что индикаторами состояния почв (подзолистые почвы на моренных суглинках, дерново-подзолистые, дерново-элювиально-метаморфические и торфяные почвы на ленточной глине) служат численность, видовое разнообразие и структура почвенного населения, соотношение доли сапрофагов к зоофагам.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Бабиков Б.В., Шурыгин С.Г.* Почвенно-гидрологические исследования

в Лисинском учебно-опытном лесхозе. - СПб.: СПбГЛТА, 2006 — 60 с.
2. *Гиляров М.С.* Индикационное значение почвенных животных при работах по почвоведению, геоботанике и охране среды. – В кн.: Проблемы и методы биологической диагностики и индикации почв. М.: Наука, 1976. С. 9-18.
3. *Ильин Ю.М., Куликов А.И., Нихилеева Т.П.* Системное взаимодействие почвенных беспозвоночных при трансформации органического вещества торфяных почв // Вестник Бурятского государственного университета. 2007. №3. С. 216-221.
4. *Козловская Л.С.* Роль беспозвоночных в трансформации органического вещества болотных почв. Л.: Наука, 1976. 211 с.
5. Количественные методы в почвенной зоологии / *М.С. Гилярова, Б.Р. Стригановой.* М.: Наука, 1987. 287 с.
6. *Криволуцкий Д.А.* Почвенная фауна в экологическом контроле. М.: Наука, 1994. 269 с.
7. Полигоны почвенно-экологического мониторинга экосистем таежной зоны: учебное пособие для вузов/ *Б.Ф. Апарин, Б.В. Бабиков, Г.А. Касаткина и др.* Санкт-Петербург: Лань, 2022- 140с.
8. *Phillips H.R.P., Guerra C.A., Bartz M.L.C., Briones M.J.I., Brown G. et al.* Global distribution of earthworm diversity. Science. 2019. Vol. 366 (6464): 480–485. DOI: 10.1126/science.aax4851
9. *Rode A.A.* An Excursion to the Lisino Experimental forest of the Leningrad technical academy of forestry / Second international soil science congress. Dokuchaiev institute of soil science. Leningrad organisation committee of the Congress. — Leningrad: Academy of sciences of the USSR, 1930. — 52 p.
10. *Shcherbakov A V, Muntyan A N (eds.)* Endophytic bacteria of Sphagnum mosses as promising objects of agricultural microbiology // Microbiology. 2013. 82 (3). P. 312-322.
11.

13. УДК 631.21

Экспериментальное исследование процессов деструкции растворенного органического вещества в почвенных и поверхностных водах заболоченного водосбора южной тайги Западной Сибири

© 2022 г. Т.В. Раудина[1,2*], С.В. Смирнов[2], Г.И. Истигечев[1]

[1]НИ Томский государственный университет, Россия,
634055, Томск, пр. Ленина, 36,
[*] tanya_raud@mail.ru@esoil.ru
[2]Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН, Россия,
634055, Томск, пр. Академический, 10/3.

Резюме: Имеющиеся данные показывают, что все еще существуют большие неопределенности, связанные с противоречивыми моделями био- и фотодеструкции РОУ в пространственно-временном масштабе. Западная Сибирь с интенсивным заболачиванием и преобладанием богатых органическим веществом внутренних вод представляет особый интерес для количественной оценки потенциала фото- биодеградации РОВ, поскольку глобальные эффекты этих процессов в почвенных и поверхностных водах могут быть достаточно высокими в этом регионе. Результаты химического анализа показали, что почвенные и поверхностные воды заболоченного водосбора Западной Сибири имеют ландшафтные и сезонные различия в своем составе, что в свою очередь отражается на проценте био- и фоторазлагаемых фракции РОУ. В ходе проведенных экспериментальных работ установлено, что в почвенных, болотных и речных водах происходит в большей степени фотодеградация РОУ (% ФРОУ ≤ 35,2), чем его микробный распад (% БРОУ ≤ 20,2). Полученные данные по изменению фото- и биодоступности РОВ позволили также установить степень его трансформации в различных экосистемах и по сезонам года. Наиболее заметно процессы биодеструкции ОВ в исследованных пробах происходили на 7–14 дни и в пробах болотной воды, отобранной в мае. Процент ФРОУ изменятся в ряду топь > заболоченный лес > высокий рям. При прогнозировании поведения углерода необходимо учитывать влияние процессов деструкции РОВ на поток углекислоты в атмосферу.

Ключевые слова: органический углерод, металлы, инкубация, фотодеградация, биодеградация, болота.

Experimental study of dissolved organic matter degradation and in soil and surface waters of a small wetland watershed in the southern taiga of Western Siberia

© 2022 T.V. Raudina[1,2*], S.V. Smirnov[2], G.I. Istigechev[1]

[1] National Research Tomsk State University,
36 Lenin ave., Tomsk, 634055, Russian Federation,
[*] e-mail: tanya_raud@mail.ru
[2] Institute of Monitoring of Climatic and Ecological Systems, SB RAS,
10/3 Academichesky ave., Tomsk, 634055, Russian Federation.

Abstract: The available data demonstrate that there are still large uncertainties related to conflicting patterns of DOC bio- photodegradability with respect to seasonality and permafrost extent, with only a few data are available from Western Siberia. This environmentally important and highly vulnerable region exhibits intense paludification which leads to a predominance of organic-rich inland waters. Therefore, WS is of particular interest for a quantitative assessment of the DOM bio- photodegradation potential because the global areal-scale effects of these processes in abundant surface waters might be the highest in this region. The results of the chemical analysis showed that the soil and surface waters of a small wetland watershed have landscape and seasonal differences in their composition, which is also reflected in the percentage of bio- and photodegradable DOC fractions. In the course of the experimental work, it was found that in soil, mire and river waters, the photodegradation of DOC (% FDOC ≤ 35.2) occurs to a greater extent than its microbial decay (% BDOC ≤ 20.2). The obtained data on changes in the photo- and bioavailability of DOM also showed the degree of DOM transformation in various ecosystems and seasons. The most noticeable processes of OM biodegradation in the studied samples occurred on days 7–14 in the mire water samples taken in May. The %FDOC will change in the order fen > forest > high ryam. The effect of DOM degradation processes on the carbon dioxide flux into the atmosphere should be taken into account when predicting the behavior of carbon.

Keywords: organic carbon, metals, incubation, biodegradation, photodegradation, peatland.

ВВЕДЕНИЕ

Органическое вещество в континентальном стоке является наиболее динамичным и крупным геохимическим резервуаром, изменения в котором отражают особенности климатической зональности, быстрые и долговременные изменения климата отдельных регионов. Важность растворенного органического вещества (РОВ) для региональных и глобальных циклов углерода в значительной степени зависит от его био- и фотодеструкции (например, Kalbitz et al., 2003; Wickland et al., 2012; Abbott et al., 2014), которая считается важной движущей силой выбросов CO_2 в атмосферу. Поэтому необходимо учитывать долю био- и фоторазлагаемых фракций растворенного органического углерода (РОУ) для прогнозирования поведения углерода и его потенциального вклада в будущие глобальные изменения. Почвенные и поверхностные воды заболоченных территорий Западной Сибири представляют особый интерес с точки зрения количественной оценки потенциала деструкции, поскольку из-за высокой заболоченности данного региона (70–80 % на отдельных участках) отличаются значительными концентрациями РОВ, определяют гидрохимические параметры рек и озер, а также практически не изучены как в пространственном, так и временном масштабах (Shirokova et al., 2019; Payandi-Rolland et al., 2020) в отличие от вод Канады, Северной Америки, Фенноскандии, Восточной Сибири (Köhler et al., 2002; Holmes et al., 2008; Wickland et al., 2012; Abbott et al., 2014). В связи с этим, основной целью работы является экспериментальное изучение процессов био- и фотодеструкции растворенного органического вещества в почвенных, болотных и речных водах заболоченного водосбора южно-таежной Западной Сибири в пространственно-временном масштабе.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Исследование проводилось на территории Бакчарского болотного комплекса (южно-таежная подзона Западной Сибири северо-восточная часть Васюганских болот, в окрестностях дер. Полынянка, 56°57′11″N; 82°30′29″E). Рассматриваемое болото характеризуется закономерным чередованием определенных групп болотных микроландшафтов от центральной части к окраинам и далее по водосбору. Поэтому отбор проб почвенной, болотной и речной

воды происходил с учетом ландшафтной неоднородности участка, а именно из открытой осоково-сфагновой топи, сосново-кустарничкового-сфагнового высокого ряма, заболоченного смешанного леса, р. Ключ и далее р. Бакчар, недалеко от места впадения последней (Рис. 1). Эти участки соответствуют водному континууму в направлении гидрологического течения, от стоячих болотных и почвенных вод сосново-кустарничково-сфагновых, осоково-сфагновых омбротрофных болот к проточным ручьям и более крупной реке. В течение трех полевых сезонов 2020г. пробы воды отбирались в предварительно очищенные банки для дальнейшей фильтрации. Речная вода отбиралась на глубине 20–30 см от поверхности, в других случаях отбиралась гравитационная вода из полуямы. В каждой точке отбора измерялись pH, температура воды, удельная электропроводность и растворенный кислород с помощью WTW MULTI 3430 SET.

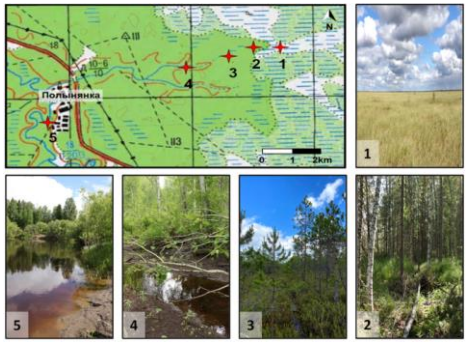


Рис. 1. Район исследования с точками пробоотбора вдоль гидрологического континуума: 1 – осоково-сфагновая топь; 2 – заболоченный лес; 3 – высокий рям; 4 – р. Ключ; 5 – р. Бакчар.

Биодоступность РОВ была оценена с помощью инкубационных экспериментов, представляющих собой показатель микробного поглощения и минерализации. Для этого образцы воды фильтровались (0,7 мкм) в течение 24 часов. В исследовании использован разработанный стандартный метод инкубации (Vonk et al., 2012). Тройные аликвоты объемом 30 мл из отфильтрованной воды помещались в предварительно автоклавированные боросиликатные стеклянные флаконы и хранили при 23±1 °C в темноте в термостате в течение 30 суток. Инкубированные образцы повторно

фильтровали после 0, 2, 7, 14 и 28 дня инкубации. Часть из них подкислялась для определения РОУ (Vario TOC Cube), а в неподкисленном образце определяли pH, электропроводность (WTW Multi3320), и спектрофотометрические характеристики (Varicen, Cary 50 Scan. UV-Visible). Эксперименты по фотодеградации РОВ проводились в натурных условиях при естественном солнечном излучении. После отбора все исследуемые пробы были пропущены через фильтры 0,22 мкм. Затем в герметично закрытых стерильных кварцевых пробирках помещались на глубину 15 см в открытый бассейн. Общее время воздействия составляет до 1 месяца для оценки максимальной степени удаления РОУ при фотолизе. Все манипуляции проводились в стерильных условиях (ламинарный бокс А100). В повторно отфильтрованных образцах определялись параметры аналогичные эксперименту по биодеструкции. Данные обрабатывались и визуалиировались с использованием программного обеспечения STATISTICA 8 и MS Excel 2010.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Говоря об исходных физико-химических параметрах, стоит отметить, что рассматриваемые воды практически не содержат растворенного кислорода, богаты углекислым газом, обладают малой, средней минерализацией за счет атмосферного питания, кислой средой и высокой цветностью. Самые высокие значения pH наблюдаются в реках (6,1–7,9), самые низкие в открытой осоково-сфагновой топи (3,7–4,2), то есть происходит постепенное снижение по рассматриваемому профилю (от р.Бакчар до открытой топи). Такая же закономерность отмечается и по сезонам года с максимальными величинами в мае, что связанно с разбавлением вод при повышении их уровня в этот период. Минимальные величины РОУ характерны для открытой топи и р. Бакчар (41,4–56,6 и 23,2–52,6 мг/л, соответственно), а наиболее высокие для почвенных вод торфяных залежей заболоченного леса и высокого ряма (> 100 мг/л). Содержание РОУ в мае наименьшее, что может быть вызвано разбавлением талыми водами, а увеличение содержания в августе может быть связано с активизацией процессов разложения и трансформации растительных остатков и торфа. Значения показателя $SUVA_{254}$ в исследуемых водных объектах меняются от 2,5 до 5,6, достигая минимума в болотных водах топи, что указывает на преобладание гидрофильного

ОВ, имеющего наименьшую степень ароматичности. В водах ручья, заболоченного леса и высокого ряма в мае и августе преобладает ароматическое гидрофобное органическое вещество ($SUVA_{254}$ ≥ 4). Оценивая преобладание автохтонного или аллохтонного РОВ (E2:E4), отмечается превалирование аллохтонного РОВ (особенно в реках) в мае и автохтонного в октябре. Значения E4:E6 ниже в августе и выше в мае (кроме р. Бакчар), что свидетельствует о более высокой степени гумификации ОВ в летний период. Содержание биоразлагаемого (%БРОУ) варьирует как по элементам ландшафта, так и по сезонам года (Рис.2).

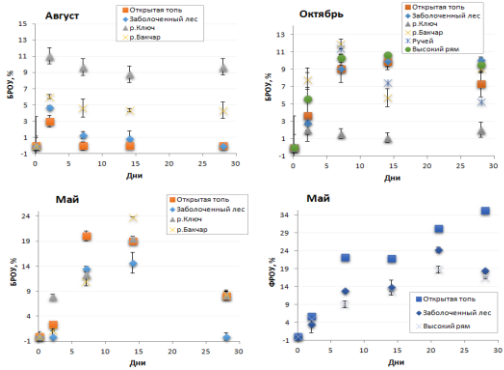


Рис. 2. Процент фото- и биоразлагаемого РОУ в почвенных, болотных, речных вод в зависимости от времени, а также с учетом сезона года. Планки погрешностей составляют ±1sd от трех повторностей.

В целом происходит деструкция РОУ, которая максимальна во всех водах, отобранных в мае и минимальна в августе (за исключением р. Ключ и р. Бакчар). В водах осоково-сфагновой топи, заболоченного леса и высокого ряма прослеживается максимальный микробный распад РОУ, который приходится на май (%БРОУ≤ 20,1) и октябрь (%БРОУ ≤ 10,6). Действительно для болотных и почвенных вод этих месяцев наблюдается наибольшее количество бактерий по сравнению с другими. Наиболее заметно процессы биодеструкции ОВ в исследованных пробах происходят на 7–14 дни эксперимента. Величина $SUVA_{254}$ находилась в диапазоне от 2,8 до 6, демонстрируя сезонное снижение в порядке май > август > октябрь, что соответствует начальным изменениям этого параметра.

Линейная отрицательная зависимость между концентрациями РОУ и $SUVA_{254}$ (R^2 = 0.36–0.85, p < 0.05) показала, что с увеличением времени инкубации и %БРОУ предпочтительное удаление алифатического низкомолекулярного РОВ происходит осенью, тогда как высокомолекулярный ароматический РОВ накапливается весной и летом. Во время фотолиза в воде наблюдалось заметное снижение концентрации РОУ во фракции < 0,22 мкм со временем на 3,5–35,2 % (Рис. 2). При этом наибольший %ФРОУ отмечается в болотной воде осоково-сфагновой топи на протяжении всех дней эксперимента по сравнению с заболоченным лесом и высоким рямом. В почвенных водах ряма и леса максимум фотодеструкции РОУ приходится на 21-й день солнечной инсоляции. Процент ФРОУ изменятся в ряду топь > заболоченный лес > высокий рям. Изменение %ФРОУ имеет прямую зависимость от количества дней (R^2=0,7–0,85) воздействия солнечным светом и количества суммарной солнечной радиации. Такой показатель как $SUVA_{254}$ также изменялся со временем от 4,9 до 2,3. Вероятней снижение РОУ происходит за счет его перехода в неорганическую форму (гидрокарбонаты и углекислый газ). Снижение содержания углерода также может быть связано не только с его разрушением и выделением углекислого газа, но и с параллельным процессом образования более высокомолекулярных органических соединений или с их разрушением до низкомолекулярных, которые удаляются уже при повторной фильтрации. Увеличение доли низкомолекулярных соединений в свою очередь может повысить их биодоступность.

ВЫВОДЫ

Полученные результаты показали, что рассматриваемые почвенные и поверхностные воды имеют ландшафтные и сезонные различия в своем химическом составе, что также отражается на проценте био- и фоторазлагаемых фракции РОУ. В мае наблюдается возрастание pH, уменьшение РОУ и степени гумификации РОВ, преобладание ароматического гидрофобного ОВ аллохтонной природы. Самые низкие значение pH, РОУ, степени гумификации, Ca, Mg, Na, P и Fe характерны для открытой осоково-сфагновой топи. Показано, что в ходе проведенных экспериментов в почвенных, болотных и речных водах происходит в большей степени фотодеградация РОУ, чем его микробный распад. Полученные данные по

изменению фото- и биодоступности РОВ позволили также установить степень его трансформации в различных экосистемах и по сезонам года. При анализе состояния водно-болотных экосистем Западной Сибири, оценки их влияния на другие водные объекты, а также прогнозировании поведения углерода необходимо учитывать выявленные различия и потенциальный вклад процессов деструкции РОВ в суммарную эмиссию CO_2.

Исследование выполнено в рамках проектов РНФ (проект № 21-77-00021) и РФФИ (проект № 19-35-60030).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Kalbitz K., Schmerwitz J., Schwesig D., Matzner E.* Biodegradation of soil-derived dissolved organic matter as related to its properties // Geoderma. 2003. Vol. 113. P. 273–291. DOI: 10.1016/S0016-7061(02)00365-8

2. *Wickland K.P., Aiken, G.R., Butler K., Dornblaser M.M., Spencer R.G.M., Striegl R.G.* Biodegradability of dissolved organic carbon in the Yukon River and its tributaries: seasonality and importance of inorganic nitrogen // Global Biogeochem. Cy. 2012. Vol. 26. GB0E03. DOI: 10.1029/2012GB004342

3. *Abbott B.W., Larouche J.R., Jones J.B., Bowden W.B., Balser A.W.* Elevated dissolved organic carbon biodegradability from thawing and collapsing permafrost // J. Geophys. Res. 2014. Vol. 119. P. 2049–2063. DOI: 10.1002/2014JG002678

4. *Payandi-Rolland D., Shirokova L.S., Tesfa M., Lim A.G., Kuzmina D., Benezeth P., Karlsson J., Giesler R., Pokrovsky O.S.* Dissolved organic matter biodegradation along a hydrological continuum in a discontinuous permafrost area: case study of northern Siberia and Sweden // Science Total Environ. 2020. Vol. 749. 141463. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2020.141463

5. *Shirokova L.S., Chupakov A.V., Zabelina S.A., Neverova N.V., Payandi-Rolland D., Causserand C., Karlsson J., Pokrovsky O.S.* Humic surface waters of frozen peat bogs (permafrost zone) are highly resistant to bio- and photodegradation // Biogeosciences. 2013. Vol. 16. P. 2511–2526. DOI: 10.5194/bg-16-2511-2019.

6. *Koehler B., Landelius T., Weyhenmeyer G.A., Machida N., Tranvik L.J.* Sunlight-induced carbon dioxide emissions from inland waters // Global Biogeochem. Cy. 2014. Vol. 28. P. 696–711. DOI: 10.1002/2014GB004850.

7. *Holmes R.M., McClelland J.W., Raymond P.A., Frazer B.B., Peterson B.J., Stieglitz M.* Lability of DOC transported by Alaskan rivers to the Arctic Ocean // Geophys. Res. Lett. 2008. Vol. 35. L03402. DOI: 10.1029/2007GL032837.

ёУДК 631.4

Динамика интенсивности эксплуатации почвенно-земельного покрова Юхновского района Калужской области в 1984 – 2021 гг.

© 2022г. Д.И. Рухович*, П.В. Королева, Е.В. Вильчевская

ФИЦ «Почвенный институт им. В.В. Докучаева», Россия,
119017, Москва, Пыжевский пер, 7, стр. 2,
** e-mail: landmap@yandex.ru*

Резюме: Данные дистанционного зондирования на настоящее время достигли состояния больших данных (big data). Временной диапазон big data охватывает период с 1985 года по настоящее время. Именно в это период картографический мониторинг земель сельскохозяйственного назначения на территории России не проводился. Технологии ретроспективного мониторинга почвенно-земельного покрова и измерения интенсивности землепользования на основе расчетов частоты встречаемости открытой поверхности почвы позволяют провести анализ состояния пахотных угодий с точностью картографического масштаба 1:10 000 за последние 37 лет. Данные ретроспективного мониторинга и расчетов интенсивности землепользования существенно точнее данных официальной статистики. Кроме того, в отличии от статистических данных они дают информацию о расположении пахотных угодий во времени и пространстве. Таким образом две технологии позволяют восстановить мониторинг земель сельскохозяйственного назначения. Применение технологий показало, что сокращение пашни в Юхновском районе Калужской области составило более 2/3 от исходной площади пашни в 35 633 га. В настоящий (на 2020 год) момент площадь пахотных угодий сократилась до 14 547 га. Вывод земель происходил неравномерно по территории района и не одновременно. В ряде случаев окончательному выводу земель из пашни предшествовало уменьшение интенсивности эксплуатации земель с переходом на севообороты с большим содержанием многолетних трав. В других случаях интенсивность снижалась резко, т.к. поля переставали обрабатываться. Установлено, что наименьшее снижение интенсивности землепользования происходит на наиболее плодородных почвах района - серых лесных почвах. Максимальное снижение интенсивности отмечено для дерново-сильноподзолистых почв. Необратимо из сельскохозяйственного оборота выведено порядка 316 га. Большая часть (18 046 га) утраченной пашни в том или ином виде является молодыми лесами.

Ключевые слова: ретроспективный мониторинг, динамика почвенного и земельного покрова, открытая поверхность почвы.

Dynamics of the intensity of exploitation of the soil and land cover in the Yukhnovsky district of the Kaluga region in 1984 - 2021

© 2022 D.I. Rukhovich*, P.V. Koroleva, E.V. Vilchevskaya

Federal Research Centre "V.V. Dokuchaev Soil Science Institute",
7 Bld. 2 Pyzhevskiy per., Moscow 119017, Russian Federation,
** e-mail: landmap@yandex.ru*

Abstract: Remote sensing data has now reached the state of big data. The time range of big data covers the period from 1985 to the present. It was during this period that cartographic monitoring of agricultural land in Russia was not carried out. The technologies of retrospective monitoring of soil and land cover and measuring the intensity of land use based on calculations of the frequency of bare soil surface occurrence make it possible to analyze the state of arable land with an accuracy of a cartographic scale of 1:10,000 over the past 37 years. Data from retrospective monitoring and calculations of land use intensity are significantly more accurate than official statistics. In addition, unlike statistical data, they provide information about the location of arable land in time and space. Thus, two technologies make it possible to restore the monitoring of agricultural land. The application of technologies has shown that the reduction of arable land in the Yukhnovsky district of the Kaluga region amounted to more than 2/3 of the original arable land area of 35,633 ha. At present (2020) the area of arable land has decreased to 14,547 hectares. The land abandonment occurred unevenly throughout the region and not simultaneously. In a number of cases, the final abandonment of arable land was preceded by a decrease in the intensity of land exploitation with the change to crop rotations with a high content of perennial grasses. In other cases, the intensity decreased sharply, because fields were no longer processed. It has been established that the least decrease in the intensity of land use occurs on the most fertile soils of the region - gray forest soils. The maximum decrease in intensity was noted for soddy strongly podzolic soils. About 316 hectares have been irreversibly withdrawn from agricultural use. Most of the lost arable land (18,046 ha) is young forest in one form or another.

Keywords: retrospective monitoring, soil and land cover dynamics, bare soil surface.

ВВЕДЕНИЕ

С 90-х годов прошлого века произошло значительное изменение интенсивности землепользования сельскохозяйственных земель России. В результате до 50 млн. га пахотных земель снизили интенсивность землепользования практически до нулевых значений. Крупномасштабный мониторинг этих процессов не велся. В связи с этим точная площадь заброшенных участков пашни или пашни с низкой интенсивностью эксплуатации не известна. По статистическим данным величины заброса земель колеблются от 6.5 до 55 млн. га. При детальном картографировании результаты расходятся с данными официальной статистики (Рухович и др., 2017; Рухович, Шаповалов, 2015б). Расхождение может достигать критических величин.

Переход данных дистанционного зондирования в состояние больших данных (Rukhovich et al., 2021), позволяет организовать мониторинг интенсивности землепользования (Куляница и др., 2017). В сочетании с технологией ретроспективного мониторинга почвенно-земельного покрова достигается точность мониторинга соответствующая масштабу 1 : 10 000 (Рухович, Шаповалов, 2015а). В основе расчетов интенсивности землепользования лежит специфическая особенность открытой поверхности почвы образовывать эллиптическое распределение в спектральной плоскости RED-NIR (Королева и др., 2017).

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Объектом исследования являются пахотные земли Нечерноземья Российской Федерации на примере Юхновского района Калужской области в период 1985-2020 гг.

В работе применены следующие методы:

Визуальный просмотр открытых архивов данных дистанционного зондирования (ДДЗ) для выявления ДДЗ, несущих информацию о сельскохозяйственной эксплуатации. Методы построения вегетационных индексов. Картографически-графический анализ спектральных каналов ДДЗ на предмет выявления на них открытой поверхности почвы (ОПП). Картографически-графический анализ спектральных каналов ДДЗ на предмет выявления на них территорий находящихся в спектральной окрестности линии почв (СОЛП),

но не являющихся ОПП. Наземная верификация выделения ОПП и др. объектов области СОЛП. Картографическая верификация выделения ОПП и др. объектов области СОЛП. Метод ретроспективного мониторинга для формирования картографической основы работ в виде схемы землепользования. Технология измерения интенсивности эксплуатации почвенно-земельного покрова. Приведенный выше набор методов сведен в единую технологическую цепочку, охватывающую все этапы работы от сбора первичной информации до формирования карт интенсивности землепользования.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Для территории Юхновского района проведена инвентаризация текущего землепользования на основе ДДЗ высокого разрешения, топографических карт, архивных почвенных и землеустроительных материалов и иных источников информации. В ходе работ впервые осуществлен ретроспективный мониторинг пахотных угодий Нечерноземья Российской Федерации в масштабе более крупном, чем система инвентаризации пахотных угодий ГИПРОЗЕМ СССР. Точность, превышающая картографический масштаб 1:10 000 достигнута за счет широкого использования космической съемки с пространственным разрешением 1 м и детальнее. Временной охват мониторинга составил 35 лет (с 1985 по 2020 гг.). Выявлена динамика использования земель (Рис. 1).

Оценена интенсивность эксплуатации почвенно-земельного покрова. При оценке граничными условиями в пространстве являются результаты ретроспективного мониторинга. Сама оценка ведется на основе анализа больших спутниковых данных за период с 1985 по 2020 гг. с использованием технологии спектральной окрестности линии почв. Проведены работы по автоматизации технологии оценки интенсивности эксплуатации почвенно-земельного покрова с использованием глубокого машинного обучения. Глубокое машинное обучение проведено на основе dataset, созданного по big data.

Максимальная площадь распашки Юхновского района составляет 36 597 га. Установлено, что пахотные угодья составляли на 1985 год 35 633 га. В настоящий (на 2020 год) момент площадь пахотных угодий сократилась до 14 547 га. Из 22 050 га, вышедших

из пашни, 316 утрачены необратимо под жилую застройку, дороги, карьеры и проч., 18 046 га в том или ином виде залесены.

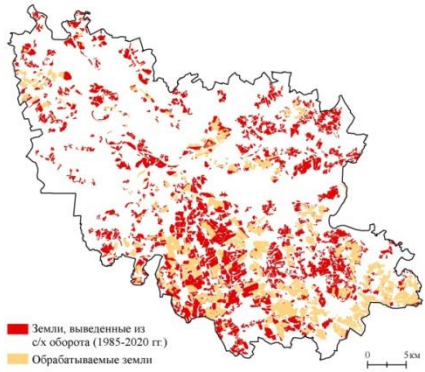


Рис. 1. Карта распространения динамики использования пашни Юхновского района

Лесные посадки также можно отнести к необратимым выходам пашни из сельскохозяйственного оборота. На 3 688 га сформировалась залежь. В целом по району потери пашни составили 60.3%. В различных хозяйствах района величины потери пашни варьируют от 18% до 90%. Сокращение пашни произошло на фоне изменившихся экономических и социальных условий. Часть пашни утратила экономическую эффективность эксплуатации. Выявлены три фактора определяющие величину сокращения пашни: плодородие почв, близость к городам и др. промышленным центрам, эффективность административного управления. При прочих равных почвенно-антропогенных факторах, административное воздействие позволяет сохранить дополнительные 5-7% пашни.

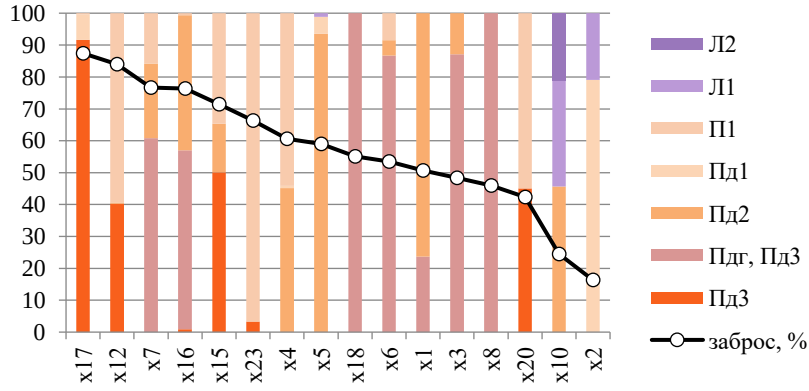


Рис. 2. Роль почвенного покрова в динамике использования пашни Юхновского района по хозяйствам

Почвенный покров района по ГПК 1М однороден. Во всех хозяйствах доминирующими почвами являются дерново-подзолистые почвы разной степени оподзоленности. Но даже при столь однородном покрове хозяйства с большей долей слабоподзолистых почв или серых лесных почв имеют более низкий процент выхода пашни из сельскохозяйственного оборота (Рис. 2).

Анализ интенсивности эксплуатации земель (Рис. 3-5) позволил выявить хозяйства с временным повышением интенсивности землепользования за счет сокращения доли многолетних трав. Но измерение интенсивности показало, что общий тренд снижения интенсивности землепользования изменить не удалось.

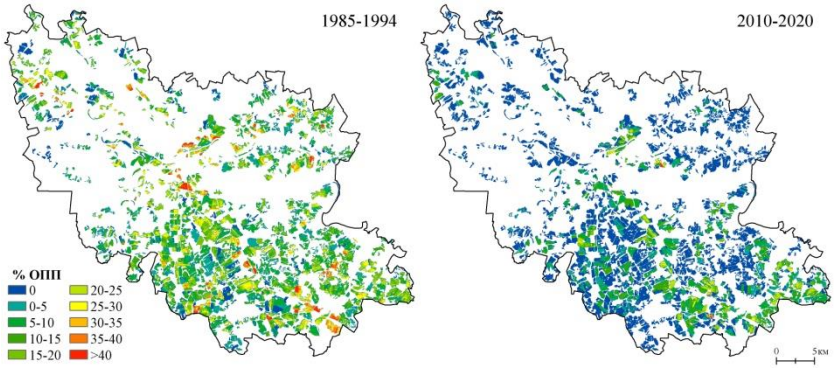


Рис. 3. Динамика интенсивности землепользования почвенно-земельного покрова на пашне Юхновского района

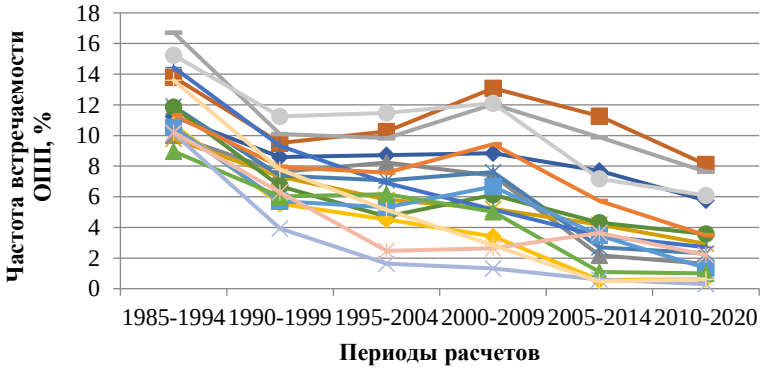


Рис. 4. Графический анализ изменений интенсивности эксплуатации пахотных земель различных хозяйств Юхновского района методом скользящего среднего в период с 1985 по 2020 годы

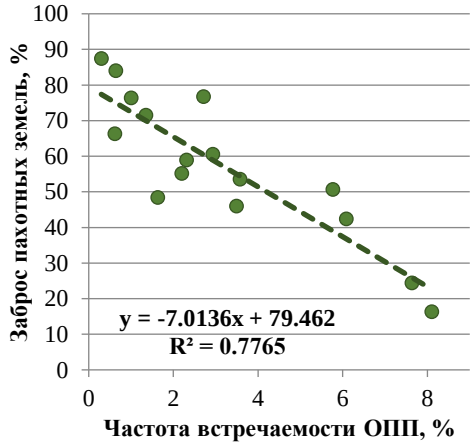


Рис. 5. Анализ результатов ретроспективного мониторинга и расчета интенсивности эксплуатации пахотных земель

Проведена взаимная верификация методов измерения интенсивности землепользования (автоматизированного метода мониторинга) и метода ретроспективного мониторинга почвенно-земельного покрова (Рис. 5). Методы показали высокую взаимную корреляцию. При внедрении результатов работ в аппарат карбонового полигона на территории Юхновского района в рамках проекта "КАРБОН" были изучены следующие материалы на всю территорию района (Курганова и др., 2022): схемы внутрихозяйственного землеустройства в М 1 : 10 000 в электронной векторной форме; топографические карты в М 1 : 25 000 в электронной растровой форме; кадастровое деление в электронной растровой форме до кадастрового участка (наиболее дробное кадастровое деление); почвенные карты на некоторые хозяйства в М 1 : 25 000 в электронной растровой форме.

Установлена недостаточная точность почвенных, землеустроительных, кадастровых материалов, топографических карт и результатов GPS съемки для целей мониторинга пахотных угодий и задания граничных условий для применения систем искусственного интеллекта. Необходимая точность достигнута только технологией ретроспективного мониторинга и измерением интенсивности землепользования.

ВЫВОДЫ

В ряде регионов Нечерноземья Российской Федерации происходит сокращение площадей пахотных угодий в период с 1985 по 2020 гг. В Юхновском районе Калужской области сокращение пашни составило более 2/3 от максимальной площади распашки.

Установить площади заброшенной пашни оказалось невозможным на основании существующих систем мониторинга и службы государственной статистики.

На основе больших спутниковых данных можно восстановить мониторинг эксплуатации пахотных земель в период с 1985 по 2020 годы: в ручном режиме на основе технологии ретроспективного мониторинга почвенно-земельного покрова и в автоматизированном режиме при измерении интенсивности землепользования на основе измерения частоты встречаемости открытой поверхности почвы. Достигаемая методами точность составила 1 : 10 000.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Королева П.В, Рухович Д.И., Рухович А.Д., Рухович Д.Д., Куляница А.Л., Трубников А.В., Калинина Н.В., Симакова М.С.* Местоположение открытой поверхности почвы и линии почвы в спектральном пространстве RED-NIR // Почвоведение. 2017. №12. С. 1435-1446.

2. *Куляница А.Л., Королева П.В., Рухович Д.И., Рухович А.Д., Рухович Д.Д., Симакова М.С.* Частота встречаемости открытой поверхности почвы как количественная мера интенсивности использования земель // Информация и космос. 2017. № 1. С. 139-145.

3. *Курганова И.Н., Лопес Де.Г.В.О., Ипп С.Л., Каганов В.В., Хорошаев Д.А., Рухович Д.И., Сумин Ю.В., Дурманов Н.Д., Кузяков Я.В.* Пилотный карбоновый полигон в России: анализ запасов углерода в почвах и растительности // Почвы и окружающая среда. 2022. Т. 5. № 2. e169.

4. *Рухович Д.И., Шаповалов Д.А.* Об особенностях мониторинга почвенно-земельного покрова как информационной основы эффективного землепользования // Землеустройство, кадастр и мониторинг земель. 2015. № 12 (131). С. 31-49.

5. *Рухович Д.И., Шаповалов Д.А.* Продовольственная безопасность России: взгляд из космоса на засуху и урожай // Власть. 2015. № 8. С. 101-107.

6. *Рухович Д.И., Шаповалов Д.А., Куляница А.Л., Королева П.В.* Продовольственная безопасность России и государственная статистика — к чему ведут выдуманные цифры // Международный

сельскохозяйственный журнал. 2017. №6. С. 64-69.
7. *Rukhovich D.I., Koroleva P.V., Rukhovich D.D., Kalinina N.V.* The use of deep machine learning for the automated selection of remote sensing data for the determination of areas of arable land degradation processes distribution // Remote sensing. 2021. Vol. 13(1). 155.

УДК 631.4

Пространственное варьирование характеристик гумусового профиля пахотных черноземов (Белгородская область)

© 2022 г. М.А. Смирнова[1*], А.Н. Геннадиаев[1], Ю.Г. Чендев[2], Р.Г. Ковач[1],

[1] МГУ им. М.В. Ломоносова, Ленинские горы, 1, Москва, 119999, Россия, [*] summerija@yandex.ru

[2] Белгородский государственный национальный исследовательский университет, ул. Победы, 85, Белгород, 308015, Россия

Резюме: Особенности пространственного варьирования параметров гумусового профиля пахотных черноземов характеризуют структурно–функциональную организацию агроландшафтов и должны быть учтены при проектировании систем точного земледелия, мониторинга состояния почв и др. Работа основана на данных о мощности гумусового горизонта, гумусового профиля и содержании органического углерода в слое 0–20 см в пахотных черноземах, опробованных на двух сельскохозяйственных полях, разделенных субмеридионально-ориентированной лесополосой в пределах водораздельной поверхности (Среднерусская возвышенность). Опробование почв проведено по регулярной сетке с шагом в 10 м в пределах участков размерами 30 х 100 м; всего на каждом поле заложено и изучено по 30 точек. Выявлено, что пространственное варьирование параметров гумусового профиля пахотных черноземов уменьшается в ряду: мощность гумусового горизонта, мощность гумусового профиля, содержание органического углерода в слое 0–20 см; коэффициенты вариации для всех свойств не превышают 31%. Почвы пашни, расположенные к западу от лесополосы, характеризуются большей мощностью гумусового горизонта (61 ± 18.1 см против 57.3 ± 17.5 см), гумусового профиля (113.1 ± 18.9 см против 98 ± 21.3 см) и содержания органического углерода в слое 0–20 см (5.5. ± 0.7% против 5.3 ± 0.6%) в сравнении с почвами пашни, расположенными к востоку от лесополосы. При этом, статистически значимой ($p = 0.05$) является только разница в мощности гумусового профиля пахотных черноземов, приуроченных к двум разным сельскохозяйственным полям.

Ключевые слова: органическое вещество почв, гумус, Среднерусская возвышенность.

Spatial variability of the humus horizon properties of arable chernozems (Key site in Belgorod region)

© 2022 M.A. Smirnova[1], A.N. Gennadiev[1], Yu.G. Chendev[2], R.G. Kovach[1]

[1] *Lomonosov Moscow State University, 119999, Moscow, Russia*

[*] *e-mail: summerija@yandex.ru,*

[2] *Belgorod State National Research University, 308015, Belgorod, Russia*

Abstract: The spatial variability of the humus horizon of arable chernozems characterize the structural and functional agro landscape organization and should be taken into account when designing precision farming systems, soil monitoring and etc. The work is based on data on the thickness of the humus horizon, the humus profile, and the content of organic carbon in the 0–20 cm layer in arable chernozems tested on two agricultural fields separated by a submeridionally oriented forest belt within the watershed (Central Russian Upland). Soil sampling was carried out on a regular grid with a step of 10 m within plots 30 x 100 m; in total, 30 points were studied on each field. It was found that the spatial variation of the parameters of the humus profile of arable chernozems decreases in the following order: the thickness of the humus horizon, the thickness of the humus profile, the content of organic carbon in the 0–20 cm layer; coefficients of variation for all properties do not exceed 31%. The soils of arable land located to the west of the shelterbelt are characterized by a greater thickness of the humus horizon (61 ± 18.1 cm versus 57.3 ± 17.5 cm), humus profile (113.1 ± 18.9 cm versus 98 ± 21.3 cm), and organic carbon content in the 0– 20 cm (5.5 ± 0.7% versus 5.3 ± 0.6%) in comparison with the soils of arable land located to the east from the shelterbelt. At the same time, only the difference in the thickness of the humus profile of arable chernozems between two different agricultural fields is statistically significant ($p = 0.05$).

Keywords: soilorganic matter, humus, Central Russian upland.

ВВЕДЕНИЕ

Черноземы продолжают оставаться одними из самых богатых органическим углеродом почв в мире, даже несмотря на их давнее и интенсивное сельскохозяйственное использование (Шишов и др., 2001; Kurganova et al., 2019); они вносят существенный вклад в общий баланс органического углерода планеты, поэтому изменение содержания органического углерода в черноземах может существенно сказаться на содержание углекислого газа в атмосфере (Chug et al., 2010). Цель настоящей работы – количественная оценка

пространственного варьирования характеристик гумусового профиля пахотных черноземов. Полученные данные могут быть использованы для уточнения существующих балансовых оценок содержания органического углерода в почвах и для обоснования сети опробования почв в целях мониторинга содержания органического углерода.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Участок исследования представлен двумя сельскохозяйственными полями (в пределах водораздельной поверхности), разделенными между собой меридионально-ориентированной лесополосой 60 - и летнего возраста; он расположен в Белгородской области в Краснояружском районе (Среднерусская возвышенность). Климат территории умеренно-континентальный, гидротермический коэффициент Селяниннова равен 1.24. Средняя январская температура составляет – 5.8ºС, июля +22.3ºС. Среднегодовое количество осадков равно 582 мм/год. На сельскохозяйственных полях выращивают технические и зерновые культуры, используют плужную обработку почвы, дискование. В момент исследования на поле, расположенном к западу от лесополосы («З поле»), выращивалась кукуруза, к востоку («В поле») – пшеница. Лесополоса состояла из 12 сдвоенных рядов деревьев, преобладающей породой являлся ясень обыкновенный (Fraxinus excelsior). Почвы представлены агрочерноземами (черноземами типичными), агрочерноземами глинисто-иллювиальными (черноземами выщелоченными) и агрочерноземами квазиглеевыми (лугово-черноземными почвами). В качестве почвообразующих пород выступают лессовидные суглинки.

На каждом поле было заложено по 30 буровых точек, в которых определялась мощность гумусового горизонта (PU+AU) и гумусового профиля (PU + AU+ AUbi+ BIau / PU + AU+ AUbca+ BCAau). Точки опробования расположены по регулярной сетке с шагом в 10 м в пределах участка 30 х 100 метров каждого поля. Из пахотного горизонта (0-20 см) отбирались образцы для определения содержания в них органического углерода по Тюрину.

Статистическая обработка данных включала проведение описательной статистики, проверку данных на нормальность и лог -

нормальность их распределения (использовались критерии Колмогорова-Смирнова и Уилка-Шапиро). С целью выявления возможного влияния лесополосы на особенности гумусового профиля почв прилегающих полей, были проведены статистические тесты о достоверности различия средних значений свойств почв двух пахотных полей (мощности гумусового горизонта, гумусового профиля, содержания Сорг.) при уровне значимости p = 0.05.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Почвы исследованных сельскохозяйственных полей характеризуются высокой мощностью как гумусового горизонта, так и гумусового профиля (Табл.1). Содержание органического углерода в слое 0–20 см относительно высокое, боле 3.8%. Пространственное варьирование мощности гумусового горизонта превышает таковое для гумусового профиля, коэффициент вариации достигает 30%. Наименьшим варьированием из исследованных свойств характеризуется содержание органического углерода в слое 0 – 20 см, коэффициент вариации составляет менее 12.5%.

Таблица 1. Статистические параметры свойств гумусового профиля пахотных черноземов

Статистический параметр	Мощность гумусового горизонта, см		Мощность гумусового профиля, см		Соежржание Сорг. в слое 0 -20 см, %	
	«З поле»	«В поле»	«З поле»	«В поле»	«З поле»	«В поле»
Среднее	61.0	57.3	113.1	98.0	5.8	5.5
Медиана	60.0	55.0	120.0	100.0	5.7	5.6
Минимум	35.0	25.0	70.0	55.0	3.9	3.8
Максимум	120.0	80.0	150.0	130.0	9.9	6.7
Стандартное отклонение	18.1	17.5	18.9	21.3	1.2	0.7

Коэф. вариации	29.7	30.4	16.7	21.7	12.1	11.3

Почвы пашни, расположенные к западу от лесополосы, характеризуются большей мощностью гумусового горизонта, гумусового профиля и содержания органического углерода в слое 0–20 см в сравнении с почвами пашни, расположенными к востоку от лесополосы (Табл.1, Рис.1). При этом, статистически значимой (p. = 0.05) является только разница в мощности гумусового профиля пахотных черноземов (20 см), приуроченных к двум разным сельскохозяйственным полям.

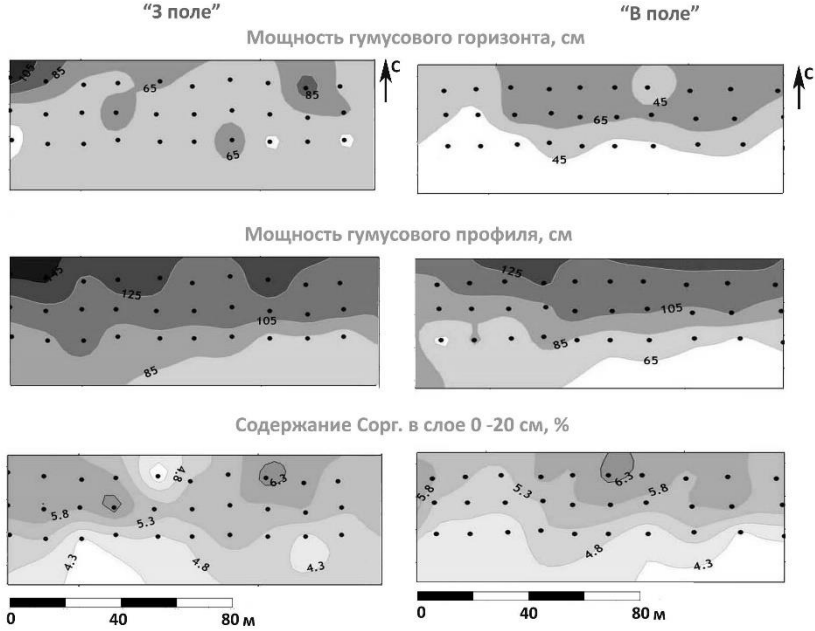


Рис. 1. Мощность гумусового горизонта, гумусового профиля и содержание органического углерода в слое 0–20 см почв полей (точками показаны места опробования почв)

Объяснение выявленной особенности требует специального исследования. Вместе с тем, можно предположить, что, поскольку факторы рельефа, почвообразующих пород, типы севооборота и

особенности агротехнических мероприятий на полях идентичны, то повышенная мощность гумусового профиля почв «З поля» может быть обусловлена особенностями микроклимата, формируемого лесополосой.

На (Рис.1) представлены пространственные модели мощности гумусового горизонта и гумусового профиля, содержания углерода в слое 0–20 см пахотных черноземов. Наблюдаемые изменения исследованных параметров гумусового профиля пахотных черноземов в пределах ключевых участков слабоконтрастны; ареалы с близкими значениями свойств, как правило, представлены широкими полосами, последовательно сменяющими друг друга, только изредка нарушаемыми небольшими ареалами с повышенным или пониженным значениями.

ВЫВОДЫ

На основании проведенного исследования мощности гумусового горизонта, гумусового профиля и содержания органического углерода в слое 0 – 20 см пахотных черноземов, приуроченных к водораздельной поверхности, выявлено:

- агрочерноземы характеризуются слабым варьированием содержания органического углерода в пахотном горизонте – менее 12.5%. Коэффициенты вариации мощности гумусового горизонта и гумусового профиля, соответственно, не превышают 22% и 31%;

- средняя мощность гумусового горизонта пахотных черноземов составляет 59±15.7 см при содержании гумуса 5.5±0.9 % в его верхнем слое 0-20 см. Мощность гумусового профиля варьирует от 55 до 150 см;

- почвы пашни, расположенные к западу от лесополосы, характеризуются значимо более высокой мощностью гумусового профиля (на 20 см), чем почвы, расположенные к востоку от лесополосы. Различия в мощности гумусового горизонта и содержания в нем органического углерода между почвами исследованных полей недостоверны.

БЛАГОДАРНОСТЬ

Исследования проведены за счет Российского научного фонда – проект РНФ № 19-17-00056.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Шишов, Л. Л., Комов, Н. В., Родин, А. З., Фридланд, В. М.* Почвенный покров и земельные ресурсы Российской Федерации. М.: Почвенный ин т им. ВВ Докучаева РАСХН, 2001. 400 с.

2. Kurganova I., Merino A., Lopes V., Gerenyu D., Barros N., Kalinina O., Kuzyakov Y. Mechanisms of carbon sequestration and stabilization by restoration of arable soils after abandonment : A chronosequence study on Phaeozems and Chernozems // Geoderma. 2019. Vol. 354. 113882. DOI: 10.1016/j.geoderma.2019.113882

3. Chung H., Ngo K.J., Plante A., Six J. Evidence for carbon saturation in a highly structured and organic-matter-rich soil // Soil Sci Soc Am J. 2010. Vol. 74(1). P. 130–138. DOI: 10.2136/sssaj2009.0097

УДК 631.4

ГИС платформа "Почвенные ресурсы сельскохозяйственных угодий РФ"

© 2022 г. В.С. Столбовой, А.М. Гребенников, П.М. Шилов

ФИЦ «Почвенный институт им. В.В. Докучаева», Россия,
119017, Москва, Пыжевский пер, 7, стр. 2,
** vladimir.stolbovoy@gmail.com*

Резюме: ГИС платформа «Почвенные ресурсы сельскохозяйственных угодий РФ» (ГИС ПРСХ) выступает современной моделью управления почвенными ресурсами страны и рассматривает почвенно-хозяйственный потенциал для сельскохозяйственной деятельности. Последний измеряется качеством почв, выраженным в баллах бонитета и/или величиной нормативной урожайности зерновых культур. *Типологической единицей качества почв (ТЕКП)* выступает, повторяющийся по набору атрибутов и функций, относительно однородный по природно-технологическим особенностям земельный участок. *Картографической единицей качества почв (КЕКП)* является контур/полигон земельного участка карты качества почв сельскохозяйственных угодий. ГИС ПРСХ включает всю площадь сельскохозяйственных угодий РФ, в пределах которой выделено 10711 *ТЕКП* и 57678 *КЕКП*. Полнота и детальность карты качества почв сельскохозяйственных угодий РФ соответствует масштабу 1:300 000 – 1:500 000, что позволяет проецировать ТЕКП с достаточной точностью на субъекты РФ. ГИС ПРСХ реализует принцип минимальной информационной, технологической и ресурсной достаточности и поддерживается операционной средой QGIS. ГИС ПРСХ содержит современные подходы решения задач социально-экономическое развития в области сельскохозяйственного землепользования таких как: мультиаспектность и взаимосвязанность природных и социально-экономических данных, устойчивое развитие сельскохозяйственного сектора; оперативность, доступность и открытость почвенно-ресурсных данных/информации на федеральном и субъект-муниципальном уровнях на основе цифрового формата; мульти вариантность использования почвенных ресурсов, обеспечивающую выбор землепользователя высококачественными природно-хозяйственные данными и моделями; экономическая эффективность и экологическая допустимость сельскохозяйственного землепользования на основе критериев и моделей качества почв и др. Цели ГИС ПРСХ формулируются государственными программами в области управления земельными ресурсами и включают: проведение работ по оценке качества земель с учетом их пригодности для использования; введение в оборот заброшенных неиспользуемых

сельскохозяйственных угодий; выделение особо ценных сельскохозяйственных земель; создание единой федеральной информационной системы о землях сельскохозяйственного назначения. Почвенно-ресурсное сопровождение решений перечисленных задач объединено в единую государственную ГИС платформу, которая поддерживается нормативно-правовыми актами. ГИС ПРСХ является открытой, т.е. может дополняться новыми целями, необходимыми для их решения атрибутами, моделями и пр. Приводятся примеры решения практических задач почвенно-ресурсного сопровождения, включая справочники показателей почв сельскохозяйственных угодий, индикаторов качества почв, качество почв для кадастровой оценки почв. Также демонстрируется первый в РФ «Реестр почвенных ресурсов Владимирской области». В представленной версии главные цели определены Стратегией устойчивого развития сельских территорий РФ на период до 2030 года (Распоряжение правительства РФ…, 2015), Государственной программой эффективного вовлечения в оборот земель сельскохозяйственного назначения и развития мелиоративного комплекса Российской Федерации на 2021–2030 гг. (Постановление Правительства РФ…, 2021)

Ключевые слова: качество почв, природно-хозяйственный потенциал, легитимация качества почвы

GIS platform "Soil resources of agricultural lands of the Russian Federation"

© 2022 V.S. Stolbovoy, A.M. Grebennikov, P.M. Shilov

Federal Research Centre "V.V. Dokuchaev Soil Science Institute",
7 Bld. 2 Pyzhevskiy per., Moscow 119017, Russian Federation,
[*] *e-mail: vladimir.stolbovoy@gmail.com,*

Abstract: The GIS platform "Soil resources of Agricultural Lands of the Russian Federation" (GIS SoRAL) is a modern model for managing the country's soil resources and considers the soil and economic potential for agricultural activities. The latter is measured by the quality of the soil, expressed in bonitet scores and/or the value of the standard yield of grains. The typological unit of soil quality (TUSQ) is a land plot that is repetitive in terms of a set of attributes and functions, relatively homogeneous in terms of natural and technological features. The mapping unit of soil quality (MUSQ) is the contour/polygon of the soil quality map. GIS SoRAL covers the entire area of agricultural land of the Russian Federation, within which 10711 TUSQ and 57678 MUSQ are distinguished. The completeness and detail of the soil quality map of agricultural lands of the Russian Federation corresponds to the scale

1:300 000 – 1:500 000, which makes it possible to project the TUSQ with sufficient accuracy to the subjects of the Russian Federation. GIS SoRAL implements the principle of minimal information, technological and resource sufficiency and is supported by the QGIS operating environment. The GIS SoRAL provides modern approaches to solving problems of socio-economic development in the field of agricultural land use, such as: multidimensionality and interconnectedness of natural and socio-economic data, sustainable development of the agricultural sector; efficiency, accessibility and openness of soil-resource data/information at the federal and subject-municipal levels based on a digital format; multivariance in the use of soil resources, which ensures the choice of the land user with high-quality natural and economic data and models; economic efficiency and environmental acceptability of agricultural land use based on criteria and models of soil quality, etc. The objectives of the GIS SoRAL are formulated by state programs in the field of land management and include: carrying out work to evaluate the quality of land, taking into account their suitability for use; involvement of abandoned agricultural land into use; allocation of especially valuable agricultural lands; creation of a unified federal information system on agricultural land. Soil-resource support for solving the above tasks is combined into a single state GIS platform, which is supported by regulatory legal acts. The GIS SoRAL is open, i.e. can be supplemented with new goals, attributes, models, etc.

Keywords: soil quality, natural and economic potential, soil quality legitimizatiuon

ВВЕДЕНИЕ

Почвенные ресурсы Российской Федерации представляют базис развития страны, обеспечивая качество жизни населения, включая производство продовольствия, промышленного сырья, чистой окружающей среды, воды, воздуха и др. Современные вызовы рационального использования почвенных ресурсов характеризуются системным уровнем сложности, объединяя различные отрасли знаний и практик. Действительно, доктрина продовольственной безопасности страны (Указ Президента…,2020) рассматривает экономику, в части стоимости продовольствия и доходов населения, социально-демографические аспекты в разделе регулирования народонаселения, медицину для формирования здорового населения и разнообразия пищевых рационов, огромное число задач устойчивого развития, таких как экология, деградация почв и пр. Отмеченная сложность требует создания адекватно комплексных подходов и инструментов, позволяющих на основе свойств почв и

окружающей среды создавать аналоги современных мультивариантных решений управления земельными ресурсами. Дополнительные трудности на этом пути связаны с разномасштабностью проявления и учета почвенных показателей (от производственного участка до страны), их географическим разнообразием и временной динамикой. В определенной степени, отмеченные трудности регулируются нормой совместной компетенции государственных органов РФ и субъект/муниципальных образований «…владение, пользование и распоряжение землей, недрами, водными и другими природными ресурсами» (Статья 72 Конституции РФ). Федеральный уровень предполагает формирование национальной политики и государственных программ в области использования и охраны почвенных ресурсов сельскохозяйственных угодий. Субъект/муниципальный уровень адаптирует государственную политику в регионах, а также формирует региональную повестку, исходя из собственных природных и социально-экономических особенностей и задач.

В настоящее время выполнен ряд исследований по двухуровневому информационному почвенно-ресурсному сопровождению сельскохозяйственного производства в РФ (Иванов и др., 2020; Столбовой и др., 2020; Столбовой, Гребенников и др., 2021). Результаты работ объединены в «Геоинформационную платформу «Почвенные ресурсы сельскохозяйственных угодий РФ» (ГИС ПРСХ), которая представляет новый высокотехнологичный государственный цифровой почвенный информационный ресурс, предназначенный для формирования и сопровождения государственной политики в области управления комплексом земельных отношений РФ.

Целью настоящего сообщения является обсуждение базовых концепций и результатов развития 2-х уровневой модели управления земельными ресурсами «ГИС ПРСХ».

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Концепция ГИС ПРСХ рассматривает *почвенные ресурсы*, под которыми понимается почвы и их измеряемый количественно природно-хозяйственный потенциал для выполнениясельскохозяйственной деятельности. Количественно природно-хозяйственный

потенциал сельскохозяйственных почв оценивается способностью почвы выполнять функции, необходимые для сельскохозяйственного использования или *качеством почв*, выраженном баллами бонитета и/или величиной нормативной урожайности оценочной культуры (в кадастровой оценке зерновые культуры). *Типологической единицей качества почв (ТЕКП)* выступает, повторяющийся по набору атрибутов и функций, относительно однородный по качеству почв и природно-технологическим особенностям земельный участок. *Картографической единицей качества почв (КЕКП)* является контур/полигон карты качества почв сельскохозяйственных угодий (Столбовой, Гребенников и др., 2021).

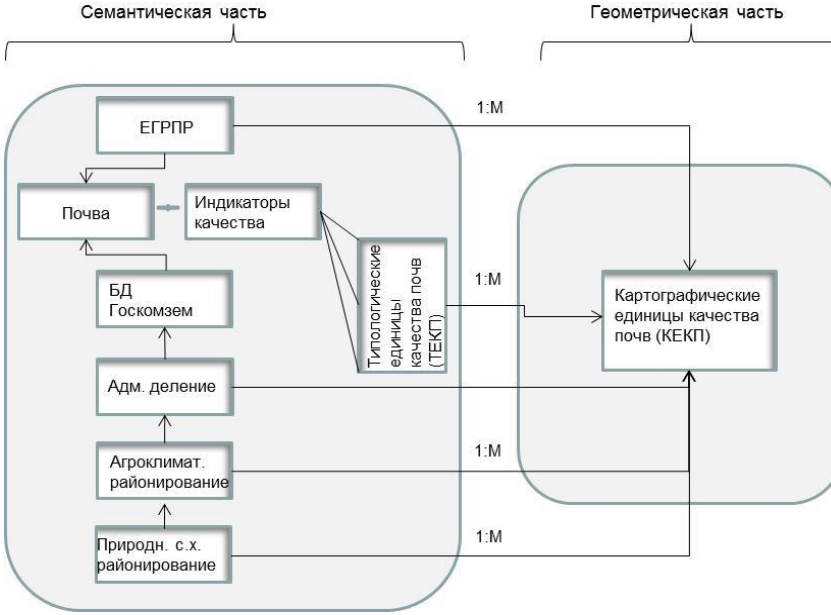


Рис. 1. Структура ГИС ПРСХ (Столбовой, Гребенников и др. 2021). Семантическая часть включает перечень и характеристики объектов (прямоугольники) и их взаимосвязей (стрелки). Характеристики объектов, входящие в перечень индикаторов качества, группируются в уникальные типологические единицы качества почв (ТЕКП). Геометрическая часть генерируется наложением полигонов объектов, связанных с индикаторами качества, которые формируют картографические единицы качества почв (КЕКП). Стрелки между семантической и геометрической части базы данных обозначают форму связи: 1:M - одна ТЕКП может встречаться во многих КЕКП.

В общем виде структура ГИС ПРСХ представлена на рисунке 1. Семантическая часть включает описание объектов/слоев географических данных: «ЕГРПР → Почва → БД Госкомзем → Адм. деление → Агроклимат. районирование → Природно - с.х. районирование». Перечисленные описания делегируют характеристики, которые необходимы для решения целевых задач ГИС ПРСХ.

Как показано на рисунке 1, ГИС ПРСХ интегрирует 5 слоев географических данных. Каждый из слоев покрывает всю площадь сельскохозяйственных угодий РФ, в пределах которой выделено 10711 *ТЕКП* и 57678 *КЕКП*. Полнота и детальность карты качества почв сельскохозяйственных угодий РФ соответствует географическому масштабу 1:300 000 – 1:500 000, что позволяет проецировать ТЕКП с достаточной точностью на субъекты РФ.

ГИС ПРСХ использует подходы создания целевых геоинформационных баз данных модульного типа, интегрированных на основе позиционного единства (Рис. 2). В качестве базовых использованы принципы информационной, ресурсной, технологической и нормативно-правовой минимальной достаточности. *Информационная достаточность* обеспечивается минимальным перечнем параметров необходимых для решения конкретных задач сельскохозяйственной отрасли. *Ресурсная достаточность* означает, что отмеченные выше параметры являются частью существующих Государственных программ (Распоряжение Правительства РФ…,2010 , Приказ Росреестра…,2021) и не предусматривает дополнительных расходов на ресурсоемкие операции по сбору, хранению и обработке данных. *Технологическая достаточность* поддерживается общей операционной средой программных средств QGIS, на основе единого математического, программного и технического сопровождения. *Нормативно-правовая достаточность* поддерживается существующими нормативно-правовым актами (ГОСТы, Законодательные Акты).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

ГИС ПРСХ использует подход создания целевых геоинформационных баз данных и технологий принятия решений, интегрированных на основе позиционного единства. Суть метода

заключается в создании системы последовательности взаимосвязанных операций/модулей, таких как: 1) формулирование цели; 2) выбор параметров, необходимых для достижения цели и создание геоинформационной (ГИС) базы данных (БД); 3) разработку модели и алгоритма достижения цели (в случае множественности целей – каталога моделей); 4) создание архива решений/моделей достижения целей; 5) нормативно-правовое обеспечение решений (Рис. 2).

ГИС ПРСХ является открытой, т.е. может дополняться новыми целями, необходимыми для их решения атрибутами, моделями и пр. В представленной версии главные цели определены Стратегией устойчивого развития сельских территорий РФ на период до 2030 года (Распоряжение правительства РФ…, 2015), Государственной программой эффективного вовлечения в оборот земель сельскохозяйственного назначения и развития мелиоративного комплекса Российской Федерации на 2021–2030 гг. (Постановление Правительства РФ…, 2021) и включают:

- проведение работ по оценке качества земель с учетом их пригодности для использования;
- введение в оборот заброшенных неиспользуемых сельскохозяйственных угодий;
- выделение особо ценных сельскохозяйственных земель;
- создание единой федеральной информационной системы о землях сельскохозяйственного назначения.

Оценка качества земель с учетом их пригодности для использования. Под качеством понимается способность почв выполнять функции необходимые для ее сельскохозяйственного использования (Столбовой, Гребенников и др., 2021). В сельскохозяйственном производстве среди главных признается функция плодородия, которое определяется нормативной урожайностью оценочных сельскохозяйственных культур и/или баллами бонитета почв (Приказ Росреестра…, 2021). В качестве главной оценочной культуры в РФ принята нормативная урожайность зерновых, которая используется для кадастровой оценки земель сельскохозяйственного назначения. Качество для производства других оценочных культур, в рамках *оценки пригодности почв* для их производства, определяется в упрощенной форме на основе эмпирических коэффициентов пересчета урожая зерновых культур, либо в более

сложной форме на основе агроклиматических, почвенных и лимитирующих, возделывание отдельной культуры, показателей.

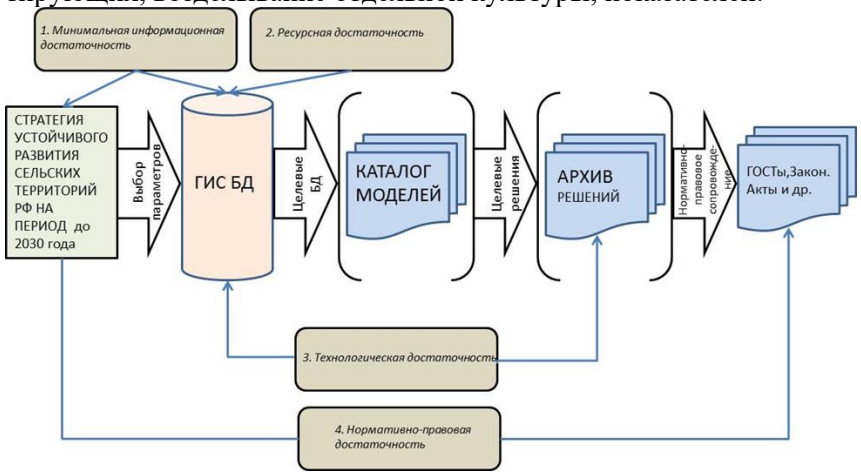


Рис. 2. Структура, принципы организации и модули ГИС платформы «Почвенные ресурсы сельскохозяйственных угодий РФ».

Введение в оборот заброшенных неиспользуемых сельскохозяйственных угодий. Согласно государственной программы (Постановление Правительства РФ…, 2021), планируется ввести в оборот 12 млн. га из 44 млн. га залежных земель в РФ Критериями выбора пригодных для введения в оборот участков выступают плодородие и высокий бонитет почв, которые рассмотрены выше. По нашим оценкам (Столбовой, Шилов и др., 2021) использование описанной выше модели качества почв позволяет получить экономию на выявление и обследование, планируемых для восстановления земель в масштабе страны более чем 6 млрд. рублей.

Выделение особо ценных сельскохозяйственных земель (ОЦПСУ). В качестве особо ценных предлагается признать земли сельскохозяйственного назначения, обладающими наиболее плодородными почвами с разделением последних на три уровня ценности. Критериями выделения ОЦПСУ выступают баллы бонитета и нормативная урожайность зерновых культур. Трехуровневый подход предполагает разделение компетенции и ответственности по управлению особо ОЦПСУ на федеральном, субъектном и муниципальном уровнях. По 100-балльной шкале бонитета к

федеральному уровню отнесены ОЦПСУ, имеющие более 50 баллов и нормативную урожайность зерновых выше 25 ц/га, к уровню субъекта РФ – угодья, характеризующиеся 25…50 баллами и нормативной урожайностью зерновых 12,5…25 ц/га, к муниципальному уровню – ОЦПСУ, имеющие балл бонитета менее 25 и нормативную урожайность зерновых ниже 12,5 ц/га.

На долю ОЦПСУ федерального уровня приходится 42 % пахотного фонда РФ – это пахотные органо-аккумулятивные черноземные почвы. Уровень субъектов РФ включает ОЦПСУ, которые в сумме занимают 36% сельскохозяйственных угодий страны и представлены пахотными текстурно-дифференцированными дерново-подзолистыми почвами лесо-луговой зоны и пахотными гумусово-аккумулятивными каштановыми почвами сухих степей. ОЦПСУ муниципального уровня занимают 13 % сельскохозяйственных угодий РФ и получили распространение в лесо-луговой и сухо-степной зонах. Доминирующими в лесо-луговой зоне выступают пахотные текстурно-дифференцированные дерново-подзолистые глееватые и глеевые обеспечение решений.

ГИС ПРСХ является открытой, т.е. может дополняться новыми целями, необходимыми для их решения атрибутами, моделями и пр. В представленной версии главные цели определены «Стратегией устойчивого развития сельских территорий РФ на период до 2030 года», а также “Государственной программой эффективного вовлечения в оборот земель сельскохозяйственного назначения и развития мелиоративного комплекса Российской Федерации на 2021–2030 гг.» и включают:

- проведение работ по оценке качества земель с учетом их пригодности для использования;
- введение в оборот заброшенных неиспользуемых сельскохозяйственных угодий;
- выделение особо ценных сельскохозяйственных земель;
- создание единой федеральной информационной системы о землях сельскохозяйственного назначения.

ГИС ПРСХ является открытой и может дополняться новыми целями, необходимыми для их решения атрибутами, моделями и пр.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Иванов А.Л., Столбовой В.С., Гребенников А.М. и др.* Ранжирование кислых почв по приоритетности проведения известкования в Российской Федерации: Бюллетень Почвенного института имени В.В. Докучаева. 2020. Вып. 103. С. 168-187. DOI: 10.19047/0136-1694-2020-103-168-187
2. Приказ Росреестра от 04.08.2021 N П/0336 "Об утверждении Методических указаний о государственной кадастровой оценке" (Зарегистрировано в Минюсте России 17.12.2021 N 66421) Доступно на сайте: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_403900/
3. Постановление Правительства РФ от 14 мая 2021 г. N 731 "О Государственной программе эффективного вовлечения в оборот земель сельскохозяйственного назначения и развития мелиоративного комплекса Российской Федерации" (с изменениями и дополнениями) Доступно на сайте: https://base.garant.ru/400773886/
4. Распоряжение Правительства РФ от 30 июля 2010 г. № 1292-р “О Концепции развития государственного мониторинга земель сельскохозяйственного назначения и земель, используемых или предоставленных для ведения сельского хозяйства в составе земель иных категорий, и формирования государственных информационных ресурсов об этих землях на период до 2020 года”. Доступно на сайте: https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/2072596/
5. Распоряжение правительства РФ от 2 февраля 2015 г. № 151-р «Стратегия устойчивого развития сельских территорий РФ на период до 2030 года.» До-
ступно на сайте: https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/70761426/
6. *Столбовой В.С., Гребенников А.М.* Индикаторы качества почв пахотных угодий РФ: Бюллетень Почвенного института им. В.В. Докучаева. 2020. № 104. С. 31-67.
7. *Столбовой В.С., А.М. Гребенников, А.К. Оглезнев и др.* Реестр индикаторов качества почв сельскохозяйственных угодий Российской Федерации. Версия 1.0 / Коллективная монография. – Иваново : ПресСто, 2021. – 260 с. DOI 10.51961/9785604637401. ISBN 978-5-6046374-0-1
8. *Столбовой В.С., Шилов П.М., Петросян Р.Д.* Реестр особо ценных продуктивных сельскохозяйственных угодий Российской Федерации: Достижения науки и техники АПК. 2021. Т. 35. № 1. С. 4–11. doi: 10.24411/0235-2451-2021-10101.
9. Указ Президента Российской Федерации от 21.01.2020 г. № 20 «Об утверждении Доктрины продовольственной безопасности Российской Федерации» Доступно на сайте: http://www.kremlin.ru/acts/bank/45106

УДК 631.4

Информационный потенциал цифровой почвенной карты Ленинградской области

© 2022 г. Е.Ю. Сухачева [1,2*], Б.Ф. Апарин [1,2],

Г.А. Касаткина [1], З.Ю. Богданов [2]

[1]ФИЦ «Почвенный институт им. В.В. Докучаева», Россия, 119017, Москва, Пыжевский пер, 7, стр. 2,
[*] lenasoil@mail.ru
[2]Санкт-Петербургский государственный университет, Россия, 199034, Санкт-Петербург, Университетская набережная, 7-9

Резюме: Рассмотрены возможности и перспективы использования среднемасштабной цифровой почвенной карты Ленинградской области (ЦПК ЛО) М: 1:200000 – нового информационного ресурса, отображающего современный почвенный покров (ПП) территории крупного агропромышленного региона. Методология составления ЦПК основана на единстве сравнительно-географического и прогнозно-фактологического методов исследования. При подготовке почвенной карты использовались современные классификационные представления о почвах России.

На основе ГИС проекта, который содержит в себе пространственные полигональные объекты, несущие информацию о названии почв, их площадях и включающих базу данных по характеристикам почв, отображенных на карте, проведена количественная и качественная оценка ПП Ленинградской области, определены площади разных типов почв и почвенных комбинаций. Эти данные необходимы для разработки мероприятий по рациональному использованию почв региона. Выявлено, что в современном почвенном покрове Ленинградской области значительную долю занимают антропогенно-преобразованные почвы.

Цифровая почвенная карта позволила провести оценку изменений агроэкологического и лесорастительного потенциалов ПП. На основе ЦПК возможно планирование работ по вовлечению неиспользуемых земель в сельскохозяйственный оборот, восстановлению мелиорированных земель лесного фонда и земель сельскохозяйственного назначения. ЦПК необходима для создания реестра почвенных ресурсов Ленинградской области, проведения мониторинга земель, выявления трендов экосистемных функций ПП. Прогноза дальнейших изменений и принятия нормативных актов по использованию и охране почв области.

Ключевые слова: почва, цифровая почвенная карта, почвенный покров, антропогенно-преобразованные почвы, непочвенные образования, дешифровочные признаки, структура почвенного покрова.

Information Potential of the Digital Soil Map of the Leningrad Region

© 2022 E.U. Sukhacheva[1,2*], B.F. Aparin[1,2], G.A. Kasatkina[1],

Z.U. Bogdanov[2]

[1]Federal Research Centre "V.V. Dokuchaev Soil Science Institute",
7 Bld. 2 Pyzhevskiy per., Moscow 119017, Russian Federation,
[*] e-mail: lenasoil@mail.ru,
[2]Saint Petersburg State University,

7/9, Universitetskaya Emb., St. Petersburg 199034, Russian Federation

Abstract: The possibilities and prospects of using the Leningrad Oblast medium-scale digital soil map (DSM) (M: 1:200,000) are described, which is a new information resource reflecting the modern soil cover (CS) of the territory of a large agricultural and industrial region. The methodology of the DSM compilation is based on the combination of comparative-geographical and predictive-factual research methods. When preparing the soil map, modern classification concepts of the soils in Russia were used. Based on the GIS project that contains spatial polygonal elements carrying information on soil types, their areas and includes a database on the characteristics of soils displayed on the map, a quantitative and qualitative assessment of the soil cover in the Leningrad Oblast was carried out, with determination of areas with different soil types and soil combinations. These data are necessary for the development of measures for the rational use of the region's soils. It has been revealed that anthropogenically transformed soils occupy a significant share in the modern soil cover of the Leningrad Oblast. The Digital Soil Map allowed assessing the changes in agro-ecological and forest-steppe potentials of the soil cover. On the basis of the DSM it is possible to plan works on involvement of unused lands into agricultural use, as well as restoration of reclaimed forest lands and agricultural lands. The DSM is necessary for creating a registry of soil resources of the Leningrad Oblast, land monitoring, identifying trends in ecosystem functions of the soil cover, forecasting further changes, and adopting normative acts on soil use and protection in the region.

Keywords: soil, digital soil map, soil cover, anthropogenically transformed soil, non-soil formations, deciphering signs, soil cover structure.

ВВЕДЕНИЕ

Цифровая почвенная карта (ЦПК) Ленинградской области (ЛО) в масштабе 1:200000 была создана в 2019 году сотрудниками Центрального музея почвоведения им. В.В. Докучаева и Санкт-Петербургского государственного университета. Предыдущая почвенная карта ЛО (М: 1: 300 000) вышла в свет 1967 г. и стала на данный момент научным раритетом. За прошедшие 50 лет произошли кардинальные изменения в ПП области: резко возросла доля антропогенно-измененных и антропогенных почв, значительная часть земель была выведена из сельскохозяйственного оборота, изменились подходы к картографированию, появились новые знания в области генезиса и классификации почв (Классификация и диагностика почв России, 2004).

Создание цифровых почвенных карт является необходимым условием для оценки состояния почвенного покрова на основе современных технологий почвенного картографирования (Михайлов И.С. и др., 2012; Викторов А.С., 2019; Савин И.Ю., 2014). Особенностью ЦПК ЛО является отображение информации о ПП антропогенно-преобразованных территорий.

Карта масштаба 1:200000 предназначена для разработки региональной политики в области рационального использования почвенных ресурсов (Сухачева и др., 2019).

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Методология составления ЦПК ЛО основана на единстве сравнительно-географического и прогнозно-фактологического методов исследования. Принципы составления ЦПК ЛО и разработки базы данных к ней изложены в работе Сухачева Е.Ю. и др. (2019). Для создания ЦПК использовалось программное обеспечение (ПО) ArcGISDesktop. Для развития графического оформления созданного ГИС проекта и развития картографического произведения, работа была перенесена в ПО QGIS. ГИС проект содержит в себе пространственную информацию о почвенных объектах территории, а также базовую атрибутивную информацию о почвенном покрове области.

Для разработки легенды в режиме компоновки была использована базовая функция InsertLegend. Легенда содержит 174

почвенных единицы. Почвы выделены на подтиповом таксономическом уровне. Легенда состоит из 4 разделов: Естественные почвы, Антропогенно-преобразованные почвы, Комбинации естественных и антропогенно-преобразованных почв, Комбинации непочвенных образований (НПО), естественные и антропогенно-преобразованных почв.

Разнообразные литологический состав и гидрологические условия Ленинградской области, а также разная хозяйственная освоенность, обусловили сложность и неоднородность современного почвенного покрова на территории области. На почвенной карте выделены не только контуры по преобладающей почве, но и по структуре почвенного покрова. Каждый отдел может быть визуализирован отдельным слоем для всей области, или для какой-то ее части.

РЕЗУЛЬТАТЫ

ЦПК ЛО является актуализированным информационным ресурсом о состоянии ПП.

Анализ .shp файлов показал, что среди естественных почв наибольшее количество контуров принадлежит торфяно-глееземам типичным (2350) и торфяным олиготрофным почвам (2291). Первые равномерно распределены по территории области, вторые преобладают в центральных и восточных частях области. Среди антропогенно-преобразованных доминируют агродерново-подзолы иллювиально железистые (643). Они, в основном, распространены на Карельском перешейке и в юго-восточной части области.

На рисунке (Рис.1) показана доля почв от общей площади почв области, входящих в каждый выделенный раздел. Доля почвенных комбинаций, отражающая особенности структуры почвенного покрова (разделы 3 и 4), составляет 41% от общей площади области.



Рис.1. Доля почв разных разделов в почвенном покрове ЛО.
1 – естественные почвы, 2 – антропогенно-преобразованные, 3 – комбинации естественных и антропогенно-преобразованных почв, 4 – комбинации НПО с естественными и антропогенно-преобразованными почвами

На долю антропогенно-преобразованных почв приходится 19%. Среди них наиболее широко представлены турбированные подтипы естественных почв, строение которых изменено в результате лесоразработок. В основном это автоморфные почвы - подбуры, подзолы, дерново-подзолистые и буроземы. Всего доля турбированных почв от общей площади антропогенно-преобразованных составляет 17,8%.

На долю окисленно-глеевых почв приходится 3,9%. Среди них наиболее широко распространены торфяно-подзолы, дерново-подзолистые и торфяно-подзолистые почвы. Как правило, это в прошлом мелиорированные почвы, которые в настоящий момент не используются в сельскохозяйственном производстве.

Преобладающими среди агрогенных почв являются различные типы агроземов – 49,4%. Это агроземы альфегумусовые, текстурно-дифференцированные, структурно-метаморфические, торфяно-минеральные, торфяные, перегнойно-глеевые, торфоземы и их окисленно-глеевые подтипы. Доля последних среди агроземов составляет – 38,0%.

Агро-почвы также занимают значительные площади – 28,9%. Они представлены агродерново-подзолами, агродерново-подзолистыми глееватыми и окисленно-глеевыми, агродерново-элювиально-метаморфическими, агрогумусовыми аллювиальными,

агрогумусово-глеевыми аллювиальными почвами, агроторфяно-глееземами окисленными. Доля окисленно-глеевых почв среди этой группы значительно меньше по сравнению с агроземами и составляет 13, 5%.

ЦПК ЛО является основой для создания различных тематических карт – мелиорированных, турбированных почв, залежных или мелиорированных земель (Рис. 2.).

Используя ЦПК М 1:200000, можно получить карты более мелкого масштаба. Так, на основе генерализации ЦПК ЛО, было получено новое картографическое произведение – Почвенная карта Ленинградской области М 1:1 500 000 (Атлас Ленинградской области, 2022).

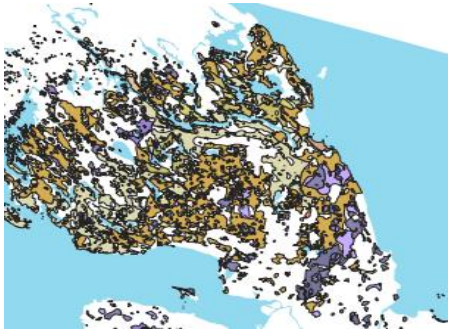


Рис. 2. Слой естественных почв на территории Карельского перешейка

Для оценки изменения агроресурсного потенциала почв (Тимофеева и др., 2019) на основе ЦПК была создана цифровая карта реконструкции естественного ПП на доантропогенный (Табл.1).

Таблица 1. Изменение удельного и общего агроресурсного потенциала некоторых естественных почв ЛО

Название почвы	Удельный потенциал, балл	Доля от площади почв по карте	Ресурсный потенциал	Доля от площади почв на	Ресурсный потенциал

		рекон-струк-ции	(ре-кон-струк ция), балл	совре-мен-ный период	(со-вре-мен-ный пе-риод) , балл
Подзол иллювиально-железистый	29	15,33	44	5,66	16
Дерново-подзолистая типичная	66	2,75	18	0,77	5
Аллювиальная серогумусовая (глееватая)	41	4,21	17	0,10	0,4
Дерново-подзолистая глееватая	40	4,01	16	2,02	8
Дерново-подзолистая остаточно карбонатная	75	1,08	8	0,30	2
Торфяно-глеезем типичный	4	9,79	4	9,43	4

ВЫВОДЫ

На основе ЦПК ЛО проведена оценка ресурсного потенциала почв области, создана карта реконструкции естественного почвенного покрова на доантропогенный период, проведена оценка изменений агроэкологического потенциалов почв, создана карта области М:1:500 000.

Информация о ПП земель сельскохозяйственного назначения может найти применение при разработке мероприятий по предупреждению негативных последствий или по повышению их плодородия, созданию реестра почвенных ресурсов Ленинградской области, проведении мониторинга земель.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Классификация и диагностика почв России*. Смоленск: Ойкумена, 2004. 235 с.

2. *Михайлов И.С., Михайлов С.И.* Опыт создания цифровой версии ГПК (Лист - P-46 Енисейск) // Цифровая почвенная картография: теоретические и экспериментальные исследования: сборник. 2012. С. 301-311.
3. *Викторов, А.С*. Использование моделей математической морфологии ландшафта при изучении структуры почвенного покрова // Современные проблемы изучения почвенных и земельных ресурсов: сборник. 2019. С. 29–34.
4. *Савин И.Ю., Овечкин С.В.* Об обновлении среднемасштабных почвенных карт // Почвоведение. 2014. № 47 (10). С. 987–994.
5. *Атлас Ленинградской области* / гл. ред. Д. А. Субетто. – СПб.: Издательство РГПУ им. А. И. Герцена, 2022. 112 с.
6. *Сухачева Е.Ю., Апарин Б.Ф., Андреева Т.А., Казаков Э.Э., Лазарева М.А.* Принципы и методы создания цифровой среднемасштабной почвенной карты Ленинградской области // Вестник СПбГУ. 2019. С. 100 – 112.
7. *Тимофеева Ю.Р., Апарин Б. Ф., Сухачева Е. Ю.* Агроресурсный потенциал почв Ленинградской области // Современные проблемы изучения почвенных и земельных ресурсов: сборник. 2019. С. 284-289.

УДК 631.5;631.6;911.2

Влияние ландшафтных условий на формирование урожайности озимой Ржи сорта Дымка

© 2022 г. Н. А. Хархардинов

Всероссийский научно-исследовательский институт мелиорированных земель – филиал Федерального государственного бюджетного научного учреждения Федерального исследовательского центра «Почвенный институт имени В.В. Докучаева», Россия

170530, Тверская область, Калининский район, пос. Эммаусс, д. 27
** e-mail: afkash@bk.ru*

Резюме: Мониторинг урожайности сельскохозяйственных культур приобретает все большее значение. На его основе можно разработать адаптивные методы мелиорации угодий. В работе рассмотрены результаты статистического анализа данных мониторинга урожайности озимой ржи сорта Дымка. Озимая рожь в Нечерноземной зоне – это гарант получения продовольственного и фуражного зерна, это великолепный предшественник для многих культур В Нечерноземной зоне РФ продуктивность зерновых культур сильно варьирует в зависимости от агроклимата и условий ландшафта. Рекомендации по выращиванию зерновых культур, разработанные для региона, требуют адаптации к почвенно-климатическим особенностям Верхневолжья Исследования проводили в 2018-2021 годах на агроэкологической трансекте - узком поле длиной 1300 м., пересекающем все основные микроландшафтные позиции конечно-моренного холма. Продуктивность озимой ржи и параметров ландшафтной среды определяли в точках, которые регулярно расположены по трансекте на расстоянии 40 м друг от друга. Климатические параметры анализировали по данным метеостанции г. Тверь. Полученные данные обрабатывали программой STATISTICA, метод регрессия поверхности смеси, где предикторы были среднемесячные температуры воздуха и среднемесячные значения осадков, а также агромикроландшафты. Выявлены закономерности адаптивных реакций растений на вариабельность свойств природной среды и агроклиматических условий в пределах различных частей конечно-моренной гряды. Установлено, что агроклиматические условия и ландшафтные особенности территории оказывают существенное влияние на продукционный процесс озимой ржи. Особенности перераспределения тепла и влаги в разных частях агроландшафта приводит к изменению

урожайности культуры. Для получения однородных посевов на относительно сухих полях требуется снежные мелиорации для оптимизации перезимовки посевов.

Ключевые слова: почва, конференция, Москва, ландшафт, озимая рожь, урожайность, статистический анализ

The influence of landscape conditions on the formation of the yield of winter rye variety Dymka©

© 2022 г. N. A. Kharkhardinov

VNIIMZ FRC V.V. Dokuchaev Soil Science Institute,

170530, Tver Region, Kalininsky District, Emmauss Village, 27,

** e-mail: afkash@bk.ru*

Abstract: Monitoring crop yields is becoming increasingly important. On its basis, it is possible to develop adaptive methods of land reclamation. The paper considers the results of a statistical analysis of monitoring data on the yield of winter rye cv. Dymka. Winter rye in the Non-Chernozem zone is a guarantor of obtaining food and feed grains, it is an excellent predecessor for many crops. In the Non-Chernozem zone of the Russian Federation, the productivity of grain crops varies greatly depending on the agroclimate and landscape conditions. Recommendations for growing grain crops developed for the region require adaptation to the soil and climatic features of the Upper Volga region The studies were carried out in 2018-2021 on the agroecological transect - a narrow field 1300 m long, crossing all the main microlandscape positions of the terminal moraine hill. The productivity of winter rye and the parameters of the landscape environment were determined at points that are regularly located along the transect at a distance of 40 m from each other. Climatic parameters were analyzed according to the data of the weather station in Tver. The data obtained were processed by the STATISTICA program, the mixture surface regression method, where the predictors were average monthly air temperatures and average monthly precipitation values, as well as agro-microlandscapes.. The patterns of adaptive reactions of plants to the variability of the properties of the natural environment and agro-climatic conditions within different parts of the terminal moraine ridge were revealed. It has been established that agro-climatic conditions and landscape features of the territory have a significant impact on the production process of winter rye. Features of the redistribution of heat and moisture in different parts of the agricultural landscape leads to a change in crop yield. To obtain uniform crops on relatively dry fields, snow reclamation is required to optimize crop overwintering.

Keywords: soil, conference, Moscow. landscape, winter rye, productivity, statistical analysis

ВВЕДЕНИЕ

Озимая рожь, как ценный хлебный злак, была известна в Европе еще два тысячелетия назад. Путем многолетнего бессознательного отбора рожь из полудикой малопродуктивной примеси превратилась в адаптивную высокозимостойкую ценную зерновую культуру, способную успешно произрастать и давать стабильные урожаи на различных по плодородию и гранулометрическому составу почвах (Гончаренко. 2014).

Озимая рожь в Нечерноземной зоне – это гарант получения продовольственного и фуражного зерна, это великолепный предшественник для многих культур, это «санитарный очиститель» почвы с использованием на сидерат при дефиците органических удобрений.

В Нечерноземной зоне РФ продуктивность зерновых культур сильно варьирует в зависимости от условий ландшафта. Рекомендации по выращиванию зерновых культур, разработанные для региона, требуют адаптации к почвенно-климатическим особенностям Верхневолжья. Агроландшафты в пределах одной местности могут отличаться друг от друга по многим параметрам. Так, в пределах плоских холмов, с хорошо выраженной слабо дренированной вершиной преобладают элювиальные процессы, тогда как в условиях островершинных холмов преобладает транзит веществ. Северные склоны могут испытывать недостаток тепла, а на южных растения могут страдать от недостатка влаги.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Наша работа направлена на изучение влияния агроландшафтных условий и климатических факторов на урожайность озимой Ржи сорта Дымка, что является актуальной задачей, решение которой позволит оптимизировать процессы ее выращивания в мелиорированном агроландшафте

Сорт ржи ДЫМКА включен в Государственный реестр Российской Федерации. Разновидность Vulgare. Форма куста промежуточная. Колос удлиненно-эллиптический, средней длины, рыхлый. Колосковая чешуя ланцетная, средней величины. Нервация и киль выражены сильно. Ости полу прижатые, средней длины, грубые, зазубренные. Окраска колоса и остей серовато-желтая. Зерно полу

удлинённое, серовато-зеленое, полуоткрытое. Сорт продовольственного назначения, среднепоздний, высокозимостойкий. Вегетативный период 330-350 дней Стебель прочный, устойчивость к полеганию и засухе хорошая. Средняя высота растений - 120 см. Масса 1000 зерен - 25,0...35,0 г. Среднее содержание сырого протеина - 11,8 %. Устойчивость к болезням: По мучнистой росе, бурой ржавчине, корневым гнилям и фузариозу колоса восприимчивость на уровне стандарта Вятка 2.

Согласно ВНИИМЗ, объем хлеба из 100 г муки сорта ржи ДЫМКА составляет 310-430 мл, общая хлебопекарная оценка - 2,9-4,0 балла. Потенциальная урожайность выше 8 т/га

Исследования проводились на агроэкологическом Ландшафтном стационаре ВНИИМЗ, который находится в 4 км к юго-востоку от города Твери, занимая площадь 50 га. Он расположен в пределах конечно-моренного холма с относительной высотой 15 м, с четко выраженными геоморфологическими элементами: обширной плоской вершиной; длинными пологими склонами (до 4-5°) и межхолмными депрессиями. Почвообразующие породы представлены двучленными отложениями с различной глубиной залегания морены. Почвенный покров - вариация- мозаика дерново- подзолистых почв разной степени заболоченности (Иванов. 2001)

Для проведения исследований образована агроэкологическая трансекта-физико-географический профиль. Трансекта состоит из ряда параллельных полос, каждая из которых занята одной из культур зернотравяного севооборота. Ширина каждой полосы 7,2м, длина 1300м, площадь около 1га. В пределах полосы, засеянной одной культурой, технологические воздействия однотипны.

Трансекта пересекает все основные микроландшафтные позиции конечно-моренного холма: транзитно-аккумулятивные агромикроландшафты (АМЛ) межхолмных депрессий и нижних частей склонов, в которых преобладает аккумуляция влаги и питательных веществ из грунтовых вод и из вышележащих позиций; транзитные (Т) местоположения центральных частей склонов, характеризующиеся боковым током влаги; элювиально-транзитные (Э-Т) местоположения верхних частей склонов, где наряду с боковым током влаги наблюдается вертикальное промывание почвенного профиля; элювиально-аккумулятивные (Э-А) АМЛ плоской вершины где

происходит, как вертикальный, нисходящий, ток влаги, так и её аккумуляция в микропонижениях.

Измерения показателей продуктивности посевов проводились в точках опробования на расстоянии 40 м друг от друга.

Расчёты производились в программе Statistica 10 с использованием анализа регрессия поверхности смеси, где предикторами были среднемесячные температуры воздуха и осадки, а также условия агромикроландшафтов. На основе данных наблюдений составлен файл, для анализа в котором собраны данные по изменению агроклиматических условий за 18-21 год

Влияние каждого фактора оценивалось по методу Н. А. Плохинского путём деления частной факториальной суммы квадратов на общую (Плохинский. 1970).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Регрессионный анализ показал, что влияние различных предикторов на урожайность ржи существенно колеблется во времени.

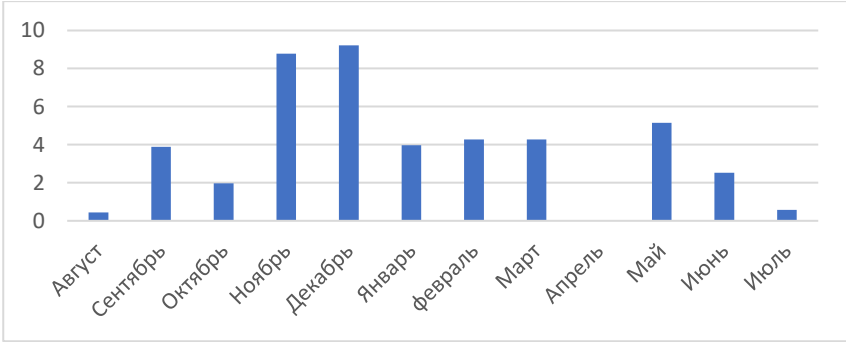


Рис. 1. Влияние условий АМЛ на урожайность озимой Ржи за 2018-2021год

Из рисунка 1 видно, что наибольшее влияние АМЛ на урожайность озимой Ржи были в Декабре и Ноябре, при установке снежного покрова, когда определяется характер перезимовки культуры. Это важно для будущего урожая, наименьшее влияние на урожайность агромикроландшафы оказали в августе и июле так как в это время урожай уже сформирован.

Максимальная урожайности наблюдалась – 3,8 т/га на вершине холма. Минимальная урожайность отмечена в нижней части южного склона – 2,6 т/га

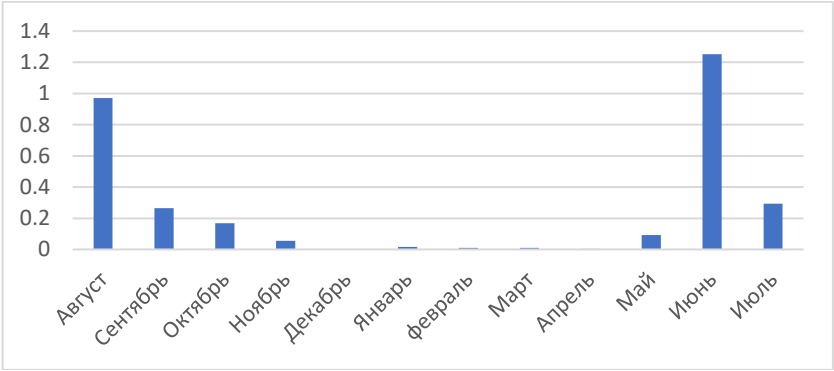


Рис. 2 Влияние среднемесячных значений осадков на урожайность озимой Ржи за 2018-2021 год

Наибольшее влияние среднемесячных значений осадков на урожайность озимой ржи были в Июне и Августе. В этот время культура нуждается во влаге для налива зерна, а наименьшее влияние на урожайность от осадков были в Декабре и Январе, растение в это время перезимовывает

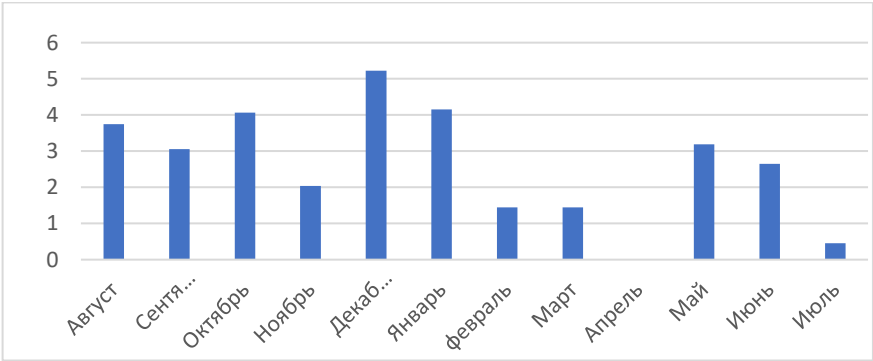


Рис. 3. Влияние среднемесячных соотношений температуры воздуха и осадков на урожайность озимой ржи за 2018-2021год

Из рисунка 3 видно, что наибольшее влияние соотношений среднемесячной температуры воздуха и осадков на урожайность озимой ржи были в Декабре и Январе – начало и середина зимы-критические периоды в процессе перезимовки культуры, так как полностью сформировался снежный покров. Меньшее влияние на урожайность от температуры воздуха и осадков было в Феврале и Марте что свидетельствовало о начале таяния снежного покрова и подготовке культуры к пробуждению.

ВЫВОДЫ

1. Выделяются определенные временные промежутки во время вегетации и перезимовки культуры, которые по-разному влияют на её продукционный процесс.

2. Значительное влияние на продуктивность озимой ржи оказывают факторы перераспределения температуры и снега в пределах отдельных местоположений (АМЛ).

3. Установлено, что апрель является наименее значимым месяцем для вегетации озимой ржи, так как в этот период не обнаружены достоверные влияния на урожайность изучаемых факторов

Таким образом озимая рожь реагирует на характер ландшафта и агроклиматическую обстановку. Незначительная трансформация природных условий в пределах одного географического участка приводит к изменению урожайности культуры. Для получения однородных посевов на относительно сухих полях требуется снежные мелиорации для оптимизации перезимовки посевов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Гончаренко А.А.* Актуальные вопросы селекции озимой ржи. М., 2014. 372с.
2. *Иванов Д.А.* Ландшафтно-адаптивные системы земледелия (агроэкологические аспекты), - Тверь, «Чудо», 2001 – 304 с
3. *Плохинский Н.А.* Биометрия. М.: МГУ. 1970. - 367с.

Секция Б

СОВРЕМЕННОЕ ПОЧВООБРАЗОВАНИЕ
ЭВОЛЮЦИЯ, ДЕГРАДАЦИЯ И ТРАНСФОРМАЦИЯ ПОЧВ.
МЕЛИОРАЦИЯ ПОЧВ И ЗЕМЕЛЬ

УДК 631.4

Залежные агропочвы криолитозоны России: текущее состояние и потенциал повторного вовлечения в сельскохозяйственное использование

© 2022 г. Е.В. Абакумов[1*], Е.Н. Моргун[2], Т.И. Низамутдинов[1], В.И. Поляков[1]

[1]Санкт-Петербургский государственный университет, кафедра прикладной экологии, 199178, Россия, Санкт-Петербург, 16-я линия В.О., д. 29.
[*]e-mail: e_abakumov@mail.ru

[2]Научный центр изучения Арктики, 629008, Россия, Салехард, ул. Республики, д.20.

Резюме: Более чем на половине территории России расположены экосистемы криолитозоны. Почвы этих экосистем ранее интенсивно вовлекались в сельскохозяйственные практики. Огромные территории залежных экосистем могут рассматриваться как «скрытая продовольственная корзина» Севера Евразии. В работе приводятся сведения о разнообразии природных, действующих агропочв и залежных агропочв трех секторов арктического пояса: ЕТР, Севера Западной Сибири и Восточной Сибири. Дана краткая историческая справка о развитии сельского хозяйства в высоких широтах. Обсуждаются вопросы морфогенеза почв и их химизма. Были проанализированы основные химические свойства залежных и действующих агропочв (pH, содержание гумуса, концентрации доступных для растений элементов питания и азота). Обнаружено, что агропромышленное освоение арктических и субарктических почв приводит к коренной трансформации почвенного профиля в морфологическом и химическом аспектах. Содержание элементов питания в постагрогенных почвах ЯНАО достигает 450 мг/кг для фосфора, 60 мг/кг для калия при содержании гумуса в поверхностных агрогенно-преобразованных горизонтах выше 2%. Альфегумусовые агроземы в окрестностях г. Якутск также характеризуются высоким содержанием гумуса (до 2.7 %) и элементов питания (фосфора – до 370 мг/кг, калия до 373 мг/кг) и подвергаются процессам антропогенного подщелачивания.

Ключевые слова: агропочвы, криогенные экосистемы, криолитозона, Арктика.

FALLOW AGROSOILS IN THE CRYOLITHOZONE OF RUSSIA: CURRENT CONDITION AND POTENTIAL FOR REUSE IN AGRICULTURE

© 2022 E.V. Abakumov[1*], E.N. Morgun[2], T.I. Nizamutdinov[1], V.I. Polyakov[1]

[1]St. Petersburg State University, Department of Applied Ecology, 29, 16 V.O. Line, St. Petersburg, Russia, 199178.
[*]e-mail: e_abakumov@mail.ru

[2]Arctic Research Center of the Yamal-Nenets Autonomous District, 20 Republic St., Salekhard, Russia, 629008.

Abstract: More than half of Russia's territory is covered by cryolithozone ecosystems. The soils of these ecosystems have previously been intensively involved in agricultural practices. Large areas of fallow ecosystems of the cryolithozone can be considered as a "hidden food basket" of the Eurasian North. The paper provides an overview of the diversity of natural, active and fallow agrosoils in three sectors of the Arctic belt: the ETR, the North of Western Siberia and Eastern Siberia. The paper gives a brief historical overview of the development of agriculture in high latitudes. The issues of soil morphogenesis and soil chemistry are discussed. The main chemical properties of fallow and active agrosoils (pH, soil organic carbon content, concentrations of available nutrients and nitrogen for plants) have been analyzed. It was found that the agro-industrial development of Arctic and subarctic soils leads to a radical transformation of the soil profile in the morphological and chemical aspects. The content of nutrients in the post-agrogenic soils of the YNAO reaches 450 mg/kg for phosphorus, 60 mg/kg for potassium with the humus content in the surface agrogenically transformed horizons above 2%. Agrosoils in the vicinity of Yakutsk are also characterized by high content of humus (up to 2.7 %) and nutrients (phosphorus - up to 370 mg/kg, potassium up to 373 mg/kg) and demonstrates processes of antropogenic alkilinisation of agrosoils.

Keywords: agrosoils, cryogenic ecosystems, Arctic.

ВВЕДЕНИЕ

Высокий потенциал экосистем высоких широт для ведения сельского хозяйства был отмечен исследователями еще в начале 19-го века. Криолитозона – зона распространения многолетнемерзлых пород все чаще и чаще рассматривается как «скрытая продовольственная корзина» в настоящее время. Новые возможности агроосвоения ландшафтов появляются в связи с изменениями климата, ростом транспортной доступности удаленных территории и

притоком населения в северные широты. Вызовы, связанные с обеспечением продовольственной безопасности России, состоят не только в использовании плодородных почв степей и бореального пояса, и введения технологий сберегающего земледелия, но и с необходимостью анализа продукционного потенциала почв Российской Арктики. Залежные почвы криолитозоны России могут послужить плацдармом для реэкспансии сельского хозяйства в Арктику в условиях дефицита пригодных для агропромышленности почв. Изучение количества и качества залежей за Полярным кругом также позволит выстроить модель развития полярного агропромышленного комплекса с минимальным нарушением почвенного покрова северных регионов.

Истоки зарождения земледелия в Заполярье целиком связаны с деятельностью пришлого населения, включая казаков и ссыльных переселенцев, которые основывали поселения, смешивались с местным (аборигенным населением) и передавали им навыки обработки почвы и выращивания сельскохозяйственных культур (там, где это позволяли климатические условия).

По данным О.Ю. Кашериной (1976) с конца 18-го и в начале 19-го вв. по инициативе царской администрации была сделана попытка занятия земледелием в Якутии, Колыме, Охотском побережье и пр. территориях путем переселения нескольких сот крестьянских семей из хлебных районов Сибири. Первые занятия земледелием не удались из-за суровых климатических и бытовых условий и отсутствия опыта выращивания культур, но с 20-х годов 19-го века занятия земледелием значительно активизировались. Точкой отсчета интенсивного земледельческого освоения территорий за Полярным кругом на научной основе можно считать советский мегапроект Н.И. Вавилова по развитию полярного земледелия на Крайнем Севере (Вавилов, 1931). В результате многолетнего освоения почв Севера в настоящее время мы имеем информативные модели ретроспективного изучения почв и почвенного покрова в динамике с учетом различных климатических секторов Арктики и криолитологических и эдафических условий.

Работы по оценке качества залежных почв арктических регионов и их пригодности для ревовлечения в сельскохозяйственный оборот ранее проводились в очень ограниченном масштабе. В данном тексте приведены краткие результаты проведенных

исследований, целью которых была оценка потенциального плодородия и особенностей морфологического строения постагрогенных почв криолитозоны России.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Исследование проводились на трех ключевых площадках: г. Мурманск и его окрестности, Ямало-Ненецкий автономный округ (г. Салехард, Приуральский, Шурышкарский и Надымский р-ны), а также г. Якутск и его ближайшие окрестности (Рис. 1). Все исследованные территории находятся в зоне распространения многолетнемерзлых пород и характеризуются суровыми климатическими условиями и коротким вегетационным периодом (часто менее 100 дней).

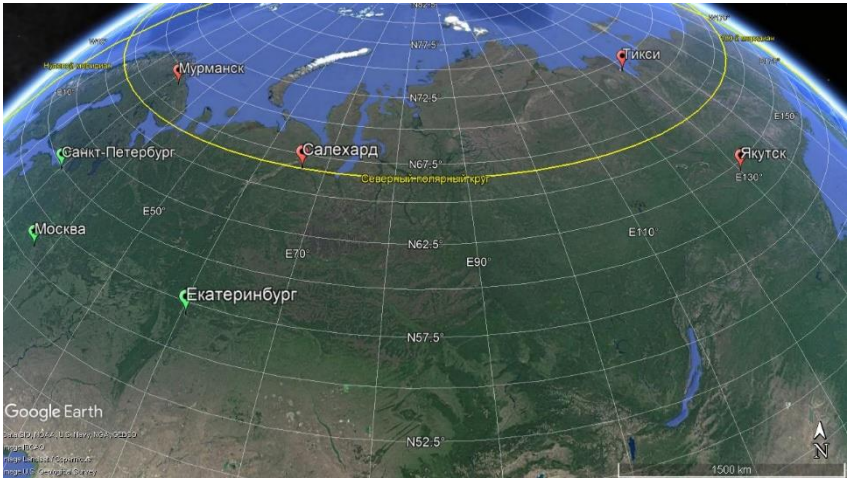


Рис. 1. Карта расположения ключевых районов исследований (обозначены красными метками)

Химический анализ почв осуществлялся при помощи стандартных методов. Определение pH осуществлялось в водных и солевых вытяжках (соотношение 1:2.5). Содержание гумуса определялось по методу Тюрина. Концентрации элементов питания измерялись по методу Кирсанова (фосфор и калий), нитратный азот ионометрическим методом, аммонийный азот колориметрическим

методом с окрашиванием вытяжки реактивом Несслера (Аринушкина, 2013).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Было установлено, что в полярных агроландшафтах ЕТР преобладают агроземы по альфегумусовым почвам, на Севере Западной Сибири – агроземы альфегумусовые, агроторфяные и агрокриоземы, в Восточной Сибири – агропалевые и агрокриогенные почвы (Рис. 2).



Рис. 2. Почвенное разнообразие агропочв на исследованных территориях

В процессе изучения залежных агропочв в Ямало-Ненецком автономном округе (ЯНАО) было установлено, что в исследуемых районах огороды и поля, как правило, расположены на хорошо дренированных, незатопляемых паводковыми водами участках, водоразделах, на незаболоченных территориях тундры, закустаренных и залесенных участках высоких речных террас. На таких участках почвы, в основном, супесчаные, легко- и среднесуглинистые, дерново-луговые или дерново-подзолистые, обладающие более высоким плодородием, которые при этом хорошо аккумулируют тепло, легче обрабатываются, меньше уплотняются и менее подвержены эрозии при выпадении обильных осадков. Моховая подушка маломощная и фрагментарная, а в растительном покрове доминируют

злаковые травы. При выборе участков под огороды жители Шурышкарского и юга Приуральского районов предпочитают возделывать хорошо прогреваемые склоны южной экспозиции, где температурный режим почв более благоприятный (Абакумов, Моргун, 2021). При этом действующие картофельные поля отмечены в окрестностях гг. Надым, Лабытнанги и Салехард (последний населенный пункт расположен непосредственно на полярном круге), выращивание овощей в открытом грунте наблюдается в рыбачьих поселках по берегам р. Оби до 68 гр. с.ш., а в закрытом грунте и до 71 гр. с.ш.

По ранее опубликованным данным можно судить о высоком потенциальном плодородии залежных земель (Табл.1). Залежные агропочвы в гг. Салехард и Якутск обладают высоким содержанием элементов питания и органического углерода (Nizamutdinov et al. 2021, Polyakov et al. 2021).

Таблица 1. Некоторые химические свойства залежных агропочв

горизонт	pH H_2O	pH KCl	Corg, %	P_2O_5, mg/kg	K_2O, mg/kg	N-NH_4, mg/kg	N-NO_3, mg/kg
Салехард, агрозем оглеенный без признаков криотурбации							
PY1, 0-10	4.8	3.6	1.64	406	34.1	3.1	21.5
PY2, 10-20	5.1	3.6	1.89	448	52.8	6.2	8.9
PY3, 20-30	4.9	3.5	2.02	449	60.8	5.1	9.6
BF, 30-75	5.1	3.8	0.07	33.8	23.0	4.7	0.4
BCg, 75-160	6.4	4.2	0.02	45.6	17.6	2.9	0.3
Cg, 160-200	6.6	4.3	0.02	34.3	2.6	2.6	0.2
Мурманск, урбо-стратозем иллювиально-железисто-гумусовый глеевый							
O, 0-2	4.8	4.1	5.5	57	12	0.5	4.3
UR, 2-32	4.1	3.5	-	45	11	0.3	2.3
BHF, 32-49	3.6	3.5	19.2	38	7	0.1	0.8
G, 49-90	4.1	3.7	-	30	4	-	-
Якутск, агрозем альфегумусовый							
PY, 0-20	8.55	-	2.7	369	373	13.3	0.89
BF, 20-50	8.53	-	1.9	279	147	7.9	1.98

Почвы Мурманска относятся преимущественно к песчаным и супесчаным по гранулометрическому составу. Эти почвы низкощебнистые с повышенным содержанием физического песка (Тарасова, 2016). Залежные постагрогенные почвы в г. Мурманск были подвержены процессам урбанизации и сейчас находятся в черте

города. Ключевой горизонт профиля - агрогенно-преобразованный гумусово-аккумулятивный горизонт был сильно изменен в процессе урбанизации и практически утратил следы сельскохозяйственной деятельности. Здесь содержание элементов питания ниже, по сравнению с залежными почвами в Ямало-Ненецком автономном округе и окрестностях г. Якутск. Концентрации доступного фосфора и калия ниже 60 и 20 мг/кг соответственно (Табл.1). Однако в перекрытых постагрогенных иллювиально-гумусово-железистых горизонтах зафиксировано высокое содержание органического углерода (выше 19%). Эти почвы могут повторно использоваться в сельском хозяйстве при условии проведения мелиоративных работ и внесении удобрений.

Почвенные профили залежных земель в окрестностях Якутска в существенной степени сохраняют признаки агрогенного воздействия после 20 лет с начала перехода в залежное состояние. В большинстве профилей четко прослеживаются границы пахотного слоя на глубине 30 см. Современные агроландшафты Якутии в в основном используются как пастбища или для выращивания злаковых культур на сенокосных угодьях. При этом, на участках, которые служат для выращивания сельскохозяйственных культур, наблюдается мощный гумусовый пахотный горизонт.

ВЫВОДЫ

На сегодняшний день возможности криолитозоны для ведения сельского хозяйства остаются сильно недооцененными, в частности это касается потенциала залежных почв в северных широтах и их роли в реекспансии земледелия за Полярный круг. Залежные агропочвы Арктики и Субарктики коренным образом отличаются по морфологическим и физико-химическим свойствам при сравнении их с фоновыми почвами арктических широт и нуждаются в дальнейшем изучении и организации мониторинговых исследований. Параметры плодородия залежных почв в Арктических регионах во многом зависят от степени прошлой освоенности, почвы могут сохранять свое плодородие в течении длительного времени. Было установлено, что в Ямало-Ненецком автономном округе и в окрестностях г. Якутск почвы сохранили высокие уровни концентраций основных элементов питания, особенно в агрогенно-

преобразованных горизонтах PY. Почвы в г. Мурманск менее богаты доступными для растений элементами питания, но, при этом содержат больше органического углерода, поэтому также могут повторно вовлекаться в сельскохозяйственный оборот при условии проведения некоторых мелиоративных работ.

Постагрогенные почвы криолитозоны являют собой уникальные природные ресурсы, обладающие относительно высоким потенциальным плодородием и во многом пригодны для рековлечения в сельскохозяйственный оборот. Высокий агроэкологический потенциал залежных почв в Ямало-Ненецком автономном округе, Мурманской области и Якутии может сыграть ключевую роль в обеспечении продовольственной безопасности северных регионов России.

Финансирование: работа выполнена при поддержке НЦМУ «Агротехнологии будущего»

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Кашерина О.Ю.* История формирования русского старожильческого населения Северо-Востока СССР // Экономические и исторические исследования на Северо- Востоке СССР. Магадан, 1976. С. 150-152.
2. *Вавилов, Н. И.* Проблема северного земледелия / Н. И. Вавилов // Труды ноябрьской сессии АН СССР, 25-30 ноября 1931 г. – Л., 1932.
3. *Аринушкина Е. В.* Руководство по химическому анализу почв / Е. В. Аринушкина – М.: Книга по Требованию, 2013. – 489 с.
4. *Тарасова, А. А.* Почвы различных функциональных зон города Мурманск / А. А. Тарасова, Е. В. Абакумов // Почвоведение - продовольственной и экологической безопасности страны. Белгород, 15–22 августа 2016 года – С. 279-280.
5. *Polyakov, Vyacheslav, et al*. "Soil diversity and key functional characteristics of yakutsk city: Largest urbanized cryogenic world's ecosystem." Energies 14.13 (2021): 3819.
6. *Абакумов Е. В., Моргун Е. Н.* Проблемы актуализации земледельческих практик в Ямало-Ненецком автономном округе //Биосфера. – 2021. – Т. 13. – №. 4. – С. 160-169.
7. *Абакумов Е. В., Моргун Е. Н.* Состояние и перспективы использования залежных земель в Ямало-Ненецком автономном округе //Научно-практический журнал Биосферное хозяйство: теория и практика. – 2021. – С. 5.

8. *Nizamutdinov, Timur, et al.* "Morphological features, productivity and pollution state of abandoned agricultural soils in the Russian Arctic (Yamal Region)." One Ecosystem 6 (2021): e68408.

УДК 631.4/911

Климатические изменения и динамика песков в Северном Дагестане

© 2022 г. З.У. Гасанова

ДФИЦ РАН «Прикаспийский институт биологических ресурсов»,
Россия,
367000, Махачкала, ул. Магомеда Гаджиева, 45,
zgasanova@list.ru

Резюме: Климатические изменения последних десятилетий вывели тему отклика региональных ландшафтов на внешние возмущения среды, что особенно актуально для аридных и субаридных регионов с «рискованным» земледелием. В южных регионах в первую очередь негативной трансформации подвергается почвенный покров сухих степей. В Северном Дагестане за последние 30 лет можно выделить два климатических тренда: с конца 1980-х по 2005-2008 гг. с повышением количества осадков и одновременным повышением средних температур; с 2008-2010 гг. по настоящее время - относительное снижение среднегодовой температуры и количества осадков.

Изменение климата согласуется с гидротермическим коэффициентом Селянинова (ГТК): с 1989 по 1998 г. ГТК растет, но еще остается в слабо засушливой зоне, с 1998 г. по 2013 г. ГТК ≥ 1.3, что соответствует влажной зоне. С 2007 г. ГТК начинает снижаться, но до 2013 г. все еще относится к влажной зоне.

Детальное исследование ПП Кочубейской биосферной станции (южный край массива Кумских песков) выявило связь между долевым участием антропогенных разбитых песков в составе ПП и климатической флуктуацией, имевшей место с 1997 по 2012 гг. Помимо прямого разрушения верхнего плодородного слоя произошел рост площади навеянных песков: светло-каштановые почвы были перекрыты песком во время песчаных бурь (примерно до 5 см): об одной из таких бурь есть сообщение в открытых источниках, когда в мае 2021 г. пыльная буря дошла со стороны Калмыкии до Махачкалы.

Ключевые слова: пески, климат, динамика песков.

Climate Change and Sand Dynamics in Northern Dagestan

© 2022 Z. Ul. Gasanova

Precaspian Institute of Biological Resources DFRC RAS
45 Bld. Magomeda Gadzhieva Str., Makhachkala 367000, Russian Federation
e-mail: zgasanova@list.ru

Abstract: Climatic changes in recent decades have brought out the theme of the response of regional landscapes to external environmental disturbances, which is especially relevant for arid and subarid regions with marginal agriculture. In the southern regions, first of all, the soil cover of the dry steppes undergoes a negative transformation. Two climatic trends can be distinguished in Northern Dagestan over the past 30 years: since 1980s till to 2005-2008 with precipitation increase and a simultaneous increase in average temperatures; from 2008-2010 to the present - a relative decrease in average annual temperature and precipitation. Climate change is consistent with the Selyaninov hydrothermal coefficient (HTC): from 1989 to 1998, the HTC is growing, but still remains in a slightly arid zone, from 1998 to 2013, the HTC ≥ 1.3, which corresponds to a wet zone. Since 2007, the HTC has been declining, but until 2013 it still belongs to the wet zone. Detailed study of the Kochubey Biosphere Station (southern edge of the Kuma Sands massif it revealed a connection between the share of anthropogenic broken sands in the composition of the soil cover and the climatic fluctuation that took place from 1997 to 2012. In addition to the direct destruction of the upper fertile layer, there was an increase in the area of the inspired sands: light chestnut soils were covered with sand during sandstorms (up to about 5 cm): there is a report about one of these storms in open sources, when in May 2021 a dust storm reached Makhachkala from Kalmykia.

Keywords: sands, climate, sands dynamic.

ВВЕДЕНИЕ

Климатические изменения последних десятилетий вывели тему отклика региональных ландшафтов на внешние возмущения среды, что особенно актуально для аридных и субаридных регионов с «рискованным» земледелием.

В Северном Дагестане подобные риски характерны для пастбищ с «легкими» почвами, в зависимости от ситуации трансформирующихся в подвижные пески, образующих навеянный песчаный «плащ» на дневной поверхности почвенного покрова, формирующих эоловые формы рельефа.

Пескам региона посвящено достаточно работ, дающих представление о происхождении, минералогическом составе, физико-химических свойствах, потенциальной продуктивности (Керимханов, 1976; Залибеков, 2000; Саидов, 2008; Баламирзоев, 2008;

Гасанов и др., 2019). Пространственная динамика песков нашла свое отражение в долевом участии песков в составе почвенного покрова разновременных обзорных почвенных карт согласно которым с 1930 по 2010 е гг. площадь песков изменялась с 220 тыс. га до 280 тыс. га в соответствии с динамикой уровня Каспийского моря.

Влияние климатического тренда на пространственную динамику песков в составе ПП Терско-Кумской низменности в Северном Дагестане ранее не рассматривалось.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Терско-Кумская низменность представляет собой слабонаклонную к Каспийскому морю полупустынную территорию,
подвергается усиленному антропогенному воздействию, и выра жается в нерациональном и бессистемном использовании. В состав почвенного покрова низменности входят почвы легкого гранулометрического состава, 20-25 % приходится на пески.

Природные условия Кочубейской биосферной станции типичны для региона в целом: выраженный континентальный климат с температурами, достигающими +40º С в летние месяцы и –35ºС в зимние месяцы, значительное превышение испаряемости (1000 и более мм/год) над количеством выпадающих осадков (200-300 мм/год), активный ветровой режим, довольно высокая среднегодовая скорость ветра – 5-6 м/сек. (Физическая география Дагестана, 1996).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

За последние 30 лет в Северном Прикаспии можно выделить два климатических тренда: с конца 1980-х по 2005-2008 гг. с повышением количества осадков и одновременным повышением средних температур; с 2008-2010 гг. по настоящее время - относительное снижение среднегодовой температуры и количества осадков.

Изменение климата согласуется с гидротермическим коэффициентом Селянинова (ГТК): с 1989 по 1998 г. ГТК растет, но еще

остается в слабо засушливой зоне, с 1998 г. по 2013 г. ГТК ≥ 1.3, что соответствует влажной зоне.

В злаково-полынных ассоциациях повысилось долевое участие ковылей, ценной в кормовом отношении камфоросмы (Гасанова, Загидова, 2017).

С 2007 г. ГТК начинает снижаться, но до 2013 г. все еще относится к влажной зоне (Рис.1).

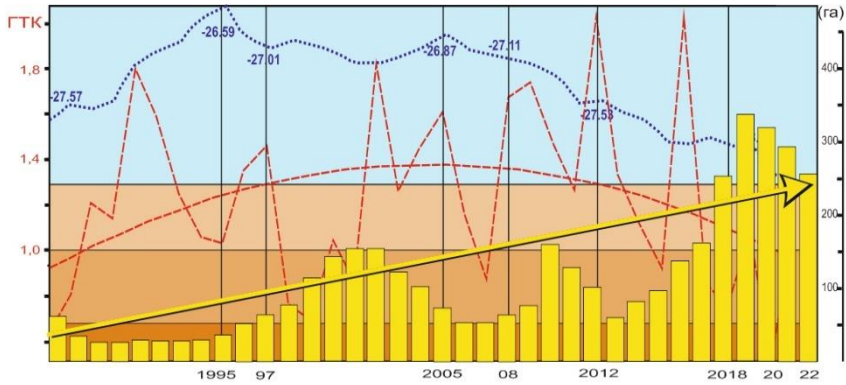


Рис.1. Динамика площадей открытых песков ключевого участка КБС на фоне климатических изменений. С 1992 г. по 1998 гг. данные по площадям открытых песков экстраполированы.
Зоны увлажнения по ГТК Селянинова: очень засушливая (0,4-0,7); засушливая (0,7-1,0); слабо засушливая (1,0-1,3); влажная (> 1,3)

Условные обозначения: ГТК (пунктирная линия); уровень Каспийского моря (точечная линия); открытые пески (прямоугольники).

Для более детального анализа особенностей формирования площадей деградированных почв была выбрана Кочубейская биосферная станция (КБС) ПИБР ДФИЦ РАН, расположенная в северо-восточной части Терско-Кумской низменности.

Рельеф территории монотонен, в целом представляет собой пологую равнину: абсолютная высота варьирует от минус 8 до минус 15 м. В северной части расположен песчаный бархан до 6 м высотой, в восточной части холмы до 2-3 м, на юго-западе – соленое озеро-солончак.

Почвенный покров представляет собой сочетание эолово-литогенных барханных песков и низкогумусированных средне- и маломощных супесчаных автоморфных светло-каштановых почв под эфемерово-полынными группировками.

Детальное исследование ПП Кочубейской биосферной станции (южный край массива Кумских песков) выявило связь между долевым участием антропогенных разбитых песков в составе ПП и климатической флуктуацией, имевшей место с 1997 по 2012 гг. Помимо прямого разрушения верхнего плодородного слоя произошел рост площади навеянных песков: светло-каштановые почвы были перекрыты песком во время песчаных бурь (примерно до 5 см): об одной из таких бурь есть сообщение в открытых источниках, когда в мае 2021 г. пыльная буря дошла со стороны Калмыкии до Махачкалы. В 2022 г. осадков выпало больше, площадь открытых песков сократилась.

ВЫВОДЫ

Причиной роста площадей открытых песков, скорее всего, послужило улучшение качеств пастбищ в относительно влажный период за счет роста долевого участия ценных в кормовом отношении растений, что и вызвало перевыпас.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Баламирзоев М.А., Мирзоев Э.М.-Р., Аджиев А.М., Муфараджев К.Г.* Почвы Дагестана. Экологические аспекты их рационального использования. Махачкала: Даг. кн. изд-во, 2008. 335 с.
2. *Гасанов Г.Н., Асадулаев З.М., Асварова Т.А., Гасанова З.У. и др.* Экологические аспекты формирования солончака реградированного в Терско-Кумской низменности Прикаспия // Юг России: экология и развитие. 2019. Т.14. № 4. С. 86-97. DOI: 10.18470/1992-1098-2019-4-86-97
3. *Гасанова З.У., Загидова Р.М.* Особенности формирования деградированных пастбищ на фоне климатических изменений в Западном Прикаспии // Живые и биокосные системы. 2017. № 12. С. 2. URL: http://www.jbks.ru/archive/issue-20/article-2
4. *Залибеков З.Г.* Процессы опустынивания и их влияние на почвенный покров. М.: ДНЦ РАН, 2000. 219 с.
5. *Керимханов С.У.* Почвы Дагестана. Краткая характеристика и использование. Махачкала: Даг. кн. изд-во, 1976. 120 с.
6. *Саидов А.К.* Почвы Кизлярских пастбищ, их современная диагностика

и экология. Махачкала: Наука, 2008. 264 с.
7. Физическая география Дагестана. Москва: Школа, 1996. 381 с.

ДК 631.4

Засоление, гипсоносность и загрязнение почв Джезказганского ботанического сада: 80 лет с момента организации и начала орошения

© 2022 г. Д.Л. Голованов[1*], Е.И. Кравченко[2], С. Кушербаев[3], А.Аманжолов[3], А. Мырзабаев[3], М.Ю. Ишмуратова[3], А.Н. Матвеев[3], Н.А. Мушникова[1], Л.В. Добрыднева[1]

[1]Географический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова, Россия, 119991, Москва, Ленинские Горы 1 стр.1

dm_golovanov@mail.ru

[2]ФИЦ «Почвенный институт им. В.В. Докучаева», Россия, 119017, Москва, Пыжевский пер, 7, стр. 2

krav4enko_elena@mail.ru

[3]Карагандинский университет имени Е.А. Букетова

100024, Республика Казахстан, г. Караганда, ул. Университетская, 28

aidyn_1988kz@mail.ru

Резюме: Целью исследования было выявление изменения свойств бурых аридных почв в условиях орошения и воздействия выбросов обогатительного и медеплавильного комбинатов. В статье анализируется современное состояние засоления, содержания гумуса, тяжелых металлов в почвах Джезказганского Ботанического сада, находящегося в зоне интенсивных техногенных выбросов. Изменение свойств почв предопределяет устойчивость выращиваемых растений к природным и антропогенным стрессам, а также качество выращиваемой продукции. В ботаническом саду подобраны растения, способные активно расти при орошении в резко континентальных условиях. За 80 лет функционирования отмечено частичное растворение гипса, перераспределение солей, увеличение содержания гумуса. Использование для орошения загрязненных вод реки Кенгир привело к увеличению содержания в поверхностных горизонтах содержания Cu и Pb. Полученные результаты позволяют оценить скорость и направленность перераспределения гипса, рекомендовать переход к водосберегающим технологиям капельного орошения с одновременным отстаиванием и удалением из оросительной воды загрязненной взвеси.

Ключевые слова: загрязнение почв, орошение, засоление, мониторинг.

Salinization, gypsum content and soil pollution of the Dzhezkazgan Botanical Garden. 80 years after its organization and the beginning of irrigation

© 2022 D.L. Golovanov[1*], E.I. Kravchenko[2], S. Kusherbayev[3] A.Amanzholov[3], A. Myrzabayev[3], M.Yu. Ishmuratova[3], A.N.Matveev[4], N.A.Mushnikova[1], L.V. Dobrydneva[1]

[1]Moscow State University,
1 Bld. 1 Leninskiye Gory, Moscow 119991, Russian Federation
e-mail: dm_golovanov@mail.ru
[2]Federal Research Centre "V.V. Dokuchaev Soil Science Institute",
7 Bld. 2 Pyzhevskiy per., Moscow 119017, Russian Federation,
e-mail: krav4enko_elena@mail.ru
[3]Karaganda Buketov University
28 University street, Karaganda 100024, Republic of Kazakhstan
aidyn_1988kz@mail.ru

Abstract: The aim of the study was to identify changes in the properties of brown arid soils (Gypsic Calcisols) under irrigation and emissions from copper smelting plant. The article analyzes the current salinization, humus and heavy metals content in the soils of the Dzhezkazgan Botanical Garden, located in the zone of intensive anthropogenic emissions. Soil properties transformation determine the resistance of cultivated plants to natural and anthropogenic stresses, as well as the quality of cultivated products. Plants selected in the botanical garden can actively grow under irrigation in sharply continental conditions. For 80 years of irrigation, partial dissolution of gypsum, redistribution of salts, and an increase in humus content have been noted. The use of polluted waters of the Kengir River as an irrigation source has led to an increase in the content of Cu and Pb in the surface horizons. The results obtained allow us to estimate the speed and direction of gypsum redistribution, recommend the transition to water-saving drip irrigation technologies with simultaneous deposition and removal of polluted suspension from irrigatiяn water.

Keywords: Man-made pollution, irrigation, soil salinization, monitoring.

ВВЕДЕНИЕ

Изменению свойств аридных почв в условиях орошения, так и результатам техногенного загрязнения посвящен значительный объем литературы (Горохова и др., 2018, Кошелева и др., 2010). В то же время, анализ совместного воздействия на почвы этих

факторов рассматривается реже, что определяет актуальность выполненной работы. Целью исследования было выявление изменение свойств бурых аридных (Классификация и диагностика почв России, 2004) или бурых пустынно-степных почв (Классификация и диагностика почв СССР, 1977), находящихся одновременно в условиях орошения и техногенного воздействия. В статье анализируется засоление, содержание гумуса и тяжелых металлов в почвах Джезказганского Ботанического сада, находящегося в зоне интенсивных техногенных выбросов от обогатительного и медеплавильного комбинатов и их хвостохранилищ. Изменение свойств почв предопределяет устойчивость выращиваемых растений к природным и антропогенным стрессам, а также качество выращиваемой продукции.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Джезказказганский ботанический сад организован по инициативе Е.М. Лавренко, И.К. Фортунатова при участии почвоведов У.У. Успанова и М.А. Глазовской (Ишмуратова, 2020). Изучаемая территория относится к юго-западной окраине Казахского мелкосопочника, расположенной в области полупустыни с резким преобладанием потенциального испарения над количеством осадков. Ботанический сад был заложен с двумя целями: обеспечение промышленного города свежими овощами и бахчевыми культурами и подбор древесно-кустарниковой растительности для озеленения промышленного города в условиях полупустыни с использованием орошения. Джезказган построен на месте уникального меднорудного месторождения для добычи и переработки меди, разработка которой началась в начале XX века (Чухров, 1940).

Рекогносцировочное обследование почв ботанического сада и его окрестностей было проведено авторами в октябре 2021 года (Рис.1).



Рис. 1. Джезказганский ботанический сад. Точки опробования. X 2021 г.

Ботанический сад расположен в 2 км к юго-востоку от города Джезказган. Орошение осуществляется поливом по бороздам и дождеванием из шланга. Источником орошения служат воды реки Кенгир ниже водохранилища и промышленной зоны. К северо-востоку от ботанического сада находятся шламоотвалы обогатительной фабрики.

В июне 2022 проведено повторное обследование почв Джезказганского ботанического сада с описанием почвенных профилей и диагностикой почв по Классификации и диагностике почв СССР (1977) и России (Классификация …, 2004). Выполнено детальное описание опорного разреза (Ж-14).

Из реки Кенгир отобраны пробы воды, используемой на орошение. Анализ состава вод проведен на жидкостном хроматографе в эколого-геохимическом центре географического факультета МГУ. В почвах морфологически и аналитически диагностирован гипс, проведен экспресс-анализ почв на засоление с использованием pH и TDS-метров фирмы Hanna Instruments. Сера, предположительно в форме сульфатов в почвах и сульфидов в незасоленных породах, определялась методом РФА-анализа. Этим же методом были получены результаты по содержанию тяжелых металлов и металлоидов. Картографическая обработка результатов выполнена в

программе SAGA GIS. Для интерполяции был использован метод «обратно взвешенного расстояния».

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

По результатам детального морфологического описания почва разреза Ж-14 была определена как бурая (аридная) постагрогенная сегрегационная солонцеватая гипс-содержащая среднесуглинистая на щебнистых суглинистых отложениях.

Базируясь на схематической карте глубины залегания морфологических проявлений гипса, составленной по результатам бурения по сетке с учетом функционального зонирования территории Ботсада, можно констатировать, что на его орошаемой части верхняя поверхность проявления гипса понизилась на 20-50 см по сравнению с исходной глубиной около 40 см.

Воды реки Каракенгир имеют минерализацию более 1 г/л и неблагоприятное соотношение катионов даже в раннелетнее время, когда проводились исследования.

Формула Курлова для состава вод: $$M\ 1{,}16\ \frac{Na\ 42\ Ca\ 42\ Mg\ 15}{SO_4\ 53\ Cl\ 46};$$

Воды кальциево-натриевые хлоридно-сульфатные. SAR (Richards, 1954) = 21,7 – воды неблагоприятного качества (Экологические…, 1995), способствуют осолонцеванию почв. Однако в орошаемых почвах, по сравнению с исходным состоянием и фоновыми участками несколько увеличилось содержание гумуса. Предварительный вывод вполне согласуется с тенденциями, ранее выявленными другими авторами в орошаемых почвах аридной зоны. В поверхностных горизонтах неорошаемых почв ботанического сада содержание Cu, Pb и Zn близко к кларку (табл. 1, Ж8).

Таблица 1. Содержание элементов (мг/кг) в поверхностных образцах почв и ТПО по данным РФА-анализа (фрагмент).

№	S	Cl	V	Cr	Mn	Ni	Cu	Zn	As	Sr	Pb
Ж1	769	276	62	39	726	31	1016	319	ND	170	243
Ж2	1023	ND	65	49	744	30	1546	385	ND	142	305
Ж3	1536	686	55	19	672	21	1877	134	10	114	196
Ж4	4140	532	71	18	604	32	1331	92	ND	138	214
Ж5	2459	586	66	43	897	37	470	199	18	295	140

Ж6	7032	19431	98	29	292	19	302	83	20	501	138
Ж7	1191	217	76	47	768	45	174	87	10	224	80
Ж8	1200	ND	39	26	448	34	30	55	12,6	952	15

В поверхностных горизонтах орошаемых почв (Ж7) и техногенных поверхностных образованиях (Ж1-6) содержание меди и свинца превышает кларки в десятки раз (Табл. 4).

Таблица 2. Кларк концентрации (КК) элементов в поверхностных образцах почв и ТПО по данным РФА-анализа (фрагмент).

	S	Cl	V	Cr	Mn	Ni	Cu	Zn	As	Sr	Pb
Ж1	0,8	0,4	0,6	0,4	0,9	0,6	38	4,2	-	0,6	14
Ж2	1,1	-	0,6	0,5	1,0	0,6	57	5,1	-	0,5	18
Ж3	1,6	1,1	0,5	0,2	0,9	0,4	70	1,8	1,8	0,4	12
Ж4	4,3	0,8	0,7	0,2	0,8	0,6	49	1,2	-	0,5	13
Ж5	2,6	0,9	0,6	0,5	1,2	0,7	17	2,6	3,2	1,1	8
Ж6	7,4	30,4	0,9	0,3	0,4	0,4	11	1,1	3,6	1,9	8
Ж7	1,2	0,3	0,7	0,5	1,0	0,9	6	1,2	1,8	0,8	5
Ж8	1,3	-	0,4	0,3	0,6	0,7	1,1	0,7	2,2	3,5	0,9
К*	953	640	106	92	770	50	27	75	5,6	270	17

*К – кларк (мг/кг), согласно рекомендациям (*Kasimov, Vlasov*, 2015).

Превышение содержания элементов в орошаемых почвах по сравнению с неорошаемыми показано на графике (Рис. 2). Так, накопление Cu и Pb составляет 5-6 раз. Активные водные мигранты – Cl, Se, Sr, Ca – выносятся из орошаемых почв. Для Fe, S и K соблюдается баланс выноса и закрепления в почве (Рис. 2).

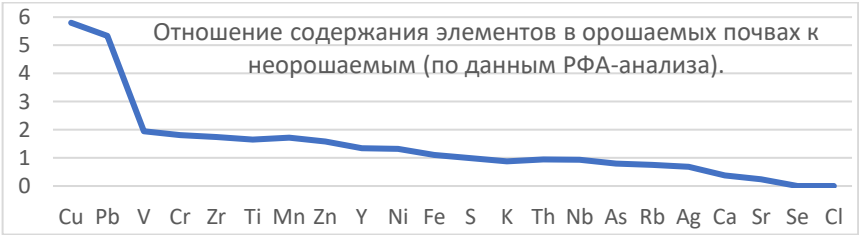


Рис. 2. Загрязнение орошаемых почв Жезказганского ботсада

Вода для орошения берется из реки Кенгир ниже плотины Кенгирского водохранилища, на берегу которого расположен город Джезказган, а непосредственно у плотины находится промышленная зона (Рис. 1). В воде присутствует обогащенная загрязнителями взвесь. Шламоотвалы также накладывает свой отпечаток: в их «пустой» породе превышение кларка Cu составляет 50-70 раз, Pb до 20 раз (Табл.1, Табл.2). Сейчас шламоотвалы изолированы для предотвращения «пыления». Ранее эоловый перенос пыли вносил существенный вклад в поступление в почвы элементов. В почвах и ТПО наблюдается превышение ПДК валовых форм меди и свинца в десятки раз (Рис. 3).

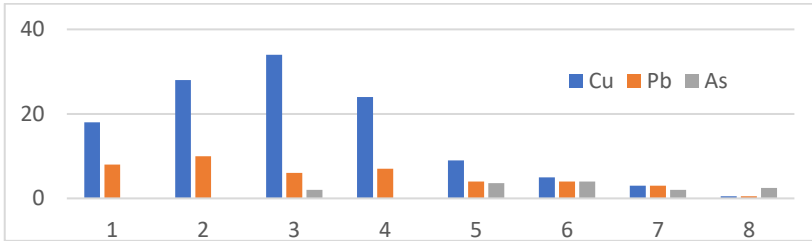


Рис. 3. Превышения ПДК (раз) в почвах и ТПО окрестностей Ботсада

Для уточнения эколого-геохимической оценки загрязнения планируется определение подвижных форм этих элементов. Для оптимизации орошения и решении задачи экономии воды в настоящее время начался переход к более прогрессивному методу орошения – капельному как в ботаническом саду, так и в зеленой инфраструктуре города. При этом для предотвращения забивания отверстий трубок капельниц необходимо отстаивание взвеси для осветления воды. Сбор взвеси и ее анализ позволит оценить химизм и специфику ее химического и гранулометрического состава по сравнению с пылью шламоотвалов. Кроме того, в связи с изменением статуса города Джезказган (Жезказган), возвращением ему уровня областного центра, расширением его зеленой инфраструктуры, возрастет потребность в материале для посадок. К ботаническому саду потребуется добавить участок выше города по течению реки Кенгир и вне зоны пылевого воздействия шламоотвалов.

ВЫВОДЫ

Почвы Джезказганского ботанического сада находятся под двойным воздействием орошения и загрязнения. Орошение проводится по бороздам и дождеванием. За 80 лет функционирования отмечено частичное растворение гипса, перераспределение солей, увеличение содержания гумуса. Использование в качестве источника орошения воды реки Кенгир привело к увеличению содержания в поверхностных горизонтах меди, свинца и мышьяка. Полученные результаты позволяют оценить скорость и направленность перераспределения солей и гипса, рекомендовать переход к водосберегающим технологиям капельного орошения с одновременным отстаиванием и удалением из оросительной воды взвеси, загрязненной тяжелыми металлами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Ишмуратова М.Ю., Матвеев А.Н., Тлеукенова С.У.* Рекомендации по созданию и уходу за зелеными насаждениями в условиях Жезказганского промышленного региона. Караганда: КарГУ, 2021. 50 с.
2. Классификация и диагностика почв России. 2004. Смоленск: Ойкумена. 341 с.
3. Классификация и диагностика почв СССР. М.: Колос, 1977. М.: Колос. 221 с.
4. *Кошелева Н.Е., Касимов Н.С., Бажа С.Н. и др.* Загрязнение почв тяжелыми металлами в промышленных городах Монголии // Vestnik Moskovskogo Unviersiteta, Seriya Geografiya. 2010. № 3. С. 20–27.
5. *Горохова И.Н., Хитров Н.Б., Прокопьева К.О. и др*. Почвенный покров Светлоярской оросительной системы через полвека мелиоративных воздействий // Почвоведение. 2018. № 8. С. 1–12.
6. *Чухров Ф. В.* Рудные месторождения Джезказгано-Улутаевского района в Казахстане. М.; Л.: Издательство АН СССР, 1940. 120 с.
7. Экологические требования к качественному составу оросительных вод, обеспечивающих предотвращение засоления и осолонцевания почв / Е.И. Панкова и др. — М.: ЦНТМПиР Москва, 1995. 33 с.
8. *Kasimov N. S., Vlasov D. V.* Clarkes of chemical elements as comparison standards in ecogeochemistry // Вестник Московского университета. Серия 5: География. 2015. no. 2. P. 7–17.
9. *Richards LA* Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. U. S. Dept. Agric. Handbook No. 60. 1954. Pp. 65-68.

УДК 631.4

Специфика гумусонакопления в парково-рекреационных зонах Ростовской агломерации

© 2022 г. С.Н. Горбов*, П.Н. Скрипников, А.А. Наливайченко, О.С. Безуглова

[1]ФГАОУ ВО Южный федеральный университет, Россия, 344090, Ростов-на-Дону, пр-т Стачки 194/1,
** gorbov@sfedu.ru*

Резюме: В работе представлены результаты исследования почвенного и растительного покровов парково-рекреационных зон Ростовской агломерации. Наряду с изучением естественных почв, были проведены геоботанические описания исследуемых мониторинговых площадок для учета видового разнообразия растительности, жизненного состояния деревьев, а также оценки проективного покрытия травянистой растительности. Установлено, что в целом все изучаемые лесонасаждения сходны по составу флоры. Наибольший вклад в состав лесопарковых зон городов Юга вносят адвентивные, синантропные, культигенные и сорные сосудистые растения. Из изученных парково-рекреационных зон наибольший флористический состав отмечен для территории «Темерницкой рощи». Состояние древесной растительности варьирует, и высокое жизненное состояние деревьев выявлено в Щепкинском лесу. Для площадок на участках Ботанического сада ЮФУ и Темерницкой рощи характерен высокий процент проективного покрытия травянистой растительности. Содержание органического вещества в поверхностном десятисантиметровом слое черноземов парково-рекреационной зоны достоверно выше, чем в агрогенных и залежных почвах пригородских территорий. Обусловлено это тем, что древесные формации городских территорий степной зоны, позволяют создавать особые «участки-компенсаторы», как с позиции формирования благоприятных микроклиматических условий, так и создания новых биоценозов, где меняется перераспределение вещества в системе растение – почва. Наличие лесной подстилки, формирование густого напочвенного травянистого покрова, защищенного от летнего выгорания кронами деревьев, представляют собой богатый энергетический материал, обогащающий почву органическими формами углерода. Таким образом в городских условиях юга Европейской части России, развиваются богатые гумусом почвы под древесными насаждениями.

Ключевые слова: городские парки, гумус, почвенное органическое вещество, древесная растительность.

The specificity of humus accumulation in the park and recreational areas of the Rostov agglomeration

© 2022 S.N. Gorbov*, P.N. Skripnikov, A.A. Nalivaichenko,

O.S. Bezuglova

Southern Federal University, Russia,
Stachki Ave. 194/1, Rostov-on-Don 344090, Russian Federation,
* *e-mail: gorbov@sfedu.ru*

Abstract: The paper presents the results of a study of soil and vegetation cover of park and recreational areas of the Rostov agglomeration. Along with the study of natural soils, geobotanical descriptions of the studied monitoring sites were carried out to take into account the species diversity of vegetation, the vital condition of trees, as well as the assessment of the projective cover of herbaceous vegetation. It was found that, in general, all the studied plantations are similar in the composition of the flora. Adventitious, synanthropic, cultigenic and weed vascular plants make the greatest contribution to the composition of the forest park zones of the cities of the South. The greatest floral composition of the studied park and recreational zones was noted for the territory of the "Temernitskaya grove". The state of woody vegetation varies, and the high vital condition of trees is revealed in the Shchepkin forest. The areas at the sites of the Botanic Garden of the Southern Federal University and Temernitskaya Grove are characterized by a high percentage of the project coverage of herbaceous vegetation. The content of organic matter in the surface ten-centimeter layer of chernozems of the park and recreational zone is significantly higher than in agrogenic and fallow soils of suburban territories. This is due to the fact that the tree formations of urban areas of the steppe zone, allow one to create special "compensator sites", both from the point of view of the formation of favorable microclimatic conditions, and the creation of new biocenoses, where the redistribution of matter in the plant -soil system changes. The presence of forest litter, the formation of a dense ground grassy cover, protected from summer burnout by tree crowns, represent a rich energy material that enriches the soil with organic forms of carbon. Thus, in the urban conditions of the south of the European part of Russia, humus-rich soils under tree plantations are developing.

Keywords: city parks, humus, soil orgaic matter, woody vegetation.

ВВЕДЕНИЕ

Города являются уникальной средой формирования почвенного покрова, где на относительно небольшом участке местности сосредоточено большое количество человеческих ресурсов, производственных мощностей и, как следствие, неизбежно существенное и разностороннее воздействие человека не только на почву, но и на биосферу в целом. Под воздействием процессов урбопедогенеза существенно трансформируются основные почвообразовательные процессы и характеристики почвенных типов, не только морфологические, но и физико-химические (Горбов, 2019; Приваленко, Безуглова, 2003).

В этой связи особое место в городе занимают парково-рекреационные зоны, которые с одной стороны являются рефугиумом для естественных нетронутых почв, с другой выполняют целый ряд экосистемных сервисов, способствуя формированию благоприятной городской среды. Почвы принимают непосредственное участие в биогеохимических циклах и поддержании биоразнообразия. Свойства парковых почв и режимы их функционирования определяются взаимодействием зональных и антропогенных факторов, таких как история формирования парка, длительность его существования, приемы преобразования или технологии конструирования почв, характер насаждений. Как следствие, почвенному покрову парков свойственны гетерогенность, сочетание естественных и антропогенных компонентов (Васенев и др., 2018; Прокофьева и др., 2018; Бахматова и др., 2022).

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

С целью изучения влияния масштабного изменения растительных ассоциаций на механизмы гумусообразования были проведены исследования территории нескольких искусственных древесных насаждений г. Ростова-на-Дону: «Щепкинский лес», «Темерницкая роща», парк Орджоникидзе – лесонасаждения так называемого Восточного защитного кольца, а также питомник Ботанического сада Южного федерального университета.

Почвенный покров территории исследуемых участков представлен черноземами миграционно-сегрегационными,

расположенными на плакорных участках города, без проявления эрозионных процессов.

В ходе работы заложены пробные площадки мониторинга, размер которых составляет 100 м^2. Оценка обилия видов проведена по шкале Браун-Бланке. Эколого-ценотические группы насаждений рассматривались как по флористическим спискам сообществ, так и через их обилие в фитоценозе (Гусев, 2002). Для идентификации видов растений использован региональный определитель флоры (Флора Нижнего Дона, 1984, 1985).

На участках мониторинга были заложены полнопрофильные почвенные разрезы и произведен отбор поверхностных проб из десятисантиметрового слоя. Органическое вещество (гумус) определялся методом высокотемпературного каталитического сжигания на анализаторе общего органического углерода TOC-L CPN Shimadzu.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Максимальное видовое разнообразие растительности обнаружено на двух площадках в Темерницкой роще. На этом месте доминируют представители семейств *Fabaceae* и *Aceraceae* (*Robinia pseudoacacia* L., *Gleditsia triacanthos* L., *Acer negundo* L., *Amorpha fruticosa* L., *A. tataricum* L. и др.). В травянистом ярусе важное участие в сложении напочвенного покрова принимают представители сорно-кустарниковой, сорно-луговой и лесолуговой растительности с обилием от 3 до 5 по Браун-Бланке (*Glechoma hederacea* L., *Galium aparine* L., *Elytrigia repens* (L.)).

На территории Щепкинского леса большая доля растительности представлена родом *Acer*. В травянисто-кустарничковом ярусе отмечены будра плющевидная *G. hederacea* и гравилат городской *Geum urbanum* L. (обилие по Б-Б 3 и 2 соответственно), остальные виды встречаются редко.

На площадках в питомнике Ботанического сада ЮФУ сформированы древесные насаждения ели обыкновенной *Picea abies* (L.) *Karst*. и сосны крымской *Pinus pallasiana* D. Don. Здесь в травостое преобладает представитель лесолуговой растительности фиалка душистая *Viola odorata* L. (обилие равно 6).

Жизненное состояние древесных растений оценивалось визуально по методу В. А. Алексеева (1989). Состояние древесной растительности варьирует и составляет в Щепкинском лесу 1–1,7 балла, в Темерницкой роще 1,5–3,4, в парке Оджоникидзе 2–3,4, в питомнике Ботанического сада ЮФУ 1,4–2,4 балла.

Проведение химического анализа почвенных образцов слоя 0–10 показало следующие результаты. Наблюдается статистически достоверное (U-критерий, $p<0.01$) увеличение содержания органического вещества в почвах под древесной растительностью (Рис.1).

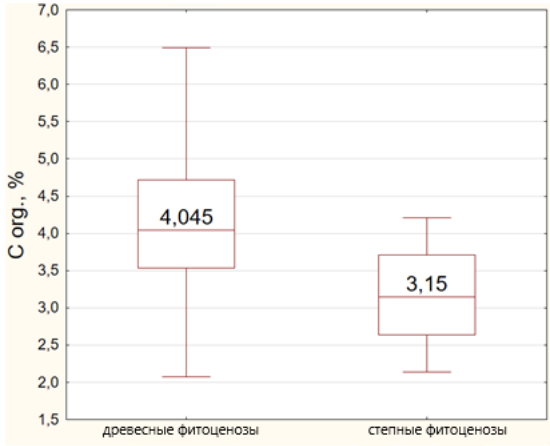


Рис. 1. Характеристика медианы и межквартильного размаха для органического углерода в древесных и степных фитоценозах

В среднем оно составляет 4,1 ± 0,85% относительно почв под естественной степной растительностью, где содержание С орг. составляет 3,2 ± 0,62%.

Наибольшие значения в содержании органического вещества были выявлены в почве «Щепкинского леса» и парке Орджоникидзе (Рис.2). Вне зависимости от пространственного положения и особенностей флористического состава содержание органического вещества в поверхностном слое почвы всех точек мониторинга Восточного защитного кольца демонстрирует близкие значения и не показывает статистически достоверных различий между собой (Рис.2).

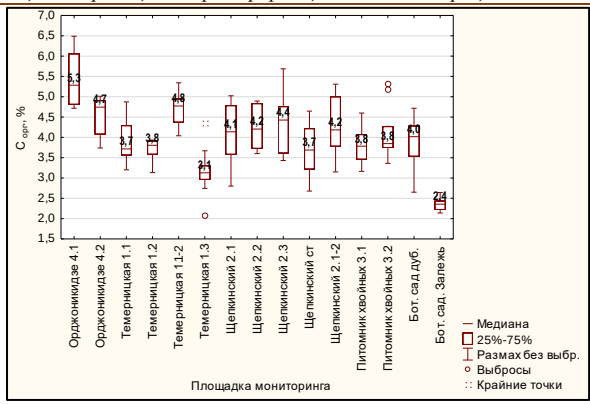


Рис. 2. Характеристика медианы и межквартильного размаха для органического углерода в изученных мониторинговых площадках

Исключение составила единственная площадка мониторинга в Темерницкой роще (1.3), где содержание С орг. существенно ниже, чем в почвах других лесных посадок Восточного защитного кольца. Это обусловлено более поздним формированием здесь древесной растительности, о чем свидетельствует возраст *Robínia pseudoacácia*, являющейся доминантой древесного яруса. Низкое содержание органического углерода можно объяснить тем, что на первой стадии развития лесного участка в почву поступает малое количество отмершей наземной и корневой массы растений из-за молодости лесного фитоценоза, а часть гумуса, сформировавшегося до лесомелиоративных мероприятий, минерализируется (Чендев, 2017). Также следует учитывать и то, что длительное время (до середины 70-х годов прошлого века) данный участок принадлежал совхозу и использовался в сельскохозяйственной деятельности, что могло привести к уменьшению запасов гумуса.

Чернозем участка Орджоникидзе 4.1, наоборот, достоверно отличается самым высоким значением С орг = 5,32. На данной площадке жизненное состояние деревьев было одним из самых низких, и в процентном соотношении преобладали сильноослабленные и отмирающие деревья. Такое высокое содержание органического углерода можно обосновать тем, что повышенное поступление отмерших наземных и подземных остатков растений в почву данного

участка мониторинга могло отразиться на более интенсивном пополнении ее свежим органическим материалом.

ВЫВОДЫ

1. Среди всех выделенных эколого-ценотических групп растений наибольший вклад в состав лесопарковых массивах вносят адвентивные, синантропные, культигенные и сорные сосудистые растения.

2. Состояние деревьев на территории «Щепкинского леса» является самым здоровым. Самый низкий показатель жизненности древостоя выявлен в парке Орджоникидзе, что объясняется произрастанием деревьев вблизи автомагистрали, что значительно может влиять на их состояние.

3. Созданные в степной зоне лесные массивы обеспечивают условия для увеличения содержания органического вещества в верхнем горизонте чернозема.

4. Фактор биоразнообразия флористического состава лесопарков не является определяющим в накоплении органического вещества в поверхностном горизонте. Большую роль в этом процессе играет возраст лесных насаждений и состояние древесной растительности.

Исследование агрогенных и залежных почв выполнено при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках госзадания (Южный федеральный университет, проект № 0852-2020-0029)

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Бахматова К.А., Матинян Н.Н., Шешукова А.А*. Антропогеннные почвы городских парков (обзор) // Почвоведение. 2022. № 1. С. 77–95.

2. *Васенев В.И., Ван Ауденховен А.П., Ромзайкина О.Н., Гаджиагаева Р.А.* Экологические функции и экосистемные сервисы городских и техногенных почв: от теории к практическому применению (обзор) // Почвоведение. 2018. № 10. С. 1177–1191.

3. *Горбов С.Н., Безуглова О.С.* Почвенный покров Ростовской агломерации. Ростов-на-Дону. Таганрог: Издательство Южного федерального университета, 2019. 188 с.

4. *Гусев М.В., Мелехова О.П., Романова Э.П.* Сохранение и восстановление биоразнообразия: Серия учебных пособий «Сохранение биоразнообразия». М: Изд-во Научного и учебно-методического центра, 2002. 286 с.

5. *Приваленко В.В., Безуглова О.С.* Экологические проблемы антропогенных ландшафтов Ростовской области. Ростов-на-Дону: СКНК ВШ, 2003. 290 с.

6. *Прокофьева Т.В., Розанова М.С., Попутников В.О.* Некоторые особенности органического вещества почв на территориях парков и прилегающих жилых кварталов Москвы // Почвоведение. 2013. № 3. С. 302–314.

7. Флора Нижнего Дона (определитель). Часть 1, часть 2. /Под ред. *Г.М. Зозулина, В.В. Федяевой*. Ростов-на-Дону: Изд-во РГУ, 1984, 1985. 280 с., 240 с.

8. *Чендев Ю.Г., Александровский А.Л., Хохлова О.С.* Эволюция лесного почвообразования на юге лесостепи Среднерусской возвышенности в позднем голоцене // Почвоведение. 2017. № 1. С. 3–16.

УДК 631.4

Динамика противоэрозионной стойкости агропочв лесостепи в широком диапазоне скоростей водного потока[1]

© 2022 г. А.В. Горобец[1*], Г.А. Ларионов[1], Л.Ф. Литвин[1], Л.В. Кобыльченко (Куксина)[1], Н.Р. Крючков[2]

[1]Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, Россия,
119991, Москва, Ленинские горы, 1
[*]GorobetsAV@geogr.msu.ru
[2]Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, факультет почвоведения, Россия,
119991, Москва, Ленинские горы, 1, стр. 12.

Резюме: Противоэрозионная стойкость почв характеризуется различными показателями, из которых наиболее часто используемыми являются интенсивность размыва (в размерности г/(м^2 с)) и эродируемость в виде отношения интенсивности размыва к скоростным характеристикам склонового потока (в данной работе к кубу скорости потока (Ларионов, Краснов, 2000)). Как правило, экспериментальные исследования противоэрозионной стойкости почв проводятся при скоростях водного потока в диапазоне не выше 1–1,5 м/с. Именно такие скорости характерны для склоновых и овражных потоков. В диапазоне до 1,5 м/с прослеживается прямолинейная зависимость интенсивности смыва от куба скорости потока. Исключение – область малых скоростей, когда лишь часть пульсационных значений скорости способны срывать почвенные частицы и, соответственно, наблюдается резкое уменьшение интенсивности размыва (Ларионов и др., 2010). Однако в верховьях равнинных оврагов и в потоках на крутых склонах наблюдаются и более высокие значения скоростей потока, что актуализирует исследования в диапазоне скоростей до 5 м/с. Целью данных исследований была оценка динамики интенсивности размыва и эродируемости модельных образцов пахотных горизонтов чернозема выщелоченного легкоглинистого окультуренного и агросерой лесной

[1] Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-27-00316, https://rscf.ru/project/22-27-00316. При подготовке модельных образцов использовалась инфраструктура научно-исследовательской лаборатории эрозии почв и русловых процессов имени Н.И. Маккавеева МГУ в рамках темы по госзаданию (№ 121051100166-4).

среднесуглинистой почвы с плотностью 1,3 г/см^3 в диапазоне скоростей потока 0,5–2 м/с. Эксперименты проводились на струйной установке. Материалом для формирования модельных образцов почв служили фракции агрегатов размером 1–2 мм. Эксперименты показали, что в исследуемом диапазоне скоростей потока (0,5–2 м/с) противоэрозионная стойкость чернозема существенно выше, чем агросерой лесной почвы. Так, например, при средней скорости потока равной 1,06 м/с интенсивность размыва чернозема в 4,1 раза ниже, чем агросерой лесной почвы. При этом интенсивность размыва чернозема составила 65, а агросерой лесной почвы – 268 г/(м^2 с). Получены тренды изменения интенсивности размыва от куба скорости потока для исследуемых почв.

Ключевые слова: интенсивность размыва, эродируемость, монофракционная почва, межагрегатные связи, струйная установка, гидродинамическое воздействие потока.

Dynamics of Erosion Resistance of Forest-Steppe Cultivated Soils in a Wide Range of Velocities of Water Flow

© 2022 A.V. Gorobets[1*], G.A. Larionov[1], L.F. Litvin[1], L.V. Kobylchenko (Kuksina)[1], and N.R. Kriuchkov[2]

[1]Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography,
1 Leninskie gory, Moscow 119991, Russian Federation,
[*] e-mail: GorobetsAV@geogr.msu.ru,
[2]Lomonosov Moscow State University, Soil Science Faculty,
1 Bld. 12 Leninskie gory, Moscow 119991, Russian Federation.

Abstract: Soil erosion resistance is characterized by various parameters, the most frequently used being washout intensity (unit of measurement: g/(m^2 s)) and erodibility as a ratio of washout intensity and velocity parameters of slope flow (third power of flow velocity in this work (Larionov, Krasnov, 2000)). Usually experimental studies of soil erosion resistance are carried out at water flow velocities not exceeding 1–1.5 m/s. These velocities are specific for slope and gulley flows. There is a linear relationship between washout intensity and flow velocity up to 1.5 m/s. The exception being low velocities where only some fluctuating velocities are able to break away soil particles, and therefore an abrupt decrease in washout intensity is observed (Larionov, et al, 2010). However, even higher flow velocities are observed in the heads of plain gullies and in the flows at steep slopes, which makes studies of velocities up to 5 m/s topical. This research aimed to assess dynamics of washout intensity and erodibility of model soil samples of arable layers of light-clay cultivated leached Chernozem and medium silty loam cultivated gray forest soil with the density of 1.3 g/cm^3 at

flow velocities from 0.5 to 2 m/s. Experiments were carried out on a jet installation. The model soil samples were made from 1–2 mm aggregates. Experiments have shown that in the studied flow velocity range (0.5–2 m/s) erosion resistance of Chernozem is significantly higher that of gray forest soil. At the average flow velocity of 1.06 m/s Chernozem erosion intensity is 4.1 times lower than that of the gray forest soil. The erosion intensity reached 65 for Chernozem and 268 g/(m^2 s) for gray forest soil. The trend lines of erosion intensity change were obtained for the third power of flow velocity.

Keywords: erosion intensity, erodibility, monofractional soil, interaggregate bonds, jet installation, hydrodynamic flow impact.

ВВЕДЕНИЕ

Противоэрозионная стойкость почв – важнейший аргумент любых моделей и уравнений оценки эрозии почв, характеризуется различными показателями, из которых наиболее часто используемыми являются интенсивность размыва (в размерности г/($м^2$ с)) и эродируемость в виде отношения интенсивности размыва к скоростным характеристикам склонового потока (в данной работе к кубу скорости потока (Ларионов, Краснов, 2000)).

Эродируемость (смываемость) почвы, то есть степень податливости почвы размыву водным потоком и/или ударному действию дождевых капель, один из основных факторов водной эрозии. Для количественной оценки этого параметра, используемого как в статистических, так и в физически обоснованных моделях смыва почв, предложено более десятка различных подходов и способов (Лисецкий и др., 2012). В свою очередь, в большинстве этих предложений в качестве одного из определяющих параметров, помимо свойств самой почвы, предлагаются кинетические характеристики склоновых потоков – неразмывающая скорость (Мирцхулава, 1970; Кузнецов, 1981), критическое касательное напряжение (Foster, 1982) и другие. Нами для оценки эродируемости применен показатель в виде частного от деления интенсивности смыва на куб скорости потока, который для водных потоков численно равен половине удельной мощности потока (Nearing et al., 1991). Теоретически правомерность использования этого параметра была показана в рамках гидрофизической модели эрозии (Ларионов, Краснов, 2000) и подтверждена экспериментально опытами по размыву почв в гидравлическом лотке (Ларионов и др., 2010).

Обычно исследования интенсивности смыва и эродируемости почв проводятся при скоростях водного потока не выше 1–1,5 м/с. Скорости до 1,5 м/с фиксируются в природных условиях как во время снеготаяния на пахотных наиболее крутых склонах, так и во время прохождения ливневых осадков максимальной интенсивности. Проведенные ранее эксперимеинтальные исследования показали, что в диапазоне до 1,5 м/с прослеживается прямая зависимость интенсивности смыва от куба скорости потока, за исключением малых скоростей, когда лишь часть пульсационных значений скорости способны срывать почвенные частицы (Ларионов, Краснов, 2000). При таких малых скоростях наблюдается резкое уменьшение интенсивности размыва (Ларионов и др., 2010).

Однако в руслах равнинных оврагов наблюдались и более высокие значения. Так, во время схода селя в овраге Бабий Яр (Киевское Приднепровье) скорости потока превышали 5 м/с (География овражной эрозии, 2006). О необходимости исследования размыва почвы в более широком диапазоне скоростей свидетельствуют и результаты многолетних исследований на Кошоктонской эрозионной опытной станции США, согласно которым вклад дождей редкой обеспеченности в суммарный многолетний смыв с полевых водосборов достигает 60–70% (Edwards, Owens, 1991).

В серии более ранних экспериментов была изучена эродируемость монофракционных образцов чернозема различной плотности (1,2–1,5 г/см^3) при её размыве водными потоками с широким интервалом скоростей от 0,5 до 6,7 м/с (Ларионов и др., 2019). Исследования показали, что по мере увеличения скорости потока растет и воздействие гидродинамических сил на почву. Следовательно, при больших скоростях потока можно ожидать изменения соотношений этих сил и сил воздействия на межагрегатные связи самой воды.

Целью данных исследований была оценка изменения интенсивности размыва и эродируемости модельных образцов пахотных горизонтов чернозема и агросерой лесной почвы с заданной плотностью (1,3 г/см^3) в диапазоне скоростей потока от 0,5 до 2 м/с.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

В качестве объекта использовались образцы пахотных горизонтов чернозёма выщелоченного легкоглинистого окультуренного и агросерой лесной среднесуглинистой почвы. При формировании модельных образцов использовались фракции агрегатов размером 1–2 мм, плотность почв в образцах составила 1,3 г/см^3, объем образца – 8,67 см^3 (17×17×30 мм). Навески агросерой лесной почвы и чернозема насыщались дистиллированной водой до влажности, равной 22 и 24% от массы воздушно-сухой почвы, соответственно. Увлажненные навески почв выдерживались в закрытых бюксах в течение 18–20 часов, а затем помещались в металлические кассеты квадратного сечения (17×17 мм) откуда во время опыта экструдировались подъемным винтом.

В экспериментах использовалась струйная установка для получения высоких скоростей потока. На размываемый образец почвы струя воды поступала из насадки сечением 20×20 мм. Насадка имела слабый наклон (около 2°) в сторону поверхности образца почвы. Такой угол наклона насадки был выбран, чтобы размыв почвы осуществлялся в основном за счёт касательных сил потока воды. Температура воды поддерживалась в диапазоне 15–22°С. Скорость истечения воды в разных сериях экспериментов изменялась от 0,5 до 2 м/с. Опыты проводились в 3–6-кратной повторности.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Проведенные эксперименты показали, что исследуемые почвы существенно различаются по своей противоэрозионной стойкости. Для пахотного горизонта чернозема характерны более низкие величины интенсивности размыва и эродируемости по сравнению с агросерой лесной почвой более легкого гранулометрического состава (Рис. 1 и 2).

Анализ зависимостей интенсивности размыва чернозема и агросерой лесной почвы от куба скорости потока для всех серий опытов выявил существование положительных связей между этими параметрами. На зависимостях интенсивности размыва от куба скорости потока отчетливо выделяются две области скоростей, отличающиеся скоростью изменения интенсивности смыва; и

разделяющий их перегиб – предположительно, находится в области скоростей около 1,27 м/с для чернозема и 0,70 м/с для агросерой лесной почвы (рис. 1 и 2). Эксперименты по размыву чернозема в гидравлическом лотке (агрегаты 0,5–2 мм, плотность 1,2 г/см^3, скорость потока от 0,5 до 1,6 м/с) подтверждают эти предположения (Ларионов и др., 2010).



Рис. 1. Зависимость интенсивности размыва чернозема от куба скорости потока

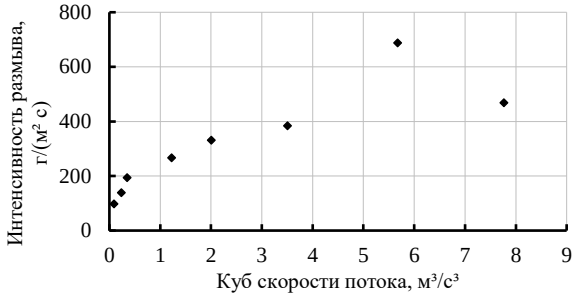


Рис.2. Зависимость интенсивности размыва агросерой лесной почвы от куба скорости потока

Возможно, что причиной существования двух областей динамики интенсивности размыва является следующее. Как известно почва состоит преимущественно из агрегатов, которые в свою очередь состоят из элементарных глинистых частиц, связанных между собою силами сцепления, а также амфифильными молекулами гумусовых кислот (Шеин, Милановский, 2003). Амфифильность гумусовых кислот обусловлена их способностью связывать

элементарные почвенные частицы как гидрофобными, так и гидрофильными частями. Но так как гидрофобные части молекул гумусовых кислот не растворяются в воде, то такие агрегаты проявляют более высокую устойчивость к разрушению водой. При наличии воды на поверхности образца, она проникает в нижележащий слой и нарушает в первую очередь межагрегатные связи между верхним слоем и нижележащим, так как расклинивающей силе водных плёнок противостоит изначальное сжатие агрегатов при формировании образца (Ларионов и др., 2016).

ВЫВОДЫ

Проведенные эксперименты позволили оценить тенденции изменения интенсивности размыва и эродируемости модельных образцов чернозема и агросерой лесной почвы, полученные на струйной установке для скоростей водного потока от 0,5 до 2 м/с.

Экспериментально установлено, что в исследуемом диапазоне скоростей потока (0,5–2 м/с) противоэрозионная стойкость чернозема существенно выше, чем агросерой лесной почвы. Так, например, при средней скорости потока равной 1,06 м/с интенсивность размыва чернозема в 4,1 раза ниже, чем агросерой лесной почвы. При этом интенсивность размыва чернозема составила 65, а агросерой лесной почвы – 268 г/(м^2 с).

Данные экспериментов по размыву почв струйным потоком позволяют предположить существование двух областей изменения интенсивности размыва при увеличении скорости потока. Однако выявленные тренды изменения интенсивности размыва почв нуждаются в подтверждении дополнительными сериями опытов на гидравлических лотках в диапазоне скоростей водного потока (0,5–4,5 м/с).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *География овражной эрозии.* Под ред. Е.Ф. Зориной. М.: Изд-во МГУ, 2006. 324 с.
2. *Кузнецов М.С.* Противоэрозионная стойкость почв. М.: Изд-во МГУ, 1981б. 135 с.
3. *Ларионов Г.А., Бушуева О.Г., Добровольская Н.Г., Кирюхина З.П., Краснов С.Ф., Литвин Л.Ф., Муракаев Р.Р.* Определение гидрофизических параметров почвы в модели эрозии // Почвоведение. 2010. № 4 С. 488–494.

4. *Ларионов Г.А., Бушуева О.Г., Добровольская Н.Г., Кирюхина З.П., Литвин Л.Ф., Краснов С.Ф.* Оценка вклада сил негидравлической природы в нарушение связей между почвенными частицами в процессе водной эрозии // Почвоведение. 2016. № 5. С. 593–598. DOI: 10.7868/S0032180X16050117.
5. *Ларионов Г.А., Горобец А.В., Добровольская Н.Г., Кирюхина З.П., Краснов С.Ф., Литвин Л.Ф.* Эродируемость модельной почвы в широком диапазоне скоростей водного потока // Почвоведение. 2019. № 10. С. 1278–1282. DOI: 10.1134/S0032180X19090041.
6. *Ларионов Г.А., Краснов С.Ф.* Вероятностная модель размыва почв и связных грунтов // Почвоведение. 2000. № 2. С. 235–242.
7. *Лисецкий Ф.Н., Светличный А.А., Чёрный С.Г.* Современные проблемы эрозиоведения / ред. А.А. Светличный. Белгород: Константа, 2012. 456 с.
8. *Мирцхулава Ц.Е.* Инженерные методы расчёта и прогноза водной эрозии. М.: Колос, 1970. 240 с.
9. *Шеин Е.В., Милановский Е.Ю.* Роль и значение органического вещества в образовании и устойчивости почвенных агрегатов // Почвоведение. 2003. № 1. С. 53–61.
10. *Edwards W.M., Owens L.B.* Large storm effects on total soil erosion // Journal of Soil and Water Conservation. 1991. Vol. 46. No. 1. P. 75–78.
11. *Foster, G.R.* Modeling the Erosion Process. In: C.T. Haan, H.P. Johnson and D.L. Brakensiek (eds.) Hydrologic Modeling of Small Watersheds. ASAE Monograph No. 5. ASAE, St. Joseph, MI. 1982. P. 297–380.
12. *Nearing M.A., Bradford J.M., Parker S.C.* Soil Detachment by Shallow Flow at Low Slopes // Soil Sci. Soc. Am. J. 1991. Vol. 55. No. 2. P. 339–344.

УДК 631.4

Этапы изменения почв солонцовых комплексов сухой степи более чем за 50-летний период орошения (на примере Волгоградской области)

© 2022г. И.Н. Горохова[1*], Е.И. Панкова[1], Н.Г. Круглякова[2]

[1]ФИЦ «Почвенный институт им. В.В. Докучаева», Россия, 119017, Москва, Пыжевский пер, 7, стр. 2,
[*]g-irina14@yandex.ru
[,2] ФГБНУ Всероссийский научно-исследовательский институт орошаемого земледелия, Россия, 400002, Волгоград, ул.им. Тимирязева, 9.

Резюме: Многолетний опыт исследований орошаемых почв солонцовых комплексов сухой степи в Волгоградской области сотрудниками Почвенного института им. В.В. Докучаева позволяет выделить три основных этапа изменений орошаемых почв за весь период их орошения. Каждый этап характеризуется доминирующими факторами и процессами почвообразования, выделяющимися на фоне остальных процессов. На первом этапе орошения (1960-1990 гг.) отсутствие дренажа на оросительных системах, а также большие нормы поверхностных поливов, привели к подъему уровня грунтовых вод (3-2 м) и возникновению очагов вторичного засоления, который стал доминирующим негативным процессом. Второй временной этап орошения (1990-2010 гг.) пришелся на экономический кризис в стране, который привел к сокращению орошения и, как следствие, к понижению уровня грунтовых вод глубже 5 м, рассолению и ощелачиванию вторично засоленных почв. На этом фоне особенно ярко проявился процесс, сопровождающийся накоплением карбонатов в поверхностном горизонте орошаемых почв. На современном, третьем этапе (2010-2020 гг.) происходит постепенное восстановление площадей орошения, на многих системах после реконструкции, с широким использованием дождевания и капельного полива. При этом применение для орошения слабоминерализованных вод из прудов и водохранилищ приводит к усилению развития процесса вторичного осолонцевания почв.

Доминирующие процессы изменения орошаемых почв первого и второго этапов хорошо фиксируются на аэро-космических снимках и позволяют осуществлять регулярный контроль за ними, чего нельзя сказать об активно развивающемся процессе осолонцевания почв на третьем временном этапе, который пока на дистанционной информации не отражается.

Ключевые слова: орошаемые почвы, вторичное засоление почв, окарбоначивание почв, осолонцевание почв.

The Stages of Alternations in Soils of Solonetzic Complexes of the Dry Steppe over a 50-Year Irrigation Period (on the Example of the Volgograd Region)

© 2022 I.N. Gorokhova[1*], E.I. Pankova[1], N.G. Kruglyakova[2]

[1]Federal Research Centre "V.V. Dokuchaev Soil Science Institute",
7 Bld. 2 Pyzhevskiy per., Moscow 119017, Russian Federation,
[*] e-mail: g-irina14@yandex.ru,
[1,2]Federal State Budget Scientific Institution "All-Russian Scientific Research Institute of Irrigated Agriculture", 9 Timiryazev Str., Volgograd 400002, Russian Federation.

Abstract: The long-term experience of research of irrigated soils of solonetzic complexes of the dry steppe in the Volgograd region by the research workers of the Dokuchaev Soil Science Institute allows us to highlight three main stages of alternations in irrigated soils over the entire period of their irrigation. Each stage is characterized by dominant factors and soil forming processes that stand out against the background of other processes. At the first stage of irrigation (1960-1990), the lack of drainage on irrigation systems, as well as large norms of surface irrigation, led to a rise in the groundwater level (3-2 m) and the emergence of areas of secondary salinization, which became the dominant negative process. The second temporary stage of irrigation (1990-2010) occurred during the economic crisis in the country, which led to a reduction in irrigation and, as a consequence, to a decrease in the groundwater level deeper than 5 m, desalinization and alkalinization of secondary saline soils. The process accompanied by the accumulation of carbonates in the surface horizon of irrigated soils was particularly manifested at this background. At the present stage, the third one (2010-2020), there is a gradual restoration of irrigation areas, on many systems after reconstruction, with extensive use of sprinkling and drip irrigation. At the same time, the use of weakly mineralized waters from ponds and reservoirs for irrigation leads to an increase in the development of the process of secondary salinization of soils. The dominant processes of changes in irrigated soils of the first and second stages are well recorded on aerospace images providing an opportunity for their regular monitoring, which cannot be said about the actively developing process of soil salinization of the third stage, which is not yet reflected in information derived from remote sensing.

Keywords: irrigated soils, secondary salinization of soils, carbonization of soils, solonetsization of soils.

ВВЕДЕНИЕ

Изучение орошаемых почв в сухостепной зоне Волгоградской области сотрудниками Почвенного института им. В.В. Докучаева ведется длительное время, что отразилось во множестве их (Зимовец, 1991; Экологические требования …, 1996; Новикова и др., 2009; Зинченко и др., 2020; Хитров и др., 2021).Многолетний опыт исследований позволяет выделить три основных этапа изменений орошаемых почв солонцовых комплексов сухой степи за весь период орошения. Каждый этап характеризуется доминирующими процессами почвообразования, выделяющимися на фоне остальных процессов.

Цель исследований - изучить тенденции преобразования и эволюции почв и почвенного покрова оросительных систем в сухостепной зоне Волгоградской области за весь период орошения.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Объектом многолетних исследований стали Светлоярская, Генераловская и Волго-Донская оросительные системы в Волгоградской области, находящиеся в сухой степи (зоне солонцовых комплексов). Массивы орошения Светлоярской оросительной системы занимают Сарпинскую низменную равнину и Сарпинскую ложбину Прикаспийской низменности, а также северную часть возвышенности Ергени. Генераловская система занимает вторую надпойменную террасу р. Дон и восточный склон возвышенности Ергени, а Волго-Донская система расположена на юге Приволжской возвышенности (Рис. 1). Почвенный покров до орошения был представлен трехчленным комплексом, связанным с микрорельефом: в западинах формировались лугово-каштановые (темноцветные) почвы, микроповышения были заняты солонцами, микросклоны и мелкие микропонижения со светло-каштановыми и каштановыми солонцеватыми почвами. Количество солонцов в комплексе составляло 25-50% и > 50%.

Методы исследований: анализ аэро-космической информации и современные приемы ее обработки; морфологическое полевое описание почв, связывание точек опробования почв нивелирными ходами; лабораторные анализы - водная вытяжка почва:вода 1:5 из почв для определения суммы токсичных солей (%);

измерение активности ионов Ca^{2+}, Na^{+}, Cl^{-} в почвенных пастах с влажностью 40-50% ионоселективными электродами (ммоль/л); определение содержания $CaCO_3$ (%) в почве.

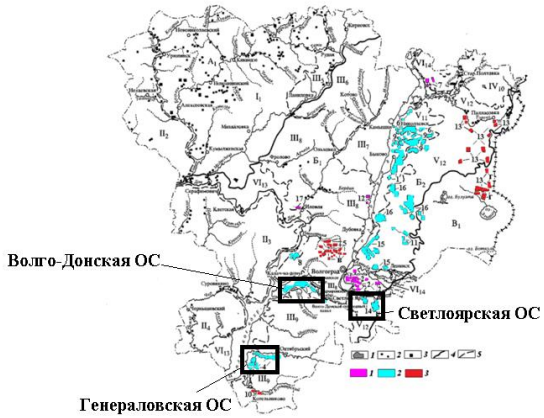


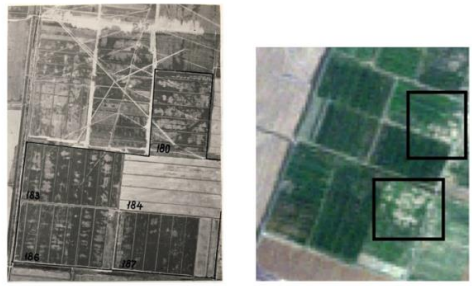
Рис. 1. Расположение оросительных систем и объектов исследований в Волгоградской области. Цветом показаны: *1* – ОС не требующая реконструкции и мелиорации почв; *2* – ОС требующая мелиорации почв; *3* – ОС требующая мелиорации почв и реконструкции коллекторно-дренажной сети (по данным Волгоградской гидрогеолого-мелиоративной партии)

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В сухостепной зоне Европейской части России в XX веке были построены крупные оросительные системы, которые позволили обеспечивать продовольственную безопасность страны. Активное строительство оросительных систем, начиная с 50-60-х годов XX века, достигли своего пика к середине 1980-х. Отсутствие дренажа и гидроизоляции на оросительных каналах на большинстве оросительных системах, а также большие нормы поверхностных поливов, привели на первом этапе орошения (1960-1990 гг.) к подъему уровня грунтовых вод и возникновению очагов вторичного засоления.

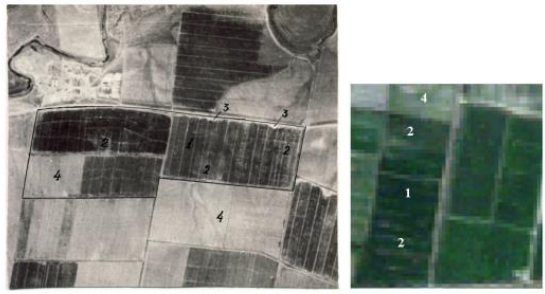
В этот период до 80% орошаемых площадей были заняты кормовыми многолетними травами, что дало возможность

контролировать состояние орошаемых земель по дистанционным материалам, наиболее важными из которых были процессы природного и вторичного засоления почв, которые хорошо фиксировалось в виде выпадов культуры на аэро- и космических снимках (Рис. 2, 3).



Аэроснимок М 1:25000. Июнь 1990 г. Landsat-8, август 1989 г.

Рис. 2. Пятна выпадов люцерны на Светлоярской оросительной системе. УГВ 3-1,5 м. Светлый тон пятен – выпады люцерны, связанные с вторичным засолением почв в сильной степени в метровом слое. Темный тон между пятнами соответствует слабо-среднему засолению почв



Генераловская ОС
Аэросъемка М 1:35000. Май 1989 г.

Светлоярская ОС
Landsat-8, август 1989 г.

Рис. 3. Пятна выпадов люцерны, связанные с солонцовым засолением почв. УГВ >5 м. 1 – участки занятые люцерной в хорошем состоянии; 2 – выпады люцерны, в виде мелкого полосчатого крапа, связанные с солонцовым засолением почв; 3 - вымочки; 4 – открытая поверхность

Экономический кризис 90-х годов XX века привел к изменениям в управлении гидромелиоративными системами. Большие площади орошаемых земель были заброшены и стали многолетней

залежью, другая часть земель была переведена в богарное использование, а на сохранившихся орошаемых участках поменяли тип орошения (преимущественно, с поверхностного на дождевание и капельный). Начался второй временной этап (1990-2010 гг.) на оросительных системах, который привел к понижению уровня грунтовых вод глубже 5 м и к рассолению и ощелачиванию вторично засоленных почв. На этом фоне особенно ярко проявился процесс, сопровождающийся пятнистым накоплением карбонатов в поверхностном горизонте орошаемых почв, который хорошо фиксировался на дистанционных материалах. Спектральная яркость и размер пятен на космических материалах позволил определить количество карбонатов в поверхностном слое почв (Рис. 4).

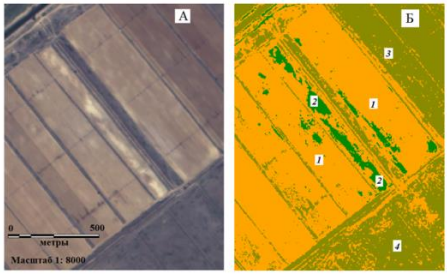


Рис. 4. Пятнистость полей (0-20 см) на массиве орошения "Дубоовражный» Светлоярской ОС. А – космический снимок со спутника Ресурс-П (май 2018). Б – результат классификации космического снимка в канале Blue (B1) с с/х полями под озимыми зерновыми культурами. Условные обозначения: *1* – некарбонатные и слабокарбонатные почвы с количеством $CaCO_3$ <4%; *2* – карбонатные почвы с количеством $CaCO_3$ ≥4%; *3* – пашня; *4* – залежь

На современном, третьем этапе (2010-2020 гг.) происходит постепенное восстановление орошения, на многих системах после реконструкции, с использованием дождевания и капельного полива. При этом применение для орошения пресных вод с повышенной концентрацией ионов натрия и слабоминерализованных вод из водохранилищ приводит к усилению развития процесса вторичного осолонцевания почв (Рис. 5).

Постоянное орошение указанными выше водами местного стока в течение более 5-7 лет приводит к постепенному

накоплению обменного натриядо 5-9% от ЕКО в пахотном горизонте на фоне сохранения низкой минерализации почвенных растворов. Это соответствует развитию и поддержанию физико-химических условий солонцового процесса в орошаемой почве (Хитров, Любимова, 2013).

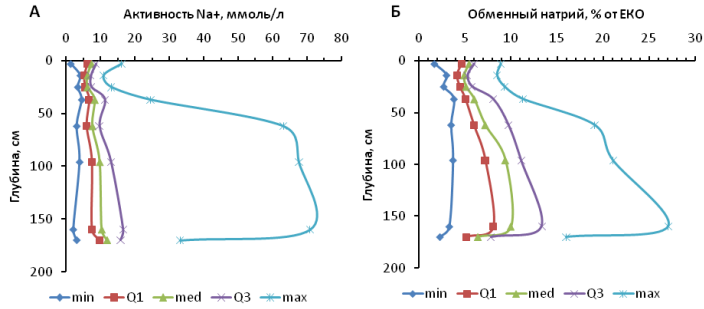


Рис. 5. Профильное распределение непараметрических статистических показателей (А) активности ионов Na+ в пастах с влажностью 40%(мас.) и (Б) обменного натрия в орошаемых почвах опытной станции «Орошаемая» на юге Приволжской возвышенности. Показатели: min – минимум, med – медиана, max – максимум, Q1 и Q3 – нижний и верхний квартили. Объем выборки – 40 почвенных разрезов

ВЫВОДЫ

Для первого периода орошения основным негативным процессом выступает вторичное засоление почв, вызванное поверхностным способом орошения, высокими нормами поливов и уровнем грунтовых вод, отсутствием дренажа и изоляции на оросительных каналах. К настоящему времени поверхностное орошение земель заменено капельным или дождеванием, в ходе реконструкции ОС проводится строительство дренажных систем, расчистка и облицовка каналов. Все это, а также длительный период отсутствия орошения, привели к рассолению орошаемых почв. Однако в случае повторного возникновения вторичного засоления почв следует помнить, что дистанционные методы позволяют определять такие участки по выпадам кормовых трав, фиксируемые на снимках, и высокому УГВ. При этом важен период проведения используемой космической съемки, отражающей пиковую вегетационную фазу кормовых культур.

Во второй период активно проявляется процесс окарбоначивания почв, пятна которых также хорошо фиксируются на космических снимках. Пятнистость, связанная с карбонатностью поверхностного горизонта почв (0-20 см), не зависит от уровня грунтовых вод и лучше всего просматривается на космических снимках с открытой поверхностью полей. Главным способом мелиорации таких пятен является внесение органических удобрений.

Современный период характеризуется процессом вторичного осолонцевания орошаемых почв, вызванный использованием слабоминерализованных вод для орошения. Дистанционно контролировать такой процесс пока не представляется возможным. Предварительными рекомендациями для решения проблемы могут быть контроль качества поливной воды, применение периодической влагозарядковой весенней промывки для оттеснения накопившихся солей из зоны аэрации, гипсование для обеспечения вытеснения обменного натрия, увеличение доли многолетних бобовых и злаковых культур в структуре посевных площадей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Зимовец Б.А.* Экология и мелиорация почв сухостепной зоны. М., Почвенный институт им. В.В. Докучаева, 1991. 249 с.
2. *Новикова А.Ф., Гэпин ЛО, Конюшкова М.В.* Динамика процессов засоления-рассоления почв участка “Червленое” Светлоярской оросительной системы в ирригационный и постирригационный периоды почв // Бюл. Почв. ин-та им. В.В. Докучаева. 2009. Вып. 63. С. 16–24.
3. *Зинченко Е.В., Горохова И.Н., Круглякова Н.Г., Хитров Н.Б.* Современное состояние орошаемых почв юга Приволжской возвышенности // Бюллетень Почвенного института имени В.В. Докучаева. 2020. Вып. 104. С. 68-109.
4. *Хитров Н.Б., Горохова И.Н., Панкова Е.И.* Дистанционная диагностика содержания карбонатов в орошаемых почвах сухостепной зоны Волгоградской области / Почвоведение, 2021, № 6, с. 657-674.
5. *Хитров Н.Б., Любимова И.Н.* Глава 11. Теоретические и методические основы предотвращения вторичного осолонцевания почв // Научные основы предотвращения деградации почв (земель) сельскохозяйственных угодий России и формирования систем воспроизводства их плодородия в адаптивно-ландшафтном земледелии: Т.1. Теоретические и методические основы предотвращения деградации почв (земель) сельскохозяйственных

угодий. Коллективная монография. М.: Почвенный институт им. В.В. Докучаева Россельхозакадемии, 2013. С. 465-516.
6. Материалы Волгоградской гидрогеолого-мелиоративной партии. Волгоград. 2019 г.

УДК 631.4

Верификация эрозионных моделей на основе полевых оценок эрозии почв и аккумуляции наносов на малых водосборах в северной и центральной частях Среднерусской возвышенности

© 2022 г. А.П. Жидкин[1*], В.Н. Голосов[1,2,3,4], Д.В. Фомичева[1]

[1]ФИЦ «Почвенный институт им. В.В. Докучаева», Россия, 119017, Москва, Пыжевский пер, 7, стр. 2,
[*] gidkin@mail.ru
[2]МГУ им. М.В. Ломоносова, Россия, 119999, Москва, Ленинские горы, 1,
[3]Институт географии РАН, Россия, 119017, Москва, Старомонетный пер., 29, стр. 4
[4]Казанский федеральный университет, Россия, 420008, Казань, Университетская, 18

Резюме: По результатам полевых оценок темпов эрозии и аккумуляции на распаханных балочных водосборах Спокоевка, расположенном в бассейне р. Воробжи, и Петровка, расположенном в бассейне р. Локна, проведена верификация расчетов перераспределения наносов, выполненных на основе совместного использования модели WATEM/SEDEM для ливневого смыва и модифицированной модели ГГИ – для талого смыва. Данные о слое смыва/намыва почвы (преимущественно черноземов) на распаханных склонах и в днищах балок были получены при помощи почвенно-морфологического и радиоцезиевого методов. Сопоставление результатов моделирования с полевыми оценками потерь почвы на пашне и объемами отложений в днище балки показало их хорошую сходимость. Установлено, что, помимо точности среднемноголетних оценок потерь почвы, модели удовлетворительно отражают пространственное расположение зон с разной интенсивностью смыва. Некоторые расхождения результатов моделирования и полевых данных обусловлены недостаточной детальностью входных параметров, например данных о севооборотах или особенностях микрорельефа территории. Выявлена недостаточная точность оценок по модели WATEM/SEDEM темпов и объемов аккумуляции наносов, особенно за пределами пашни, при этом отмечена склонность данной модели к завышению доли переотложения наносов на залуженных участках. В связи с завышением темпов

аккумуляции наносов в днище балки темпы выноса наносов за пределы малых водосборов, рассчитанные по моделям, оказались занижены в 1,5–4,5 раза по сравнению с оценками полевыми методами. Этот блок моделирования должен быть откалиброван с учетом региональных коэффициентов транспорта наносов в овражно-балочной сети.

Ключевые слова: водная эрозия почв, WATEM/SEDEM, аккумуляция, нанос, чернозем.

Verification of erosion models by field assessments of soil erosion and accumulation in small watersheds in the northern and central parts of the Central Russian Upland

© 2022 A.P. Zhidkin[1*], V.N. Golosov[1,2,3,4], D.V. Fomicheva[1]

[1]Federal Research Centre "V.V. Dokuchaev Soil Science Institute", 7 Bld. 2 Pyzhevskiy per., Moscow 119017, Russian Federation,
[*] e-mail: savin_iyu@esoil.ru,
[2] Lomonosov Moscow State University, 119999, Moscow, Leninskie gory, 1, Russian Federation
[3]Institute of Geography Russian Academy of Sciences, 119017 Moscow, Staromonetny per., 29, building 4, Russian Federation
[4]Kazan Federal University, 420008, Kazan, University st., 18, Russian Federation

Abstract: Verification of soil erosion models (WATEM/SEDEM for rainfall soil erosion and regional model State Hydrological Institute for snowmelt soil erosion) was carried out by the field estimates of soil erosion and deposition rates in the arable catchments Spokoevka in the Vorobzha River basin and Petrovka in the Lokna river basin. Estimates of the layer of soil washout/accumulation of chernozems on the plowed slopes and in the bottoms of the dry valleys of the catchments were obtained using soil morphological and radiocesium methods. In general, the soil losses obtained by modelling and field methods are in good agreement taking into account the range of measurement errors. In addition to the accuracy of average long-term estimates of soil losses, the models satisfactorily reflect the spatial arrangement of zones with different washout rates. Some discrepancies between the modelling results and field data are mainly due to the insufficient detail of the input parameters, for example, data on crop rotations or microrelief features of the territory. WATEM/SEDEM does not accurately estimate the rate and volume of sediment accumulation, especially outside of arable land. Also, WATEM/SEDEM overestimates the proportion of sediment redeposition in the non-plowed parts of watersheds. Due

to the overestimation of the sediment accumulation rates in the bottom of the dry valley, the rates of sediment removal beyond the limits of small watersheds, calculated by the models, were underestimated by 1.5–4.5 times compared to the estimates by field methods. This modelling block should be calibrated taking into account the regional coefficients of sediment transport in the bottoms of the dry valleys.

Keywords: soil erosion, WATEM/SEDEM, accumulation, sediment, chernozem.

ВВЕДЕНИЕ

Проблема деградации почв от эрозии остается актуальной на протяжении многих десятилетий. Главной задачей эрозиоведения является выявление земель, наиболее подверженных эрозии, которые в первую очередь нуждаются в защите. До конца XX века количественные оценки эрозии почв осуществлялись в основном путем весьма трудоемких полевых почвенно-эрозионных съемок. В последние десятилетия важным инструментом стали математические модели водной эрозии почвы. Для корректного использования моделей в первую очередь необходима их верификация в различных физико-географических условиях. Таких работ, к сожалению, недостаточно в мире в целом, но в особенности мало на территории России.

Цель данных исследований заключалась в сопоставлении количественных оценок эрозионно-аккумулятивных процессов в пределах двух малых водосборов в Тульской и Курской областях, полученных на основе применения моделей (WATEM/SEDEM, ГГИ в модификации Г.А. Ларионова) и полевых методов (почвенно-морфологического и радиоцезиевого).

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

В качестве объектов исследования были выбраны два малых распахиваемых водосбора. Водосбор Спокоевка расположен в центре Курской области в пределах бассейна р. Воробжи, левобережного притока р. Сейм. Водосбор Петровка расположен в Тульской области, в 12 км к югу от г. Плавска, в пределах балки Часовенков Верх, бассейна р. Локны.

Более подробное описание водосборов, а также некоторых исследований эрозионно-аккумулятивных процессов на них

представлены в работах (Геннадиев и др., 2013; Голосов и др., 2022; Жидкин и др., 2021; Кошовский и др., 2019; Zhidkin et. al., 2020).

Полевая оценка эрозионно-аккумулятивных процессов проводилась с помощью почвенно-морфологического (за весь период распашки, около 200-250 лет для Спокоевки и около 300-350 лет для Петровки) и радиоцезиевого методов (за период с 1986 г.). Почвенно-морфологический метод на обоих водосборах был использован одновременно для оценок эрозионно-аккумулятивных процессов в агроландшафте (на основе обследования почв пашни) и объемов аккумуляции наносов в днище балки (на основе обследования днища и бортов балок). Радиоцезиевый метод на обоих водосборах был использован для оценок объемов аккумуляции наносов в днище балки, а оценка эрозионно-аккумулятивных процессов в агроландшафте этим методом была проведена только в Спокоевке.

Отметим, что на водосборе Петровка в середине 1980-х гг. была изменена конфигурация полей: нижняя граница пашни была перемещена в среднем на 30-35 метров вверх по склону и стала располагаться выше бровки балки. Поэтому оценки эрозионно-аккумулятивных процессов на участке Петровка проводились по разным периодам времени.

Математическое моделирование эрозионно-аккумулятивных процессов проводилось на основе двух моделей: WATEM/SEDEM (Van Oost et al., 2000; Van Rompay et al., 2001) для расчёта ливневого смыва и ГГИ в модификации Г.А. Ларионова для расчёта талого смыва (Методические указания…, 2006).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

При сопоставлении оценок эрозии почв, получаемых разными методами, важно учитывать погрешности измерений. В данном исследовании оценки эрозии почв проводились в диапазоне с учётом минимального и максимального допустимого предела погрешности каждого из методов (Рис. 1).

Методические расчёты свидетельствуют о том, что почвенно-морфологический, радиоцезиевый методы и моделирование эрозии позволяют оценить скорости перераспределения наносов с погрешностью 10–60 %. В случае почвенно-морфологического метода погрешности определялись диапазоном точности информации о длительности распашки, варьированием мощности гумусированной

толщи на эталонах, а также методами интерполяции точечных измерений на окружающее пространство. При использовании радио-цезиевого метода варьирование было связано преимущественно с интерполяцией данных. При использовании математических моделей точность оценок определялась точностью входных параметров моделирования. Наибольшая неопределенность в данных исследованиях была связана с оценкой почвозащитного коэффициента растительности (С-фактор), обусловленного составом севооборотом и способами обработки почвы, реконструировать которые за агрикультурный период можно лишь приблизительно.

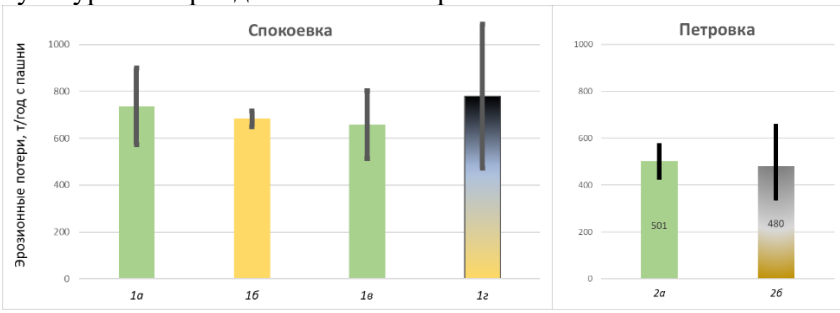


Рис. 1. Эрозионные потери почв с пашни водосбора Спокоевка (слева) и Петровка (справа), полученные на основе методов: 1а – моделирования в границах пашни после 1980-х гг.; 1б – радио-цезиевого в границах пашни после 1980-х гг.; 1в – моделирования за весь агрикультурный период; 1г – почвенно-морфологического за весь агрикультурный период; 2а – моделирования; 2б – почвенно-морфологического

Смоделированные среднемноголетние темпы эрозионно-аккумулятивных процессов в пределах агроландшафтов на обоих водосборах в целом сопоставимы с оценками перераспределения наносов, определенными на основе применения полевыми методами (Рис. 1).

Важным достоинством модели WATEM/SEDEM, помимо хорошей точности среднемноголетних оценок потерь почвы, является достаточно реалистичное отражение расположения участков с различной интенсивностью смыва (рис. 2), которое в целом согласуется с оценками полевыми методами.

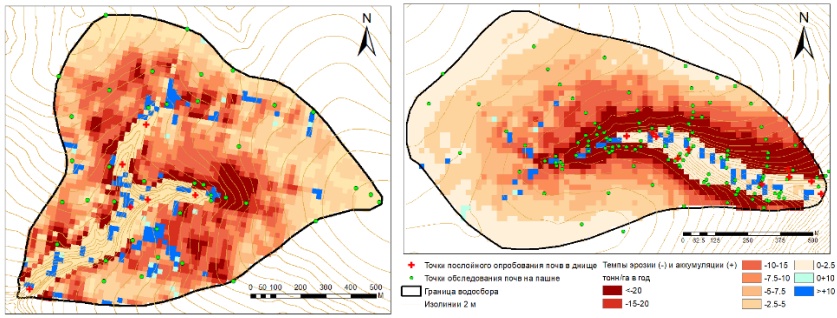


Рис. 2. Темпы эрозионно-аккумулятивных процессов, местоположение точек обследования почв на пашне и послойного отбора проб на водосборе Спокоевка (слева) и Петровка (справа)

К недостаткам модели следует отнести недостаточную точность оценок расположения зон и объемов аккумуляции почвенного вещества на пашне и в особенности за пределами пашни – на залуженных бортах и в днище балки. Расположение смоделированных зон аккумуляции в днище балки выглядит неправдоподобно в виде отдельных пикселей, разбросанных по днищам балок (Рис. 2). Полевые методы указывают на наличие локальных участков отложений на крутых склонах сухой долины под естественной растительностью. Однако модели не позволяют оценить переотложение наносов на этих участках.

Темпы аккумуляции наносов в днище балки Спокоевка, измеренные полевыми методами, составили около 200-225 тонн/год, а смоделированные – около 300 тонн/год. Различия полевых и модельных оценок темпов аккумуляции наносов в днище балки Петровка оказались ещё выше – 160-260 тонн/год на основе полевых методов и 550-900 тонн/год на основе моделирования. Возможно, какая-то часть наносов, переотложенная на бортах балок, оказалась не достаточно учтена полевыми методами. В частности, на водосборе Спокоевка на значительном протяжении вдоль нижней границы пашни идет двурядная лесополоса, которая способствует перехвату части наносов. Тем не менее сопоставление исследований на разных водосборах свидетельствует о склонности модели WATEM/SEDEM к завышению доли переотложения наносов на залуженных участках.

В связи с завышением темпов аккумуляции наносов в днище балки темпы выноса наносов за пределы малых водосборов, рассчитанные по моделям, оказались занижены в 1,5–4,5 раза по сравнению с оценками полевыми методами. Этот блок моделирования должен быть откалиброван с учетом региональных коэффициентов переноса наносов в днищах овражно-балочной сети.

ВЫВОДЫ

Диапазон погрешностей измерений скоростей эрозии почв, полученных разными методами, обязательно должен учитываться при верификации математических моделей эрозии. Почвенно-морфологический, радиоцезиевый методы и моделирование эрозии позволяют оценить скорости эрозии почв с погрешностью 10–60 %. Ошибки моделирования эрозии на многолетний период (несколько сотен лет) обусловлены в первую очередь сложностью реконструкции истории землепользования, состава севооборотов и агротехнологий.

В целом эрозионные потери с пашни, полученные модельным и полевыми методами, хорошо согласуются с учетом диапазона погрешностей измерений.

Основной недостаток применяемых эрозионных моделей связан с недостаточной точностью оценок объема отложений и определения местоположения зон отложений, особенно за пределами пашни.

Блок моделирования, связанный с оценкой переотложения наносов на залуженных бортах и днища балки должен быть откалиброван с учетом региональных коэффициентов транспорта наносов в овражно-балочной сети.

БЛАГОДАРНОСТИ

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 22-17-00071, https://rscf.ru/project/22-17-00071/) и Госзадания 0439-2022-0015.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Геннадиев А.Н., Кошовский Т.С., Жидкин А.П., Ковач Р.Г.* Латеральная миграция твердофазного вещества почв в пределах ландшафтно-

геохимической арены (метод магнитного трассера) // Почвоведение. 2013. № 10, с. 1-12. DOI: 10.7868/S0032180X13100043
2. *Голосов В.Н., Жидкин А.П., Петелько А.И., Осипова М.С., Иванова Н.Н., Иванов М.М*. Полевая верификация эрозионных моделей на основе исследований малого водосбора в бассейне р. Воробжи (Курская область) // Почвоведение. 2022. № 10, с. 1321-1338. DOI: 10.31857/S0032180X22100045
3. *Жидкин А.П., Голосов В.Н., Добрянский А.С.* Оценка применимости цифровых моделей рельефа для моделирования эрозии почв (на примере малого водосбора в Курской области) // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2021. Том 18. № 5. с. 133-144 DOI: 10.21046/2070-7401-2021-18-5-133-144
4. *Кошовский Т.С., Жидкин А.П., Геннадиев А.Н., Иванова Н.Н.* Диагностика, генезис и локализация педоседиментов в пределах малого водосбора (Среднерусская возвышенность) // Почвоведение. 2019. № 5, с. 529-543. DOI: 10.1134/S0032180X19050058
5. Методические указания по составлению крупномасштабных карт эрозионноопасных земель для обоснования почвозащитных мер при внутрихозяйственном землеустройстве. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1996. 50 с.
6. *Van Oost K., Govers G., Desmet P.* Evaluating the effects of changes in landscape structure on soil erosion by water and tillage // Landscape Ecology. 2000. V. 15. P. 577–589. https://doi.org/10.1023/A:1008198215674
7. *Van Rompay A., Verstraeten G., Van Oost K., Govers G., Poesen J.* Modelling mean annual sediment yield using a distributed approach // Earth Surface Processes and Landforms. 2001. V. 26. № 11. P. 1221–1236. https://doi.org/10.1002/esp.275
8. *Zhidkin A.P., Shamshurina E.N., Golosov V.N., Komissarov M.A., Ivanova N.N., Ivanov M.M.* Detailed study of post-Chernobyl Cs-137 redistribution in the soils of a small agricultural catchment (Tula region, Russia) // Journal of Environmental Radioactivity. 2020. V. 223-224. P. 106386. https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2020.106386

УДК 632.125

Основные тенденции современной трансформации почв в условиях экстремального загрязнения выбросами медно-никелевого предприятия на Кольском полуострове

© 2022 г. Г.М. Кашулина

[1]Полярно-альпийский ботанический сад-институт КНЦ РАН, Россия, 184209, г. Апатиты, Ферсмана 18а
[*] galina.kashulina@gmail.com

Резюме: Продолжение мониторинговых наблюдений в экстремально загрязненной и сильно нарушенной экосистеме, расположенной в 8 км от крупнейшего на севере Европы источника выбросов SO_2 и тяжелых металлов, в 2013-2018 гг. выявило наличие двух разных тенденций в современной трансформации почв. Что обусловлено значительным снижением выбросов предприятием в последние 25 лет и началом медленного восстановления растительности. На участках, где не возобновилось поступление свежего растительного опада (техногенные пустоши), деградация почв усилилась. После более 60 лет воздействия выбросов к ведущему процессу деградации подзола, обусловленному частичным или полным разложением старого органического вещества почвы, добавились интенсивное морозное пучение и растрескивание, которые не характерны для естественных подзолов в регионе. На участках экосистемы, где возобновилось поступление свежего растительного опада на поверхность, началось самовосстановление почвы. По мере накопления свежего опада на поверхности деградирующего подзола начинают формироваться новые органогенные пост-техногенные горизонты. Из отмирающих частей пионерных мхов (*Dicranum и Polytrichum sp.*) формируется пост-техногенный сухоторфяный горизонт. Из скоплений опада листьев березы в подкроновых пространствах и небольших углублениях формируется пост-техногенный подстилочно-торфяный горизонт Opt. Формирование новых горизонтов из свежего растительного опада на поверхности предотвращает дальнейшую деградацию почвы. По содержанию органического вещества и основных металлов-загрязнителей – Ni и Cu новые горизонты пока не отличаются от деградирующей подстилки пустоши. За счет более высокого содержания питательных элементов и более высокой влажности новый горизонт из опада листьев березы создает более благоприятные условия для роста растений, и его

формирование будет способствовать дальнейшему восстановлению растительности этой экосистемы.

Ключевые слова: подзол, экстремальное загрязнение, медно-никелевое предприятие, деградация, самовосстановление, Кольский полуостров.

The main trends of modern soil transformation by extreme pollution from copper-nickel industry on the Kola Peninsula

© 2022 G.M. Kashulina*

[1]Polar-alpine botanical garden-institute KSC RAS, Russia,
184209, Apatity, Fersman st., 18a,
**e-mail: galina.kashulina@gmail.com*

Abstract: Long-term monitoring observations in an extremely polluted and severely disturbed ecosystem, located 8 km from largest in northern Europe, in 2013-2018 revealed the presence of different trends in modern soil transformation. This is due to a significant decrease in emission by the company and the slow restoration of vegetation. In areas where there is no fresh plant litter input (nechnogenic barren), soil degradation has intensified. After more than 60 years exposure to pollution, frost heaving and cracking, which are not characteristic of natural podzol in the region, were added to the leading process of podzol degradation due to the partial or complete decomposition of old soil organic matter. In areas where fresh plant litter has restarted, self-restoration of soil has begun. As fresh litter accumulates on the surface of the degraded podzol, a new post-technogenic begin to form. From the dead parts of the pioneer mosses (*Dicranum and Polytrichum sp.*) a post-techogenic dry histic horizon is formed. From masses of birch leaf litter in under canopy spaces and in small depressions, the post-technogenic folic horizon Opt is formed. The formation of new horizons from fresh plant litter on the surface prevents further soil degradation and due to their higher fertility and humidity will contribute to futher restoration of vegetation.

Keywords: Podzols, extreme pollution, copper-nickel industry, degradation, self-restortion, Kola Peninsula.

ВВЕДЕНИЕ

Медно-никелевое предприятие “Североникель” на Кольском полуострове – одно из крупнейших и длительно (более 70 лет) действующих источников выбросов SO_2 и тяжелых металлов (ТМ) на Севере Европы. В результате сочетания высокой чувствительности

основных компонентов северотаежных экосистем (мхов, лишайников и хвойных деревьев) к атмосферному загрязнению и таких особенностей предприятия, как большой спектр выбрасываемых компонентов (SO_2, Ni, Cu, Co, Al, As, Bi, Ca, Cd, Co, Cr, Fe, Hg, Mg, Mn, Mo, Pb, Sb, Sc, Tl, V, Zn и др.), экстремально высокие объемы выбросов токсичных для растений SO_2 и тяжелых металлов, а также длительность воздействия обусловили серьезные и широкомасштабные повреждения экосистем в регионе. Как показал анализ предшествующих исследований, несмотря на экстремальный уровень химического загрязнения тяжелыми металлами, наиболее серьезные повреждения почв около комбината «Североникель» были обусловлены косвенным воздействием выбросов через повреждение растений и прекращение поступления свежего растительного опада (Кашулина и др., 2010, Кашулина, 2022). При длительном отсутствии свежего опада почва постепенно деградировала, теряя свое органическое вещество с частичным или полным разрушением подстилки и инициированием эрозии почв (Kashulina et al., 1997). После значительного снижения выбросов началось восстановление растительности (Ярмишко, 2019) и возобновилось поступление свежего растительного опада в почву. В данном докладе на основе данных многолетнего мониторинга будут выявлены основные тенденции современной трансформации подзола экстремально загрязненной и нарушенной экосистемы в условиях значительного снижения объема выбросов загрязняющих веществ и восстановления растительности.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Комплексный ландшафтный почвенно-геоботанический мониторинг в локальной зоне воздействия комбината «Североникель» был начат в 2001 году. Площадка II-1 расположена в 8 км на север от комбината «Североникель» на вершине моренного холма. По данным мониторинговых наблюдений 2001-2011 гг., содержание Ni в снеге здесь превышало фон в 7000 раз (Kashulina et al., 2014), в остатках подстилки – более чем в 1000 раз (Кашулина, 2022). На начало исследований растительность была представлена кустистой березой, разрастающейся после снижения объема выбросов загрязняющих веществ предприятием. Напочвенный покров

отсутствовал. На поверхности находилась деградирующая подстилка. Первые пионерные мхи (*Dicranum* и *Polytrichum sp.*) появились на этой площадке в 2006 году и постепенно увеличивали свое присутствие. В 2013 году, когда самовосстановление растительности уже начало ощутимо оказывать влияние на почвенные процессы, на площадке II-1 были заложены почвенные разрезы. Места заложения разрезов были выбраны таким образом, чтобы охватить, как продолжающие деградировать участки пустоши, так и участки, где началось самовосстановление почв вслед за возобновлением поступления свежего растительного опада за счет отмирающих частей пионерных мхов и скоплений опад листьев березы. Поверхностные горизонты этих участков были повторно обследованы в 2018 году.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Продолжение комплексного мониторинга окружающей среды начатого в 2001 году в ближайших окрестностях комбината «Североникель» (Кашулина и др., 2010, Кашулина, 2022) в 2013-2018 гг. показало, что современная трансформации почв на площадке II-1, расположенной в 8 км от комбината «Североникель» и характеризующихся экстремально высоким уровнем загрязнения тяжелыми металлами и сильным повреждением экосистем, определяется двумя противоположено направленными процессами. Почва на участках техногенных пустошей, где не возобновилось поступление свежего растительного опада на поверхность, продолжала деградировать. На участках, где вслед за снижением выбросов и восстановлением растительности возобновилось поступление свежего растительного опада, начиналось самовосстановление почв с формированием новых пост техногенных горизонтов на поверхности.

Основным механизмом деградации почв до снижения выбросов было постепенное разложение старого органического вещества из-за разрушения растительности и прекращение поступления свежего опада. В зависимости от длительности отсутствия свежего опада для подзолов характерны следующие стадии деградации: 1) превращение подстилочно-торфянистого горизонта О в сухую пылящую массу, перемешанную с минеральными частицами и снижение содержания органического вещества в минеральной части профиля и 2) полное разрушение горизонтов О и Е с более

значительным снижением содержания гумуса в минеральной части профиля. В первом случае почва может быть диагностирована как деградированный подзол, во втором – как абразем альфегумусовый (Кашулина и др., 2010).

В 2006 году на пл. II-1 были впервые отмечены признаки морозного пучения грунта с выносом материала иллювиального горизонта BF на поверхность. Как показало изучение почвенных разрезов в 2013 году, морозное пучение затрагивало верхние 10-15 см. За счет морозного пучения иллювиальный горизонт выходит к нижней части органогенного горизонта, прерывает целостность подзолистого горизонта или смешивается с ним в верхней части с образованием горизонта [E+BHF]ctr. Волнистый характер верхней границы горизонта BFcrt с более плотным сложением, морозное растрескивание и пустоты образовавшиеся на месте отмерших корней способствуют перераспределению вертикальных потоков. Усиление потока на каком-либо участке профиля по трещине обусловливает распространение оподзоливания вглубь и осветление участков иллювиального горизонта с образованием затеков, которые также не характерны для подзолов в регионе.

Анализ распределения состава гумуса по профилю позволил предположить, что из-за более высокой стадии разложения материала подстилки и разрыхления верхних минеральных горизонтов морозным пучением органическое вещество из верхнего органогенного горизонта может мигрировать вниз по профилю в виде суспензии. Профиль почвы пустоши техногенной на пл. II-1 в 2013 году Имел следующий набор горизонтов: Oh,mr–Ehi–([E+BHF]hi,ctr)–BHFctr–BC, а почва диагностирована как деградированный и криотурбированный подзол.

Вслед за снижением объема выбросов загрязняющих веществ началось восстановление растительности и возобновилось поступления свежего опада на поверхность почвы. Из отмерших остатков пионерных мхов на поверхности деградирующего горизонта Oh,mr почвы коренной экосистемы начал формироваться пост-техногенный плотный сухоторфяный горизонт TJpt. В 2013 году мощность этого горизонта под мхами варьировала от 0 (мхи только поселились) до 1.2 см с медианой 0.2 см (N=78). К 2018 году она значимо (согласно U-критерию Манна-Уитни ($U_{эмп}$ = 447, $U_{кр,0.01}$ = 662)

увеличилась и варьировала от 0.2 до 1.8 см с медианой 0.5 см (*N*=95).



Рис. 1. Верхняя часть профиля постехногенного сухоторфяно-подзола (А) под пионерными мхами и посттехногенного подзола (Б) в местах скопления опада листьев березы

Береза является растением, которое быстро среагировало на снижение выбросов и начало разрастаться. Однако влияние ее опада на почвы длительное время не было значительным: он сметался в подкроновые пространства и был маломощным. К 2013 году влияние опада березы стало более очевидным: скопления опада распространились за пределы подкронового пространства и заняли небольшие понижения. Мощность слоя опада листьев березы в зоне Б разреза-траншеи № 2-13 составил 7 см, в разрезе № 3-13 – варьировал от 1 до 3 см. Степень разложения листьев березы возрастает с глубиной. С глубиной возрастает и влажность этого субстрата. Он становится более благоприятным для растений и микроорганизмов: листья заселяются грибным мицелием и колониями микроорганизмов. В разрезе № 2-13 в нем располагаются и проводящие, и сосущие корни вороники. В разрезе № 3-13 растения еще не поселились, но благоприятные условия для этого уже созданы. Вновь образованный горизонт из скоплений опада листьев березы был диагностирован как пост-техногенный подстилочно-торфяный горизонт Opt. Согласно исследованиям 2018 года мощность горизонта Opt из скапливающегося опада листьев березы на пл. II-1 варьировала от 3 до 8 см с медианой 4 см (*N*=20).

Согласно Классификации почв России 2004 г. почва на пл. II-1 подо мхами была диагностирована как пост-техногенный

сухоторфяно-подзол по деградированному и криотурбированному подзолу с системой горизонтов: TJpt – Oh,mr – Ehi – ([E+BHF]hi,ctr) – BHFctr – BC. Почва со слоем опада листьев березы - как подзол пост-техногенный по деградированному и криотурбированному подзолу с системой горизонтов: Opt - Oh – Ehi – ([E+BHF]hi,ctr) – BHFctr – BC.

Оба вновь сформированных пост-техногенных горизонта имеют важное экологическое значение: они скрепляют поверхность почв и предохраняют ее от дальнейшей деградации. Вновь сформированный сухоторфяный горизонт TJpt не отличается значимо от горизонта Oh,mr на техногенной пустоши, ни по содержанию органического вещества, ни по влажности, ни по содержанию важных питательных элементов и основных металлов загрязнителей. То есть, не создает более благоприятные для сосудистых растений условия роста по сравнению с деградирующим поверхностным горизонтом пустоши техногенной. Вновь сформированный посттехногенный горизонт Opt из опада листьев березы благодаря особенностям их химического состава характеризуется значимо, согласно *U*-критерию Манна-Уитни, более высоким содержанием важных питательных элементов – Ca, Mg, Mn и Zn, а также более высокой влажностью. И, несмотря на остающийся высокий уровень загрязнения тяжелыми металлами, представляет более благоприятный субстрат для поселения сосудистых растений. На нем начали появляться сеянцы березы.

ВЫВОДЫ

Многолетний комплексный мониторинг в окрестностях крупного источника выбросов SO2 и тяжелых металлов показал, что в условиях субарктики с чувствительными к загрязнению экосистемами интенсивное антропогенное воздействие становится мощным фактором трансформации почв с изменением системы горизонтов и классификационного положения почв на уровне подтипа или, даже типа всего за несколько десятков лет. По мере деградации экосистемы подзол постепенно трансформировался в деградированный, а затем в аброзем.

После более 60 лет воздействия выбросов к ведущему процессу деградации подзола, обусловленному разложением старого

органического вещества почвы, добавляется морозное пучение и растрескивание, которые не характерны для естественных подзолов в регионе.

На стадии восстановительной сукцессии после снижения выбросов деградированный подзол трансформировался в пост техногенный подзол с новой системой горизонтов и изменением классификационного положения на уровне подтипа. Под куртинами пионерными мхами формируются пост техногенные сухоторфяно-подзолы, под скоплениями опада листьев березы – пост-техногенные подзолы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Кашулина Г.М., Переверзев В.Н., Литвинова Т.И.* Трансформация органического вещества почв в условиях экстремального загрязнения выбросами комбината «Североникель» // Почвоведение, 2010. №10. С. 1265-1275.
2. *Кашулина Г.М.* Комплексный мониторинг окружающей среды около медно-никелевого предприятия на Кольском полуострове // Почвоведение, 2022. № 5. С. 556–570. DOI: 10.31857/S0032180X22050021
3. *Ярмишко В.Т., Игнатьева О.В.* Многолетний импактный мониторинг состояния сосновых лесов в центральной части Кольского полуострова // Известия РАН. Серия биологическая, 2019. № 6. С. 658-668. DOI: 10.1134/s0002332919060134
4. *Kashulina G., Reimann C., Finne T.E., Halleraker J.H., Ayras M., Chekushin V.A.* The state of the ecosystems in the Central Barents Region: scale, factors and mechanism of disturbance // Sci. Total Environ., 1997. No 206. P. 203-225.
5. *Kashulina G., de Caritat P., Reimann C.* Snow and rain chemistry around the “Severonikel” industrial complex, NW Russia: Current status and retrospective analysis // Atmos. Environ., 2014. Vol. 89. P. 672-682.

УДК 631.4

Диагностика степени заболоченности минеральных почв и оценка целесообразности их осушения

© 2022 г. И.В. Ковалев

МГУ имени М. В. Ломоносова, факультет почвоведения, г. Москва, Россия,
119991, г. Москва, ГСП-2, Ленинские горы, МГУ, д.1, корп.12, факультет почвоведения, кафедра физики и мелиорации почв

kovalevmsu@mail.ru

Резюме: Апробирован эколого-гидрологический подход, основанный на анализе водного режима и продуктивности растений на серых почвах разной степени гидроморфизма. Данные получены в результате многолетних стационарных исследований каждой группы почв: от микроповышений к микропонижениям. Показано, диагностические признаки степени гидроморфизма почв такие как морфохроматические признаки почв, физические и химические свойства почв динамичны по годам и в течение вегетационного сезона. Состав и свойства ортштейнов, в частности значения коэффициента заболоченности (Fe/Mn), независимо от обеспеченности года осадками и характера использования этих почв на протяжении 30 лет достоверно диагностируют степень заболоченности этих почв даже на уровне видовых различий (глубокооглеенные, глееватые, глеевые почвы) и дают оценку целесообразности их осушения. На осушенных почвах адекватно отражает новые гидрологические условия, предложенный нами параметр - «содержание углерода в железисто-марганцевых ортштейнах», который дает реальную оценку действия дренажных систем и необходимость проведения их мелиоративной реконструкции.

Ключевые слова: гидроморфные почвы, диагностика, водный режим, свойства почв, ортштейны, целесообразность осушения.

Diagnosis of the degree of waterlogging of mineral soils and assessment of the feasibility of their drainage

© 2022 I.V. Kovalev

Moscow State University, Soil Science Faculty
119991, Moscow, Leninskiye Gory, Russian Federation,
e-mail: kovalevmsu@mail.ru

Abstract: An ecological and hydrological approach based on the analysis of the water regime and plant productivity on gray soils of varying degrees of hydromorphism has been tested. The data were obtained as a result of long-term stationary studies of each soil group: from microhighs to microlows. It is shown that diagnostic signs of the degree of soil hydromorphism, such as morphochromatic signs of soils, physical and chemical properties of soils, are dynamic over the years and during the growing season. The composition and properties of nodules, in particular, the values of the bogging coefficient (Fe/Mn), regardless of the availability of precipitation in the year and the nature of the use of these soils for 30 years, reliably diagnose the degree of bogging of these soils even at the level of species differences (deep gley, gley, gley soils) and assess the feasibility of their drainage. On drained soils, the parameter we proposed adequately reflects the new hydrological conditions - "carbon content in ferruginous-manganese nodules", which gives a real assessment of the effect of drainage systems and the need for their ameliorative reconstruction.

Keywords: hydromorphic soils, diagnostics, water regime, soil properties, nodules, expediency of drainage.

ВВЕДЕНИЕ

Разработка доступных методов диагностики степени заболоченности оглеенных почв юга Нечерноземья важна для целей экологического осушения. Особенно это значимо для почв начальных стадий заболачивания. Именно эти почвы формируют основную площадь переувлажненных земель. Глеевые и более заболоченные почвы занимают весьма ограниченную подчиненную территорию и приуроченную к узким днищам лощин, небольшим депрессиям.

Морфологические признаки позволяют выделить почвы по степени гидроморфизма (Пособие к ВСН-33-2.1-84). Вместе с тем, такая диагностика часто дает ошибку на одну градацию по степени заболоченности почв. Целесообразность осушения минеральных гидроморфных почв должна базироваться на анализе водного режима и продуктивности непрерывных рядов почв (обычно от водоразделов до низин). Действительно, важное значение для оценки водного режима, дифференциации почв по степени заболоченности, для оценки преимуществ разных видов дренажа, имеют данные об урожайности основных районированных культур в годы

различной влажности. На основе таких данных в результате многолетних стационарных исследований выделяют виды почв по степени оглеения, для которых разрабатывается диагностика, в том числе, основанная на морфологических и химических свойствах почв (Зайдельман, Ковалев, 1994). Система диагностических признаков для каждой группы почв, образующих непрерывный ряд, позволяет оценить выбор способа осушения и вид дренажа (Kovalev, 2021).

Значения коэффициента заболоченности (Fe/Mn), адекватно отражают степень заболоченности почв и в светло-серых почвах с естественным увлажнением (Зайдельман, Ковалев, 1998). Вместе с тем, на осушенных минеральных гидроморфных почвах данный коэффициент не работает и необходим поиск такого параметра, который адекватно отражал новые гидрологические условия осушенных почв и давал объективную оценку целесообразности проведения реконструкции дренажных систем (Kovalev, Kovaleva, 2019).

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Почвы района исследований агросерые (светло-серые лесные – по классификации почв 1977 г.; Luvic Retic Greyzemic Phaeozems (Loamic, Aric) – по классификации WRB; Gleyic Greyzem – по классификации FAO) Коломенского ополья (Московская область), сформированы на крупнопылевато-иловатом бескарбонатном лёссовидном суглинке с низкими и средними величинами коэффициента водопроницаемости. Профиль агросерой глееватой неосушенной почвы (Pfs,g'–BELfs,g"–BT1g"–BT2g"–BT3g'"–BCg'") обладает мраморовидной окраской иллювиальных горизонтов (особенно горизонт BT2g"), большим количеством ортштейнов в горизонте P и BEL, сизыми кутанами. Тяжелый гранулометрический состав почв Коломенского ополья является одной из причин временного избыточного увлажнения исследованных почв. Реакция почвенной среды слабокислая. В 1989 г. в районе исследований был создан экспериментальный мелиоративный полигон «Кочкарево» (55°06'58" с.ш., 38°18'37" в.д.) по проекту «Мосгипроводхоз» (Зайдельман, Ковалев, 1994). Полигон является уникальным с точки зрения возможности осуществления режимных стационарных наблюдений. Здесь мы имеем возможность изучать изменение

свойств и режимов почв по отношению к первому году действия гончарного и пластмассового дренажа на протяжении уже 30 лет. Исследования приурочены к фиксированным точкам наблюдений и проведены одними и теми же методами в разные годы обеспеченности осадками, начиная с 1989 года. Параллельно используется и традиционный сравнительно-географический метод, то есть выбран эталонный почвенный ареал, где отсутствует осушение.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Морфологические признаки позволили выделить почвы по степени гидроморфизма (Пособие к ВСН-33-2.1-84). Для уточнения диагностики почвенного гидроморфизма нами дополнительно использованы микроморфологические, химические аналитические и физические методы.

Микроморфологическими исследованиями установлено, что усиление степени оглеения в пахотном горизонте сопровождается трещиноватой структурой, среди пор много мелких трещин. Наиболее ярко выражены различия в интенсивности окраски и микрозональности по гумусу. В глубокооглеенных почвах в гор. Pfs,g'–BELfs,g" заметны признаки перемещения гумусово-глинистой плазмы и четко выражена тенденция к её горизонтальной ориентировке, на периферии зернисто-комковатых структурных отдельностей отмечается появление скелетан. В глееватых почвах листовато-пластинчатые отдельности менее выражены. В окраске гор. B2 (55-70 см) усиливаются бурые тона, глинистые и гумусовые пленки более определенно локализованы по граням структурных отдельностей, а также возрастает анизотропность, железо присутствует во внутрипедной массе, ожелезнение - в виде узоров.

Под влиянием заболачивания почв происходит увеличение плотности сложения, удельной поверхности в верхних горизонтах, уменьшение общей порозности, порозности агрегатов, пор инфильтрации, аэрации, влагопроводящих пор, значений вертикальной фильтрации (Kovalev, 2019). Значения магнитной восприимчивости не позволяют достоверно судить о степени заболоченности почв. Наиболее высокие значения магнитной восприимчивости свойственны ортштейнам, минимальные – мелкозему.

Химические и физические методы показывают, что с усилением степени гидроморфизма в серых лесных оглеенных почвах

ослабляется выраженность элювиально-иллювиальной дифференциации почвенного профиля. В верхних горизонтах глубокооглеенной почвы содержание как валовых, так силикатных и несиликатных форм железа, а также илистой фракции меньше, чем в глееватой почве. Накопление аморфного железа в верхних горизонтах, характер распределения "окристаллизованного" железа по профилю, величины критерия Швертманна (отношение Feo/Fed) диагностируют степень заболоченности почв даже на видовом уровне. При химических исследованиях показано, что с нарастанием степени заболоченности почв увеличивается общее содержание углерода и азота, а также наблюдается тенденция повышения содержания аморфного железа. Содержание хлорофилла и Pg-фракции в верхних горизонтах глубокооглеенной почвы выше, а в иллювиальных ниже, чем в глееватой. Но эти показатели также динамичны.

Водный режим определяет признаки гидроморфизма почв. До тех пор, пока почвы сохраняют естественный водный режим, тесная связь между признаками гидроморфизма и характером переувлажнения прослеживается весьма четко. Так, наличие кратковременной верховодки в нижних слоях профиля глубокооглеенных почв является причиной устойчивого появления на этой глубине морфохроматических признаков оглеения. Застой влаги в гор. А пах и ЕВ глееватых почв определяет здесь наличие сегрегированного железа в виде ортштейнов; нижний ярус верховодки является причиной мраморовидной окраски гор. В (Kovalev, 2021).

Именно в это время в серых глееватых почвах с естественным водным режимом наблюдается снижение окислительно-восстановительного потенциала (ОВП) до 280–300 мВ и возникают анаэробные условия. Летом обычно наблюдаются выравненные значения ОВП в почвах начальных стадий гидроморфизма (глубокооглеенные ---> глееватые).

На серых лесных глееватых почвах, наиболее распространенных минеральных гидроморфных почвах зоны широколиственных лесов, без дренажа складываются весьма стихийные условия. Урожаи здесь нестабильны и колеблются весьма в широком диапазоне в годы различной влажности, вплоть до вымокания озимых, в отличие от глубокооглеенных почв, сформированных на микроповышениях.

Эти характерные различия гидрологического и окислительно-восстановительного режимов серых лесных почв разной степени оглеения сказываются статистически значимо на физических и химических свойствах почв, в том числе и в конкреционных новообразованиях (Табл. 1).

Общее содержание железисто-марганцевых конкреций минимально в автоморфной (глубокооглеенной) почве на микроповышении – 0,26 г на 100 г почвы и максимально в наиболее влажной глееватой почве – 2,16 г на 100 г почвы (Табл. 1).

Таблица 1. Многолетняя динамика содержания ортштейнов в агросерых (светло-серых лесных) оглеенных почвах (масса ортштейнов в г/100 г абсолютно-сухой почвы), n=5.

Годы → Почва	1989-1994 гг.	1995-1996 гг.	2000 г.	2008 г.	2010 г	2012 г.	2016-2019 гг.
Глубокооглеенная	0.27 ±0.020	0.26 ±0.015	0.29 ±0.020	0.27 ±0.040	0.28 ±0.046	0.28 ±0.054	0.26 ±0.048
Глееватая	2.20 ±0.105	2.16 ±0.140	0.22 ±0.088	2.26 ±0.097	2.27 ±0.077	2.29 ±0.067	2.16 ±0.083

При этом в почвах с естественным увлажнением независимо от влажности года и характера использования содержание конкреций остается близким или тождественным на протяжении 30 лет. При нарастании степени увлажнения фракционный состав ортштейнов меняется – в гидроморфных разностях почв увеличивается содержание крупной фракции 3–5 мм – с 2 до 16 %; уменьшается содержание мелкой фракции 1–2 мм – с 78 до 48 %. Содержание углерода и азота во всех фракциях конкреций выше в гумусовых горизонтах гидроморфных почв по сравнению с автоморфными независимо от обеспеченности года осадками (Ковалев и др. 2022).

Значения коэффициента заболоченности (Fe/Mn) адекватно отражают степень заболоченности почв в серых почвах с естественным увлажнением. Для глубокооглеенных («автоморфных») почв значения (Fe/Mn) составляют около 7, глееватых (гидроморфных) – до 16. Данные по количеству ортштейнов (табл. 1), по распределению содержания железа, марганца, углерода, азота, серы, фосфора,

пулу лигниновых фенолов в ортштейнах серых почв с естественным водным режимом имеют близкие значения независимо от обеспеченности года осадками и характера использования этих почв на протяжении 30 лет (Ковалев и др., 2022) и позволяют достоверно диагностировать степень заболоченности этих почв даже на уровне видовых различий (глубокооглеенные, глееватые, глеевые почвы). В то же время, как морфологические свойства осушенных почв, так и значения коэффициента заболоченности (Кз - Fe/Mn) не отражают четко этих изменений. Под влиянием дренажа произошло лишь ослабление сизоватого оттенка в гор. BEL, исчезновение ржаво-охристых пятен в гор. P и BEL. В летний период эти различия в верхних горизонтах малозаметны. В нижних горизонтах яркая окраска пятен оглеения обычно меняется на серую и профиль почвы имеет вид – Pfs–BELfs,g'–BT1g'–BT2g'–BT3g"–BCg". Показано, что содержание углерода в ортштейнах адекватно отражает гидрологический режим осушенных почв. На основе изучения продуктивности растений, свойств и режимов серых почв на протяжении 30 лет предлагается использовать параметр «содержание углерода в железисто-марганцевых ортштейнах».

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, наиболее точная диагностика серых лесных почв начальных стадий заболачивания должна основываться на совокупности морфологических, водно-физических и химических методов. Установлено, что содержание и химический состав ортштейнов независимо от обеспеченности года осадками и характера использования этих почв на протяжении 30 лет достоверно диагностируют степень заболоченности почв с естественным водным режимом даже на уровне видовых различий (глубокооглеенные, глееватые, глеевые почвы). В многолетнем цикле эколого-гидрологических исследований на осушенных и неосушенных серых лесных глубокооглеенных и глееватых почвах получили подтверждение ранее сделанные рекомендации о целесообразности осушения почв этого типа, отличающихся разной степенью заболоченности. На осушенных почвах адекватно отражает новые гидрологические условия, предложенный нами диагностический параметр – «содержание углерода в железисто-марганцевых ортштейнах»: во-

первых, для диагностики степени гидроморфизма почв с естественным увлажнением; во-вторых, для адекватной оценки действия дренажных систем и необходимости проведения их мелиоративной реконструкции.

*Работа выполнена в рамках гос. задания МГУ №121040800146–3.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Пособие к ВСН--33--2.1—84.* Рекомендации по диагностике степени заболоченности минеральных почв Нечерноземной зоны РСФСР и оценке целесообразности их осушения. 2-е изд., дополненное. М., 1987, 95 с.
2. *Зайдельман Ф.Р., Ковалев И.В.* Эколого-гидрологическая оценка светло-серых оглеенных почв, осушенных бестраншейным и траншейным дренажом // Почвоведение. 1994. № 1. С. 110–120.
3. *Зайдельман Ф.Р., Ковалев И.В.* Влияние дренажа на состояние и строение конкреций в серых оглеенных почвах // Почвоведение. 1998. № 9. С. 1103–1111.
4. *Ковалев И.В., Ковалева Н.О., Столпникова Е.М., Федотов А.Б.* Возраст и генезис Fe-Mn конкреций серых лесных почв южной тайги, по результатам изотопных и метагеномных исследований // Вестник Московского университета. Серия 17: Почвоведение. 2022. № 4. С. 32–41.
5. *Kovalev I.V.* Drained soils as an analogue of a large-area lysimeter // Moscow University Soil Science Bulletin. 2021. Vol. 76, no. 3. P. 138–147.
6. *Kovalev I.V., Kovaleva N.O.* Evaluation of the effect of modern drainage technologies on the physical properties and productivity of mineral hydromorphic soils // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2019. Vol. 368, no. 1 (012024). P. 1–10.

УДК 631.4

Антропогенная эволюция горных почв и геоэкологические прогнозы (на примере Северного Кавказа)

© 2022 г. Н.О. Ковалева

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова,
Факультет Почвоведения
Россия, 119991, Москва, Воробьевы горы, д.1, стр.12
e-mail: natalia_kovaleva@mail.ru

Резюме: В условиях нарастающей неустойчивости климатической системы планеты среди геоэкологических проблем в горных ландшафтах особо значимыми становятся катастрофические сели и оползни, пастбищная дигрессия, водная и ветровая эрозия почв. Для горных территорий характерен выборочный тип земледельческого освоения, определяющийся локальными природными особенностями территории. Структура земельного фонда различных вертикальных зон Большого Кавказского хребта изучена на примере Северо-Западного Кавказа и представлена сенокосами, пастбищами и пахотными землями. Основой для анализа структуры земельного фонда Северного Кавказа послужили данные крупномасштабного (1:25000) картографирования сельскохозяйственных угодий Зеленчукского и Урупского районов, общая площадь которых составила 1500 км^2. На примере ландшафтов горных сенокосов, пашни и пастбищ Карачаево-Черкесии показано, что перевыпас ведет к нарушению целостности почвенного покрова, к переуплотнению почв и выходу на поверхность щебнистых пород. Сенокошение вызывает «остепнение» ландшафтов, которое пока фиксируется на уровне растительного покрова, но в дальнейшем будет провоцировать аридизацию ландшафтов. Исследования показали, что более половины используемых в сельском хозяйстве земель подвержены процессам водной эрозии и дефляции, которые приводят к развитию оползней, крипа, селей. Наиболее подвержены эрозии почвы горных пастбищ. Прогнозируемое истощение запасов гумуса при минимальной эрозии наступит через 400 лет, а при максимальной – через 50 лет. Стратегией устойчивого развития должны стать организационно-хозяйственные и инженерные мероприятия: залужение крутых склонов, полезащитные и плодовые лесонасаждения, выбор культур сплошного сева, проектирование севооборотов, установление границ производственных подразделений, террасирование и т.п.

Ключевые слова: горные ландшафты, эрозия, структура земельного фонда, устойчивое развитие.

Anthropogenic evolution of mountain soils and geoecological forecasts (on the example of the North Caucasus)

© 2022 N.O. Kovaleva

Lomonosov Moscow State University,
Faculty of Soil Science,
Russia, 119991, Moscow, Sparrow Hills, 1, building 12,
e-mail: natalia_kovaleva@mail.ru,

Abstract: In the context of the growing instability of the planet's climate system, among geoecological problems in mountain landscapes, catastrophic mudflows and landslides, pasture digression, water and wind erosion of soils become especially significant. The mountainous territories are characterized by a selective type of agricultural development, which is determined by the local natural features of the territory. The structure of the land fund of various vertical zones of the Greater Caucasus Range has been studied on the example of the Northwestern Caucasus and is represented by hayfields, pastures and arable land. The basis for the analysis of the structure of the land fund of the North Caucasus was the data of large-scale (1:25000) mapping of agricultural lands in the Zelenchuk and Urup regions, the total area of which was 1500 km2. Using the landscapes of mountain hayfields, arable land and pastures in Karachay-Cherkessia as an example, it is shown that overgrazing leads to a violation of the integrity of the soil cover, to overconsolidation of soils and the emergence of gravelly rocks on the surface. Haymaking causes “steppeization” of landscapes, which is currently fixed at the level of vegetation cover, but in the future will provoke aridization of landscapes. Studies have shown that more than half of the lands used in agriculture are subject to the processes of water erosion and deflation, which lead to the development of landslides, creep, and mudflows. Soils of mountain pastures are most susceptible to erosion. The predicted depletion of humus reserves with minimal erosion will occur in 400 years, and with maximum erosion in 50 years. Organizational, economic and engineering measures should become a strategy for sustainable development: grassing of steep slopes, field-protective and fruit plantations, selection of continuous sowing crops, designing crop rotations, establishing boundaries of production units, terracing, etc.

Keywords: mountain landscapes, erosion, land fund structure, sustainable development.

ВВЕДЕНИЕ

В условиях нарастающей неустойчивости климатической системы планеты среди геоэкологических проблем в горных ландшафтах особо значимыми становятся катастрофические сели и оползни, пастбищная дигрессия, водная и ветровая эрозия почв. Хотя в рамках голоцена время воздействия человека на горные ландшафты чрезвычайно мало, масштабные деградационные изменения обусловлены во многом антропогенной деятельностью: сведением лесов, земледельческим освоением склоновых территорий, запечатыванием и уплотнением поверхности хорошо изначально дренированных горных почв и т.п. Для отдельных районов Северного Кавказа расчетный срок развития катастрофической эрозии оценивается не более чем в 14 лет (Быковская, Ковалева, 2010).

Горные территории, с одной стороны, испытывают меньшую антропогенную нагрузку в силу их малой доступности и сложности использования. Но с другой – горные экосистемы отличаются хрупкостью по отношению к внешним воздействиям и наиболее трудно и длительно восстанавливаются. Молчанов (2009), Джаруллаев (2018) и др. отмечают, что перегрузка скотом пастбищных угодий на крутых склонах приводит к нарушению целостности дернины и образованию скотобойных троп. Ромашкевич (1998) для почв Северо-Западного Кавказа выделяет две главных причины нарушения почв – выпас скота и вырубку леса, приводящих к образованию «почвопород». Негативное воздействие вырубки подчеркивает и Асгари и др. (2016). Активная аридизация ландшафтов фиксируется в горном Дагестане и предгорьях Северного Кавказа (Национальный Атлас почв РФ, 2011; Ковалева, 2022). Перечисленные проблемы определяют необходимость контроля за развитием почвенных и геоморфологических эрозионных процессов и изучения причин их возникновения, в том числе в результате антропогенной деятельности.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Основой для анализа структуры земельного фонда Северного Кавказа послужили данные крупномасштабного (1:25000) картографирования сельскохозяйственных угодий Зеленчукского и Урупского районов, общая площадь которых составила 1500 км^2.

Обследование сельскохозяйственных угодий позволило выделить 15 типов почв. При этом основу структуры почвенного покрова горно-степного пояса составляют типичные и выщелоченные черноземы в сочетании с лугово-черноземными, дерново-карбонатными и дерново-глеевыми почвами, формирующимися на южных отрогах Скалистого хребта и в пределах обширной Северо-Юрской депрессии на высотах от 900 до 1500 м над уровнем моря. На наиболее высоких вершинах водоразделов Скалистого хребта и на склонах Бокового хребта в пределах горно-лесного пояса на высоте 1300-2100 м развиваются горные бурые лесные и темно-серые лесные почвы в сочетании с различными типами полугидроморфных почв (бурых лесных глеевых, темно-серых лесных глеевых, лугово-черноземных, лугово-болотных). Высокая доля глеевых почв в составе почвенного покрова обусловлена плотностью почвообразующей породы – глинистых и кристаллических сланцев. В высокогорной части Бокового хребта – поясе горно-луговых почв – преобладают горно-луговые почвы на элюво-делювии массивно-кристаллических пород и горно-луговые черноземовидные почвы на элюво-делювии известняков. Усложнение структуры почвенного покрова территории связано с распространением неполноразвитых почв на материале позднеголоценовых морен, на крутых каменистых склонах, малоподвижных осыпях. По долинам рек Большой Зеленчук, Аксаут, Маруха и др. на аллювиальных отложениях формируются комплексы аллювиальных дерновых, аллювиальных луговых и аллювиальных лугово-болотных почв.

Для получения достоверной информации о степени эродированности почв помимо анализа морфологических свойств почв были изучены их физико-химические свойства: кислотность почв потенциометрически, содержание азота, углерода (на CNS-анализаторе). Для оценки противоэрозионной устойчивости почв в условиях различных типов антропогенной нагрузки, определен гранулометрический состав почв (по Качинскому), структурный состав (методом сухого просеивания), плотность сложения сухой почвы (Вадюнина, Корчагина, 1986).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Для горных ландшафтов Северного Кавказа характерен выборочный тип земледельческого освоения, определяющийся

локальными природными особенностями территории. Так, при общем отгонно-животноводческом направлении производственной деятельности сельскохозяйственных предприятий района доля пашни в хозяйствах с основными участками в поясе горно-степных почв в 3 раза больше, чем в хозяйствах горно-лесного пояса (Табл.1).

Таблица1. Структура земельного фонда Зеленчукского района Карачаево-Черкесии

Ландшатный пояс	Тип использования	% от общей площади	% от площади сельхозугодий
Горно-степной	Пашня	25	29
	Сенокосы	16	19
	Пастбища	46	53
	Всего	87	
Горно-лесной	Пашня	8	11
	Сенокосы	21	27
	Пастбища	48	62
	Всего	77	

Среди возделываемых сельскохозяйственных культур доминирует озимая пшеница (16-25 %), в севооборот включена кукуруза на силос (17-23 %), многолетние и однолетние травы (10-15 %), картофель (8-15 %). Высокая доля пропашных культур обуславливает пониженную почвозащитную роль культурной растительности пашен. В результате соблюдения норм и сроков выпаса скота, прогона отар по стравленным участкам существенно понижены и противоэрозионные функции пастбищ. В результате, более половины используемых земель подвержены процессам водной эрозии. Согласно расчетам, темпы водно-эрозионного смыва могут достигать 70 т/га в год и более. Среди земельных угодий исследованной территории лишь растительный покров сенокосов, лесных и древесно-кустарниковых насаждений, составляющих в совокупности около 20 % площади в горно-степном поясе и 40 % - в горно-лесном, выполняет противоэрозионную роль.

Таблица 2. Проявление процессов эрозии в почвенном покрове сельскохозяйственных угодий Зеленчукского района.

			Площади по угодьям

Категория эрозионной опасности	Площадь, га	% к общей площади	Пашня		Сенокосы		Пастбища	
			га	%	га	%	га	%
Неэродированные неэрозионноопасные	18950	12,6	5691	5,0	2576	2,2	5487	4,8
Неэродированные Потенциально эрозионноопасные	45173	29,9	9280	8,1	8379	7,3	19713	17,1
Эродированные	86673	57,5	7591	6,6	14174	12,3	42081	36,6
Всего	150796	100	22562	19,7	25129	21,8	67281	58,5

Как показал анализ комплекса полученных материалов (Табл.2), в настоящее время в горных районах Карачаево-Черкессии процессами эрозии затронуто до 58 % почв сельскохозяйственных угодий, что составляет в совокупности около 870 км^2. Среди эродированных почв преобладают почвы средней (47 %) и слабой (31 %) степени смытости, доля сильносмытых почв достигает 22 %. При оценке структуры эродированности почв по видам сельскохозяйственных угодий обнаруживается, что в наибольшей степени процессы водной эрозии проявляются на пастбищах горно-лугового пояса: из них не эродировано только 37 %, смыто в слабой степени 16 %, в средней – 35 % и в сильной степени – 12 %. Особенно заметна деградация пастбищных почв на крутых и сильно покатых склонах южной и восточной экспозиций, где природные факторы

эрозии (повышенная инсоляция, активное снеготаяние, малая мощность почвенного профиля) усугубляются увеличенными сроками и нормами выпаса скота. Пастбищная нагрузка подобных угодий приводит к полному сносу не только почвенного профиля, но и рыхлого чехла почвообразующих пород. Несколько менее подвержены процессам смыва почвы сенокосов, доля неэродированных, слабо-, средне- и сильносмытых разностей, среди которых составляет 42, 19, 26 и 10 % соответственно. Низкий потенциал природных факторов эрозии в пределах наиболее распаханного горно-степного пояса обнаружил наилучшее состояние пахотных почв, 66 % которых не эродировано, 20 % смыто в слабой степени, 11 % - в средней, а сильносмытых разностей не выявлено. Доля слабо- и неэродированных почв пастбищ составляет лишь 15 %, сенокосных угодий – 31%. Однако, даже при смыве слабой степени из пахотного горизонта может ежегодно выноситься около 1,5-1 % запасов гумуса, 7-13 % запасов карбонатов, 3-7 % запасов фосфора (Табл. 3). Таким образом, истощение запасов гумуса при минимальной эрозии наступит через 400 лет, а при максимальной – через 50 лет.

Таблица 3. Прогноз выноса питательных элементов из пахотного слоя (020 см) при различной интенсивности эрозии.

Показатель	Содержание*	Запасы, т/га	Вынос при эрозионной опасности, т/га в год			
			слабой	средней	сильной	особо сильной
Гумус	4,4	88	374-748	748-1540	1540-3080	> 3080
K	27,4	0,04	2,3-4,6	4,9-9,6	9,6-19,2	>19,2
P	1,5	0,003	0,1-0,2	0,2-0,5	0,5-1,0	>1,0

* Содержание гумуса в %, калия и фосфора – в мг/100 г.

Оценка вероятных среднемноголетних темпов ветровой эрозии почв позволила выделить в горно-степной части района исследований пахотные почвы двух категорий дефляционной опасности. Пастбищные и сенокосные земли выполняют в зоне развития дефляционных процессов почвозащитную функцию и практически не подвержены ветровой эрозии.

ВЫВОДЫ

Таким образом, оценка структуры и характера землепользования на Северном Кавказе указывает на потенциальное усиление антропогенной эрозии в горно-степном поясе в связи с относительно большой долей пашни, на ослабление ее в горно-лесном поясе и вторичную интенсификацию процессов линейного размыва и плоскостного смыва на горно-луговых почвах в результате пастбищной дигрессии. Для предотвращения дальнейшего развития процессов эрозии необходимо обновление регионального комплекса мероприятий по рациональному использованию сельскохозяйственных земель с учетом изменений климата и изменения характера землепользования в регионе. Стратегией устойчивого развития должны стать организационно-хозяйственные и инженерные мероприятия: залужение крутых склонов, полезащитные и плодовые лесонасаждения, выбор культур сплошного сева, проектирование севооборотов, установление границ производственных подразделений, террасирование и т.п.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Работа выполнена по теме государственного задания МГУ № 122011800459-3, Междисциплинарной научно-образовательной школы МГУ «Будущее планеты и глобальные изменения окружающей среды».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Асгари Ш., Ахмаднежад С., Кейван-Бежу Ф.* Влияние вырубки леса на основную гидрофиическую характеристику и качество почв на востоке Ардабила, Иран. //Почвоведение. 2016, № 3, с. 368-376.
2. *Быковская Т.К., Ковалева Н.О.* Горные почвы Карачаево-Черкесии. М: МГИУ, 2010. 164 с.
3. *Вадюнина А.Ф., Корчагина З.А.* Методы исследования физических свойств почв. М: Агропромиздат. 1986. 416 с.
4. *Джаруллаев А.Щ.* Эрозионная опасность почв пастбищ Большого Кавказа и Джейранчель-Аджиноура. //Географический вестник, № 3(46)б 2018, с. 75-82.
5. *Ковалева Н.О.* Изотопная подпись почв в диагностике процессов аридизации ландшафтов Дагестана. //Аридные экосистемы. 2022. Т. 29, № 2(91), с. 45-52
6. *Молчанов Э.Н.,* Горные лугово-степные почвы высокогорий Восточного Кавказа. //Почвоведение, 2009. № 3, с. 299-310.

7. *Национальный атлас почв Российской Федерации*. М: Астрель. 2011. 632 с.
8. *Ромашкевич А.И.* Горное почвообразование и геоморфологические процессы. М.: Наука, 1988. 150 с.

УДК 631.811.93 : 631.445.24 : 631.82

Подвижность кремния в дерново-подзолистых почвах Нижегородской области и применение кремнистых мелиорантов комплексного действия как элемент оптимизации ресурсного потенциала почв подзолистого ряда

© 2022 г. А.В. Козлов[1*], А.Х. Куликова[2]

[1]ФГБОУ ВО «РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева», Россия,
127434, Москва, ул. Тимирязевская, 49,
[*]a_v_kozlov@mail.ru
[2]ФГБОУ ВО «УлГАУ имени П.А. Столыпина», Россия,
432017, Ульяновск, б-р Новый Венец, 1.

Резюме: В работе рассматривается профильное распределение содержания различных кремниевых веществ в дерново-подзолистых почвах Нижегородской области различной степени подзолистости, а также динамика их концентрации в почве в условиях применения высоких доз кремнистых мелиорантов. Установленные закономерности во внутрипрофильном распределении соединений подвижных фракций кремнезема, а также выявленные эффекты от мелиорации дерново-подзолистой почвы кремнистыми породами позволяют рассматривать их в аспекте эффективной оптимизации плодородия почв, в том числе почв подзолистого ряда.

Ключевые слова: дерново-подзолистые почвы, подвижные соединения кремния, профильное распределение кремнезема, химическая мелиорация почв.

Silicon mobility in sod-podzolic soils of the Nizhny Novgorod region and the use of complex-action siliceous meliorants as an element of optimizing to resource potential of podzolic soils

© 2022 A.V. Kozlov[1*], A.H. Kulikova[2]

[1]Russian State Agrarian University –
Moscow Timiryazev Agricultural Academy,
49, Timiryazevskaya st., Moscow 127434, Russian Federation,

[*] *e-mail: a_v_kozlov@mail.ru,*
[2]*Stolypin Ulyanovsk State Agricultural University,*
1, Novyj Venets b-d, Ulyanovsk 432017, Russian Federation.

Abstract: The work considers to profile distribution of various siliceous substances content in sod-podzolic soils of the Nizhny Novgorod region of various degrees of podzolicity, as well as the dynamics of their concentration in soil under high dose conditions of siliceous meliorants. Established regularities in in-profile distribution of compounds of mobile silica fractions, as well as identified effects of melioration of sod-podzolic soil by siliceous rocks make it possible to consider them in aspect of effective optimization of soils fertility, including podzolic soils.

Keywords: sod-podzolic soils, mobile silicon compounds, profile distribution of silica, chemical soil melioration.

ВВЕДЕНИЕ

Вопреки значительному содержанию как в почвообразующих породах, так и в сформированном почвенном теле различных кремнийсодержащих веществ, все они относятся к одним из малоизучаемых с точки зрения участия в различных почвенных процессах. В особенности этот научный пробел затрагивает кремниевые кислоты (мономеры и полимеры), коллоиды и гели H_4SiO_4, различные кислоторастворимые фракции кремнезема, а также его аморфные (неокристаллизованные) структуры (Айлер, 1982; Matichenkov, Bocharnikova, 2014).

Вместе с этим нужно указать на потенциальную способность кремниевых кислот к явлениям полимеризации мономеров и распада полимеров на олиго- и моноформы, к формированию полимерных кластерных макромолекул, гелей и иных высокодисперсных коллоидных структур (Мышляева, Краснощеков, 1972; Зулумян и др., 2010).

Данные аспекты могут иметь принципиальное значение в отношении внутрипрофильных систем «консервативный Si – подвижный Si», «ППК – почвенный раствор», «органическая матрица – минеральная матрица», поскольку весь комплекс указанных функциональных структур кремнезема определяет потенциальную основу для протекания многих элементарных почвообразовательных и почвенно-биотических процессов, в том числе в почвах подзолистого ряда (Водяницкий, 1984; Элементарные…, 1992;

Почвообразовательные…, 2006; Perry, Keeling-Rucker, 2000; Ma, Takahashi, 2002).

В связи с вышеуказанным целью настоящих исследований явилась оценка состояния и профильного распределения активных соединений кремния в почвах подзолистого ряда (на примере почвенного покрова Нижегородской области) и определение изменений в составе пула подвижных кремниевых веществ в дерново-подзолистой почве в условиях применения высоких доз диатомита, цеолита и бентонитовой глины как аморфных пород различного генезиса, но содержащих в своем составе значительные концентрации водо- и кислоторастворимых соединений кремния.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Зональное исследование дерново-подзолистых почв по Нижегородской области (2018-2020 гг.) включало почвенный покров представительных экосистем естественных фитоценозов в генетическом ряду по проявлению признаков подзолистости: сверх глубоко-, глубоко-, неглубоко- и мелкоподзолистые (Табл. 1).

Таблица 1. Наименование и расположение почвенных профилей по Нижегородской области.

Наименование почвы и расположение профиля	Морфология проявления подзолистых процессов	Шифр почвы
Дерново-подзолистая глубоко-дерновая сверх глубоко-подзолистая легкосуглинистая почва, сформированная на покровном суглинке (Семеновский район, д. Зименки)	обособленный горизонт A_2 глубиной до 73 см, мощность – 48 см	$П4^{Д3\text{-}III\text{-}П}$
Дерново-подзолистая средне-дерновая глубоко-подзолистая легкосуглинистая почва, сформированная на покровном суглинке (Городецкий район, с. Зиняки)	обособленный горизонт A_2 глубиной до 36 см, мощность – 21 см	$П4^{Д2\text{-}III\text{-}П}$
Дерново-подзолистая слабо-дерновая неглубоко-подзолистая легкосуглинистая почва, сформированная на покровном суглинке (Борский район, д. Филипповское)	переходный горизонт A_1A_2 глубиной до 27 см, мощность – 19 см	$П3^{Д1\text{-}III\text{-}П}$

Дерново-подзолистая слабо-дерновая мелко-подзолистая слабо-глееватая легкосуглинистая почва, сформированная на покровном суглинке (Уренский район, п.г.т. Арья)	переходный горизонт A_1A_2 глубиной до 23 см, мощность – 8 см	$П2^{Д1\text{-}III\text{-}П}$

Исследование о влиянии высоких доз (3, 6 и 12 т/га) кремнистых пород на состояние подвижности пула кремниевых веществ в дерново-подзолистой почве проводили в условиях 3-х микрополевых опытов, проведенных в период 2014-2017 гг. на территории ООО «Элитхоз» (Борский район Нижегородской области). Схема опыта включала вариант естественного плодородия почвы (Контроль) и по три варианта с высокой дозой аморфной кремнистой породы – диатомовой (Ульяновская обл.), цеолитовой (Орловская обл.) и бентонитовой (Курганская обл.). Породу в почву каждого опыта вносили заблаговременно на этапе подготовки участка (2014 г.).

Содержание подвижных фракций кремния в изучаемых породах (аморфная (%), водорастворимая (мг/кг), кислоторастворимая (мг/кг)) составило: диатомит – 42,1, 996, 12200; цеолит – 26,7, 1420, 7950; бентонитовая глина – 18,4, 2260, 10500 (Куликова, 2013; Махкамова и др., 2019).

Образцы дерново-подзолистых почв из профилей, идентифицированных по Нижегородской области, а также образцы дерново-подзолистой почвы по микрополевых опытам отбирали ежегодно и анализировали на определение концентрации мономеров и полимеров кремниевых кислот, а также на определение содержания кислоторастворимой фракции кремнезема (Матыченков и др., 2016).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В результате изучения дерново-подзолистых легкосуглинистых почв Нижегородской области с различным проявлением признаков подзолистости были установлены определенные закономерности в отношении профильного распределения мономеров и полимеров кремниевых кислот, данные представлены в Таблице 2.

Прежде всего нужно отметить, что данный ряд почв не отличался существенностью распределения мономеров кремнекислоты в профиле по элювиально-иллювиальному типу, которое

характерно для веществ кислотно-основного состояния. В элювиальных горизонтах (A_2 и A_1A_2) их содержание было примерно равным (10-16 мг/кг), всегда выше, чем в гумусо-аккумулятивных слоях, а также здесь прослеживалась некоторая тенденция увеличения концентрации моноформ к иллювиальным горизонтам.

Содержание поликремниевых кислот в почвах было выше как в целом по уровню, так и имело профильную дифференциацию, возраставшую согласно интенсивности проявления признаков опоподзоливания. Например, если при сверх глубоком и глубоком оподзоливании ($П4^{Д3\text{-}III\text{-}П}$ и $П4^{Д2\text{-}III\text{-}П}$) между горизонтами В и A_2 содержание данных веществ различалось соответственно на 22 и 17 мг/кг, то при неглубоком оподзоливании ($П3^{Д1\text{-}III\text{-}П}$) концентрация полиформ была примерно равная, а при мелком ($П2^{Д1\text{-}III\text{-}П}$) прослеживалось их большее накопление в горизонте A_1A_2.

Таблица 2. Содержание подвижных кремниевых веществ в профиле дерново-подзолистых почв Нижегородской области*.

Горизонт	$П4^{Д3\text{-}III\text{-}П}$		$П4^{Д2\text{-}III\text{-}П}$		$П3^{Д1\text{-}III\text{-}П}$		$П2^{Д1\text{-}III\text{-}П}$	
	m-Si	p-Si	m-Si	p-Si	m-Si	p-Si	m-Si	p-Si
A_1	3	23	6	25	9	31	11	28
A_2 (A_1A_2)	10	16	12	19	13	26	16	24
B_1 (A_2B)	11	35	13	33	15	24	17	20
B_2	16	38	15	36	15	27	17	17
BC	11	25	12	28	12	20	14	16
C	7	21	9	23	10	16	12	14

* – содержание кремниевых кислот в почвенном горизонте, мг/кг: мономеров – m-Si, полимеров – p-Si

Вполне определенно, что данное распределение имело взаимосвязь с интенсивностью проявления подзолообразовательных процессов. Кислотный гидролиз вещества в элювиальном слое почв активизирует трансформацию глинистых минералов и аморфных силикатов, которые и являются реакционными локусами в минеральной матрице, необходимые для процессов полимеризации кремнезема (Тертых, Белякова, 1991). Иными словами, чем активнее проявляется мера оподзоленности вещества в горизонте A_2, тем меньше остается в нем аморфных кремнистых структур, что ингибирует процессы полимеризация кремнекислоты.

С другой стороны, малое проявление типичных для подзолистых почв элементарных почвообразовательных процессов способствует сохранению тонкодисперсного вещества в верхних горизонтах (Элементарные…, 1992; Градусов и др., 2005), по причине чего в таких профилях наблюдается поверхностно-аккумулятивный градиент в концентрации полимеров кремниевых кислот.

Данные таблицы 3 отражают влияние кремнистых пород на содержание различных фракций подвижных кремниевых веществ в дерново-подзолистой почве в условиях проведенных микрополевых опытов с кремнистыми породами.

Таблица 3. Изменение концентрации кремниевых веществ в почве в условиях влияния высококремнистых пород (в среднем за 3 года).

Вариант	Мономеры H_4SiO_4		Полимеры $(H_4SiO_4)_n$		Кислотораств. фракция	
	$X_{СРЕДН.}$	±	$X_{СРЕДН.}$	±	$X_{СРЕДН.}$	±
Контроль	14	–	44	–	207	–
$Д_1$	35	21	213	169	353	146
$Д_2$	70	56	411	367	595	388
$Д_3$	66	52	359	315	575	368
$Ц_1$	22	8	68	24	293	86
$Ц_2$	29	15	103	59	368	161
$Ц_3$	34	20	121	77	413	206
$Б_1$	31	17	124	80	360	153
$Б_2$	64	50	184	140	553	346
$Б_3$	58	44	174	130	536	329

Было установлено, что применение всех материалов способствовало существенному повышению концентрации всех изученных форм подвижного кремния и, в особенности, на вариантах с применением диатомовой породы. Так, на вариантах $Д_2$ и $Д_3$ содержание мономеров H_4SiO_4 в почве увеличивалось в 4-5 раз, полимеров – в 8-9 раз, а кислоторастворимой фракции кремнезема – в 3 раза.

В условиях взаимодействия почвы с высокими дозами бентонитовой глины концентрация моноформ кремнекислоты повышалась в 4 раза, концентрация ее полимеров – в 3-4 раза, а кислоторастворимого SiO_2 – почти в 3 раза.

Применение цеолита также способствовало активному пополнению почвенного раствора изучаемыми веществами, но в менее выраженной степени. В частности, в зависимости от дозы материала содержание мономеров H_4SiO_4 в почве увеличивалось в 1,6-2,4 раза, полимеров – 2,3-2,8 раза, а кислоторастфоримой части кремнезема – почти в 2 раза относительной контрольных значений.

ВЫВОДЫ

Таким образом было определено, что целинные дерново-подзолистые почвы характеризуются очень низким содержанием подвижных фракций кремнезема (до 3-11 мг/кг по мономерам и до 23-31 мг/кг по полимерам кремнекислоты), а также внутрипрофильной дифференциацией их накопления, прямым образом связанного с мерой проявления подзолистых мезопроцессов. В особенности установленное явление затрагивает уровень концентрации полимеров кремниевых кислот и активность процесса их полимеризации, которые сопряжены с наличием тонкодисперсного вещества в органоминеральной матрице конкретного почвенного горизонта.

Взаимодействие дерново-подзолистой почвы с различными кремнистыми породами, применяемыми в высоких дозах в качестве мелиорантов комплексного воздействия на почву, способствует существенному и многоразовому пополнению почвенного раствора подвижными соединениями кремния, а их конечное содержание позволяет говорить не только о восстановлении кремниевого баланса в системе «почва-раствор», но и об активизации процессов полимеризации кремнекислоты. Последнее явление, способствуя многим микропроцессам в системе «ППК – почвенный раствор», в целом позволяет рассматривать высокоаморфные кремнистые породы в аспекте ресурсного потенциала и оптимизации плодородия почв, в том числе для почв подзолистого ряда.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Айлер Р.* Химия кремнезема. М.: Мир, 1982. В 2-х ч. 1128 с.
2. *Водяницкий Ю.Н.* Дефицит кремния в некоторых почвах и пути его устранения // Агрохимия. 1984. № 8. С. 127–132.
3. *Градусов Б.П., Фрид А.С., Градусова О.Б.* Эволюция подзолистых горизонтов суглинистых подзолистых и дерново-подзолистых почв по показателям ила и основных оксидов // Бюлл. почв. ин-та им. В.В.

Докучаева. 2005. Вып. 57. С. 19–30.
4. *Зулумян Н.О., Исаакян А.Р., Пирумян П.А., Бегларян А.А.* Структурные особенности аморфных диоксидов кремния // Журнал физической химии. 2010. Т. 84. № 4. С. 791–793.
5. *Куликова А.Х.* Кремний и высококремнистые породы в системе удобрения сельскохозяйственных культур. Ульяновск: Изд-во Ульяновской ГСХА им. П.А. Столыпина, 2013. 176 с.
6. *Матыченков И.В. Хомяков Д.М., Пахненко Е.П., Бочарникова Е.А., Матыченков В.В.* Подвижные кремниевые соединения в системе почва–растение и методы их определения // Вестник Моск. университета. Сер. 17. Почвоведение. 2016. № 3. С. 37–46.
7. *Махкамова Д.Н., Содикова Ш.А., Усмонова З.Т.* Бентонитовая глина, ее физико-химическая характеристика и применение в народном хозяйстве // Universum: Технические науки. 2019. № 6 (63). С. 95–98.
8. *Мышляева Л.В., Краснощеков В.В.* Аналитическая химия кремния. М.: Издательство «Наука», 1972. 212 с.
9. Почвообразовательные процессы / Под ред. М.С. Симаковой, В.Д. Тонконогого. М.: Почв. ин-т им. В.В Докучаева, 2006. 510 с.
10. *Тертых В.А., Белякова Л.А.* Химические реакции с участием поверхности кремнезема. Киев: Наукова думка, 1991. 264 с.
11. Элементарные почвообразовательные процессы: опыт концептуального анализа, характеристика, систематика / Под ред. Н.А. Караваевой, С.В. Зонна. М.: Наука, 1992. 184 с.
12. *Ma J.F., Takahashi E.* Soil, fertilizer, and plant silicon research in Japan. Netherlands: Elsevier, 2002. 281 p.
13. *Matichenkov V.V., Bocharnikova E.A.* Silicon fertilizers: agricultural and environmental impacts // Fertilizers: components, uses in agriculture and environmental impacts. N.Y., 2014. P. 182–198.
14. *Perry, C.C., Keeling-Rucker T.* Biosilicification: the role of the organic matrix in structure control // Journal of Biological Inorganic Chemistry. 2000. Vol. 5. P. 537–550.

УДК 631.4

Трансформация почвенного покрова зоны автомобильных дорог

© 2022 г. Ю.Р. Моргач*, М.К. Захарова

Центральный музей почвоведения им. В.В. Докучаева – филиал ФИЦ «Почвенный институт им. В.В. Докучаева», Россия, 199034, Санкт-Петербург, Биржевой пр, 6

** tima204@yandex.ruru*

Резюме: Исследован почвенный покров зоны автомобильных дорог федерального, регионального и межмуниципального назначения, а также почвенный покров дорог с различными типами покрытий (асфальтовые и грунтовые дороги). Показано, что в результате строительства дорог происходит изменение почвенного покрова и на месте естественных почв образуются новые почвенные профили или антропогенно-преобразованные: стратифицированные, абрадированные, погребенные, а также происходит изменение свойств почв с ненарушенным строением. Выявлено, что асфальтовые дороги, являющиеся многослойными насыпными конструкциями, представляют собой непочвенные образования, в то время как дорожное полотно грунтовых дорог может быть представлено в различной степени антропогенно-трансформированными почвами: на проезжей (колейной) части образуются стратифицированные или абрадированные почвы с верхним переуплотненным плитчатым горизонтом; на обочинах формируются стратифицированные почвы или стратоземы; в межколлейных частях диагностируются незначительно измененные естественные почвы. Почвенный покров зон грунтовых дорог, примыкающих к федеральным трассам с высокой интенсивностью движения, испытывает негативное влияние в виде переуплотнения верхней части профиля за счет съезда и стоянки машин, а также загрязнения почв из-за наличия несанкционированных свалок. В некоторых случаях выявлено, что строительство дорог приводит к изменению водного режима в результате необеспеченности водоотвода или поднятия грунтовых вод, что может приводить к заболачиванию прилегающей территории. Установлено, что при сооружении автомобильных дорог существенным образом изменяется как состав, так и формы ареалов почвенного покрова. Для почвенного покрова зоны автомобильных дорог характерна симметричность строения относительно дорожного полотна.

Ключевые слова: почвенный покров, антропогенно-измененные почвы, структура почвенного покрова, автодорога.

Soil cover transformation in the zone of automobile roads

© 2022 Y.R. Morgach*, M.K. Zakharova

Federal Research Centre "V.V. Dokuchaev Soil Science Institute",
6 Birjevoi proyezd, Saint-Petersburg 199034, Russian Federation,

** e-mail: tima204@yandex.ru*

Abstract: The soil cover of federal, regional and intermunicipal highways, as well as the soil cover of roads with different types of road surface (asphalt and unpaved roads) was studied. It is shown that the construction of roads leads to changes in the soil cover, and new soil profiles or anthropogenically transformed soil profiles are formed in place of natural soils: stratified, abraded, buried soils; the properties of soils with undisturbed structure are changed too. It has been revealed that asphalt roads, which are multilayered bulk-material structures, are non-soil formations, whereas the roadbed of unpaved roads can be represented by varying degrees by anthropogenically transformed soils: stratified or abraded soils with the top overcompacted platy horizon are formed on the roadway (in ruts); stratified soils or stratozems are formed on the roadsides; slightly modified natural soils are observed in between ruts. The soil cover of unpaved road areas adjacent to federal highways with high traffic volume experiences a negative impact in the form of overcompaction of the upper part of the profile due to driving and parking of vehicles, as well as soil contamination due to the presence of unauthorized dumps. In some cases, it is revealed that road construction leads to changes in the water regime due to rising groundwater or the failure to ensure drainage, which can lead to waterlogging of the surrounding area. It has been established that the construction of roads significantly changes both the composition and the shape of soil cover areas. The soil cover of the road zone is characterized by a symmetric structure relative to the roadbed.

Keywords: soil cover, anthropogenically transformed soil, soil cover struckture, road.

ВВЕДЕНИЕ

Вся территория Ленинградской области пересечена сетью автомобильных дорог, образующих своеобразную сетевую линейную структуру. В результате роста спроса на передвижение по

дорожной сети области площади строительства новых автомобильных трасс увеличиваются ежегодно.

Современные технологии строительства дорог коренным образом преобразуют почвенный покров, являются причинами уничтожения растительного покрова и изменения естественного ландшафта.

В результате прокладки и эксплуатации автомобильных дорог изменяются генетические связи между почвенными компонентами, что ведет к трансформации естественного почвенного покрова.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Протяженность дорожной сети Ленинградской области составляет 1 777,307 км и включает в себя дороги федерального, регионального и межмуниципального назначения, покрытие которых представлено различными типами (асфальтобетонное покрытие и грунтовая дорога) (ФКУ Упрдор «Северо-Запад», эл. ресурс).

Для изучения особенностей пространственной дифференциации и компонентного состава почвенного покрова было изучено 6 типов автомобильных дорог в разных районах Ленинградской области (Рис. 1).

1. Участок автодороги регионального значения 41К-185, Выборгский район;
2. Участок автодороги федерального значения Р-21 «Кола», Волховский район;
3. Участок автомобильной дороги местного значения, проходящей вдоль реки Кумбито, Волховский район;
4. Участок подъездной грунтовой дороги к торфоразработкам Селиваново, Волховский район;
5. Участок подъездной грунтовой дороги к песчаному карьеру у пос. Шугозеро, Тихвинский район;
6. Участок подъездной грунтовой дороги к карьеру «Возрождение», Выборгский район.



Рис. 1. Расположение объектов исследования

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В работе изучен почвенный покров зон современных асфальтовых автомобильных дорог, грунтовых дорог, а также подъездных дорог к месторождениям по добыче различных полезных ископаемых.

1. Почвенный покров зон асфальтовых дорог

Современная асфальтовая дорога – это многослойное сооружение (Подольский, В. П. 2013*)*. Технология строительства любой дороги предполагает несколько этапов. Подготовительный этап строительства заключается в снятии верхнего слоя почвы и последующем укреплении основания. В самой нижней части, в основании, находится грунт. Основания дороги бывают песчаными, щебёночно-песчаными, щебёночными, цементобетонными или сделанными из чёрного щебня в сочетании с вяжущими смесями. В основание могут добавляться вяжущие составы, которые заполняют поры и делают конструкцию более водоустойчивой и плотной. После укладки основания, прокладки геотекстилем (в некоторых случаях), укладывается покрытие. Наружный слой дороги – это асфальт. Асфальтобетон является сложной смесью бетона,

наполнителя и битума. Таким образом, современные асфальтобетонные дороги представляют собой непочвенные образования (НПО).

Антропогенно-преобразованные почвы встречаются на прилегающих участках к дорожному полотну. Их наличие в почвенном покрове обусловлено дальностью расположения от дороги или проведением биологической рекультивации, выполняемой при строительстве, в период реконструкции или капитального ремонта автодороги.

В качестве объекта исследования для изучения почвенного покрова, расположенного вдоль асфальтовых дорог было выбрано 2 объекта: участок автомобильной дороги общего пользования регионального значения 41К-185 «Комсомольское – Приозерск» и участок автомобильной дороги общего пользования федерального значения Р-21 «Кола», расположенный на 155 км автодороги вблизи населенного пункта Потанино.

Дорожное полотно (проезжая часть и кромка) данных дорог представлено НПО. Откосы водоотводящих канав (кюветов) представлены стратоземами и почвенными образованиями, состоящими из гумусированного слоя и насыпной толщи (по классификации КиДПР, 2004 – урбиквазиземы или педоаллохтонные почвы).

По мере удаления от дороги в почвенном покрове встречаются стратифицированные и турбированные типы почв.

Структура почвенного покрова (СПП) зон автомобильных дорог с асфальтовым покрытием представлена сочетанием, в центре которого отмечено НПО (шириной от 7,5 м и до 15 м – в зависимости от количества полос движения), по обе стороны от НПО расположены турбированные и стратифицированные почвы приурочены к зоне обочины шириной 3,75 м и абраземы в зоне водоотводящих выемок (шириной не менее 0,4 м). СПП имеет ярковыраженную линейную (прямолинейную) форму, не характерную для естественных ареалов СПП.

2. Почвенный покров зон грунтовых дорог

Почвенный покров грунтовой дороги местного значения, начинающейся от федеральной трассы Р-21 «Кола» и проходящей вдоль реки Кумбито до ж/д станции «Паша», представлен комбинацией почв: стратоземом серогумусовый, сформированным на обочине дороге. Формирование серогумусового горизонта мощностью

около 5 см свидетельствует о давнем сроке прокладки автомобильной дороги.

При удалении от дороги, в метре от проезжей части, все еще диагностируются стратифицированные почвы, но дальше, в понижениях, образуется естественная почва. Сама проезжая часть представлена стратифицированной серогумусовой почвой.

Разрезы, заложенные на различном расстоянии от съезда с федеральной трассы Р-21 «Кола» отличались морфологическим строением. В разрезе, расположенном ближе к съезду Р-21 «Кола», верхняя часть профиля переуплотнена, а гумусовый горизонт имеет плитчатую структуру за счет дополнительной нагрузки от съезда машин для стоянки. Гумусовый горизонт разреза, заложенного более чем в 30 м от трассы – рыхлый.

Ввиду удобного съезда с крупной федеральной трассы, на данной грунтовой дороге отмечено большое количество несанкционированных свалок, что напрямую негативно воздействует на почвы. Максимум свалок отмечается в 10-15 метрах от трассы. По мере удаления от федеральной трассы, свалок мусора становится меньше (Рис. 2).

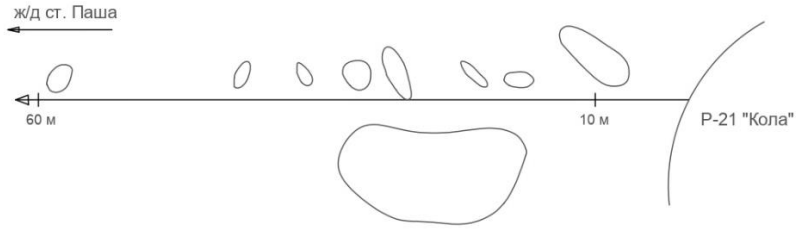


Рис. 2. Схема расположения несанкционированных свалок вдоль грунтовой автодороги

Для СПП грунтовых дорог свойственна симметричность строения и линейность ареалов. Однако характерными особенностями являются развитие эрозионных процессов на некоторых участках, приводящих к нарушению симметричности относительно дорожного полотна и наличие несанкционированных свалок. СПП представлена комбинациями НПО, стратоземов и стратифицированных почв

3. *Почвенный покров зон подъездных дорог*

Для обеспечения процесса перемещения добываемых полезных ископаемых необходимо сооружение транспортных коммуникаций.

Изученные карьерные дороги представляли собой участки подъездных грунтовых дорог на территории бывшего Селивановского торфопредприятия, к карьеру по добыче песка в пос. Шугозеро и к карьеру по добычи гранита «Возрождение».

При сооружении грунтовой дороги на осушенной торфяной залежи строительство происходит на основании с подсыпкой слоя щебня и песка. По краям дороги производится осушение посредством водоотводящих канав глубиной до 2,5 м.

Проезжая часть дороги представлена НПО, а на симметричных друг другу обочинах выделяются стратоземы с формирующимся серогумусовым горизонтом на торфяной эутрофной почве и стратифицированные торфяные эутрофные почвы не полностью выработанные.

Подъездная грунтовая дорога к карьеру по добыче песка в пос. Шугозеро проходит вдоль карьера и спускается на дно выработки. Дорожное полотно этой дороги представлено абрадированным дерново-подбуром, а обочины стратифицированным подбуром и абраземом альфегумусовым стратифицированным.

Подъездная дорога к месторождению «Возрождение» представляет собой проезжую часть без асфальтобетонового покрытия шириной около 20 м с обочиной от 1 м до 1,5 высотой до 20 см – 1 м. Параллельно с обоих сторон дороги проложена канава глубиной около 70 см.

Вдоль дороги с обеих сторон отмечается заболачивание территории, что подтвреждается картографическими данными - дорога проходит в понижение, а перекрытие водотоков при строительстве способствует заболачиванию.

Компонентный состав дороги представлен НПО – «проезжая часть», с одной стороны от дороги обнаружен стратифицированный глеезем, образовавшийся в результате заболачивания, с другой, где нет признаков переувлажнения – стратозем серогумусовый.

Таким образом структура почвенного покрова подъездных автомобильных дорог к месторождениям по добычи полезных ископаемых зависит от добываемого сырья.

ВЫВОДЫ

Вдоль автомобильных дорог всегда существует зона с повышенной антропогенной нагрузкой – съезды, водоотводящие канавы, автозаправки. На этих территориях встречаются практически все виды преобразований почвенного профиля – стратификация, срезание, турбация, погребение, уничтожение и создание новых почвенных профилей почв, а также изменение свойств почв с ненарушенным строением.

Строительство автомобильных дорог существенным образом изменяет как состав, так и формы ареалов почвенного покрова.

Структура почвенного покрова представлена линейными симметричными контурами относительно дорожного полотна, образующихся в результате технологического процесса прокладки линейного объекта.

В результате исследования выявлено, что компонентный состав почвенного покрова зоны автомобильных дорог имеет схожие черты:

- дорожное полотно асфальтобетенных дорог представлено НПО;

- дорожное полотно грунтовых дорог представлено НПО или стратифицированными и/или абрадированными почвами с верхним переуплотненным плитчатым горизонтом;

- абрадированные почвы и абраземы диагностируются в водоотводящих канавах;

- стратоземы, стратифицированные и турбированные естественные почвы формируются на обочинах и прилегающей территории. По мере удаления от дороги степень антропогенного воздействия уменьшается;

- компоненты подъездной грунтовой дороги к карьерам представлены комбинациями стратоземов, стратифицированных почв и абраземов, но на породе, свойственной для данного месторождения. Значительное воздействие на почвенный покров вдоль дороги оказывает интенсивность движения и форма перевозки руды.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ФКУ Упрдор «Северо-Запад» [Электронный ресурс] // URL:

https://sevzap.rosavtodor.ru/ (дата обращения: 22.08.2022)
2. *Подольский В. П., Глагольев А. В., Поспелов П. И.* Строительство автомобильных дорог. Земляное полотно: учеб. пос. – 2-е изд., испр. – М.: Академия, 2013. 430 с.
3. Классификация и диагностика почв России. / Л.Л. Шишов, В.Д. Тонконогов, И.И. Лебедева и др. – Смоленск: Ойкумена, 2004. – 235 с.

УДК 631.46

Влияние дыма от пожаров на биологическую активность почв

© 2022 г. М.С. Нижельский[1*], В.В. Вилкова [1], В.Д. Приходько [1], К.Ш. Казеев[1]

[1] *Южный федеральный университет, Россия,344090, Ростов-на-Дону, пр. Стачки 194/1,*
[*] *nizhelskiy@sfedu.ru*

Резюме. Пирогенное воздействие приводит к серьезным нарушениям наземных экосистем. Значительное влияние на биоту и почву помимо высоких температур и огня может оказывать и дым, как неотъемлемая часть пирогенного воздействия. Проведено исследование по влиянию фумигации дымом при моделировании пожаров на ферментативную активность чернозема обыкновенного карбонатного тяжелосуглинистого (*Calcik Chernozem*). В рамках исследования в контролируемых условиях был выполнен модельный эксперимент по обработке почвы газообразными веществами от горения материалов растительного происхождения (сосновые опилки). Рассмотрено влияние продуктов горения на ферментативную активность чернозема: каталазу, пероксидазу, полифенолоксидазу (ферменты класса оксидоредуктаз), инвертазу (фермент класса гидролаз). Также исследовано воздействие фумигации на реакцию почвенной среды (pH) и содержание легкорастворимых солей. Полученные данные свидетельствуют о значительном влиянии дыма от сгорания опилок на биологическую активность почвы. Выявлено ингибирующее воздействие фумигации на почвенные ферменты, максимальный эффект наиболее выражен после 60 минут задымления. Однако эффект заметен и при меньшем воздействии дыма (15 минут) в модельном опыте. Таким образом. время воздействия является решающим параметром при оценке воздействия дыма на почву. Также выявлен наиболее чувствительный к дыму фермент. Дополнительно выполнен опыт по определению глубины проникновения дыма в чернозем. Все полученные результаты и закономерности воздействия дыма на чернозем могут быть применены для оценки состояния почв, пострадавших от пожаров территорий.

Ключевые слова: ферментативная активность, пирогенный фактор, чернозем обыкновенный, влияние дыма, фумигация.

Impact of fires smoke on soil biological activity

© 2022 M.S. Nizhelskiy[1]*, V.V. Vilkova[1], V.D. Prikhodko[1], K.Sh. Kazeev[1]

[1] *Southern Federal University, Russia, 344090, Rostov-on-Don, Stachki Ave. 194/1,*

** e-mail: nizhelskiy@sfedu.ru*

Abstract. Pyrogenic effects cause serious disturbances in terrestrial ecosystems. In addition to high temperatures and fire, smoke as an integral part of pyrogenic effects can have a significant impact on biota and soil. A study was conducted on the effect of smoke fumigation during fire simulations on the enzymatic activity of Calcik Chernozem. A model experiment on soil treatment with gaseous substances from burning materials of plant origin (pine sawdust) was carried out under controlled conditions as part of the study. The effect of combustion products on the enzymatic activity of chernozem: catalase, peroxidase, polyphenol oxidase (oxidoreductase class enzymes), invertase (hydrolase class enzyme) was considered. The effect of fumigation on the reaction of the soil environment (pH) and the content of readily soluble salts was also studied. The data obtained indicate a significant effect of sawdust combustion smoke on soil biological activity. The inhibitory effect of fumigation on soil enzymes was found; the maximum effect is most pronounced after 60 minutes of fumigation. However, the effect is noticeable even after less smoke exposure (15 minutes) in the model experiment. Thus, the exposure time is the decisive parameter in assessing the impact of smoke on soil. Also, the most smoke-sensitive enzyme was identified. The experiment on determining the depth of smoke penetration into the chernozem was performed. All obtained results and patterns of smoke effects on chernozem can be applied to assess the condition of soils affected by fires areas.

Keywords: enzymatic activity, pyrogenic factor, common chernozem, smoke effects, fumigation.

ВВЕДЕНИЕ

Пожары являются ключевым фактором, привносящим изменения в природные экосистемы. Во многих исследованиях изучалось влияние горения на растительные сообщества, что значительно улучшило понимание механизмов, лежащих в основе последствий пожара (Johnson, 1993; Just et al., 2016; Wright and Agee, 2004). Тем не менее, большинство исследований на сегодняшний день сосредоточены на взаимосвязи между пожаром и надземной растительностью в то время, как влияние на почвенный покров недостаточо изучен (Auld and Denham, 2006; Plue et al., 2020). В

работах (Казеев и др., 2020; Kazeev et al., 2022) подроно изучено влияние высоких температур и дыма на ферментативную активность почв, ее растительный покров, свойства. Известно, что последствия от пожаров изменяют свойства постпирогенных участков. Так, высокая степень тяжести привела к более высокой дождевой эрозии (+95% по сравнению с пожарами низкой степени), изменил pH, электропроводность, содержание азота и фосфора в почве. А низкий уровень воздействия изменили электропроводность, содержание органического углерода и азота (Lucas-Borja et al., 2022). Однако последствия газообразных продуктов горения на почвы малоизучены.

В связи с чем, целью данного исследования являлось изучения влияние дыма от пожаров на биологическую активность почвы.

В задачи входило выявить влияние продуктов горения на биохимические показатели чернозема обыкновенного – каталаза, пероксидаза, полифенолоксидаза (класс оксидоредуктаз), инвертаза (класса гидролаз). Также надо было установить глубину проникновения дыма в почву. Помимо этого, исследовано воздействие фумигации на реакцию почвенной среды (pH) и содержание легкорастворимых солей.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Объект исследования – газообразные продукты горения от сжигания сосновых опилок. Почва в эксперименте – чернозем обыкновенный южно-европейской фации карбонатный тяжелосуглинистый (*Calcik Chernozem*). Для эксперимента использовали свежевысушенную почву.

Для опыта по фумигации почвы использовали дымогенератор Merkel Standart (Россия), воздушный компрессор Hailia Aco 208 (Китай), с интенсивностью продувания воздуха 17,5 л/мин. Для обработки почвы дымом использовали контейнер на 50 литров. Поскольку высокие температуры играют важную роль в изменении биохимических показателей, теплового воздействия от дымогенератора не было ввиду особенностей конструкции. При этом почву помещали контейнеры, объемом 200 мл, массой 40 г в трехкратной повторности. Далее контейнеры помещали в газовую камеру для обработки дымом.

После экспериментов выполняли лабораторные анализы. Каталазу определили волюметрическим методом А.Ш. Галстяна по скорости разложения перекиси водорода. Пероксидазу и полифенолоксидазу – колориметрическим методом Л.А. Карягиной и Н.А. Михайловой с субстратом гидрохиноном. Инвертазу определили при помощи метода, основанный на определении оптической плотности реактива Феллинга после восстановлении $CuSO_4$ глюкозой, образующейся из инвертированной сахарозы (Казеев и др., 2016).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты исследования по задымлению чернозема обыкновенного свидетельствуют о чувствительности данного типа почв к стрессору. Активность каталазы снизилась на 10% по сравнению с контролем (почва без воздействия дыма). А при увеличении времени фумигации каталаза снизилась еще 15% по отношению к 15-минутному воздействию (Рис.1).

Таким образом прослеживается четкая закономерность изменения фермента. Лабораторные анализы остальных почвенных ферментов также показали достоверное снижение активности (Рис. 2).

Также был выполнен дополнительный опыт по фумигации почвы, целью которого было выявление максимальной глубины проникновения дыма. Результаты этого опыта показали, что влияние газообразных веществ ограничивается первыми сантиметрами почвы. Фермент класса оксидоредуктаз (каталаза) оказалась более восприимчивым к дыму. В слое 0–1 см зафиксирован наибольший эффект. Так, значение каталазы после 30 минут в данном слое снизилось на 19%, после 60 на 28%, после 120 минут на 37%. Были изменения также в слое 1–2 см и 4–5 см, однако они не были ярко выражены как в первом слое. Таким образом установлена глубина проникновения дыма в почву и закономерность изменения ферментов в зависимости от времени.

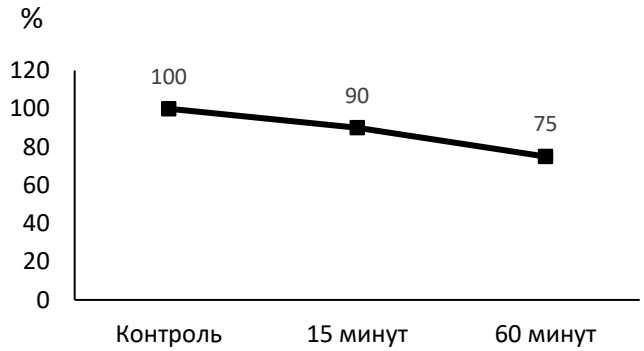


Рис. 1. Влияние дыма на снижение каталазы (%) после 15 и 60 минут обработки почвы дымом

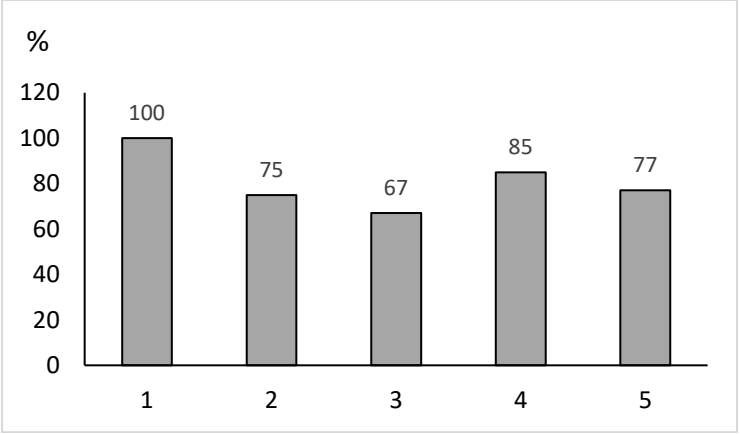


Рис. 2. Снижение ферментативной активности почвенных ферментов после 60 минут обработки дымом
1 – контроль, 2 – каталаза, 3 – полифенолоксидаза, 4 – пероксидаза, 5 – инвертаза

Стоит отметить, что ранее было исследовано воздействие фумигации на почву, а также растения (Klose S. and Ajwa Husein, 2004; Li et al., 2017; Nicola et al., 2017). Но в данных публикациях не описан эффект дыма от пожаров, в них лишь описывается влияние различных химических соединений, которые образуют препараты-стимуляторы воздействия на почву и растения. Они в силу своий

специфики способствуют стимулированию биологических процессов, а не влиянию на почву. Поэтому текущее исследование – влияние дыма от пожаров на биологическую активность почв является актуальным.

ВЫВОДЫ

Дым вследствие своей высокой токсичности оказывает негативное влияние на биологическую активность чернозема обыкновенного. Наиболее чувствительным ферментом оказалась каталаза из класса оксидоредуктаз. Дым от сосновых опилок также влияет и на глубину проникновения газообразных веществ в почву. При этом важным параметров является время фумигации. Воздействие будет заметнее при увеличении срока влияния дыма. Вероятно, из-за осаждения летучих соединений, таких как оксиды азота, углерода, фенольных соединений и многих других произошло снижение ферментативной активности.

Полученные результаты и закономерности воздействия одного из факторов пирогенного воздействия (дыма) могут быть использованы для оценки состояния почв и почвенного покрова наиболее пострадавших от пожаров территорий.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Исследования проведены при финансовой поддержке ведущей научной школы Российской Федерации (НШ-449.2022.5) и Программы стратегического академического лидерства Южного федерального университета ("Приоритет 2030", СП-12-22-9).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Казеев К.Ш., Колесников С.И., Акименко Ю.В., Даденко Е.В.* Методы диагностики наземных экосистем. Ростов-на-Дону Изд-во ЮФУ. 2016. 356 с.
2. *Казеев К.Ш., Одабашян М.Ю., Трушков А.В., Колесников С.И*. Оценка влияния разных факторов пирогенного воздействия на биологические свойства чернозема // Почвоведение. 2020. № 11. С. 1372–1392.
3. *Auld T.D., Denham A.J*. How much seed remains in the soil after a fire? // Plant Ecology. 2006. Vol. 187. P. 15–24. https://doi.org/10.1007/s11258-006-9129-0
4. *Johnson E.* Fire and vegetation dynamics – studies from the North American

Boreal Forest // Journal of Ecology. 1993, p. 81.
5. Just M.G., Hohmann M.G., Hoffmann W.A. Where fire stops: vegetation structure and microclimate influence fire spread along an ecotonal gradient // Plant Ecology. 2016. Vol. 217. P. 631–644. https://doi.org/10.1007/s11258-015-0545-x
6. *Kazeev K.Sh., Vilkova V.V., Nizhelsky M.S. Kolesnikov S.I., Minkina T.M., Sushkova S.N., Mandzhieva S.S., Radzhput V.D., Shkhapatsev A.K., Rudenok Y., Bykhalova O.N.* Consequences of the catastrophic wildfire in 2020 for the soil cover of the Utrish State Nature Reserve // Sains Tanah. 2022. Vol. 19. No.1. P. 52–59. https://doi.org/10.20961/stjssa.v19i1.58709
7. Klose S., Ajwa Husein A. Enzyme activities in agricultural soils fumigated with methylbromide alternatives // Soil Biology and Biochemistry. 2004. P. 1625–1635. https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2004.07.009
8. Li J., Huang B., Wang Q., Li Y., Fang W., Yan D., Guo M., Cao A. Effect of fumi-gation with chloropicrin on soil bacterial communities and genes encoding key enzymes involved in nitrogen cycling // Environmental Pollution. 2017. P. 534–542. https://doi.org/10.1016/j.envpol.2017.03.076
9. Lucas-Borja M.E., de las Heras J., Navarro D.M., González-Romero J., Peña-Molina E., Navidi M., Fajardo-Cantos A., Mellado I.M, Plaza-Alvarez P.A., Carrà B.G., Wagenbrenner J. W., Zema D.A. Short-term effects of prescribed fires with different severity on rainsplash erosion and physico-chemical properties of surface soil in Mediterranean forests // Journal of Environmental Management. 2022. Vol. 322. Number article 116143. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.116143
10. Nicola L., Turco E.R., Albanese D., Donati C., Thalheimer M., Pindo M., Insam H., Cavalieri D., Pertot I. Fumigation with dazomet modifies soil microbiota in apple orchards affected by replant disease // Applied Soil Ecology. 2017. Vol. 113. P. 71–79 https://doi.org/10.1016/J.APSOIL.2017.02.002
11. Plue J., Van Calster H., Auestad I., Basto S., Bekker R.M., Bruun H.H., Chevalier R., Decocq G., Grandin U., Hermy M., Jacquemyn H., Jakobsson A., Jankowska-Błaszczuk M., Kalamees R., Koch M.A., Marrs R.H., Marteinsdóttir B., Milberg P., Måren I.E., Pakeman R.J., Phoenix G.K., Thompson K., Vandvik V., Wagner M., Auffret A.G.. Buffering effects of soil seed banks on plant community composition in response to land use and climate // Global Ecology and Biogeography. 2020. Vol. 30. P. 1–12. https://doi.org/10.1111/geb.13201
12. *Wright C.S, Agee J.K.* Fire and vegetation history in the eastern cascade mountains, Washington // Ecological Applications. 2004. Vol. 14. P. 443–459. https://doi.org/10.1890/02-5349

УДК 631.4

Учет влажности черноземов при оценке содержания органического вещества с помощью спектрометрии

© 2022 г. Р.В. Окунев*, Е.В. Смирнова, К.Г. Гиниятуллин,

И.А. Сахабиев

ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет»,
Россия,
420008, Казань, ул. Кремлевская, 18,
* *tutinkaz@yandex.ru*

Резюме: В работе показан простой способ использования значений влажности почвы для корректировки результатов БИК-спектрометрии. Было отобрано 59 образцов чернозема выщелоченного, в которых определяли содержание влаги, органического углерода (Сорг) и гидролизуемого азота (Nгид). Снятие спектров проводилось в двух каналах портативного полевого БИК-спектрометра (1714-2320 и 1067-1714 нм). После предварительной обработки спектров были построены корреляционные графики между содержанием органического углерода, гидролизуемого азота и показателями отражения. Результаты проведенных анализов показали, что учет влажности значительно увеличивает связи между изучаемыми свойствами почвы и спектральными характеристиками. В диапазоне спектра 1067-1704 нм после применения корректировки максимальные связи, как для Сорг, так и для Nгид были обнаружены при длине волны 1200 нм (r=0,57). Для второго канала спектрометра (1723-2316 нм) максимальные значения корреляции были обнаружены при длинах волн 1745 и 1900 нм и составили r=0,37 и 0,52 для Сорг, r=0,37 и 0,43 для Nгид соответственно.
Ключевые слова: БИК-спектрометрия, отражательная способность почв, органическое вещество почвы.

Accounting of moisture content of chernozems when assessing the content of organic matter using spectrometry

© 2022 R.V. Okunev*, E.V. Smirnova, K.G. Giniyatullin,

I.A. Sahabiev

Kazan (Volga Region) Federal University,
18 Kremlyovskaya str, Kazan, 420008, Russian Federation,
[*] *e-mail: tutinkaz@yandex.ru,*

Abstract: The study shows a simple way to use soil moisture values to correct the results of NIR spectrometry. Samples (59) of leached chernozem were selected, in which the content of moisture, organic carbon (Corg) and hydrolysable nitrogen (Nhyd) was determined. The spectra in two channels of a portable field NIR spectrometer (1714-2320 and 1067-1714 nm) were obtained. After pre-processing of the spectra, correlation graphs between the content of organic carbon, hydrolysable nitrogen, and reflectance indices were constructed. The results of the analisys showed that using moisture content data increase the relationship between the studied soil properties and spectral characteristics. In the spectral range of 1067-1704 nm, after applying the correction by soil moisture, the maximum correlation for both Corg and Nhyd were the same at a wavelength of 1200 nm (r=0.57). For the second channel of the spectrometer (1723-2316 nm), the maximum correlation values were found at wavelengths of 1745 and 1900 nm and amounted to r=0.37 and 0.52 for Corg, r=0.37 and 0.43 for Nguide, respectively.

Keywords: NIR spectrometry, soil reflectance, soil organic matter.

ВВЕДЕНИЕ

Исследования по изучению возможности применения разных вариантов спектрометрии показывают, что данный вид анализа способен с достаточной точностью предсказывать содержание влажности, общего азота и углерода, фракций ГМС, а также ряд других почвенных свойств (Ahmadi et al., 2021; Savin, Vindeker, 2021). Одним из ограничений широкого использования спектрометрии для прогноза почвенных свойств является влияние на спектры внешних условий среды. Важной проблемой применения ближнего ИК-диапазона является сильное влияние влажности почвы на спектральные характеристики (Roudier et al., 2017). Так, для почв, в которых частицы окружены водой показатели преломления меньше, чем для сухих почв, в которых частицы окружены воздухом. К тому же, водяная пленка вокруг частиц дополнительно отражает энергию. Уменьшение коэффициента отражения с увеличением содержания влаги нелинейно и не одинаково для разных почв (Nocita et al., 2013).

В работе нами проводилась оценка учета влажности почвы на возможность прогноза содержания органического углерода и гидролизуемого азота.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Отбор образцов почв проводился в 2021 году с поля площадью 313 га в зоне лесостепных черноземов Республики Татарстан. Всего было отобрано 59 образцов (1 смешанный образец на 5 га пашни) в соответствии с требованиями ГОСТ 28168-89. Одновременно с отбором проб для анализов проводилось измерение влажности с применением портативного полевого влагомера (TDR 100), и отбор проб почвы для определения влажности весовым методом.

Измерение отражательной способности свежих образцов, доставленных с поля, проводилось в ближнем ИК диапазоне в двух каналах (1714-2320 и 1067-1714 нм) портативного спектрометра Vision 2 GO (Р-АЭРО, Россия). Спектры проходили базовую обработку в программах Vision 2 GO и Spekwin32. Проводилось сглаживание спектров и их нормализация.

Определение органического углерода в воздушно-сухих образцах почв просеянных через сито с диаметром пор 0,25 мм проводили на CNH-анализаторе Vario Max Cube (Elementar, Germany), гидролизуемый азот определялся по методу Корнфилда.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Среднее содержание органического углерода по результатам анализов составило 5,27±0,81% (Табл.1). Вариация показателя средняя (КВ=15,0%). Содержание гидролизуемого азота варьировало в диапазоне от 146 до 202 мг/кг с низким значением коэффициента вариации (8,1%). Среднее содержание легкогидролизуемого азота 100,45±19,49 мг/кг. В основном большинство элементарных участков имела среднюю обеспеченность по данному показателю.

Таблица 1. Результаты определения содержания органического углерода и гидролизуемого азота в образцах чернозема выщелоченного (n=59, p<0,05).

Показатель	Сорг, %	Nгид, мг/кг
Среднее	5,27	173

Медиана	5,19	171
Стандартное отклонение	0,81	14
Минимум	3,69	146
Максимум	7,90	202
КВ, %	15,0	8,1

Измерение влажности в полевых условиях с помощью портативного влагомера показало несколько завышенные результаты и с большим варьированием, поэтому для оценки влияния влажности на ИК-спектры использовали результаты определения показателя весовым методом (Табл. 2).

Таблица 2. Статистическая характеристика результатов определения влажности в почвах весовым методом и с помощью портативного влагомера (влажность в %, n=59, p>0,05).

Статистический показатель	Результаты определения влажности весовым методом	Результаты определения влажности с помощью портативного влагомера
Среднее	27,35	39,21
Мин. значение	21,69	28,23
Макс. значение	35,01	52,67
Размах варьирования	13,32	24,43
Коэффициент вариации, %	11,5	14,00

После предварительной обработки ИК-спектров полученных в двух каналах ближнего ИК-диапазона для установки связей между показателем отражения и содержанием Сорг и Nгид проводился корреляционный анализ по Спирмену (Рис. 1). В диапазоне спектра 1067-1704 нм для свежих образцов почв между показателем отражения и содержанием органического углерода значимая связь (r<0,27) обнаруживалась только при длинах волн 1090 и 1200 нм, а для Nгид обнаружена не была. Для корректировки спектров отражения по влажности использовали следующую формулу:

$$Rw = \frac{W * R\lambda}{100}$$

где Rw – скорректированный по влажности показатель отражения, ед.; W – влажность образца почвы, %; Rλ – показатель отражения при длине волны λ, ед.

После применения корректировки корреляционные связи заметно увеличились на протяжении всего спектрального диапазона. Максимальные связи, как для Сорг, так и для Nгид были обнаружены при длине волны 1200 нм и составили для обоих показателей r=0,57.

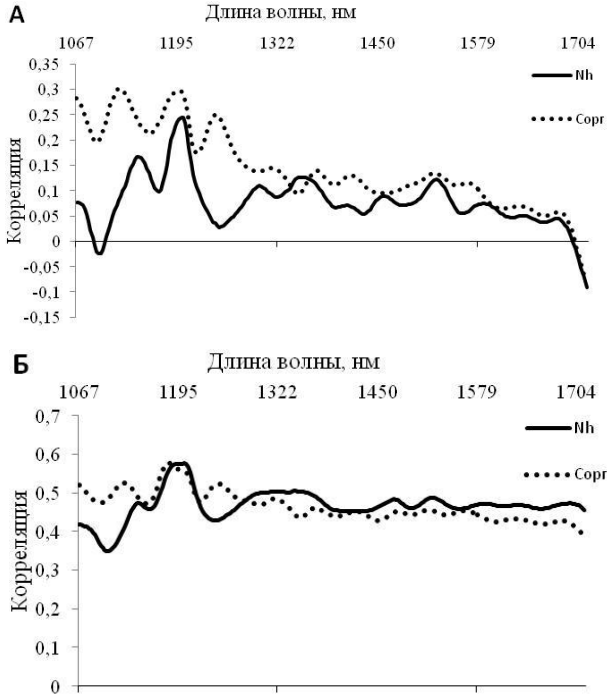


Рис. 1. Графики коэффициентов корреляции между значениями отражения при каждой длине волны и значениями содержания Nh (гидролизуемый азот), Сорг (органический углерод) в диапазоне длин волн 1067-1704 нм до (А) и после (Б) корректировки спектров по влажности

Для второго канала спектрометра до корректировки коэффициенты корреляции на протяжении всего спектрального диапазона (1723-2316 нм) были незначительными (r= от 0,01 до -0,26), однако использование данных по влажности увеличило связи на протяжении всего спектрального диапазона. Для изучаемых свойств почвы максимальные значения корреляции были обнаружены при длинах волн 1745 и 1900 нм и составили r=0,37 и 0,52 для Сорг, r=0,37 и 0,43 для Nгид соответственно.

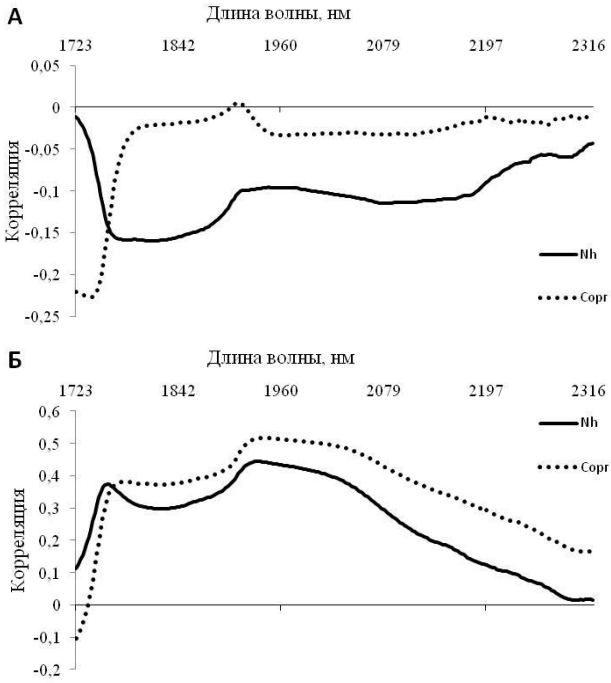


Рис. 1. Графики коэффициентов корреляции между значениями отражения при каждой длине волны и значениями содержания Nh (гидролизуемый азот), Сорг (органический углерод) в диапазоне длин волн 1723-2316 нм до (А) и после (Б) корректировки спектров по влажности

ВЫВОДЫ

Таким образом, при исследовании некоторых свойств методами ближней ИК-спектрометрии даже таких почв, как черноземы, содержание органического вещества которых выше, чем у других типов, отчетливо просматривается влияние влажности на показатели отражения. В нашем случае, использование данных по содержанию влажности позволил значительно увеличить коэффициенты корреляции между интенсивностью спектров и содержанием органического углерода и гидролизуемого азота в почвах, что в итоге так же положительно влияет и на возможность прогноза данных показателей.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, проект № 19-29-05061 мк.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Ahmadi A., Emami M., Daccache A., He L.* Soil Properties Prediction for Precision Agriculture Using Visible and Near-Infrared Spectroscopy: A Systematic Review and Meta-Analysis // Agronomy. 2021. Vol. 11. Art. 433.
2. *Nocita M., Stevens A., Noon C., van Wesemael B.* Prediction of soil organic carbon for different levels of soil moisture using Vis-NIR spectroscopy // Geoderma. 2013. Vol. 199. P.37-42. DOI: 10.1016/j.geoderma.2012.07.020.
3. *Roudier P., Hedley C.B., Lobsey C.R.,* Viscarra Rossel R.A., Leroux C. Evaluation of two methods to eliminate the effect of water from soil vis–NIR spectra for predictions of organic carbon // Geoderma. 2017. Vol. 296. P. 98-107, DOI: 10.1016/j.geoderma.2017.02.014.
4. *Savin I.Y., Vindeker G.V.* Some Specifics in Using Optical Properties of Soil Surface for Moisture Detection // Eurasian Soil Science. 2021. Vol. 54. P. 1019-1027. DOI: 10.1134/S1064229321070127.

УДК 631.434.1

Изменение микростроения чернозема типичного под действием водной эрозии (Курская область)

© 2022 г. О.О. Плотникова[1*], М.П. Лебедева[1], В.В. Демидов[2]

[1]ФГБНУ ФИЦ «Почвенный институт им. В.В. Докучаева», Россия,
119017, Москва, Пыжевский пер, 7, стр. 2,
[*] e-mail: mrs.plotnikova@mail.ru
[2]МГУ имени М.В. Ломоносова, Россия,
119234, г. Москва, Ленинские горы, д.1, стр.12

Резюме: В связи с широким развитием процессов водной эрозии на планете и в нашей стране, угрожающих плодородию почв, и, как следствие, продовольственной безопасности государства, необходимо всестороннее изучение последствий водной эрозии для понимания, какие меры помогут предотвратить эрозию почв в будущем. Работы по оценке микростроения плодородного слоя эродированных сельскохозяйственных почв единичны. Таким образом, целью исследования являлось сравнение микроструктуры пахотных горизонтов черноземов типичных несмытого, слабо- и среднесмытого и целинного чернозема. Образцы были отобраны на Опытном поле ВНИИЗиЗПЭ и в ЦЧЗ им. Алехина. Наше исследование показало, что с увеличением степени смытости черноземов типичных происходит разрушение микроструктуры почвы с образованием глыбистых агрегатов почв и увеличением доли пор-трещин. Также ухудшается гумусное состояние, снижется интенсивность гумификации, уменьшается глубина появления ассимилированных биогенных агрегатов с мелким кальцитом. Наиболее сильно по сравнению с целинным черноземом ухудшилась микроструктура среднесмытого пахотного чернозема. Если в целинном черноземе преобладает комковато-зернистая микроструктура, то в среднесмытом черноземе преобладает угловато- и округлоблоковая микроструктура, что является признаком чрезмерного уплотнения почвы, вызванного проездом тяжелой техники во время вспашки и культивации. Также в результате сельскохозяйственной обработки уменьшилось биоразнообразие почвенной экосистемы, что привело к уменьшению разнообразия органических остатков в пахотных черноземах по сравнению с целинной.

Ключевые слова: микроморфология, деградация почв, Haplic Chernozem.

Changes in the microstructure of Haplic Chernozem under the influence of water erosion (Kursk region, Russia)

© 2022 O.O. Plotnikova[1*], M.P. Lebedeva[2], V.V. Demidov[2]

[1]FRC V.V. Dokuchaev Soil Science Institute,
7 Bld. 2 Pyzhevskiy per., Moscow 119017, Russian Federation,
[*] e-mail: mrs.plotnikova@mail.ru
[2]Moscow State University,
Leninskie Gory 1-12, Moscow 119991, Russian Federation

Abstract: Due to the widespread development of water erosion processes that threaten soil fertility and, as a result, the food security of the state, it is necessary to comprehensively study the consequences of water erosion to understand what measures will help prevent soil erosion in the future. The works on the assessment of the microstructure of the fertile layer of eroded agricultural soils are isolated. Thus, the aim of the study was to compare the microstructure of arable horizons of non-eroded, slightly and moderately eroded Haplic Chernozems with the microstructure of humus horizon of virgin Haplic Chernozem. Soil samples were taken at the Experimental Field of All-Russian Research Institute of Agriculture and Soil Erosion Control and at the Central Black Earth Nature Reserve. The destruction of soil microstructure with the formation of lumpy peds and an increase in the proportion of plane voids occur with an increase in the degree of erosion of arable Chernozems. A deterioration in the humus state, a decrease in the intensity of humification, a decrease in the depth of the appearance of assimilated biogenic aggregates with fine calcite occur with an increase in the degree of erosion of arable Chernozems. The microstructure of moderately eroded arable Chernozem deteriorated the most in comparison with virgin Chernozem. If crumb-granular microstructure prevails in virgin Chernozem, then angular and subangular blocky microstructure prevails in moderately eroded Chernozem, which is a sign of excessive compaction of the soil caused by the passage of heavy machinery during plowing and cultivation. Also, as a result of agricultural processing, the biodiversity of the soil ecosystem decreased, which led to a decrease in the diversity of organic residues in arable Chernozems compared to virgin Chernozem.

Keywords: micromorphology, soil degradation, typical chernozem.

ВВЕДЕНИЕ

Эрозия почв является важнейшей экологической проблемой как в управляемых, так и в естественных экосистемах мира. В

глобальном масштабе скорость эрозии почв оценивается в 1,7-10,5 т/га в год, что средний показатель на общую сельскохозяйственную площадь составляет 4,2 т/га в год (Doetterl et al., 2012). Обычно значения T (soil loss tolerance – устойчивость почвы к потерям) устанавливаются на уровне, близком к постоянному, 1,62 или 2,02 т/га в год, несмотря на широкий диапазон устойчивости почвы к эрозии (Beach, Gersmehl, 1993). России в зависимости от подтипа черноземов и степени их эрозии, а также от методов ведения сельского хозяйства устойчивость почвы к потерям в Центрально-Черноземном регионе колеблется от 0,3 до 10 т/га в год (Kuznetsov, Abdulkhanova, 2003). Известно, что развитие водной эрозии приводит к ухудшению физических и химических свойств черноземов, частичной или полной утрате плодородия (Масютенко и др., 2015). Нами показано, что из-за действия эродирующих водных потоков происходит изменение микроморфологических характеристик и частичное или полное разрушение транспортируемых почвенных агрегатов (Плотникова и др., 2018). Гипотеза исследования состоит в том, что ручейковая эрозия влияет на микроструктуру верхнего горизонта черноземов. Из этой гипотезы происходит задача исследования: сравнить микроструктуру пахотных горизонтов черноземов типичных разной степени смытости с микроструктурой верхней части гумусового горизонта целинного чернозема.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Объект изучения: чернозем типичный целинный ЦЧЗ им. Алехина, чернозем типичный пахотный несмытый, слабо- и среднесмытый Опытного поля ВНИИЗиЗПЭ.

Метод изучения: микроморфологический. Из образцов ненарушенного сложения изготовлены почвенные шлифы, их съемка и анализ проведены с помощью оптического поляризационного микроскопа Olympus BX51 с цифровой фотокамерой Olympus DP26 (Центра коллективного пользования научным оборудованием «Функции и свойства почв и почвенного покрова» ФГБНУ ФИЦ «Почвенный институт им. В.В. Докучаева») с применением международной микроморфологической терминологии, переведенной на русский язык (Герасимова и др., 2011; Stoops, 2021). Для анализа

микростроения целинного чернозема (слой 0-20 см) использованы архивные шлифы из шлифотеки Почвенного института.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты. Микроструктура верхней части гумусово-аккумулятивного горизонта типичного целинного чернозема представлена сочетанием комковатой, зернистой микроструктур и небольшого количества округло-блоковых агрегатов (Рис.1 A, B).

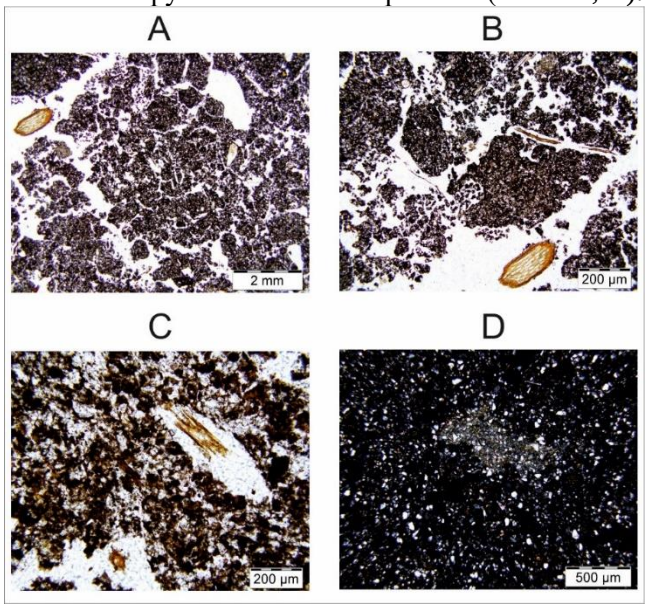


Рис. 1. Особенности микростроения гумусово-аккумулятивного горизонта целинного чернозема типичного: A, B – микроструктура, органические остатки, экскременты микрофауны (PPL); C – гумусное состояние (PPL); D – занесенный из горизонта B агрегат (XPL)

Тонкодисперсное вещество изотропно ввиду того, что оптически ориентированное глинистое вещество покрыто изотропным гумусом (Stoops, 2021). Органическая часть почвы представлена аморфным пропиточным тонкодисперсным органическим веществом и гумусовым пигментом, содержание которого высокое, и большим количеством остатков растительных органов и тканей (рис. 1 A-C). Также присутствуют крупные сплывшиеся

экскременты микрофауны, состоящие из материала горизонта В и имеющие раздельно-чешуйчатую оптическую ориентацию глинисто-гумусового тонкодисперсного вещества, в отличие от окружающего материала (Рис. 1D).

Несмотря на присутствие угловато- и округло-блоковых агрегатов, в пахотных горизонтах наблюдается высокая агрегированность, существенная выраженность комковатой и зернистой структур (Рис. 2). В составе порового пространства преобладают поры-каналы и межагрегатные поры. При этом в верхних частях пахотного горизонта несмытого и среднесмытого черноземов отмечено сильное сплывание агрегатов, формирование глыбистых отдельностей с широкими порами-трещинами между ними (Рис. 2 A, E), причем в среднесмытом черноземе глыбистость выражена сильнее. В приповерхностной части пахотного горизонта слабосмытой почвы не отмечено такого выраженного сплывания и деградации структуры.

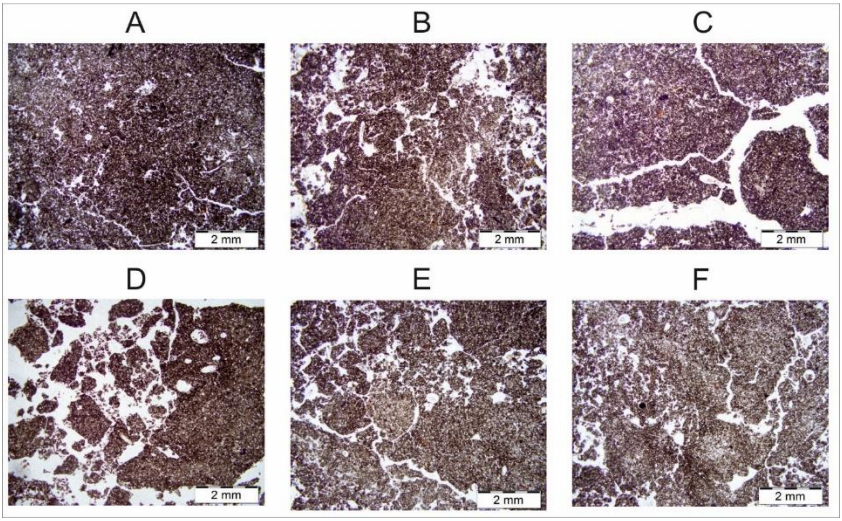


Рис. 2. Микроструктура пахотных горизонтов черноземов типичных (PPL): A, D – несмытый, глубина 7-12 и 36-41 см соответственно; B, E – слабосмытый, глубина 6-11 и 20-25 см соответственно; C, F – среднесмытый, глубина 6-11 и 15-20 см соответственно

Гумусовое вещество во всех изученных пахотных горизонтах исследуемых почв представлено темным (до черного) точечным гумусом и гумусовыми сгустками, соединенными мостиками, в несмытом черноземе также есть гумусовые хлопья. С увеличением степени смытости отмечены: уменьшение количества и размера сгустков, уменьшение доли сгустков, связанных мостиками, нарастание относительной доли точечного гумуса. В горизонте Ap среднесмытого чернозема цвет сгустков бурый. Кроме того, с увеличением степени смытости в составе органического вещества возрастает доля органических остатков средней степени разложенности.

В пахотном горизонте несмытого чернозема карбонатов нет, встречаются единичные ассимилированные агрегаты из глинистого материала горизонта ABk, имеющего раздельно-чешуйчатую оптическую ориентацию. Агрегатов из материала нижележащего горизонта в пахотном горизонте слабосмытого чернозема также немного, однако тонкодисперсная масса в них уже имеет кристаллитовую оптическую ориентацию, присущую карбонатному составу. В среднесмытом черноземе ассимилированные агрегаты тоже имеют кристаллитовую оптическую ориентацию тонкодисперсной массы, а их встречаемость чаще – около 10 штук на шлиф из нижней части горизонта в сравнении с 1-2 штуками в слабосмытом черноземе. Помимо этого, в слабосмытом и среднесмытом черноземах встречены зерна кальцита в основной почвенной массе, причем в слабосмытом черноземе единично, а в среднесмытом – более 10 на шлиф. В верхней части пахотного горизонта слабосмытого чернозема в поре обнаружен спаритовый инфиллинг.

Обсуждение. В целом комковато-зернистая микроструктура характерна для гумусово-аккумулятивного горизонта целинного типичного чернозема (Герасимова и др., 1992), но наибольшую эти типы микроструктур занимают в целинной почве. При этом, с одной стороны, пахотные черноземы наследуют от целинного варианта хорошо развитую пористость, однако интенсивное сельскохозяйственное использование, включающее регулярные обработки тяжелой техникой, вызывает уплотнение и последующее формирование глыбистой структуры, на микроуровне проявляющееся в отмеченной нами округло-блоковой микроструктуре. Высокая плотность и низкая пористость, обнаруженные в микроструктуре пахотного горизонта неэродированного чернозема, обусловлены двумя

причинами. Во-первых, разрушение первоначальной структуры под воздействием сельскохозяйственной техники (Санжарова и др., 1988) и, во-вторых, переувлажнение из-за слабого поверхностного стока. «Здоровая» структура верхней части горизонта Ap слабоэродированного чернозема объясняется его транзитным положением на склоне, приводящим к хорошему боковому оттоку влаги. Глыбистую микроструктуру среднесмытого чернозема можно объяснить припахиванием горизонта AB, содержащего карбонат кальция, являющийся структурообразователем. Последнее вызывает повышение водостойкости капиллярно увлажненной почвы с увеличением степени эрозии (Плотникова, 2021).

Осветление гумуса в среднесмытом черноземе объясняется как снижением соотношения гуминовых кислот к фульвокислотам по сравнению с неэродированным черноземом (Масютенко и др., 2016), так и перераспределением органического вещества вниз по профилю в результате длительной вспашки (Кухарук и др., 2011). Увеличение доли среднеразложившихся органических остатков в органическом веществе указывает на снижение интенсивности гумификации (Герасимова и др., 1992) с увеличением степени эрозии почвы. Спаритовый инфиллинг в среднесмытом черноземе является результатом биологической активности – концентрации карбоната кальция корнями растений. Присутствие мелкокристаллического кальцита в основной массе слабо и умеренно эродированных черноземов может быть результатом либо ассимиляции агрегатов горизонта Bk, привнесенных во время вспашки, либо интенсивного испарения раствора бикарбоната кальция с последующим осаждением микрокристаллов в основной массе при отсутствии поблизости крупных пор (Парфенова, Ярилова, 1977). Таким образом, происходит уменьшение содержания и разнообразия форм гумуса и появление дополнительного цементирующего агента – карбоната кальция в пахотном горизонте с увеличением степени эрозии почвы. Оба эти процесса приводят к дестабилизации структуры почвы и, как следствие, к снижению эрозионной стойкости пахотных черноземов на склонах (Артемьева и др., 2021).

ВЫВОДЫ

С увеличением степени смытости черноземов типичных происходит разрушение микроструктуры почвы с образованием глыбистых агрегатов почв и увеличением доли пор-трещин. Также ухудшается гумусное состояние, снижется интенсивность гумификации, уменьшается глубина появления ассимилированных биогенных агрегатов с мелким кальцитом. Наиболее сильно по сравнению с целинным черноземом ухудшилась микроструктура среднесмытого пахотного чернозема. Если в целинном черноземе преобладает комковато-зернистая микроструктура, то в среднесмытом черноземе преобладает угловато- и округлоблоковая микроструктура, что является признаком чрезмерного уплотнения почвы, вызванного проездом тяжелой техники во время вспашки и культивации. Также в результате сельскохозяйственной обработки уменьшилось биоразнообразие почвенной экосистемы, что привело к уменьшению разнообразия органических остатков в пахотных черноземах по сравнению с целинной.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Artemyeva Z.S., Danchenko N.N., Kirillova N.P., Masyutenko N.P., Dubovik E.V., Kuznetsov A.V., Kogut B.M.* The Effect of Erosion Processes on the Content and Composition of Organic Matter in Macro-and Microaggregates of Haplic Chernozem // Eurasian Soil Sc. 2021. Vol. 54. P. 1659–1667. https://doi.org/10.1134/S1064229321110028
2. *Beach T., Gersmehl P.* Soil Erosion, T Values, and Sustainability: A Review and Exercise // Journal of Geography. 1993. Vol. 92(1). P. 16–22. https://doi.org/10.1080/00221349308979120
3. *Doetterl S., Van Oost K., Six J.* Towards constraining the magnitude of global agricultural sediment and soil organic carbon fluxes // Earth Surf. Process. Landforms. 2012. Vol. 37. P. 642–655. https://doi.org/10.1002/esp.3198
4. *Kuznetsov M.S., Abdulkhanova D.R.* Soil Loss Tolerance in the Central Chernozemic Region of the European Part of Russia // Eurasian Soil Science. 2013. Vol. 46. No. 7. P. 802–809. http://dx.doi.org/10.1134/S1064229313050074
5. *Stoops G.* Guidelines for analysis and description of soil and regolith thin sections. John Wiley & Sons (Publ.), 2021. 240 p.
6. *Герасимова М.И., Губин С.В., Шоба С.А.* Микроморфология почв природных зон СССР. Пущино: изд-во ПНЦ РАН. 1992. 219 с.

7. *Герасимова М.И., Ковда И.В., Лебедева М.П., Турсина Т.В.* Микроморфологические термины как отражение современного состояния исследований микростроения почв // Почвоведение. 2011. № 7. С. 804–817
8. *Кухарук Н.С., Чендев Ю.Г., Петин А.Н.* Микроморфологические особенности органического вещества при агрогенной трансформации почв лесостепной зоны // Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Естественные науки. 2011. № 15(110). С. 168-179.
9. *Масютенко Н.П., Глазунов Г.П., Кузнецов А.В., Масютенко М.Н.* Система показателей агроэкологической оценки эродированных черноземов // Достижения науки и техники АПК. 2016. Т. 30. № 11. С. 7-11.
10. *Масютенко Н.П., Глазунов Г.П., Санжаров А.И., Кузнецов А.В., Афонченко Н.В., Олешитский В.В.* Влияние степени эродированности на показатели экологического состояния черноземных почв // Достижения науки и техники АПК. 2015. Т. 29. № 8. С. 19-23.
11. *Парфенова Е.И., Ярилова Е.А.* Руководство к микроморфологическим исследованиям в почвоведении. М.: Наука. 1977. 198 с.
12. *Плотникова О.О.* Роль транспортирующей способности водных потоков в изменении некоторых свойств поверхностных горизонтов эродированных черноземов типичных (на примере Курской области) : автореферат дис. … канд. биол. наук : 03.02.13. [Место защиты: МГУ имени М.В.Ломоносова] – Москва, 2021. 25 с.
13. *Плотникова О.О., Демидов В.В., Лебедева М.П.* Действие мелководных потоков на поверхностные горизонты чернозема типичного различной степени смытости // Бюл. Почв. ин-та им. В.В. Докучаева. 2018. № 91. С. 85–109. https://doi.org/10.19047/0136-1694-2018-91-85-109
14. *Санжарова С.И., Бганцев В.Н., Скворцова Е.Б.* Структурное состояние чернозема типичного разной длительности сельскохозяйственного использования. В кн.: Микроморфология антропогенно измененных почв. М.: Наука. 1988. С. 64–74.

УДК 631.4

Почвенно-геоботанические записи эволюции разновозрастных залежей Ярославского Поволжья на фоне климатических изменений

© 2022 г. А.В. Русаков[1*], Д.М. Мирин[1], Ю.В. Симонова[1], Н.А. Лемешко[1], М.П. Лебедева[2]

[1]ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет», Россия,
199034, Санкт-Петербург, Университетская набережная, д. 7/9,
[*] e-mail: spp-06@mail.ru

[2]ФИЦ «Почвенный институт им. В.В. Докучаева», Россия,
119017, Москва, Пыжевский пер, 7, стр. 2

Резюме: Выявлен тренд морфо-генетических изменений свойств почв под залежами возрастом от 3–5 до 30–34 лет на примере 38 разрезов, изначально диагностированных как автоморфные дерново-подзолистые и серые почвы в ходе крупномасштабного почвенного картографирования почвенного покрова Ярославской области (1984–1991 гг.). Мониторинговые разрезы на залежах закладывались на месте старых с большим пространственным разрешением в меридиональном направлении, охватывая северные и южные агроклиматические районы области. В подавляющем большинстве случаев в верхней части профиля постагрогенных почв сформирована дернина (начиная с возраста 7–9 лет); у половины профилей почв диагностировано наличие через 15–20 лет вновь образованных серо- и темногумусовых горизонтов, сменяющиеся пахотными постагрогенными слоями, с тенденцией к плитчатой структуре, появлением отбеленных зон. Преимущественно в почвах северного района диагностировано появление устойчивых на макро-, мезо- и микроуровнях морфологических признаков оглеения в основном у суглинистых разностей. На залежах появляются или увеличивают свое обилие гигрофиты и гигромезофиты, а также мезофиты, выдерживающие временное затопление и в естественных местообитаниях, характерных для пойменных лугов. Выявлено, что в более влажных условиях сукцессия растительности идет быстрее и раньше формируется лесное сообщество на месте заброшенной пашни. Установлен 30-летний тренд изменения агроклиматических показателей, выраженный в увеличении суммы активных температур на 180–200 °С на фоне незначительных изменений

режима увлажнения. Специфика постагрогенной эволюции почв должна учитываться при их возможном вовлечении в пахотное состояние.

Ключевые слова: залежи, эволюция почв, климатические изменения, Ярославское Поволжье

Soil and geobotanical records of the abandoned lands with different age evolution of the Yaroslavl Region against the background of climate change

© 2022 I. A.V. Rusakov[1*], D.M. Mirin[1], Yu.V. Simonova[1], N.A. Lemeshko[1], M.P. Lebedeva[2]

[1]Saint Petersburg State University, 7–9, Universitetskaya nab., Saint Petersburg 199034, Russian Federation
[*] e-mail: spp-06@mail.ru

[2]Federal Research Centre "V.V. Dokuchaev Soil Science Institute", 7 Bld. 2 Pyzhevskiy per., Moscow 119017, Russian Federation

Abstract: The trend of change of the morpho-genetic features of soils of abanded lands with different ages from 3–5 to 30–34 years was identified in the case of 38 soil profiles, which were diagnosed previously as automorphic Retisols Aric and Phaeozems Aric. The plowed soils were studied during large scale soil mapping of the Yaroslavl Region in 1984–1991. The monitoring soil profiles of abandoned lands were dug on a previous site with a large spatial resolution in the meridional direction, covering the northern and southern agro-climatic regions of the studied area. In many cases, in the upper parts of soil profiles of postagrogenic soils, the sod layers after 7–9 have appeared. In the half quota of soil profiles, the new humus horizons formed after 15–20 were formed. These horizons are underlain by plowed postagrogenic layers, which have a tendency to platy structure and new bleached zones. Mostly by soils formed within the northern districts of the studied area, the appearance of stable morphological geologic features, mainly by loamy soils, on a macro-, meso-, and micro-scale was diagnosed. Hygrophytes and hygromesophytes had appeared on abandoned lands, as well as mesophytes, which can survive temporary waterlogging in the natural habitats typical of floodplain meadows. It was revealed that in more humid conditions, the succession of vegetation developed faster and a forest community was formed earlier on the site of an abandoned arable land. A 30-year trend of changes in agro-climatic indicators has been established, expressed in an increase in the sum of air temperatures during the growing season by 180–200 °C against the background of minor changes in the humidification regime. The specifics of the postagrogenic

evolution of soils should be taken into account when it is possible to involve the abandoned soils in the arable state.

Keywords: Abandoned lands, Soil evolution, Climate change, Yaroslavl Region

ВВЕДЕНИЕ

Для анализа агроресурсного потенциала залежных почв Нечерноземья и выявления тренда их эволюционных изменений в морфологии и свойствах в период постагрогенеза крайне важно знать всестороннюю исходную характеристику бывших агропочв; только в этом случае возможно объективно оценить тренд развития почв постагрогенных сукцессий и разработать подходы к возможному вовлечению залежных почв для использования вновь под пахотные угодья. Прогресс современного глобального потепления приводит к изменениям в окружающей среде и его последствия проявляются не только в климатических параметрах, но и в природных экосистемах (IPCC, 2021).

Задачи данной работы: выявить тренды эволюционных изменений агропочв и геоботанического состояния залежей Ярославского Поволжья после снятия антропогенной нагрузки, с учетом актуальных параметров климата.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Изменения свойств почв под разновозрастными залежами проводили на примере 38 разрезов почв, изначально диагностированных как автоморфные дерново-подзолистые и серые почвы в ходе крупномасштабного почвенного картографирования почвенного покрова Ярославской области (1984–1991 гг.). Мониторинговые разрезы (2019–2021 гг.) на залежах закладывались на месте старых с большим пространственным разрешением в меридиональном направлении (наибольшая удаленность разрезов друг от друга составляет ~ 300 км), охватывая северные (Пошехонский и Брейтовский) и южные агроклиматические районы области, к которым относятся Угличский, Ростовский и Переславский административные районы.

На пробных площадях размером 20×20 м с центром на опорном разрезе почвы описана растительность (Ипатов, Мирин, 2008);

в пределах однородного по растительности контура внутри пробной площади пробурены визуально самые старшие деревья, по годичным кольцам определен их возраст. В случае отсутствия взрослых деревьев и наличия подроста максимальный возраст присутствующих древесных растений определен путем подсчета годичных приростов на побеге.

Методический подход для выявления отклика почв на изменения климата основан на сравнении агроклиматических показателей для двух периодов, соответствующих отбору почв – 1961–1990 гг. и 1991–2021 гг. Для расчетов тенденций изменения климата привлечены данные метеорологических наблюдений для 8 метеорологических станций, наиболее близко расположенных к исследуемой территории и дополнительные 6 станций по ближайшим областям.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Тренды изменений агропочв залежей. В наибольшей степени изменения в почвах залежей произошли в строении бывших пахотных горизонтов, а именно: у 45% профилей изученных почв диагностировано наличие уже в течение 15–20 лет вновь образованных серогумусовых AYpa (они преобладают в выборке, средняя мощность – 8 см) и темногумусовых AUpa горизонтов (средняя мощность – 16 см) с характерной зернистой/комковатой структурой, зачастую выраженной и в агрогумусовых постагрогенных горизонтах (Рис. 1). Как правило, под перечисленными выше горизонтами залегают пахотные постагрогенные слои; они же полностью слагают прогумусированную толщу в случае отсутствия горизонтов AYpa и AUpa. Установлено, что у трети изученных разрезов имеется лишь один постагрогенный горизонт; в этом случае его средняя мощность не превышает 28 см. С увеличением мощности бывшего пахотного горизонта в среднем до 30 см, более чем у половины профилей появляются 2 постагрогенных горизонта. В 15% случаев при увеличении исходной пахотной толщи в среднем до 35 см диагностируются уже 3 постагрогенных горизонта; при этом нижние горизонты отличаются более светлой окраской, тенденцией к плитчатой/постшлировой структуре (Рис. 1), появлением отбеленных зон, особенно по верхним граням педов.

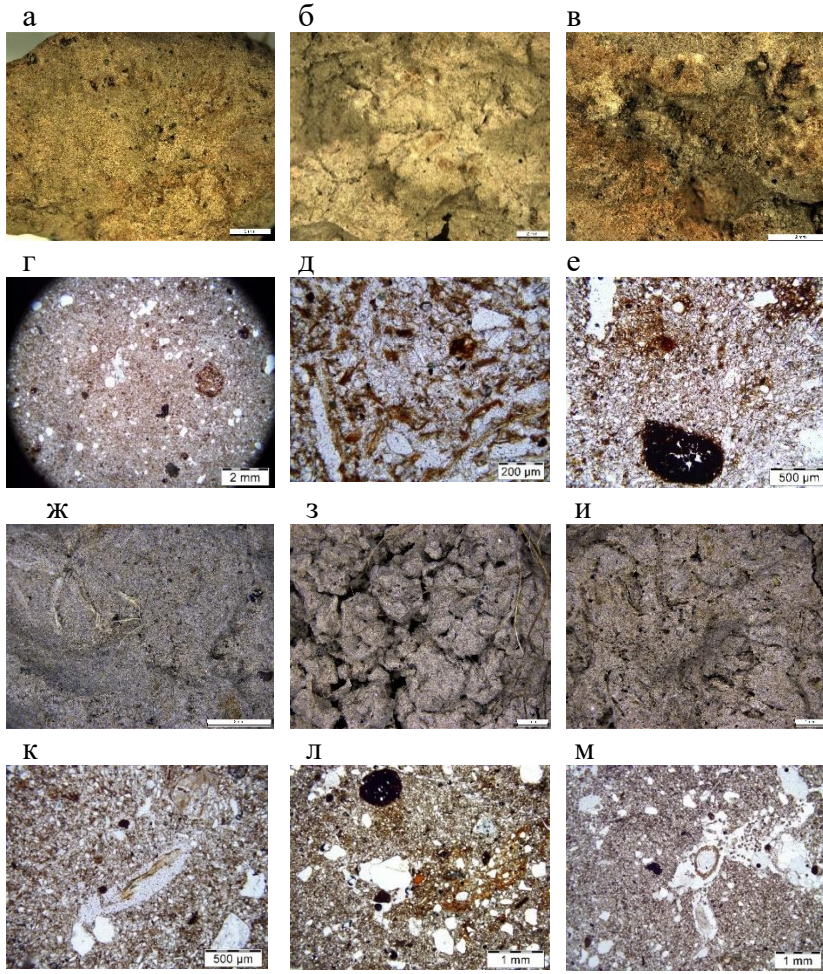


Рис 1. Мезо- и микроморфологическое строение пахотных и залежных почв Пошехонского района Ярославской области. а–в, к–м – мезоморфология; ж–и, к–м – микроморфология (николи ||). а,г – гор. Р (0– 28 см) агродерново-подзолистой почвы на покровных суглинках, подстилаемых мореной (пашня 1989 г.); песчано-плазменно-пылеватый материал, плотная упаковка, кубически-угловатые агрегаты, глинисто-Fe агрегаты округлой формы, единичные Fe- нодули разного размера,

неравномерность распределения гумусовой плазмы. б,д – гор. Ppa1g (10–15 см) – та же почва, но глеевая постагрогенная (20-летняя залежь); комковато-тонкоплитчатый, гумусовая изотропная плазма, бурые гумусовые сгустки (модер), мелкие растительные гумифицированные остатки, обилие Fe-Mn-нодулей, стяжений, конкреций. в,е – гор. Ppa2g (25–30 см) той же почвы; Fe-углефицированные остатки, септалий, многообразие Fe-новообразований: диффузные прослойки, мелкие стяжения, рыхлые нодули с обесжелезненной зоной. ж,к – гор. P (0–30 см) – агродерново-подзолистая на покровных суглинках, подстилаемых карбонатной мореной (пашня 1989 г.); комковатый, уплотненный, единичные мелкие Fe-нодули, растительные остатки; з,л,м – гор. Ppa1 (10–15 см) – та же почва, но постагрогенная (залежь 25–29 лет); зернисто-комковатый, пористый, копролиты, Fe-нодули, кольцевая ориентация песчаных зерен, разрушенный фрагмент морфона из гор. BT; и – гор. Ppa (22–28 см) той же почвы; комковато-плитчатый, пористый, мелкие Fe-Mn конкреции и пятна

В ряде случаев в постагрогенных горизонтах присутствуют припаханные фрагменты нижележащих горизонтов, сохраняющиеся даже у зрелых 35-летних залежей. Зачастую пятна припашки имеют диффузные границы относительно вмещающей толщи (на мезо- и микроуровне), что свидетельствует об инициации процесса дезинтеграции припаханных морфонов (Рис. 1). На значительную ассимиляцию припаханного материала срединного горизонта на микроуровне указывают оглиненные зоны без резких границ. Также на уровне микростроения в постпахотных горизонтах имеются признаки зональной прогумусированности. Характерной особенностью изученных постагрогенных почв является наличие устойчивых морфологических признаков оглеения, ранее не диагностируемых у этих почв до перевода их в залежь. Такие изменения выявлены в половине случаев, причем основная часть приходится на почвы залежей Пошехонского района (северный агроклиматический район). О режиме переувлажнения на макро-, мезо- и микроуровне говорит наличие сизых пятен и сизый оттенок в основном цвете. Во многих случаях было обнаружено периодическое оглеение, о чем свидетельствует сегрегация Fe и Mn. Многочисленные Fe пятна (до 10 мм), Fe-Mn примазки и мелкие Fe-Mn конкреции (3–5 мм), нодули, стяжения и пятна разной формы особенно обильные в белесоватой части из припаханного материала,

наблюдаются как во внутрипедной массе, так и по стенкам педов (Рис. 1). В срединных горизонтах на уровне микростроения заметно разделение на сизоватые и ожелезненные зоны, зонально выражено обезжелезивание. Наличие зон с высокой степенью оптической ориентации глины струйчатого типа свидетельствует о современном процессе локальной подвижности глины вблизи магистральных пор при оглеении. Результаты оценки морфологических изменений почв приведены нами ранее (Simonova et al., 2021).

Геоботанические записи эволюции залежных почв. Выявлено, что в подавляющем большинстве случаев (73%) в верхней части профиля залежных почв сформирована дернина средней мощностью до 5 см; морфологически четко она выражена на залежах, начиная с возраста 7–9 лет. Дернину формирует весь травостой, но основную роль в ее формировании играют дерновинные злаки и осоки. Наблюдалась тенденция уменьшения общего проективного покрытия (ОПП) трав в ряду север–юг (Пошехонский – Брейтовский – Угличский – Ростовский – Переславский районы). Видовой состав и обилие отдельных видов растений на описанных залежах в разных районах Ярославской области несколько различался. Во-первых, зафиксировано уменьшение обилия главных рыхлодерновинных трав, играющих ведущую роль в формировании дернины – *Festuca pratensis, F.rubra, Phleum pratense* и др. Во-вторых, по сравнению с возвышенностями на равнинах ниже участие относительно неустойчивых к периодически анаэробным почвенным условиям видов (*Calamagrostis epigejos, Campanula glomerata, Carum carvi, Centaurea jacea, Hieracium umbellatum* и др.). По этой же причине там же повышено участие на залежах влаголюбивых видов – гигрофитов и гигромезофитов (*Athyrium filix-femina, Calamagrostis canescens, Impatiens noli-tangere* и др.). Выявлено, что в Переславском районе (Владимирское ополье) сукцессия растительности идет быстрее и раньше формируется лесное сообщество на месте заброшенной пашни по сравнению с залежами центральной и северной частей области. В южном направлении увеличивается в целом участие лесных и опушечных видов в составе фитоценозов на залежах до 32 лет давности забрасывания пашни (*Adoxa moschatellina, Dryopteris carthusiana, Elymus caninus, Paris quadrifolia, Pyrola rotundifolia, Rubus saxatilis, Scrophularia nodosa* и др.). Увеличение покрытия мохового яруса на указанном градиенте может быть связано не

с повышением влажности почвы, а с более лесным характером растительности и меньшим участием дерновинных злаков, отрицательно влияющих на обилие мохообразных. Проведенные исследования площадок выявили тесную связь между устойчивыми признаками гидроморфизма в постагрогенных почвах с наличием и участием в проективном покрытии влаголюбивых трав (ВТ), устойчивых к временному дефициту кислорода у корней (гигрофиты и гигромезофиты). Так, если оглеение выражено только в гумусированной толще, то указанные выше представители ВТ имеют долю в проективном покрытии в пределах 0,2–18,3%; если признаки оглеения охватывают срединные и нижние части профилей – то доля ВТ увеличивается до 0,9–25,3%. Наконец, если оглеен весь почвенный профиль, то участие ВТ в проективном покрытии этих почв достигает 2,0–36,0%.

Тренд агроклиматичеких изменений Ярославского Поволжья за 30-летний период. Анализ термического режима региона показал значительные изменения температуры воздуха за последние 60 лет. Рост температуры воздуха наблюдается за все месяцы года, отмечается положительная тенденция средней годовой температуры воздуха с линейным трендом 0,4ºС/10 лет за период 1960–2020 гг. Наиболее потеплели зима и весна. Аномалии средней температуры в зимние месяцы составляют от 1,2ºС до 2,6ºС. Существенных изменений количества атмосферных осадков не выявлено, однако произошли изменения внутригодового распределения осадков. Отмечено уменьшение сумм осадков в апреле, июле, сентябре и декабре и незначительных их рост в остальные месяцы, однако, не превышающий величину межгодовой изменчивости.

ВЫВОДЫ

Постагрогенная трансформация агропочв в наибольшей степени затронула верхнюю часть профиля: уже через 6 лет у большинства исследованных почв формируется дернина, у половины профилей уже через 15 лет – вновь образованные серо- и темногумусовые горизонты, близкие по морфологии к таковым у зональных почв. В нижележащих постагрогенных горизонтах выявлены признаки плитчато-постшлировой структуры, зональной прогумусированности и проявление элювиальных процессов. Установлено

появление устойчивых морфологических признаков оглеения в профиле большинства бывших автоморфных агропочв Ярославского Поволжья, особенно в его северной и центральной частях. Ранее нами было показано (Simonova et al., 2021b), что за последние десятилетия в бассейне Верхней Волги на фоне повышения температуры воздуха произошли сдвиги в годовом ходе атмосферных осадков, что привело к изменениям в почвенно-грунтовом водном режиме, что не могло не сказаться на морфологии и свойствах постагрогенных почв. Выявлена тесная связь между признаками гидроморфизма в постагрогенных почвах с наличием и участием в ООП растений, объединенных в группы гигрофитов и гигромезофитов. Специфика постагрогенной эволюции почв должна учитываться при их возможном вовлечении в пахотное состояние.

Работа проведена при поддержке грантов РФФИ 19-29-05243; микроморфологические исследования проводились с использованием поляризационного микроскопа нового поколения Olympus BX51 с цифровой камерой Olympus DP26 (оборудование ЦКП научным оборудованием ФГБНУ ФИЦ «Почвенный институт им. В.В. Докучаева»); мезоморфологические исследования почв проведены в РЦ микроскопии и микроанализа СПбГУ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Ипатов В.С., Мирин Д.М.* Описание фитоценоза: методические рекомендации. СПб, 2008. 71 с.
2. *Кузьмина Ж.В., Трешкин С.Е.* Методика оценки нарушений в наземных экосистемах и ландшафтах в результате климатических и гидрологических изменений // Экосистемы: экология и динамика. 2017. Т. 1. № 3. С. 56–65.
3. *Селянинов Г.Т.* О сельскохозяйственной оценке климата // Труды по с.-х. метеорологии, 1928. Вып. 20. С. 169–178.
4. IPCC, 2021: Summary for Policymakers. In: Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S. L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M. I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T. K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press. In Press.
5. *Simonova J.V, Rusakov A.V., Lebedeva M.P. et al.* Morphological

characteristics and features of soils in connection with post-agrogenic and recent climatic trends (a case-study from Central European Russia) // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2021a, Vol. 862 (2021) 012072 IOP Publishing doi:10.1088/1755-1315/862/1/012072.
6. *Simonova Ju., Rusakov A., Ryumin A. et al.* The response of salt-affected hydromorphic soils of the Nero Lake basin to the recent climate change within the Upper Volga Region, Russia // Soil & Tillage Research, 2021b. Vol. 207. doi.org/10.1016/j.still.2020.104871

УДК 631.4

Влияние *Heracleum sosnowskyi* Manden. на плодородие постагрогенных почв (на примере Республики Коми)

© 2022 г. Ю.А. Смотрина[1*], Е.М. Лаптева[2], И.Г. Захожий[2], И.В. Далькэ[1,2]

[1]Сыктывкарский государственный университет им. Питирима Сорокина, Россия,
167001, Сыктывкар, Октябрьский пр-т, 55,
[*] smotrina-juliya@yandex.ru
[2]Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения Российской академии наук, Россия,
167982, Сыктывкар, ул. Коммунистическая,28.

Резюме: Получены новые данные об аккумуляции и поступлении в почвы постагрогенных экосистем органического вещества и биофильных элементов при их зарастании борщевиком Сосновского (БС). Показано, что в биоклиматических условиях средней тайги при формировании монодоминантных зарослей БС возврат в постагрогенные почвы органического углерода составляет до 7.4 т/га, азота общего – до 208 кг/га, зольных элементов – до 876 кг/га. Значительный объем ежегодного поступления надземной и подземной фитомассы БС в постагрогенные почвы Севера способствует сохранению и поддержанию их плодородия. По сравнению с залежными лугами, постагрогенные почвы под зарослями БС отличаются накоплением углерода, азота, биофильных элементов и снижением почвенной кислотности. Внедрение БС в постагрогенные экосистемы в условиях средней тайги и формирование моновидовых сообществ БС на залежных землях оказывает влияние на микробные сообщества почв. Это влияние прослеживается в изменении эколого-трофической структуры микроорганизмов, возрастании величины углерода микробной биомассы и повышении активности в постагрогенных почвах ферментов каталазы и инвертазы).

Ключевые слова: постагрогенные экосистемы, борщевик Сосновского, почвенное плодородие.

Influence of *Heracleum sosnowskyi* Manden. on the fertility of post-agrogenic soils (on the example of the Komi Republic)

© 2022 Yu.A. Smotrina[1*], E.M. Lapteva[2], I.G. Zakhozhiy[2], I.V. Dalke[1,2]

[1]Pitirim Sorokin Syktyvkar State University,
55 Oktober prospekt, Syktyvkar 167001, Russian Federation,
[*] e-mail: smotrina-juliya@yandex.ru,

[2]Institute of Biology, Komi Science Centre, Ural Branch, Russian Academy of Sciences,
28 Kommunisticheskaya str., Syktyvkar 167982, Russian Federation.

Abstract: We obtained the data on soil accumulation and introduction of organic matter and biophilic elements in the post-agrogenic ecosystems overgrown with *Heracleum sosnowskyi* (HS). In the bioclimatic conditions of the middle taiga, formation of monodominant HS thickets ensures the return of organic carbon to post-agrogenic soils of 7.4 t/ha, that of total nitrogen and ash elements – 208 and 876 kg/ha, relatively. The significant amount of annual input of aboveground and underground phytomass of HS into post-agrogenic soils of the North preserves and maintains their fertility. In contrast with fallow meadows, post-agrogenic soils under HS thickets successfully accumulate carbon, nitrogen, biophilic elements and are comparatively low-acidic. The introduction of HS into post-agrogenic ecosystems under conditions of the middle taiga subzone, as well as the formation of HS monospecies communities on fallow lands affects the microbial soil communities. The soil microorganisms undergo changes in ecological and trophic structure, increase in carbon content of microbial biomass and in the activity of a number of soil enzymes (catalase, invertase).

Keywords: post-agrogenic ecosystems, *Heracleum sosnowskyi*, soil fertility.

ВВЕДЕНИЕ

Во многих регионах Российской Федерации, в т.ч. и в Республике Коми (РК), вывод сельскохозяйственных угодий из режима агропроизводства тесно связан с проблемой масштабной инвазии в постагрогенные экосистемы борщевика Сосновского (БС) – *Heracleum sosnowskyi* Manden. Известно, что при интродукции БС в культуру его посевы характеризовались достаточно высокой урожайностью. В частности, в условиях РК посевы БС в агроценозах давали до 230–240 т/га зеленой массы за два укоса (Коюшев, Гавринцева, 1980). Как предшественник он положительно влиял в севооборотах на урожайность однолетних культур, способствуя увеличению их урожайности (Рубан, 1995). В условиях современной экономической ситуации активное внедрение БС на залежные

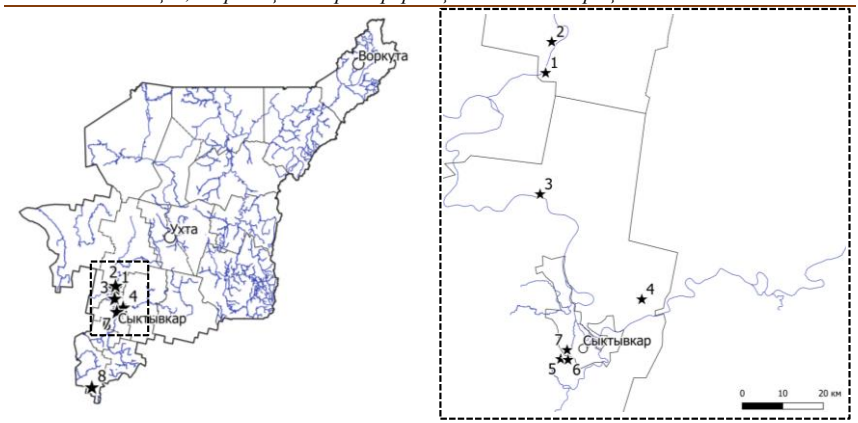
участки требует оценки его воздействия на свойства почв сельхозугодий на этапе их постагрогенной трансформации.

Цель данной работы заключалась в выявлении закономерностей изменения почвенного плодородия и биологических свойств почв в постагрогеннных экосистемах средней тайги.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Исследования проводили с 2019 по 2022 гг. в окрестностях г. Сыктывкара (РК, подзона средней тайги). Объектами изучения послужили почвы бывших пахотных угодий, занятые в настоящее время моновидовыми зарослями БС (Рис. 1). На всех ключевых участках почвы – дерново-подзолистые постагрогенные суглинистого гранулометрического состава.

На ключевых участках оценивали структуру и запасы фитомассы БС на учетных площадках площадью 1.5х1.5 м в 5-кратной повторности. В образцах почв (глубина отбора 0–20 см) определяли содержание углерода (Собщ.) и азота (Nобщ.) на CHNS-O анализаторе EA 1110, содержание обменных катионов (Ca^{2+}, Mg^{2+}) – вытеснением 1 M KCl с последующим атомно-эмиссионным определением на ICP Spectro Ciros CCD (ГОСТ 26487-85), pH солевой вытяжки – потенциометрически в экоаналитической лаборатории, аккредитованной Федеральной службой по аккредитации (уникальный номер записи об аккредитации в реестре аккредитованных лиц РОСС RU.0001.511257). Биологические свойства почв оценивали на основе характеристики активности отдельных ферментов – каталазу определяли газометрическим методом, инвертазу – методом А.Ш. Галстяна (Казеев, Колесников, 2012). Кроме того, оценивали в почвах содержание и соотношение эколого-трофических групп микроорганизмов – ЭТГМ (Методы…, 1991), а также величину углерода микробной биомассы методом субстрат-индуцированного дыхания (Ананьева и др., 2011).



А Б

Рис. 1. Места расположения участков проведения исследований на территории Республики Коми: 1 – окр. с. Ляли; 2 – окр. с. Серегово; 3 – окр. с. Часово; 4 – окр. с. Озел; 5, 6, 7 – окр. г. Сыктывкар; 8 – окр. дер. Крутотыла

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Установлено, что в постагрогенных экосистемах средней тайги *H. sosnowskyi* сохраняет достаточно высокую продуктивность – на долю сухой фитомассы надземных и подземных органов БС приходится соответственно 14.5±3.9 и 7.7±1.6 т/га. Ежегодно около 78.1% фитомассы БС (надземная часть растений и стеблекорни генеративных растений) отмирает, обеспечивая поступление в почву значительного количества растительного материала (до 17.4 т/га сухого вещества). В его составе в почву возвращается органического углерода до 7.4 т/га, азота общего – до 208 кг/га, зольных элементов – до 876 кг/га (Лаптева и др., 2021). Возврат такого количества биофильных элементов способствовал снижению кислотности почв (в 1.0–1.1 раза) и возрастанию в них содержания Собщ. (в 1.1–2.3 раза), Nобщ. (в 1.1–2.4 раза), биофильных элементов (в 1.3–1.5 раза) по сравнению с почвами постагрогенных экосистем со злаково-разнотравной растительностью (Рис. 2).

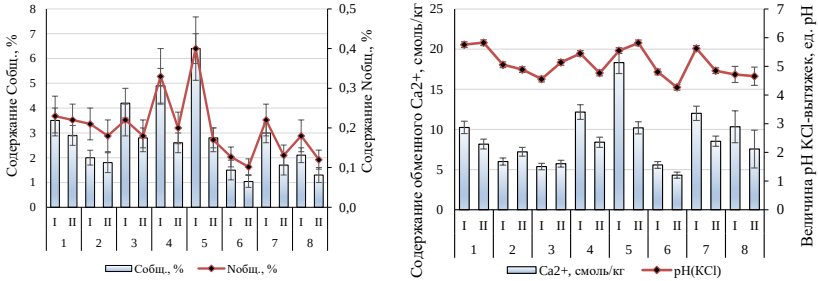


Рис. 2. Содержание общего углерода (Собщ.), общего азота (Nобщ.), обменных катионов кальция (Ca^{2+}) и величина pH KCl-вытяжек) в почвах под зарослями борщевика Сосновского (I) и на залежных участках со злаково-разнотравной растительностью (II). Арабскими цифрами по оси абсцисс отмечены номера ключевых участков в соответствии с рис. 1.

Исследование биологических свойств почв под зарослями БС на постагрогенных участках показало, что в целом уровень их ферментативной активности соответствует биоклиматическим условиям средней тайги (бедная и/или средняя степень обогащения ферментами). Однако по сравнению с залежными лугами для постагрогенных участков с монодоминантными зарослями БС отмечен более высокий уровень содержания фермента каталазы (в 1.5 раза) и инвертазы (в 1.1–1.9 раз). Это соотносится с более высокими (в 2.5 раза) показателями здесь углерода микробной биомассы – около 600 мкг С/г почвы.

Известно, что внедрение БС на залежные участки ведет к существенной перестройке дрожжевых (Глушакова и др., 2015) и актиномицетных (Товстик и др., 2018) комплексов в почвах. Нами установлено изменение в постагрогенных почвах под зарослями БС структуры ЭТГМ. Оно проявляется в уменьшении в составе микробных сообществ доли олигонитрофильных и олигокарбофильных групп микроорганизмов и возрастании – доли аммонификаторов (32.6%) и амилолитиков (66.2%).

ВЫВОДЫ

В биоклиматических условиях средней тайги внедрение *Heracleum sosnowskyi* на залежные участки существенно влияет на плодородие постагрогенных почв за счет накопления в биомассе БС

значительного количества органического вещества и минеральных элементов. Их ежегодный возврат в почву способствует сохранению и поддержанию в течение длительного времени почвенного плодородия и изменению биологических свойств постагрогенных почв по сравнению с залежными лугами.

Работа выполнена в рамках тем государственного задания ИБ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН (номера госрегистрации: 122040600023-8 и 122040600021-4).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Ананьева Н.Д., Сусьян Е.А., Гавриленко Е.Г.* Особенности определения углерода микробной биомассы методом субстрат-индуцированного дыхания // Почвоведение. 2011. № 11. С. 1327–1333.
2. *Глушакова А.М., Качалкин А.В., Чернов И.Ю.* Почвенные дрожжевые сообщества в условиях агрессивной инвазии борщевика Сосновского (*Heracleum sosnowskyi*) // Почвоведение. 2015. № 2. С. 221–227. DOI: 10.7868/S0032180X15020045.
3. *Казеев К.Ш., Колесников С.И.* Биодиагностика почв: методология и методы исследований. Ростов-на-Дону: Изд-во Южного федерального университета, 2012. 260 с.
4. *Коюшев И.А., Гавринцева Н.Е.* Кормопроизводство в Коми АССР. Сыктывкар, 1980. 216 с.
5. *Лаптева Е. М., Захожий И. Г., Далькэ И. В., Смотрина Ю. А., Генрих Э. А.* Влияние инвазии борщевика Сосновского (*Heracleum sosnowskyi* Manden.) на плодородие постагрогенных почв Европейского Северо-Востока (на примере средней тайги Республики Коми) // Теоретическая и прикладная экология. 2021. №3. С. 66–73. DOI: 10.25750/1995-4301-2021-3-066-073.
6. Методы почвенной микробиологии и биохимии / под ред. Д.Г. Звягинцева. М.: Изд-во МГУ, 1991. 304 с.
7. *Рубан Г.А.* Влияние борщевика Сосновского как предшественника на продуктивность однолетних кормовых культур // Интродукция растений на Европейском Северо-Востоке. Сыктывкар, 1995. С. 160–167.
8. *Товстик Е.В., Широких И.Г., Соловьева Е.С., Широких А.А., Ашихмина Т.Я., Савиных В.П.* Изменение почвенной актинобиоты под влиянием инвазии борщевика Сосновского // Теоретическая и прикладная экология. 2018. № 4. С. 114–118. DOI: 10.25750/1995-4301-2018-4-114-118

УДК 631.481

Позднечетвертичный педогенез в лёссово-палеопочвенных сериях долины реки Оби-мазар (Таджикистан)

© 2022 г. О.А. Токарева[1*], М.П. Лебедева[2], П.М. Сосин[3], Р.Н. Кубранов[1]

[1]Институт географии РАН, Россия,
119017, Москва, Старомонетный пер., 29,
** tokareva@igras.ru*

[2]ФИЦ «Почвенный институт им. В.В. Докучаева», Россия,
119017, Москва, Пыжевский пер., 7, стр. 2,
[3]Институт водных проблем, гидроэнергетики и экологии ТНАН, Таджикистан,
734063, Душанбе, ул. Айни, 267.

Резюме: Лессово-почвенные разрезы Средней Азии содержат более 40 педокомплексов, которые охватывают период за последних 2-2,5 млн лет. Наиболее полные и подробные лессово-почвенные серии в мире находятся в лессовом плато Китая и в Афгано-Таджикской депрессии. В Таджикистане опорные разрезы находятся на лессовом плато Ховалинг и активно изучались на протяжении последних 40 лет В.А. Рановым, А.Е. Додоновым, И. Шефером и другими. Эти исследования преимущественно посвящены общей стратиграфии и археологии палеолита. Отмечается острая нехватка данных по строению и условиям формирования главных стратиграфических реперов – педокомплексов, с которыми связаны основные находки каменных орудий. Поэтому для уточнения палеогеографических условий образования лессово-почвенных серий региона важно дать более детальную характеристику строения и свойств разновозрастных слоев лессов и палеопочв.

Настоящая работа посвящена изучению строения и особенностей лёссов и палеопочв верхней части разреза Оби-Мазар, сформировавшихся в ходе последнего ледниково-межледникового цикла, и детальной характеристике почвенных процессов.

Исследованный разрез расположен на правом берегу реки Оби-Мазар напротив деревни Лахути в Ховалингском районе Таджикистана. В его строении выделяют 7 педокомплексов и разделяющие их слои лесса. В основании разреза выражена мощная толща аллювиального галечника. В

этом обнажении открыты уникальные палеолитические памятники с богатой коллекцией каменных артефактов в ПК4-ПК6.

Для изучения свойств первого и второго педокомплексов и залегающих выше и ниже их слоев лесса были выполнены стратиграфическое расчленение и полевое почвенное описание. Для каждого горизонта проведен микроморфологический анализ, проанализированы валовый и гранулометрический состав.

Работа выполнена при поддержке РНФ (проект № 22-18-00568).

Ключевые слова: Поздний Плейстоцен, плато Ховалинг, микроморфология, валовый анализ.

Late Quaternary pedogenesis in loess-paleosol sequence of Obi-Mazar (Tajikistan)

© 2022 O.A. Tokareva[1]*, M.P. Lebedeva[2], P.M. Sosin[3],

R.N. Kurbanov[1]

[1]Institute geography RAS,

29 Bil. Staromonetny per., Moscow 119017, Russian Federation,

** e-mail: tokareva@igras.ru*

[2]Federal Research Centre "V.V. Dokuchaev Soil Science Institute",
7 Bld. 2 Pyzhevskiy per., Moscow 119017, Russian Federation.
[3]Institute of water problems, hydropower and ecology, TNAS,

267 Bil. st. Aini, Dushanbe 734063, Tajikistan.

Abstract: Loess-paleosol sections of Central Asia contain more than 40 pedocomplexes covering the period for the last 2-2,5 million years. The most complete and detailed loess-paleosol series are located in Chinese Loess Plateau and in Afghan-Tajik depression, which is surrounded by mountain systems of Hindukush, Pamir and Hissaro-Alay. In Tajikistan the reference sections are situated in Khovaling Loess Plateau. They were actively studied over the past 40 years by V.A. Ranov, A.E. Dodonov, I. Shaefer and other. These studies were principally dedicated to description of general regional stratigraphy and palaeolithic archeology. There is an urgent shortage of data on the structure and mode of formation of major stratigraphic pinpoints – pedocomplexes (PC), with which the main findings of stone tools are connected. Therefore, to introduce clarity into the paleogeographic formation conditions of the loess-paleosols sequences it is very important to obtain more detailed characteristics of the structure and properties of loess and paleosol units of different age.

This research is dedicated to study of structure and features of loess and paleosols in upper part of the Obi-Mazar section that formed during the last glacial-interglacial cycle and to detailed characteristic of pedogenic processes. Studied section is located on the right band of the Obi-Mazar river just opposite the Lakhuti village in Khovaling region of Tajikistan. The Obi-Mazar section includes 7 pedocomplexes and 7 loess units. The thick layer of alluvium pebbles is expressed in the bottom of the section. There are a number of unique palaeolithic sites with abundant collection of stone tools in PC4-PC6 in this outcrop.

To study features of PC1 and loess unit embedded above (L1), the stratigraphic and field soil description were performed. The micromorphology analysis, grain size and geochemical analysis were carried out for every horizon of L1, PC1, L2 and PC2.

This study was supported by of RSF (project № 22-18-00568).

Keywords: loess-paleosol sequences, Last Pleistocene, micromorphology, Tajikistan

ВВЕДЕНИЕ

Мощные толщи лёссов и заключенные в них почвы обладают значительной полнотой геологической летописи, особенно в таких областях как Северный Китай и Средняя Азия. Уникальность лессово-почвенных разрезов Афгано-Таджикской депрессии заключается в значительной мощности (до 200 м) четвертичных отложений, детальной палеогеографической записи климатических эпох, выраженной чередованием лёссов и погребенных почв - до 120 почв и 40 педокомплексов.

Несмотря на значительную изученность лессово-почвенных серий Таджикистана с точки зрения археологии, надежных современных данных по геохронологии, стратиграфии и геохимии этого региона очень мало. К тому же, существуют лишь отдельные и приблизительные корреляции локальных условий с глобальным климатом. Поэтому очень важно провести палеогеографические, палеопочвенные исследования с использованием современных методов для реконструкции климатических условий прошлого.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Изучаемый лессово-почвенный разрез Оби-Мазар относится к лёссовому плато Ховалинг, расположенному в северо-восточной

части Афгано-Таджикской депрессии на Юге Таджикистана, которая представляет собой впадину между горными системами (Рис.1).

Разрез расположен на правом берегу реки Оби-Мазар в 1 км севернее кишлака Лахути, в Ховалингском районе. Разрез представляет собой стенку крупного молодого оползня высотой более 150 м с мощной толщей лёссов и почв, переходящих в древние аллювиальные отложения (Додонов, Ранов, 1976). В этих разрезах вскрыто 7 педокомплексов. Абсолютные высоты достигают 1300-1400 м.

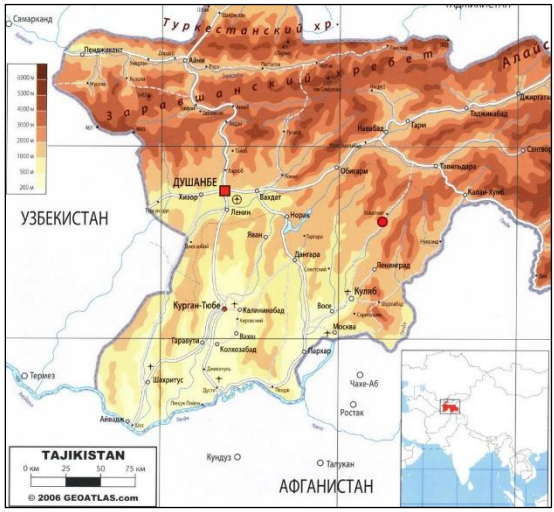


Рис. 1. Топографическая карта Южной части Таджикистана. Красным кружком указан район исследования

Для разреза Оби-Мазар было проведено стратиграфическое расчленение, палеопочвенное описание для каждого горизонта, измерение полевой магнитной восприимчивости и отбор образцов на ряд анализов: микроморфологический, гранулометрический, геохимический.

Для микроморфологического анализа из каждого горизонта вырезали ориентированные ненарушенные монолиты. Шлифы большого размера изготавливали в лаборатории минералогии и микроморфологии Почвенного института им. Докучаева.

Для гранулометрического анализа отбирали образцы по всей глубине разреза каждые 2 см. Пробоподготовку проводили по распространенной методике (Konert, Vendenberghe, 1997; Sprafke et al., 2022) и анализировали методом лазерной дифрактометрии.

Для геохимического анализа из каждого горизонта отбирали среднюю пробу. Просеянные через сито 1 мм образцы анализировали на содержание различных элементов методом рентгенофлуоресцентной энерго-дисперсионной спектроскопии в отделе химии и физико-химии почв почвенного института им. Докучаева. На основе результатов рассчитывали отношения основных элементов и коэффициенты выветривания CIA, CIM (Nesbitt and Young, 1982; Harnois, Moore, 1988). Содержание углерода измеряли методом Тюрина.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Верхняя часть разреза Оби-Мазар включает в себя эродированную коричневую выщелоченную почву. Ниже залегает слой первого лесса (Л1), первый и второй педокомплексы (ПК1 и ПК2), разделенные слоем Л2. В ПК1 выделяется 2 палеопочвы залегающая одна на другой, без подстилающей карбонатной коры. В ПК2 выделяется 2 палеопочвы, разделенные слоем лесса, и подстилается карбонатной корой.

Лессы имеют массивную структуру и пропитаны криптокристаллическим кальцитом. Во всех слоях наблюдаются признаки диагенеза: перераспределение карбонатов в почвенной массе и наличие глинисто-гумусовых агрегатов. Содержание карбонатов в лессах увеличивается с глубиной. В слое Л3 наблюдается увеличение рудных минералов, что указывает на изменение источника.

Первая палеопочва ПК1 содержит 4 горизонта, вторая палеопочва – 3. Верхние горизонты представляют собой переходные гумусовые горизонты. Ниже залегают глинистые горизонты, из которых карбонаты вынесены в нижний карбонатно-аккумулятивный горизонт.

ПК 2 состоит из двух палеопочв, 6 и 4 горизонта, разделенных слоем лесса. Верхние горизонты также являются переходными гумусовыми горизонтами. В срединных горизонтах наблюдаются повышенное содержание глины, а также следы гипса, что указывает

на более аридные условия. Нижний горизонт в палеопочвах представлен карбонатной корой.

Магнитная восприимчивость показывает хорошую корреляцию изучаемых слоев и морских изотопных стадий, однако морфологически выделяется только по две палеопочвы в каждом педокомплексе.

Гранулометрический состав во всей изучаемой толще однородный, глинисто-пылеватый (частицы <250 мкм).

Содержание углерода слабо различается в лессах и палеопочвах, вероятно из-за слабой устойчивости органических веществ во времени. В большинстве случаев, содержание в верхних горизонтах почв несколько выше.

ВЫВОДЫ

1. Вся изучаемая толща однородная глинисто-пылеватая. Содержание углерода низкое и слабо различается между слоями.
2. Во всех выделенных горизонтах наблюдается свидетельства почвенных процессов и биологической активности. Вероятно, несмотря на холодные периоды, внешние условия были достаточно оптимальными для некоторых организмов.
3. Слои Л2 и ПК2 полигенетичны. В них выявлены следы реликтового выщелачивания гипса и аккумуляции гумуса. Это может быть свидетельством изменения климатических условий или гидрологических условий.
4. Слой ПК2 формировался в более аридных условиях, чем ПК1, и в более контрастном водном режиме.
5. Слой Л3 имеет отличный минеральный состав, который может указывать на смену источника материала для лессов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Додонов А.Е., Ранов В.А*. Новые палеолитические находки в лессах бассейна р. Кызылсу (Южный Таджикистан) // БКИЧП. 1976. № 46. С. 99-106.

2. *Лазаренко А.А., Ранов В.А.* Новая палеолитическия стоянка Каратау-1 в Южном Таджикистане // Успехи среднеазиатской археологии. Вып. 3. Л.: Наука, 1975. С . 69-73.

3. *Harnois, L., Moore, J.M*. Geochemistry and origin of the ore chemistry

formation, a transported paleoregolith in the Grenville Province of Southern Ontario // Canada. Chem. Geol. 1988. Vol. 69. P. 267–289.
4. *Konert M., Vendenberghe J.* Comparison of laser size analysis with pipette and sieve analysis: A solution for the underestimation of the clay fraction // Sedimentology. 1997. Vol 44. P. 523-535.
5. *Nesbitt, H., Young, G.M.* Early Proterozoic climates and plate motions inferred from major element chemistry of lutites // Nature. 1982. Vol. 299 (5885). P. 715–717.
6. *Sprafke T., Schule P., Meyer-Heintze S., Handel M., Einwogerer T., Simon U., Peticzka R., Schafer C., Lehmkuhl F., Terhorst B.* Paleoenvironments from robust loess stratigraphy using high-resolution color and grain-size data of the last glacial Krems-Wachtberg record (NE Austria) // Quaternary Science Reviews. 2022. Vol. 248. P. 1-20.

УДК 631.4

Почвенный покров орошаемых агроландшафтов: современное состояние, пути и причины трансформации, тренды эволюции

© 2022 г. Н.Б. Хитров*

ФИЦ «Почвенный институт им. В.В. Докучаева», Россия,
119017, Москва, Пыжевский пер, 7, стр. 2,
** khitrovnb@gmail.com*

Резюме: Обсуждается современное состояние почвенного покрова оросительных систем сухостепной зоны европейской части России. Выделено 5 групп воздействий, оказывающих влияние на трансформацию почвенного покрова при организации орошения земель:(1) строительство и реконструкция оросительных систем (ОС); (2) способы и техника орошения; (3) режим и нормы полива; (4) качество поливных вод; (5) агромелиоративные приемы. В ходе строительства, эксплуатации, реконструкции оросительных систем и периодов богарного использования или вывода из оборота ранее орошавшихся земель исходные каштановые солонцовые комплексы почв трансформируются в более сложные почвенные комбинации, дополнительно включающие линейные ареалы стратифицированных (насыпанных) почв и стратоземов вдоль элементов инфраструктуры оросительных систем, разные варианты почв со срезанной верхней частью профиля при планировке полей, поверхностно-карбонатные по разным причинам почвы. Отмечаются периоды вторичного засоления почв в условиях подъема грунтовых вод и современная тенденция в последние десятилетия постепенного ощелачивания верхних горизонтов почв на фоне их частичного рассоления. Смена антропогенных воздействий провоцирует возникновение намечающихся однонаправленных или чередующихся разнонаправленных трендов эволюционного развития почв, связанных с процессами засоления-рассоления, осолонцевания, эрозионного сноса или намыва, механического преобразования почвенного профиля (полное удаление некоторых горизонтов, перемешивание нескольких горизонтов, формирование новых горизонтов). Отмечена тенденция более частого использования для орошения почв пресных вод с повышенной концентрацией ионов натрия и слабоминерализованных вод из разных местных источников, что вызывает развитие вторичного осолонцевания, ирригационную эрозию и иногда засоление почв.

Ключевые слова: солонцовый комплекс почв, засоленные почвы, вторичное засоление, вторичное осолоцевание, ирригационная эрозия, стратоземы.

Soil cover pattern of irrigated agrolandscapes: modern status, ways and reasons of transformation, evolution trends

© 2022 N.B. Khitrov*

Federal Research Centre "V.V. Dokuchaev Soil Science Institute",
7 Bld. 2 Pyzhevskiy per., Moscow 119017, Russian Federation,
** e-mail: khitrovnb@gmail.com,*

Abstract: Modern status of soil cover patterns at irrigated systems of dry steppe zone in European part of Russia is discussed. Five groups of anthropogenic impacts generated transformation of soil cover pattern under irrigation were formulated: (1) construction and reconstruction of irrifated systems (IS); (2) types and technic of irrigation; (3) regims and norms of irrigation; (4) quality of irrigated waters; (5) agromeliorative tillage. Initial chestnut solonetzic soil cover patterns are transformed into more complex soil combinations during periods of construction, exploitation, reconstruction of IS, dry farming use or agricultural fallow after irrigation. The more complex soil combinations additionally include linear areals of stratificated (spreaded on) soils and stratozems along infrastructure elements of IS, different variants of soils with cut topsoil during field leveling, surface-carbonate soils due to different reasons. Periods of secondary salinization due to groundwater table raising and modern trend of partial desalinization and alkalization of upper soil horizons are fixed. Change of anthropogenic impacts provokes unidirectional or alternating multidirectional trends of soil evolution as a result of salinization-desalinization, solonetzic process, erosion wash or colluvium, mechanical transformation of soil profile (complete removal of some horizons, mixing of several horizons, formation of new horizons). It was revealed more frequent usage trend of fresh waters with increased concentration of sodium ions and brackish waters for irrigation. Use of such waters cases secondary solonetzicity, irrigated erosion and sometimes salinization of soils.

Keywords: solonetzic soil cover pattern, salt-affected soils, secondary salinization, secondary solonetzicity, irrigated erosion, stratozems.

ВВЕДЕНИЕ

Орошение земель – один из мощных видов антропогенных воздействий на почвенный покров и ландшафты в целом,

связанный с существенным изменением водного баланса территории в условиях климатически обусловленного дефицита влаги (Soil survey …, 1979). В России значительная часть орошаемых земель сосредоточена в сухостепной зоне распространения каштановых солонцовых комплексов (Зимовец, 1991; Экологические требования …, 1996). Сведения о разных видах деградации почв обобщены в монографии (Научные основы …, 2013).

Цель – систематизировать представления о тенденциях изменения почвенного покрова оросительных систем сухостепной зоны европейской части России.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Объектом является почвенный покров оросительных систем сухостепной зоны европейской части России.

Выполнены систематизация и анализ исследований сотрудников отдела генезиса и мелиорации засоленных и солонцовых почв Почвенного института им. В.В. Докучаева и литературных сведений о состоянии почв орошаемых ландшафтов и процессах, происходящих в них.

ОСНОВНЫЕ ТЕНДЕНЦИИ ИЗМЕНЕНИЯ СОСТОЯНИЯ ПОЧВЕННОГО ПОКРОВА

Основные тенденции изменения почвенного покрова в последнее столетие обусловлены прямым воздействием на него различных видов деятельности человека и косвенным влиянием изменяющихся климатических, гидрогеологических и социально-экономических условий.

Ведение хозяйственной деятельности сопровождается преобразованием природной структуры комбинаций ареалов почв, которое приводит к формированию новых специфических видов организации почвенного покрова в зависимости от характера и интенсивности землепользования. Возникает новый характер пространственной неоднородности почвенного покрова. С одной стороны, хозяйственная деятельность добавляет новые линейные и очаговые искусственные компоненты покрова, усложняя исходную природную неоднородность, с другой стороны, выравнивает ряд характеристик поверхностных горизонтов почв в пространстве. Специфика

преобразования почвенного покрова может наблюдаться в нескольких направлениях, которые в каждом конкретном ландшафте накладываются друг на друга, вызывая совокупный эффект.

В первую очередь воздействию подвергаются отдельные ареалы почв. Результатом является изменение строения почвенного профиля, разных физических, химических, биологических свойств отдельных, прежде всего, поверхностных почвенных горизонтов, режимов функционирования почвы (теплового, водного, газового, питательного, окислительно-восстановительного, солевого и др.). Степень изменения почвы может быть разной: от минимальной по отдельным характеристикам почвы до преобразования в другую почвенную разность, либо до полного уничтожения исходной почвы. Изменения почв, сопровождающиеся ухудшением состояния и функционирования почв, называют деградацией, выделяя несколько ее видов (Научные основы …, 2013).

Второе направление преобразования почвенного покрова заключается в целенаправленном изменении потоков вещества и энергии в ландшафте, влияющих на функционирование почв: перехват возникающего поверхностного стока вод, дополнительная подача воды (орошение, сброс сточных вод), искусственный отвод поверхностных и/или грунтовых вод (дренаж), изменение отражательной способности поверхности почвы, внесение удобрений, мелиорантов, пестицидов, складирование разного рода отходов или отвалов, поступление из атмосферы загрязняющих веществ от рядом расположенных источников их выброса. Эти изменения в зависимости от конкретных условий приводят к повышению или воспроизводству почвенного плодородия или, наоборот, к разным видам деградации и загрязнения.

Третье направление преобразования почвенного покрова заключается в замене природных почв различного рода непочвенными образованиями: постройками, дорогами, техногенными поверхностными образованиями, рекультивированными грунтами и проч. По своей сути при такой замене часть исходного почвенного покрова физически уничтожается, либо переходит в погребенное состояние. Внедрение в почвенный покров непочвенных образований сопровождается изменением потоков воды, воздушных масс и твердых веществ в ландшафте.

Поскольку почвы представляют собой открытые многофазные дисперсные системы, которые обмениваются веществом и энергией с другими компонентами в ландшафте (приземным слоем атмосферы, растительностью, поверхностными и грунтовыми водами, горными породами), изменения свойств почв происходят в результате действия в них природных или природоподобных процессов.

АНТРОПОГЕННЫЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ И ВОЗНИКАЮЩИЕ ПОД ИХ ВЛИЯНИЕМ ТРАНСФОРМАЦИИ ПОЧВЕННОГО ПОКРОВА ПРИ ОРОШЕНИИ

Можно выделить 5 групп воздействий, оказывающих влияние на трансформацию почвенного покрова при организации орошения земель: (1) строительство и реконструкция оросительных систем (ОС); (2) способы и техника орошения; (3) режим и нормы полива в условиях естественной или искусственной дренированности территории; (4) общая минерализация и качественный состав поливных вод; (5) мелиоративные механические и химические воздействия.

При строительстве ОС происходит дополнительное расчленение территории системой открытых оросительных и дренажных каналов. Их строительство приводит, во-первых, к уничтожению почвенного покрова вдоль линейной трассы канала при создании выемки для его ложа, во-вторых, к уплотнению поверхностных горизонтов почв и их погребению под приканальными насыпями, формируя стратифицированные почвы, или стратоземы, или техногенные поверхностные образования (ТПО) в зависимости от высоты насыпи и состава материала для ее строительства.

При использовании поверхностных способов полива в середине XX века часто выполняли планировку поверхности полей. Она сопровождалась срезкой верхних горизонтов почв на выпуклых элементах мезо- и, прежде всего, микрорельефа, перемешиванием срезанного материала при его транспортировке к вогнутым элементам рельефа, в которых этим материалом засыпали природные почвы. В результате таких действий природная почвенная комбинация на орошаемом участке заметно усложнялась за счет появления новых компонентов: (1) почв со срезанной верхней частью

естественного профиля, в которых пахотный горизонт формировался за счет материала средней части исходного профиля с возможным дополнительным внесением органических удобрений, или натаскиванием материала пахотного горизонта с прилегающих ареалов – различного рода агроземов и агроабраземов, имеющих профиль, похожий на таковой средне-, сильно- и очень сильно- эродированных почв; (2) гумусово-стратифицированных почв и стратоземов гумусовых (насыпанных почв), которые как правило, содержат карбонаты кальция в пахотном горизонте.

Наиболее сильное преобразование почвенного покрова возникало при строительстве рисовых систем с заливаемыми чеками небольших размеров (2-4 га). В условиях наличия выраженного уклона местности, планировка чеков необходимо сопровождалась формированием каскадного расположения чеков. По этим причинам отмеченные выше новые компоненты почвенного покрова часто становились доминирующими или занимали всю площадь орошаемого участка.

Прокладка трасс подземных трубопроводов и систем закрытого дренажа формировала линейные ареалы сильно турбированных насыпанных почв или ТПО на глубину до 1.5-2 м. Возникающие стратоземы в степной и сухостепной зонах обычно содержат карбонаты кальция в большей части профиля, начиная с дневной поверхности.

Во время реконструкции ОС при смене способа и техники полива часть внутрихозяйственной открытой сети каналов засыпают. В результате формируются линейные ареалы насыпанных карбонатных с поверхности почв, в средней части профиля которых ниже бывшего ложа временного оросителя остаются в разной степени промытые от карбонатов и легкорастворимых солей горизонты.

Вторая группа воздействий – способы и технические средства полива земель – оказывает влияние на верхний горизонт почв через пространственное распределение поливной воды и ее механическое воздействие на агрегаты пахотного слоя, образующие дневную поверхность. Неравномерность пространственного распределения воды при поливе постепенно приводит к появлению дополнительной неоднородности почвенного покрова. В частности, возникают ареалы окарбоначенных с поверхности почв за счет капиллярного подтягивания почвенных растворов, насыщенных по

карбонату кальция, к поверхности при испарении и транспирации почвенной влаги в хуже поливаемых участках (Хитров и др., 2021). Механическое разрушение агрегатов пахотного горизонтами крупными каплями при дождевании способствует образованию корки, снижению водопроницаемости почв и образованию глыбистости с системой трещин на поверхности в периоды высыхания.

Режим и нормы полива определяют, с одной стороны, регулирование водообеспеченности выращиваемых растений, с другой, промачивание почвенного профиля, зоны аэрации и водообмен с грунтовыми водами. Последний в значительной степени зависит от условий естественной дренированности территории, наличия и конструкции искусственного дренажа. В прошлом столетии завышенные нормы орошения и недостаточный дренаж вызвал подъем уровня грунтовых вод на многих ОС до глубины 1-3 м, что способствовало развитию вторичного засоления и даже заболачиванию (Зимовец, 1991; Экологические требования …, 1996; Панкова, Новикова, 2004; Горохова и др., 2020).

От качества поливной воды зависит поступление в почву легкорастворимых солей. В последние десятилетия наметилась тенденция более частого использования для орошения почв пресных вод с повышенной концентрацией ионов натрия и слабоминерализованных вод из местных источников. Поступление ионов натрия в почву приводит к накоплению обменного натрия и развитие вторичного осолонцевания. Оно проявляется в снижении водопроницаемости почв, разрушении агрономически ценной структуры, образовании корки и глыбистости. Его следствием становится развитие ирригационной эрозии (Научные основы …, 2013).

Агромелиоративные приемы (глубокое рыхление, ярусные и плантажные вспашки и др.) целенаправлены на механическое разрушение отдельных горизонтов с негативными свойствами и их перемешивание с другими. В результате сильно изменяется верхняя часть почвенного профиля, иногда до значительной глубины, вызывая заметное изменение режимов функционирование и направление эволюции трансформированных почв.

Смена антропогенных воздействий провоцирует возникновение однонаправленных или чередующихся разнонаправленных трендов эволюционного развития почв, связанных с процессами

засоления-рассоления, осолонцевания, эрозионного сноса или намыва, механического преобразования почвенного профиля.

ВЫВОД

В современных условиях при вводе в сельскохозяйственный оборот и реконструкции ранее орошавшихся земель следует учитывать существенное усложнение трансформированного в предыдущие годы почвенного покрова для выбора оптимальных решений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Горохова И.Н., Хитров Н.Б., Кравченко Е.П.* Изменение засоленности орошаемых почв участка Червленое за четверть века (Волгоградская область) / Почвоведение. 2020. № 4. С. 463-472. DOI: 10.31857/S0032180X20040061
2. *Зимовец Б.А.* Экология и мелиорация почв сухостепной зоны. М., Почвенный институт им. В.В. Докучаева, 1991. 249 с.
3. Научные основы предотвращения деградации почв (земель) сельскохозяйственных угодий России и формирования систем воспроизводства их плодородия в адаптивно-ландшафтном земледелии: Т.1. Теоретические и методические основы предотвращения деградации почв (земель) сельскохозяйственных угодий. Коллективная монография. М.: Почвенный институт им. В.В. Докучаева Россельхозакадемии, 2013. 756 с.
4. *Панкова Е.И., Новикова А.Ф.* Мелиоративное состояние и вторичное засоление орошаемых земель Волгоградской области // Почвоведение, 2004, № 6. С. 731-744.
5. *Хитров Н.Б., Горохова И.Н., Панкова Е.И.* Дистанционная диагностика содержания карбонатов в орошаемых почвах сухостепной зоны Волгоградской области / Почвоведение, 2021, № 6, с. 657-674. DOI: 10.31857/S0032180X21060071
6. Экологические требования к орошению почв России / Под общ.ред. Б.А. Зимовца и Н.Б. Хитрова. Составители: Б.А. Зимовец, А.Г. Бондарев, И.П. Айдаров, В.Я. Григорьев, И.И. Судницын, Н.П. Чижикова, Н.Б. Хитров, А.И. Корольков, Т.И. Королькова. М.: Почвенный ин-т им. В.В. Докучаева, 1996. 72 с.
7. Soil survey investigations for irrigation, FAO Soils Bulletin No 42, Rome, 1979.

УДК 631.417.1

Влияние способа обработки дерново-подзолистой почвы на содержание органического вещества

© 2022г. Л.Н. Шихова*, А.В. Филимонова

ФГБНУ «*Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н.В. Рудницкого*»,
610007, *г. Киров, ул. Ленина, 166а*
* *e -mail: shikhova-l@mail.ru*

Резюме: Проведены исследования по изучению динамики содержания общего и лабильного углерода гумуса в пахотном горизонте дерново-подзолистой суглинистой почвы в течение вегетационного сезона (май-октябрь). Почва расположена на опытном поле ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока, г. Киров. Отбор проб проводили раз в месяц, с мая по октябрь, в шестикратной повторности из пахотного горизонта. Исследования включали два вида обработки почвы – отвальная (на глубину 20 см) и безотвальная (на глубину 16-18 см) и три варианта доз удобрений – N0P0K0 (контроль), N30P30K30, N60P60K60. Способ обработки почвы существенно влияет на накопление органического вещества в почве. Содержание общего углерода гумуса во все сроки наблюдения достоверно выше в почве варианта безотвальной обработки. В начале вегетационного периода это превышение максимально и составляет сотни процентов, в остальные сроки вегетационного периода - несколько десятков процентов. Изменение содержания углерода в течение периода наблюдений имеет сложный характер. В почве обоих вариантов обработки минимальные значения содержания общего углерода гумуса отмечены в начале и в конце периода наблюдений при всех дозах удобрений. Максимальное содержание наблюдалось в середине периода (июль). Похожий характер изменения содержания наблюдается и для лабильного углерода гумуса. Доля лабильного углерода в общем углероде гумуса меняется в течение сезона от 5 до 15-20 % и близка на вариантах с разной обработкой. Чёткой закономерности влияния внесения разных доз удобрений на содержание и динамику органического вещества выявить не удалось.

Ключевые слова: дерново-подзолистая почва, органическое вещество почв, динамика.

Effect of sod-podzolic soil treatment method on organic matter content

© 2022I. L.N. Shikhova*, A.V. Filimonova

Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky,
166a Lenin Street, Kirov 610007, Russian Federation
* *e-mail: shikhova-l@mail.ru*

Abstract:Studies were conducted to study the dynamics of total and labile humus carbon content in the arable horizon of sod-podzolic loamy soil during the growing season (May-October). The soil is located on the experimental field of the Federal Agricultural Research Center of the North-East, Kirov. Soil samples were taken from the arable horizon once a month, from May to October, in a six-fold repetition. Studies included two types of tillage - moldboard plowing (to a depth of 20 cm) and subsurface tillage (to a depth of 16-18 cm), and three options for fertilizer doses - $N_0P_0K_0$ (control), $N_{30}P_{30}K_{30}$, $N_{60}P_{60}K_{60}$. The method of soil treatment significantly affects the accumulation of organic matter in the soil. The content of total humus carbon during all observation periods is significantly higher in the soil of the subsurface tillage option. At the beginning of the growing season this excess is maximal and is equal to some hundreds percents; in other periods of the growing season – some tens of percent. The change in carbon content during the observation period has complex nature. In the soil of both treatment options, the minimum total humus carbon content is noted at the beginning and at the end of the observation period at all fertilizer doses. The maximum content was observed in the middle of the period (July). A similar change in content is observed for labile humus carbon too. The proportion of labile carbon in the total carbon of humus varies during the season from 5 to 15-20% and is close on variants with different treatment. It was not possible to identify a clear pattern of the effect of applying different doses of fertilizers on the content and dynamics of organic matter.

Keywords:sod-podzolic soil, soil organic matter, dynamics.

ВВЕДЕНИЕ

Как известно, почвы, особенно сельскохозяйственные, вносят существенный вклад в отрицательную часть баланса углерода в биосфере. Многочисленные манипуляции с почвами (вспашка, рыхление, внесение удобрений и др.) нарушают естественный баланс углерода в почве и приводят к усиленной минерализации органического вещества и трансформации его состава. Поддержание сбалансированного круговорота углерода является базовым условием стабильного функционирования агроэкосистем и ключевым принципом устойчивого земледелия. (Романенков и др., 2009; Сычев и др., 2018).

Помимо экологической составляющей дегумификация почв ведёт в свою очередь к нарушению баланса биофильных элементов, ухудшению физических и химических свойств почв. (Семенов, Лебедева, 2015).

Сельскохозяйственное производство при традиционной системе земледелия (ТС) почти всегда является чистым источником CO2. В мировом сельскохозяйственном производстве в настоящее время набирает силу подход сбережения и накопления органического углерода в почвах. (Кудеяров, 2019).

Значительное влияние на содержание и состав почвенного органического вещества и, соответственно, на свойства почвы оказывает обработка почвы (Пупонин, 1984). Считается, что обработка почвы, особенно традиционная, усиливает минерализацию почвенного органического вещества, меняет его состав. Наиболее существенно уменьшается содержание лабильных фракций органики. Лабильные органические вещества быстрее подвергаются разложению, более доступны, имеют более простой химический состав. Состав лабильных органических веществ сложен. В эту группу входят и специфические гумусовые соединения, и промежуточные продукты трансформации органического вещества, аминокислоты, ферменты и т.д. (Семенов, Когут, 2015). Поэтому при проведении исследований выделяют общую группу лабильных органических веществ почвы.

Состав и содержание этой группы почвенного органического вещества очень динамично. Изменения происходят быстро и зависят от многочисленных прямых и косвенных факторов (погодных условий, микробиологической активности, обработки почвы, внесения удобрений, продуктов жизнедеятельности корневых систем и др.). Закономерно, что в течение вегетационного сезона содержание и состав почвенного лабильного органического вещества будет значительно варьировать (Дричко и др., 2013).

При изучении содержания лабильных органических веществ возникает много методических вопросов касательно сроков отбора проб, пробоподготовки, количества повторностей. Каких либо чётких разработок этого вопроса нет. (Семенов и др., 2005).

Внесение минеральных и органических удобрений способствуют повышению продуктивности агроэкосистем, но не

всегда приводят к восстановлению содержания углерода в почве (Васбиева, 2019; Сычев и др., 2020).

Одним из приемов, который может отвечать требованиям сбережения и даже накопления углерода в почвах сельскохозяйственного использования является широко известный прием минимальной обработки почвы. Изначально этот прием пропагандировался для районов засушливого земледелия. В настоящее время он применяется не только в засушливых районах, но и в зонах с нормальным увлажнением. Изменение системы земледелия с традиционной (пашенной) на систему минимальной обработки почвы рассматривается не только как прием пополнения почвы органическим веществом, но и как способ сокращения выбросов парниковых газов в земледелии (Corsi S. and al., 2012).

Вопрос об изменении содержания и состава гумуса при переходе к минимальной обработке дерново-подзолистых почв гумидной зоны остаётся открытым. Многими исследователями указывается на прекращение потерь и повышение содержания углерода гумуса в верхнем горизонте пахотных почв при переходе от отвальной к безотвальной обработке. Однако, есть исследования, которые не подтверждают эти результаты. Изучения содержания лабильного органического вещества и динамики его содержания в течение вегетационного сезона при разных способах обработки практически не проводилось.

Целью настоящего исследования является определение влияния безотвальной обработки на содержание общего и лабильного углерода гумуса в пахотном горизонте дерново-подзолистой суглинистой почвы в течение вегетационного периода.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Объектом исследования является пахотный горизонт дерново-подзолистой среднесуглинистой почвы. Почва расположена на опытном поле ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока, г. Киров. В течение вегетационного сезона 2021 г раз в месяц (с апреля по октябрь) отбирали пробы почвы пахотного горизонта для наблюдения за содержанием и динамикой содержания общего углерода гумуса и его лабильной части. Исследования включали два варианта обработки почвы – отвальный (глубина вспашки - 20

см) и безотвальный (плоскорез на глубину – 16-18 см) и три варианта доз удобрений – N0P0K0 (контроль), N30P30K30, N60P60K60. Опыт с разными обработками почвы заложен в 2020 г. В 2019 и 2020 гг почва содержалась в состоянии чистого пара. До закладки опыта содержание гумуса составляло 2,00 % при pHсол. 4,83. В период исследования 2021 г поле было занято ячменём с подсевом клевера. Отбор проб с опытных площадок проводился в шестикратной повторности. Лабильный углерод гумуса извлекали 0,1 М нейтральной пирофосфатной вытяжкой в свежих пробах при соотношении почва:раствор 1:2 (Оценка почв…, 1990). Определение содержания органического углерода гумуса проведено по методу В.В. Тюрина в модификации Симакова (ГОСТ 26213-2021). Статистическая обработка результатов проведена с использованием пакета программ Microsoft Excel 2003.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Изначальное, до закладки опыта, содержание гумуса в пахотном горизонте 2,00 % (1,15 % Сгум) можно оценить как низкое. Величина содержания, в целом, обычна для дерново-подзолистых суглинистых почв региона исследований (Тюлин., 1976; Сычев и др., 2020). В первый год опыта содержание углерода гумуса практически не изменилось в варианте отвальной обработки. При безотвальной обработке содержание углерода значительно выше во все сроки наблюдения (Табл.1).

Превышение содержания углерода гумуса в почве варианта безотвальной обработки по сравнению с вариантом отвальной обработки может достигать нескольких десятков процентов (Табл.2). В конце мая содержание углерода в почве варианта безотвальной обработки было в 2-4 раза больше, чем при вспашке. Очевидно, это связано с активной минерализацией при наступлении благоприятных гидротермических условий органических остатков, которых в почве безотвального варианта обработки существенно больше (Семенов, Лебедева, 2015).

Считается, что содержание гумуса довольно стабильный показатель и проявляет существенную динамику только при многолетних исследованиях. Однако содержание общего углерода гумуса значительно меняется и в течение вегетационного периода.

Таблица 1. Динамика содержания общего углерода гумуса в течение вегетационного сезона (%).

Доза	Дата отбора проб						
NPK	08.05	25.05	18.06	14.07	17.08	13.09	13.10
Вспашка							
0	0,74±0,02	1,03±0,06	1,05±0,04	1,60±0,11	1,15±0,08	1,21±0,04	1,11±0,02
30	-	0,60±0,19	1,05±0,09	1,61±0,20	1,50±0,14	1,25±0,07	1,13±0,08
60	-	0,41±0,14	1,03±0,05	2,53±0,14	1,58±0,10	1,25±0,02	1,18±0,06
Плоскорез							
0	0,99±0,06	2,23±0,07	2,07±0,10	2,56±0,14	2,08±0,08	1,93±0,08	2,10±0,11
30	-	1,87±0,09	1,98±0,06	2,81±0,11	2,32±0,05	1,96±0,08	2,33±0,06
60	-	1,86±0,17	2,11±0,05	2,69±0,16	2,18±0,05	1,97±0,10	2,24±0,09

Считается, что содержание гумуса довольно стабильный показатель и проявляет существенную динамику только при многолетних исследованиях. Однако содержание общего углерода гумуса значительно меняется и в течение вегетационного периода.

Таблица 2. Изменение содержания углерода гумуса при безотвальной обработке по сравнению с традиционной обработкой(%).

Доза NPK	Дата отбора проб						
	08.05.	25.05.	18.06.	14.07.	17.08.	13.09.	13.10.
NPK(000)	+34,8	+116,5	+97,6	+60,2	+81,2	+58,9	+89,3
NPK(30)		+209,4	+88,9	+74,8	+54,9	+56,6	+106,2
NPK(60)		+352,8	+105,2	+6,3	+38,3	+58,2	+89,9

Минимальные значения содержания отмечены в начале и в конце периода наблюдений. Максимальное содержание на обоих вариантах обработки наблюдалось в середине периода (июль). То есть, с начала вегетационного периода с повышением температуры в почве нарастают процессы гумификации растительных и трансформации органического вещества, что привело в середине сезона к резкому увеличению значений содержания углерода. В варианте безотвальной обработки незначительное повышение содержания углерода отмечено также в конце сезона наблюдения (октябрь).

Группа лабильных органических веществ присутствует в почве в очень небольшом количестве, но именно с ней связаны многие химические и физические свойства почв, процессы миграции химических веществ, доступность элементов питания для растений и др. В исследуемой почве абсолютное содержание углерода лабильного органического вещества в пахотном горизонте выше при плоскорезной обработке во все сроки наблюдения (Табл.3). В течение сезона содержание лабильного углерода достоверно меняется. Максимальное содержание наблюдается в середине сезона, как и для общего углерода гумуса.

Таблица 3. Динамика содержания лабильного углерода гумуса в течение вегетационного сезона (%).

Доза NPK	Дата отбора проб						
	08.05	25.05	18.06	14.07	17.08	13.09	13.10
Вспашка							
0	0,067± 0,016	0,100± 0,009	0,127± 0,023	0,133± 0,009	0,142± 0,013	0,232± 0,045	0,120± 0,008
30		0,099± 0,006	0,143± 0,018	0,171± 0,018	0,151± 0,017	0,145± 0,016	0,130± 0,008
60		0,083± 0,010	0,158± 0,023	0,228± 0,040	0,200± 0,026	0,150± 0,018	0,091± 0,007
Плоскорез							
0	0,116± 0,029	0,133± 0,009	0,313± 0,015	0,278± 0,014	0,313± 0,047	0,092± 0,018	0,329± 0,031
30		0,155± 0,025	0,299± 0,016	0,278± 0,025	0,365± 0,038	0,131± 0,027	0,309± 0,032
60		0,136± 0,019	0,231± 0,011	0,221± 0,019	0,273± 0,041	0,160± 0,037	0,311± 0,013

Повышение содержания лабильного углерода при безотвальной обработке по сравнению с отвальной может достигать десятков и сотен процентов в разные сроки (Табл.4).

Таблица 4. Изменение содержания лабильного углерода гумуса при безотвальной обработке по сравнению с традиционной (%).

Доза NPK	Дата отбора проб						
	08.05.	25.05.	18.06.	14.07.	17.08.	13.09.	13.10.

NPK(000)	+75,1	+32,7	+147,1	+109,1	+121,3	-60,2	+174,3
NPK(30)		+55,8	+108,7	+62,6	+141,5	-9,6	+137,7
NPK(60)		+63,5	+46,0	-3,2	+36,1	+6,8	+243,1

В исследуемой почве доля лабильного углерода в составе общего углерода гумуса не превышает 15-20 % и близка на вариантах с разной обработкой (Рис.1).

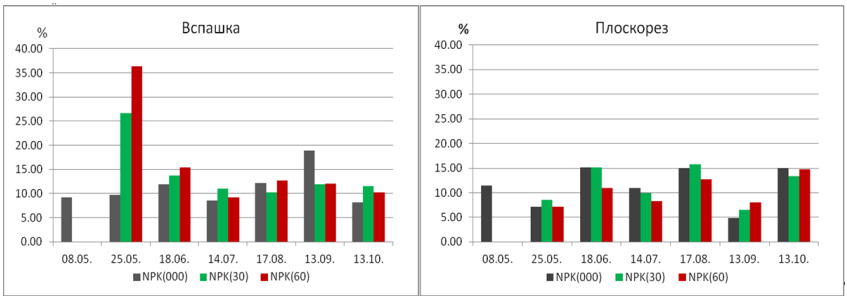


Рис. 1. Доля лабильного углерода гумуса в общем при разных способах обработки

Этот показатель в течение сезона не имеет чёткой динамики и незначительно отличается на разных вариантах, за исключением конца мая на варианте отвальной обработки. Такое резкое увеличение в этот срок доли лабильного органического вещества возможно связано с низким содержанием общего углерода в пробах в результате примесей подпахотных слоёв при вспашке, что при обсчёте данных даёт такой результат.

Внесение удобрений, безусловно, влияет на содержание и состав органического вещества. Однако в настоящих исследованиях не удалось дать чёткий ответ на вопрос об этом влиянии.

ВЫВОДЫ

Содержание общего углерода гумуса во все сроки наблюдения достоверно выше в почве при безотвальной обработке. В начале вегетационного периода превышение максимально и

составляет сотни процентов, в остальные сроки вегетационного периода - несколько десятков процентов.

Содержание общего и лабильного углерода гумуса значительно меняются в течение вегетационного периода. Минимальные значения содержания отмечены в начале и в конце периода наблюдений. Максимальное содержание на обоих вариантах обработки наблюдалось в середине периода (июль).

В составе общего углерода гумуса доля лабильного органического вещества меняется в течение сезона от 5 до 15-20 % и близка на вариантах с разной обработкой.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Васбиева М.Т.* Влияние длительного применения органических и минеральных удобрений на динамику содержания органического углерода и азотный режим дерново-подзолистой почвы // Почвоведение. 2019. № 11. С. 1365–1372.
2. ГОСТ 26213-2021 Почвы. Методы определения органического вещества.
3. *Дричко В.Ф., Бакина Л.Г., Орлова Н.Е.* Устойчивая и лабильная части гумуса дерново-подзолистой почвы // Почвоведение. 2013. № 2. С. 41–47.
4. *Кудеяров В.Н.* Почвенно-биогеохимические аспекты состояния земледелия в Российской Федерации // Почвоведение. 2019. № 1. С. 109–121.
5. Оценка почв по содержанию и качеству гумуса для производственных моделей почвенного плодородия (Рекомендации) // Сост.: Дьяконова К.В. и др. М.: Агропромиздат, 1990. 28 с.
6. *Пупонин А.И.* Обработка почвы в интенсивном земледелии Нечерноземной зоны. М.: Колос, 1984. 184 с.
7. *Романенков В.А., Сиротенко О.Д., Рухович Д.И., Романенко И.А., Шевцова Л.К., Королева П.В.* Прогноз динамики запасов органического углерода пахотных земель Европейской территории России. М.:ВНИИА, 2009. 96 с
8. *Семенов В.М., Иванникова Л.А., Кузнецова Т.В.* Лабораторная диагностика биологического качества органического вещества почвы // Методы исследования органического вещества почв. М.: РАСХН–ВНИПТИОУ, 2005. С. 214–230.
9. *Семенов В.М., Когут Б.М.* Почвенное органическое вещество. М.: ГЕОС, 2015. 233 с.
10. *Семенов В.М., Лебедева Т.Н.* Проблемы углерода в устойчивом земледелии: агрохимические аспекты //Агрохимия. 2015. № 11. С. 3–12

11. *Семенов В.М., Лебедева Т.Н.* Проблемы углерода в устойчивом земледелии: агрохимические аспекты // Агрохимия. 2015. № 11. С. 3–12.
12. *Сычев В.Г., Налиухин А.Н., Шевцова Л.К., Рухович О.В., Беличенко М.В.* Влияние систем удобрения на содержание почвенного органического углерода и урожайность сельскохозяйственных культур. Результаты длительных полевых опытов географической сети России // Почвоведение. 2020. № 12. С. 1521–1536.
13. *Сычев В.Г., Шевцова Л.К., Мерзлая Г.Е.* Исследование динамики и баланса гумуса при длительном применении систем удобрения на основных типах почв // Агрохимия. 2018. № 2. С. 3–21.
14. *Тюлин В.В.* Почвы Кировской области. Киров,1976. 288 с.
15. *Corsi S., Friedrich T., Kassam A., Pisante M., João de Moraes Sà. Soil* Organic Carbon Accumulation and Greenhouse Gas Emission Reductions from Conservation Agriculture: Integrated Crop Management. FAO, Rome, 2012. V. 16. 88 p.

УДК 631.4

Микроморфологические признаки почвообразования и эндогенных процессов в почвах диапировых структур Кучигерского термального поля

© 2022 г. И.А. Ямнова[1]*, М.П. Лебедева[1], Г.И. Черноусенко[1], Н.Б. Хитров[1], В.Л. Убугунов[2], В.И. Убугунова[2]

[1]ФИЦ «Почвенный институт им. В.В. Докучаева», Россия, 119017, Москва, Пыжевский пер, 7, стр. 2,
[*]irinayamnova@mail.ru
[2]Институт общей и экспериментальной биологии СО РАН, Россия, 670047, Республика Бурятия, г. Улан-Удэ, ул. Сахьяновой, д. 6

Резюме: Исследовался профиль почвоподобного тела Кучигерского термального поля Баргузинской котловины Забайкалья, относящейся к Байкальской рифтовой зоне; этот регион отличается сейсмической активностью разломов земной коры, при разгрузке которых потоки вод, газа и твердого вещества способствуют формированию специфических почвоподобных тел. Морфоминералогический анализ профиля позволил охарактеризовать его строение и состав. Возможное выдавливание снизу вверх торфяно-перегнойно-глеевой песчано-супесчаной почвы в условиях восходящих газо-гидротермальных флюидов привело к формированию почвоподобного образования с нарушенным строением почвенного профиля – горизонтов (морфонов), неоднородных по строению и составу и чередующихся как в горизонтальном, так и вертикальном направлениях. Характерной особенностью является наличие черных вазелиноподобных (импрегнированных) слоев. Скопления органического вещества отличаются большим разнообразием форм (выделено 7 морфотипов) и характером распределения как внутри горизонтов, так и по профилю: выделены специфические гранулы и их скопления, растительные остатки разной степени минерализации, сложные органоминеральные и глинисто-органические агрегаты. Для состава скелетных зерен характерно преобладание выветрелых зерен полевых шпатов – серицитизированных плагиоклазов, а также слюдистых минералов. Также было показано наличие глинистых и органических пленок и инфиллингов; наиболее широко распространены по профилю изотропные органо-пленки. В солевой корке на поверхности почвы, кроме воднорастворимых солей тенардита, гипса, галита и бледита, присутствуют силикатные минералы: альбит, шабазит, флогопит,

являющиеся существенным компонентом метаморфических пород – сланцев, гидротермальных жил и импактитов. Все эти признаки подтверждают газо-гидротермальное происхождение профиля.

Ключевые слова: почвы гидротерм, морфотипы органического вещества, минералогический состав.

Micromorphological features of soil formation and endogenous processes in soils of diapiric structures of the Kuchiger thermal field

© 2022 I.A. Yamnova[1]*, M.P. Lebedeva[1], G.I. Chernousenko[1],

N.B. Khitrov[1], V.L. Ubugunov[2], V.I. Ubugunova[2]

[1]Federal Research Centre "V.V. Dokuchaev Soil Science Institute", 7 Bld. 2 Pyzhevskiy per., Moscow 119017, Russian Federation,

[2]Institute of General and Experimental Biology, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, ul. Sakh'yanovoi 6, Ulan-Ude, 670047 Russia
** e-mail: irinayamnova@mail.ru*

Abstract: The profile of the soil-like body of the Kuchiger thermal field of the Barguzin depression in Transbaikalia, which belongs to the Baikal rift zone, was studied; this region is distinguished by the seismic activity of crustal faults, during the unloading of which the flows of water, gas and solid matter contribute to the formation of specific soil-like bodies. Morphomineralogical analysis of the profile made it possible to characterize its structure and composition. The possible upward extrusion of peat-humus-gley sandy-loamy soil under conditions of ascending gas-hydrothermal fluids led to the formation of a soil-like formation with a disturbed structure of the soil profile - horizons (morphons), heterogeneous in structure and composition and alternating both in horizontal and vertical directions. A characteristic feature is the presence of black vaseline-like (impregnated) layers. Accumulations of organic matter are distinguished by a wide variety of forms (7 morphotypes have been identified) and the nature of distribution both within the horizons and along the profile: specific granules and their accumulations, plant remains of varying degrees of mineralization, complex organo-mineral and clay-organic aggregates have been identified. The composition of skeletal grains is characterized by the predominance of weathered grains of feldspars - sericitized plagioclases, as well as micaceous minerals. Clay and organic films and infills have also been shown; Isotropic organo-films are the most widespread along the profile. In the salt crust on the soil surface, in addition to the water-soluble salts of thenardite, gypsum, halite, and bledite, there are silicate minerals albite, chabazite, and phlogopite, which are an

essential component of metamorphic rocks—shales, hydrothermal veins, and impactites. All these signs confirm the gas-hydrothermal origin of the profile.
The profile of the soil-like body of the Kuchiger thermal field of the Barguzin depression in Transbaikalia was studied. Morphomineralogical analysis of the profile made it possible to characterize its composition and structure. The possible bottom-up extrusion of peat-humus-gley sandy-loamy sandy soil under conditions of ascending gas-hydrothermal fluids led to the formation of a soil-like formation with a disturbed structure of the soil profile—horizons (morphons), heterogeneous in structure and composition and alternating both in horizontal and vertical directions. A characteristic feature is the presence of black vaseline-like (impregnated) layers; accumulations of organic matter are distinguished by a large variety of forms (7 morphotypes have been identified) and the nature of distribution both within the horizons and along the profile. Weathered grains of feldspars predominate - sericitized plagioclases, as well as micaceous minerals, characteristic of metamorphic rocks. In addition to water-soluble salts, the salt crust contains the minerals albite, chabazite, and phlogopite, which are an essential component of metamorphic rocks—shales, hydrothermal veins, and impactites. All these signs confirm the gas-hydrothermal origin of the profile.

Keywords: hydrothermal soils, organic matter morphotypes, mineralogical composition.

ВВЕДЕНИЕ

Сейсмическая активность в Байкальской рифтовой зоне, сформировавшейся в кайнозойский период, продолжается и в настоящее время. В котловинах Байкальского рифта широко распространены выходы термальных источников, над которыми формируются специфические почвы. Первичные сведения о макроморфологии и физико-химических свойствах этих почв описаны в работе Хитрова с соавторами (2019). Изучение минералогического состава темногумусовой квазиглеевой солончаковой солонцеватой почвы на окраине термального поля показало наличие в илистой фракции небольшого количества ректорита, а в составе фракций пыли и песка очень небольшой доли кварца, что обусловлено составом минералов биотитовых и амфибол-биотитовых гранитов и гранитоидов баргузинского комплекса Ангаро-Витимского батолита (Убугунов и др., 2018).

Тем не менее, минералогические и микроморфологические особенности почв, сформированных на Кучигерском

гидротермальном поле, изучены недостаточно, что и определило цель данной работы.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Объектом исследования были уникальные почвы, сформированные в северной части Баргузинской котловины Бурятии на пересечении продольного (Баргузинского) и поперечного (Дыренского) тектонических разломов (Лунина и др., 2009), где зафиксированы выходы 17 Кучигерских термальных источников (Чернявский и др., 2018). Гидротермальные воды маломинерализованные (0,4-0,5 г/л), азотно-кремнистые фтористые гидрокарбонатно-сульфатно-натриевые (Аюшина, 2019).

Траншея заложена 9.06.2019 г., координаты N 54°52'44,8"; E 110°59'59,2", H=518 м

Микроморфологические исследования проводились в шлифах, изготовленных из микромонолитов ненарушенного строения. Шлифы изучались в проходящем (PPL) и поляризованном (XPL) свете под поляризационным микроскопом Olympus BX51 с набором окуляров и объективов, позволяющим получать увеличения x40-x200. Для обработки изображений использовано программное обеспечение Olympus Stream-Basic.

Минералогические исследования проводились из растертых образцов почв и солевых корок. Порошковые дифракционные (X-Ray) спектры исследуемых образцов получены на дифрактометре ДРОН-3М с использованием Co *K*α1- излучения (λ = 1.788965 A, область съемки 6-70ºc шагом 0.018º). Определение фазового состава выполнено с использованием комплекса программ $WinX^{Pow}$ в комплексе с PDF-2 порошковой базой данных ICDD.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

На Рисунке 1 представлена траншея, пересекающая диапировый вал в зоне гидротерм. Морфологический анализ показал, что здесь формируются почвоподобные образования с нарушенным строением почвенного профиля. Характерной особенностью является наличие черных вазелиноподобных слоев (импрегнированных), при высыхании затвердевающих (IMP).

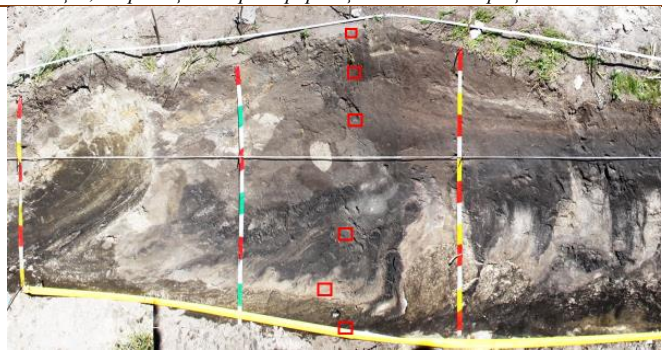


Рис. 1. Траншея КД-3-19 (места отбора микромонолитов выделены красным цветом)

Микроморфологический анализ шлифов из образцов микромонолитов (места отбора выделены красным -1-4) верхней части профиля показал (Рис. 1, 2):



Рис. 2. Микроморфологическое строение верхней части профиля

1) наличие большого количества минеральных зерен полевых шпатов (плагиоклазов) разной степени выветрелости (серицитизированных) (1, 3); 2) большое разнообразие остатков органического вещества в верхней части в виде корневых остатков разной степени минерализации; наличие крупных органоминеральных агрегатов черного цвета с песчаными зернами, растрескавшиеся на

остроугольные фрагменты (2, 4). Внутри агрегатов – более глинистый материал в виде внутриагрегатных пленок).

Для нижней части профиля (Рис. 3) характерно наличие упорядоченного строения органического вещества в виде пленок и субпараллельных слоев, а также зон пылеватого материала в выветрелом песке (6, 7).



Рис. 3. Микроморфологическое строение нижней части профиля

Органическое вещество отличается большим разнообразием форм и характером распределения как внутри морфонов, так и по профилю. Отмечены следующие формы: 1) остатки корней (свежие, неразложившиеся бурого цвета и черные - углистые); 2) органическое вещество черного цвета, организованное в виде: а) микрозернистого вещества - единичного и в виде микросгустков, распределенных как неупорядоченно, так и в виде цепочек и субпараллельных слоев. Микросгустки в ряде горизонтов представлены хлопьевидными агрегатами; б) вокругскелетных пленок (изотропных); 3) органо-минеральными крупными черными агрегатами – с песчаными зернами, растрескавшимися на остроугольные фрагменты. Все перечисленные формы встречаются по всему профилю, но различаются по обилию. Так, слоистое распределение органики в виде субпараллельных слоев наиболее выражено в нижних горизонтах.

Минеральная составляющая профиля представлена зернами минералов песчано-пылеватого размера исключительно

остроугольной (обломочной) формы, что не позволяет предполагать аллювиальный генезис данных почвообразующих пород. Обломки пород песчаной размерности представлены породами гранитоидного типа, в составе которого отмечены калиевые полевые шпаты, амфиболы актинолит-тремолитового ряда, слюды биотит-флогопитового ряда, отдельные хлоритизированные зерна минералов и крупнопылеватые минералы группы эпидот-цоизитов. В составе скелетных зерен преобладают минералы группы полевых шпатов - преимущественно плагиоклазов кислого состава (натриевые альбит-олигоклазы) с признаками серицитизации (замещение светлой слюдой серицитом), что свидетельствует об источнике кальция и натрия в почве.

Минералогический анализ исследуемых образцов солевой корки на поверхности почвы показал следующее. В солевой корке, кроме водорастворимых солей, среди которых преобладают сульфаты (тенардит - Na_2SO_4, блёдит - $Na_2Mg(SO_4)_2*4H_2O$, гипс - $CaSO_4\,2(H_2O)$) и крайне мало галита - NaCl, присутствуют альбит - $Na[AlSi_3O_8]$, актинолит $Ca_2(Mg,Fe)_5[Si_8O_{22}](OH)_2$ а также гидрослюды и слюды: шабазит - $(Ca, Na_2)\ [AlSi_2O_6]_2\cdot 6H_2O$, иллит - $(K, H_2O)\ (Al\ Mg\ Fe)_2\ (Al, Si)_4\ O_{10}\ [(OH)_2\ H_2O]$ и флогопит - $KMg_3[Si_3AlO_{10}]\cdot[F,OH]$, являющиеся существенным компонентом метаморфических пород – сланцев, гидротермальных жил и импактитов. Таким образом, минералогический состав солевой корки коррелирует с минералами, определяемыми и микроморфологически - наличием гидрослюд, полевых шпатов, амфиболов. А наличие альбита и шабазита также свидетельствует об одном из источников натрия в засолении этих почв

ВЫВОДЫ

Морфоминералогический анализ почвоподобного тела показал значительное содержание органического вещества по всему профилю. При этом скопления органического вещества отличаются большим разнообразием форм и характером распределения как внутри морфонов, так и по профилю. Было выделено 7 различных морфотипов.

Гидротермальное происхождение профиля подтверждает и минералогический состав солевых корок на поверхности почвы, в

которых кроме воднорастворимых солей отмечены альбит, шабазит, флогопит, являющиеся существенным компонентом метаморфических пород – сланцев, гидротермальных жид и импактитов.

Среди минеральной составляющей преобладают полевые шпаты - плагиоклазы серицитизированные, встречаются ортоклазы, олигоклазы, амфиболы и пелитизированные плагиоклазы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Аюшина Т. А.* Влияние кучигерских гидротерм на содержание и формы натрия (Баргузинская котловина) // Природа Внутренней Азии. Nature of Inner Asia. 2019. № 3(12). С. 54–61. DOI: 10.18101/2542-0623-2019-3-54-61
2. *Лунина, О.В. Гладков А.С., Неведрова Н.Н*. Рифтовые впадины Прибайкалья: тектоническое строение и история развития. Новосибирск: Гео, 2009. 316 с.
3. *Убугунов В. Л., Хитров Н. Б., Чижикова Н. П., Убугунова В. И., Варламов Е. Б., Жамбалова А. Д., Чечетко Е. С*. Свойства и минералогический состав темногумусовой квазиглеевой солончаковой солонцеватой криотурбированной мерзлотной почвы Баргузинской котловины (Бурятия) // Бюллетень Почвенного института им. В. В. Докучаева. 2018. Вып. 91. С. 62–94. doi: 10.19047/0136-1694-2018-92-62-94
4. *Хитров Н. Б., Убугунов В. Л., Убугунова В. И., Рупышев Ю. А., Аюшина Т. А., Жамбалова А. Д., Цыремпилов Э. Г., Парамонова А. Е., Насатуева Ц. Н.* Морфологическое строение почв в ближайшей зоне влияния Кучигерских гидротерм (Баргузинская котловина) // Почвоведение. 2019. № 12. С. 1430–1453. DOI: 10.1134/S0032180X19120074
5. *Чернявский М.К., Плюснин А.М., Дорошкевич С.Г., Будаев Р.Ц*. Рекреационно-бальнеологические особенности северо-восточной части Баргузинской котловины // География и природные ресурсы. 2018. № 2. С. 63–72. https://doi.org/10.21782/GIPR0206-1619-2018-2

Секция В

АГРОЭКОЛОГИЧЕСКАЯ И КАДАСТРОВАЯ ОЦЕНКА ПОЧВЕННЫХ И ЗЕМЕЛЬНЫХ РЕСУРСОВ. ПЛАНИРОВАНИЕ И МОДЕЛИРОВАНИЕ РАЦИОНАЛЬНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПОЧВ И ЗЕМЕЛЬ

УДК 631.42

Прочностные характеристики урбаноземов города Москвы

© 2022 г. Н.А. Азовцева[1*], А.М. Парфенова[2], В.В. Францев[3], Е.Б. Варламов[1]

[1]ФИЦ «Почвенный институт им. В.В. Докучаева», Россия, 119017, Москва, Пыжевский пер, 7, стр. 2,
[*] azovtseva@mail.ru

[2] Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова», Россия, 119991, Москва, Ленинские горы, 1, стр.3.

[3]Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «МИРЭА - Российский технологический университет», Россия, 119454 Москва, проспект Вернадского, 78

Резюме: С целью анализа прочностной устойчивости городских почв, последующей систематики антропогенно-измененных почв, мониторинга состояния почвенного покрова, в соответствии с Законом города Москвы приведены послойные данные для верхних горизонтов почв, отобранных в двух Административных районах города Москвы. Приведены и проанализированы данные гранулометрического состава, измерения пенетрометрической прочности в зависимости от влажности, значения магнитной индукции в зависимости от глубины слоя, а также проанализирован минералогический состав. Максимальное значение прочности для образцов урбаноземов из района Свиблово наблюдается в горизонте 0 – 7 см при влажности 37%, а в горизонте 7 – 14 см при влажности 25%. Для образцов урбодерново-подзолистой почвы из района Новокосино максимум прочности наблюдается в горизонте 0 – 7 см при влажности 35%, а для горизонта 7 – 14 см при влажности 20%. Минералогические исследования илистой фракции двух наиболее контрастных в морфологическом плане образцов показали присутствие минералов с жесткой каркасной структурой, что является не свойственной этой фракции особенностью. Высокое содержание тонкодисперсной размерностью кластогенных минералов в илистой фракции, свидетельствует о специфических характеристиках почвообразующего минерального субстрата этих почв. Главной особенностью отличий данных почв от фоновых естественных ценозов – это сохранение в составе ила обломочного состава кластогенных минералов. Показано, что

прочностные измерения урбаноземов могут служить способом наблюдения за экологическим состоянием городских почв. Данные метода измерения магнитной индукции, коррелируя с рядом других параметров, могут способствовать всестороннему наблюдению за состоянием почв городских территорий.

Ключевые слова: почва, гранулометрический состав, пенетрометрическая прочность, почвенный магнетизм, рентгендифрактометрические измерения.

Strength characteristics of urban soils of Moscow

© 2022 N.A. Azovtseva[1*], A.M. Parfenova[2], V.V. Frantsev[3], E.B. Varlamov[1]

[1]Federal Research Centre "V.V. Dokuchaev Soil Science Institute", 7 Bld. 2 Pyzhevskiy per., Moscow 119017, Russian Federation, [*] e-mail: [*] azovtseva@mail.ru
[2]Federal State Budget Educational Institution of Higher Education "M.V.Lomonosov Moscow State University", Lomonosov Moscow State University, GSP-1, Leninskie Gory, Moscow, 119991, Russian Federation
[3]Federal State Budget Educational Institution of Higher Education "MIREA – Russian technological university", 78 Vernadsky Avenue, Moscow 119454, Russian Federation

Abstract: To further systematize anthropogenic-altered soils, monitor the state of soil cover, in accordance with the Law of the City of Moscow, the layered data for the upper soil horizons selected in two districts of the city of Moscow are given. The data of granulometric composition, measurements of penetrometric resistance depending on humidity, magnetic induction values depending on the depth of the layer, as well as mineralogical composition are given and analyzed. The maximum resistance value for samples of urbanozems from the Sviblovo area is observed in the horizon of 0 – 7 cm at a humidity of 37%, and in the horizon of 7 – 14 cm at a humidity of 25%. For samples of urban-podzolic soil from the Novokosino area, the maximum resistance is observed in the horizon of 0 – 7 cm at a humidity of 35%, and for the horizon of 7 – 14 cm at a humidity of 20%. Mineralogical studies of the silty fraction of the two morphologically most contrasting samples showed the presence of minerals with a rigid frame structure, which is not a characteristic feature of this fraction. The high content of fine-grained clastogenic minerals in the silty fraction indicates the specific characteristics of the soil-forming mineral substrate of these soils. The main feature of the differences between these soils and the background natural

cenoses is the preservation of the clastic composition of clastogenic minerals in the silt. It is shown that strength measurements of urban soils can serve as a way to monitor of their ecological state. The data of the magnetic induction method correlated with a number of other parameters can be used for comprehensive monitoring of the soil condition of urban areas.

Keywords: soil, granulometric composition, penetrometric strength, soil magnetism, X-ray diffractometric measurements.

ВВЕДЕНИЕ

По данным переписи населения Российской Федерации (Таб. 1), происходит увеличение числа жителей городов, и усиливается нагрузка на урбосистемы и городские почвы. Это подчёркивает значимость внимания к городским условиям и почве, в частности.

Почвы выполняют разнообразные биогеценотические, биосферные, ноосферные, экологические функции. Акцент в исследованиях функций почв мегаполисов направлен на те из них, которые в наибольшей степени определяют экологические основы качества жизни населения. Городские почвы имеют специфические особенности состава и высокую антропогенную нагрузку. Потоки вещества на городские почвы формируются за счет поступления в почву: а) твердых, жидких и газообразных веществ из атмосферы, б) жидких и газообразных веществ из грунтовых вод, в) веществ, образующихся в результате метаболизма живых организмов и почвенных процессов. Проходя через почву, вышеуказанные, вещества полностью или частично изменяют свой состав и свойства. Это происходит в результате разнообразных межфазных взаимодействий, включая комплесообразование, сорбцию, избирательное поглощение растениями или выпадение в осадок, обмен с ППК почвы. Антропогенные почвообразующие породы имеют существенные отличия от естественных как по составу, так и по строению. Главным отличительным их признаком является гетерогенный состав и строение, кроме того, они содержат значительное количество включений. В условиях мегаполиса становится необходимым развитие методов доступного, информативного, компактного исследования прочностного и ферромагнитного состояния почв. Целью работы послужило исследование прочностных характеристик верхних слоёв городских почв (0 – 20 см от поверхности почвы).

Таблица 1. Таблица городского и сельского населения.

Соотношение численности городского и сельского населения https://matveychevoleg.livejournal.com/7625043.html?view=comments (по данным переписей населения; в процентах)		
Год	Городское	Сельское
1897	14,7	85,3
1926	17,7	82,3
1939	33,5	68,5
1959	52,2	47,8
1070	62,1	37,9
1979	69,1	30,9
1989	73,4	26,6
2002	73,3	26,7
2019	73,7	26,3

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Объектом исследования явились почвы двух тестовых территорий в городе Москве, подвергающиеся разной степени антропогенной нагрузки (Почвенная карта Москвы. [Электронный ресурс] / – Электрон. текстовые дан. – Москва – Режим доступа: http://www.etomesto.ru/map-eco_pochva/, свободный]. Данные исследования являются частью цикла работ, проведённых Авторами на почвах этих тестовых территорий в 2017-2021 годах (Азовцева и др., 2019; Azovtseva et.al., 2020). Исследования городских почв (TechnoUrbic) были проведены летом-осенью в 2021 года в Северо-Восточном административном округе города Москвы, почвы которых подвергаются загрязнению выбросами промышленных предприятий (Асфальтовый, Электромеханический, Московский маслонефтеперерабатывающий заводы, ЖБК «Ростокино») и автомобильных магистралей (ул. Верхоянская, ул. Летчика Бабушкина, Ярославская ж/д, Северо-Восточная хорда (пр. Серебрякова), ул. Амундсена) расположенных в непосредственной близости от трансект с точками пробоотбора. Исследования почв участков тестовых территорий были проведены методом трансекты и ключевым методом в точках Т1, Т2, Т3, Т4, Т5. Образцы почв отбирали послойно (шаг 4 см) из верхних горизонтов почв исследуемых участков до глубины 24 см голландским буром пробоотборником AMS в трёхкратной повторности. Почвы представлены урбаноземами

гумусированными средне- и сильномощными на культурном (техногенном) слое, подстилаемом покровными суглинками.

В качестве фона были выбраны урбодерново-подзолистые почвы на флювиогляциальных отложениях рекреационной зоны парка (50 м от пруда), окаймляемой с запада ул. Салтыковской (Новокосино, ВАО г. Москвы). Были исследованы прочностные характеристики, прочность (обычно пластическая прочность), почв (урбанозёмы и реплантозёмы) тестовых территорий, расположенных в районе Свиблово СВАО и в районе Новокосино ВАО города Москвы (Азовцева Н.А. и др., 2017). Для образцов урбанозёма на покровном суглинке подстилаемом мореной, расположенном на участке между ЖБК «Ростокино» и автомобильной трассой «Северо-восточного диаметра» в районе Свиблово, а также урбодерново-подзолистой почвы на флювиогляциальных отложениях Парк в Новокосино, была исследована пластическая прочность пенетрационным методом с помощью конического пластомера (Гросс Е.Е. и др., 2013) в 7-ми кратной повторности образцов почв тестовых территорий, как показатель их устойчивости. Метод конического пластомера или пенетометрический метод основан на определении усилия, которое необходимо приложить к конусу для погружения его в систему на известную глубину (Практикум по коллоидной химии: Учеб. Пособие для вузов / Под ред. В.Г. Куличихина. – М.: Вузовский учебник: ИНФРА-М, 2012; Shariatmadari,N. et.al., 2020). Определение гранулометрического состава почв точек в районе Новокосино и тестовых точек в Северо-Восточных районах г. Москвы (Бабушкинский район, Лосиноостровский район, район Свиблово) было проведено с помощью лазерного анализатора размеров частиц Microtrac Bluewave Microtrac Inc. (США).

Прочностные свойства почв зависят от их минералогических характеристик (Азовцева Н.А., 2017). В 2022 году было проведено исследование минералогических характеристик городских почв тестовых территорий в Лаборатории минералогии и микроморфологии почв ФГБНУ ФИЦ "Почвенный институт имени В.В. Докучаева. Методами минералогических исследований был изучен состав глинистых и кластогенных фракции <1мкм. Фракционное разделение образцов проведено по методике Горбунова (1963) путем последовательного исчерпывающего отмучивания, органическое и аморфные вещества перед фракционированием удалялись.

Минералогический состав исследовали с помощью универсального рентгендифрактометра HZG-4a. Режим сьемки: излучение Cu напряжение на трубке 30кВ сила тока 20мА. угловая скорость движения счетчика 2θ град/мин. расчеты производили с применением программного обеспечения дифрактометр-авто. версия 2018 разработчик ООО «Ирис». Съемка ориентированных препаратов, насыщенных магнием выполнена для фракции <1мкм в трех состояниях образца: воздушно-сухом, сольватированном этиленгликолем, после прокаливания в течении 2-х часов при температуре 550°С с целью уточнения особенностей кристаллохимического строения лабильных минералов. Препараты кластогенных минералов других фракций имеющие жесткую кристаллическую структуру при указанных обработках своих свойств не меняли. Качественный состав минералов установлен по известным рекомендациям (Рентгеновские методы и структура… 1965; Градусов. 1967; Соколова и др. 2005). Количественный анализ проведен по методикам: для глинистых минералов полуколичественное по соотношению основных минеральных фаз метод (Biscaye. 1965), кластогенные минералы – методом (Cook at. al. 1975).

Почвенный магнетизм является ведущим фактором взаимосвязи почвенных параметров: содержания в почве железа и общего количества металлов в почвенном профиле, содержания и распределения гумуса в слоях почв. Был разработан прибор (регистрационный номер № 2021666155/69) названный «Магнитометр ВОЛНА-2» (Азовцева, Францев, 2021). Прибор способен измерять магнитное поле Земли над поверхностью и в толще почвы с привязкой к географическим координатам и времени. Измерения выполнены в пятидесятикратной повторности с использованием разработанного авторами пакета программ (Азовцева, Францев, 2020; Азовцева, Францев, 2021; Азовцева, Францев, 2022).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЯ

На рисунке 1 представлены результаты исследования гранулометрического состава верхних слоёв почвы из точки Т1, как примера, из точек 1-7 тестовой территории СВАО г. Москвы.

Из анализа полученных данных, следует, что почвы из точек Т1, Т2 и Т3 по гранулометрическому составу близки (преобладает

пылевая фракция во всех горизонтах), почвы из Т4 и Т5 гранулометрически близки - преобладает песчаная фракция, резко отличаются Т2 и Т5.

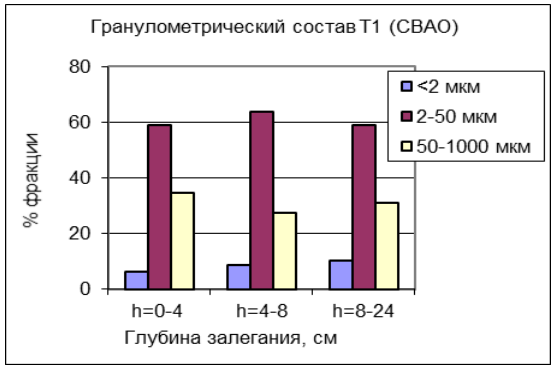


Рис. 1. Гранулометрический состав верхних слоёв почв Т1

Для образцов воздушно-сухих почв пенетрометром были промерены прочности. Результаты представлены в таблице 2.

Можно отметить, что прочность несколько растёт с глубиной. Как видно из представленных в таблице 2 данных, прочности сухих образцов из точек из районов Свиблово и Новокосино практически не различаются. Можно лишь отметить несколько различающийся разброс значений. Однако картина кардинально меняется в случае последовательного увеличения влажности. На рисунках 5 и 6 представлены результаты исследований зависимости прочности почвенных образцов верхних слоёв почв от влажности почвы.

На графиках зависимости прочности почвенных образцов верхних слоёв почв из Новокосино и Свиблово от влажности почвы наблюдается отчетливая разница прочности в зависимости от глубины залегания горизонтов. Это связано с гранулометрическим составом почв (Табл. 2). Общая картина - увлажнение до 5% приводит к заметному росту прочности, далее прочность с ростом влажности еще увеличивается, а при достижении некоторого значения начинает уменьшаться, и падает до минимальных значений при некоторой «предельной» влажности. При этом величина максимального значения достигаемой прочности и предельное увлажнение, при котором образец теряет прочность, чувствительны к распределению

частиц по размерам в пробах образца. Следует отметить, что изменения прочностных характеристик по слоям почвенного профиля, полученные для городских почв тестовых участков, согласовывались с результатами модельных экспериментов в системе глина-песок, проведенных авторами раннее (Азовцева и др., 2017).

Таблица 2. Прочность почв тестовых территорий в районах Свиблово и Новокосино г. Москвы со средним квадратичным отклонением, повторность n=7.

№ точки на тестовой территории	Глубина взятия образцов, h, см	Прочность, кг/см^2	Ср. квадр. Откл., n=7
Свиблово			
Т6	h=0-7 см	0,0667	0,0018
Т6	h=7-14см	0,0774	0,0037
Т6	h=14-21см	0,0757	0,0012
Т7	h=0-7 см	0,0679	0,0042
Т7	h=7-14 см	0,0696	0,0043
Т7	h=14-21	0,0794	0,0083
Новокосино			
Т1	h=0-7 см	0,0623	0,002
Т1	h=7-14	0,07	0,0032
Т1	h=14-21	0,07	0,0033
Т3	h=7-14	0,064	0,0014
Т3	h=14-21 см	0,0797	0,0025
Т4	h=0-7	0,067	0,0012
Т4	h=7-14	0,067	0,0018
Т4	h=14-21	0,0692	0,0022

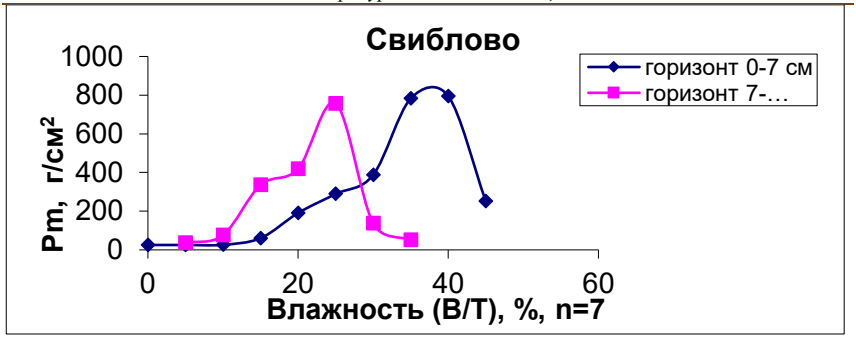


Рис. 2. Зависимость прочности почвенных образцов верхних слоёв почв из Свиблово от влажности почвы

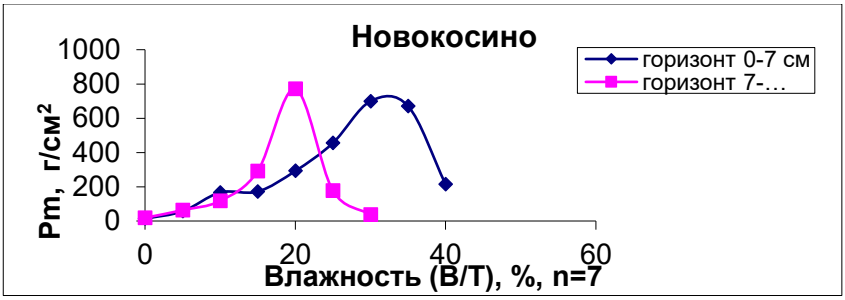


Рис. 3. Зависимость прочности почвенных образцов верхних слоёв почв из Новокосино от влажности почвы

Прочность почв зависит, в числе прочего, от их ферромагнитного состояния. Почвенный магнетизм является ведущим фактором взаимосвязи почвенных параметров: содержания в почве железа и общего количества металлов в почвенном профиле, содержания и распределения гумуса в слоях почв (Гладышева М.А. и др., 2007; Azovtseva N.A., Frantsev V.V., 2021; Азовцева и др., 2022).

Было проведено исследование изменения значений магнитной индукции с глубиной почвенного профиля в почвах тестовых территорий (Рис. 4). Измерения магнитной индукции с использованием магнитометра «ВОЛНА-2» методически происходят на высоте 1 м над поверхностью почвы, как стартовой точкой почвенного магнитного профиля, а далее измерения магнитной индукции происходят, погружаясь в почвенные слои, что отражено на рис. 4 в виде калибровочной точки и далее. Были проведены исследования

магнитных почвенных характеристик в точке 11 расположенной западнее на 80 м от Т7 на трансекте в Свиблово. Почва определена как урбанозём с включениями кирпича и строительного мусора. Обнаружено, что поступление в почвенный профиль антропогенных включений различной природы отражается на изменении индукции магнитного поля в слоях урбанозёма, что продемонстрированно скачкообразными переходами кривой зависимости индукции магнитного поля (мкТл) от глубины почвенного профиля на рисунке 5.

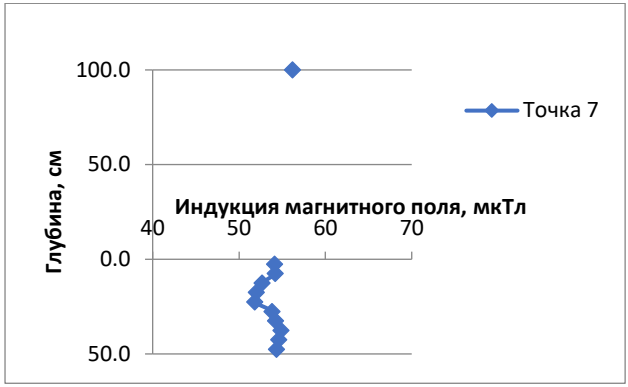


Рис. 4. Зависимость индукции магнитного поля от глубины почвенного профиля, мкТл, Точка 7, Свиблово

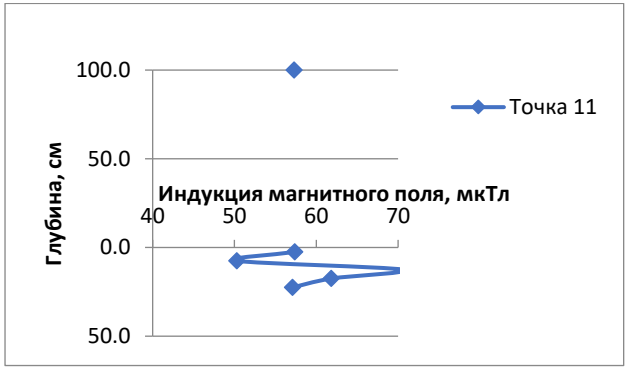


Рис. 5. Зависимость индукции магнитного поля от глубины почвенного профиля, мкТл, Точка 11, Свиблово

Прочностные свойства почв зависят от их минералогических характеристик (Азовцева Н.А., 2017). В 2022 году было проведено исследование минералогических характеристик городских почв тестовых территорий в Лаборатории минералогии и микроморфологии почв ФГБНУ ФИЦ "Почвенный институт имени В.В. Докучаева. Методами минералогических исследований был изучен состав глинистых фракции <1мкм. Минералогическим анализом установлено, что в составе тонкодисперсной фракции присутствуют в значительном количестве кластогенные минералы, а также кальцит. Данный факт можно связать с глубокой физической диспергацией исходного почвообразующего субстрата. По-видимому, высокое содержание кластогенных минералов в илистой фракции связано с запредельной антропогенной нагрузкой, в результате которой происходит глубокое физическое дробление почвенной массы, нельзя и исключать синлитогенного поступления пыли. Установлено наличие незначительного количества глинистых минералов и полное отсутствие минералов лабильных минералов смектитового типа. Данный компонент является обязательным для почв городской среды. На рентгендифрактограмме илистых фракций: Образец 2 (Рис.6) наиболее богатый в минералогическом отношении образец, представлен слоистыми каркасными минералами с жесткой кристаллической структурой, в котором диагностировано: кварц, слюда, полевые шпаты двух разновидностей альбит и плагиоклаз, хлорит железистой разновидности и в небольшом количестве амфиболы и каолинит, кальцит.

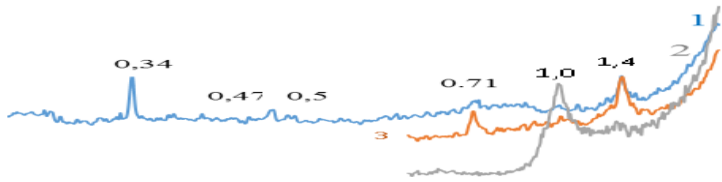


Рис. 6. Рентгендифрактограммы илистых фракций: Образец 2. 1-Воздушно-сухая съемка; 2 сольватированный этиленгликолем; 3 прокаленный при 550°С. Подписи над рефлексами, нм.

Установлено присутствие в образцах слоистые силикаты: слюды, полевые шпаты, хлорит магнезиально-железистой разновидности, кварц и в небольшом количестве кальцит и каолинит.

ВЫВОДЫ

1. Прочностные измерения верхних почвенных слоёв в почвах в урбосреде – являются способом наблюдения за экологической устойчивостью городских почв.

2. Мы установили, что в верхнем слое почв на глубине 20 см почвенного профиля происходит изменение магнитных свойств почв.

3. Преобладающее присутствие минералов с жесткой каркасной структурой в составе фракции <1 мкм образцов является не свойственной этой фракции особенностью.

4. Главной особенностью минералов тонкодисперсной всех образцов – это сохранение в составе обломочного состава тонкодисперсной размерности кластогенных минералов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Закон города Москвы от 29 апреля 2015 года N 19; в редакции, введенной в действие с 27 июня 2022 года Законом города Москвы от 8 июня 2022 года N 17 Глава 4. Управление в области охраны и рационального использования городских почв Статья 12. Мониторинг городских почв.

2. *Azovtseva N A, A V Smagin, N B Sadovnokova, A V Kirichenko and E V Lasareva.* Physical-chemical predictors of soil pollution in the megapolis / //Journal of Physics: Conference Series. — 2020. — Vol. 1592, no. 012010. — P. 012010.

3. *Азовцева Н.А., Лазарева Е.В., Парфенова А.М.* Исследование прочности почв и почвенных модельных систем. Сборник материалов докладов Первой открытой конференции молодых ученых Почвенного института имени В.В. Докучаева «ПОЧВОВЕДЕНИЕ: ГОРИЗОНТЫ БУДУЩЕГО», ФГБНУ «Почвенный институт имени В.В. Докучаева» Москва,2017. С.172- 176.

4. *Азовцева Н.А., Парфенова А.М., Францев В.В.* Магнитная индукция и другие физические свойства городских почв. Статья в сборнике Природная и антропогенная неоднородность почв и статистические методы ее изучения: сборник науч. статей по материалам Всерос. Науч. интернет-конференции с межд. участием, посвященной 90-летию со дня рождения заслуженного профессора Е.А. Дмитриева, издательство Издательско-

торговая корпорация "Дашков и К" (Москва). 2022. С. 230-232 DOI редакторы Кондрашкина Марина Иосифовна, Мешалкина Юлия Львовна, Самсонова Вера Петровна).
5. *Гладышева М.А., Иванов А.В., Строганова М.Н.* Исследование состояния техногенного загрязнения городских почв каппаметрическим методом. В сборнике Материалы II международной научной конференции «Современные проблемы загрязнения почв». М. МГУ, 2007, том 2, с. 188-191.
6. *Azovtseva N.A., Fransev V.V.* The relationship of magnetic induction with the content of heavy metals and humus in soil Сборник Book of Abstracts Sixth International Conference of the CIS IHSS on humic innovative technologies "Humic substances and ecoadaptive technologies" (HIT-2021), 2021место издания NP CBR “Humus Sapiens” Moscow, тезисы, с. 26-27
7. *Азовцева Н.А., Францев В.В.* ««Магнитометр ВОЛНА-2» регистрационный номер № 2021666155/69, 2021 г.
8. *Азовцева Н.А., Францев В.В.* Программа для магнитометра ВОЛНА-2 (SOFT) #2022611909, 4 февраля, 2022

УДК 631.4

Модели устойчивого землепользования для достижения нейтрального баланса деградации земель

© 2022 г. О.В. Андреева, Г.С. Куст, В.А. Лобковский

Институт географии РАН, Россия,

119017, Москва, Старомонетный переулок, дом 29, стр. 4.

**andreeva@igras.ru*

Резюме: Современное развитие концепции устойчивого землепользования (УЗП) основывается на возможности достижения нейтрального баланса деградации земель (НБДЗ). Успешные практики землепользования позволяют предотвратить, снизить риск развития и обратить вспять деградацию земель при сохранении потенциала продуктивности и экосистемных функций. Особое внимание в настоящее время уделяется почвосберегающим практикам, направленным на закрепление почвенного органического углерода, предотвращению эрозии, засоления и уплотнения почв, устойчивому использованию удобрений, сохранению почвенного биоразнообразия. Опыт анализа широкого спектра практик УЗП позволил выделить перечень моделей землепользования для различных природно-географических условий. Так, примерами моделей землепользования могут служить: технологии прямого посева сельскохозяйственных культур, системы севооборотов, системы ирригации, технологии полезащитного лесоразведения, комплексы противоэрозионных мероприятий, системы управления пастбищами. Для оценки эффективности применяемых практик землепользования и достижения НБДЗ предложено использовать типологию землепользования. На основании анализа соответствия успешных практик параметрам УЗП, разработанных на этой базе иерархии и типологии землепользования показано, что для достижения нейтрального баланса деградации земель необходимо применение комплекса практик УЗП. Моделирование УЗП с использованием качественных оценочных шкал и лепестковых диаграмм продемонстрировало его высокую эффективность для визуализации целостности моделей и их корректировки с целью достижения наилучшего результата. Основными параметрами распознавания устойчивости землепользования являются: природное негативное воздействие, антропогенное негативное воздействие, риск деградации, природный/исходный потенциал, способность к самовосстановлению, искусственное поддержание баланса/восстановления, адаптационные технологии, инновационные технологии для расширения потенциала,

достаточность ресурсов и социально-экономических условий. Рассмотрена комплексная модель почвосберегающих технологий. Показано, что модель УЗП – это совокупность успешных практик, и только их сочетание может приводить к повышению устойчивости модели в целом. При стремлении к максимально возможной устойчивости модель УЗП должна иметь в своём составе практики, имеющие максимальные значения по всем параметрам.

Ключевые слова: устойчивое землепользование, модели землепользования, нейтральный баланс деградации земель (НБДЗ), типология землепользования, деградация земель, успешные практики.

Sustainable land management models for achieving land degradation neutrality

© 2022 O.V. Andreeva, G.S. Kust, V.A. Lobkovskiy

Institute of Geography of Russian Academy of Sciences,
4 Bld. 29 Staromonetnuy per., Moscow, 119017, Russian Federation
**e-mail: andreeva@igras.ru*

Abstract: The modern development of the concept of sustainable land management (SLM) is based on the possibility of achieving land degradation neutrality (LDN). Successful land management practices prevent, reduce the risk of development and reverse land degradation while maintaining productive capacity and ecosystem functions. Special attention is now being paid to soil-conservation practices aimed at securing soil organic carbon, preventing soil erosion, salinization and soil compaction, sustainable use of fertilizers, soil biodiversity conservation. The experience of analyzing a wide range of SLM practices has led to the identification of a list of land management models for different biophysical conditions. Examples of land management models include no-till technologies, crop rotation systems, irrigation systems, field afforestation technologies, erosion control measures, pasture management systems. It is proposed to use a land management typology to assess the effectiveness of the land management practices used and the LDN achievement. Based on the analysis of compliance of successful practices with SLM parameters developed on this basis, the hierarchy and typology of land management has shown that a set of SLM practices is needed to achieve a land degradation neutrality. Modelling of SLM using high-quality assessment scales and petal diagrams demonstrated its high efficiency in visualizing model integrity and adjusting them to achieve the best result. The main parameters for recognizing the sustainability of land management are: natural negative impact, anthropogenic negative impact, risk of degradation, natural/basic potential, capacity for self-restoration, artificial balance/recovery, adaptation technologies, innovative technologies for capacity-building, adequacy of resources and socio-economic

conditions. A complex model of soil-conservation technologies is considered. It is shown that the SLM model is a set of successful practices, and only their combination can lead to an increase in the stability of the model as a whole. While striving for the greatest possible stability, the SLM model should be composed of practices with the highest values for all parameters

Keywords: sustainable land management (SLM), land management models, land degradation neutrality (LDN), land management typology, land degradation, good practices.

ВВЕДЕНИЕ

Устойчивое землепользование (УЗП, в оригинале – "sustainable land management") представляет собой комплексный подход к решению проблем деградации почвенных и земельных ресурсов, сохранения потенциала продуктивности земель и экосистемных функций. Применение практик устойчивого землепользования является одним из наиболее эффективных способов восстановления утраченных земель и предотвращения новых форм деградации и достижения нейтрального баланса деградации земель (НБДЗ) (Fernandes et al., 2006, Akhtar-Schuster et al., 2017, Orr et al., 2017, Sanz et al., 2017). НБДЗ — это такое "состояние, при котором объём и количество земельных ресурсов, необходимых для поддержания экосистемных функций и услуг и усиления продовольственной безопасности, остаются стабильными или же увеличиваются в конкретно определённых временны́х и пространственных масштабах и экосистемах" (UNCCD, 2015). Мероприятия УЗП принято описывать как успешные практики и рекомендовать для расширения масштабов их применения в аналогичных условиях, используя соответствующие базы данных. Подходы УЗП применимы для любых экосистем и типов земель, что подтверждается успешным опытом по всему миру (Sanz et al., 2017, WOCAT database, 2020). Практика УЗП представляет собой технологию, направленную на контроль деградации земель и повышение производительности и включает агрономические, вегетативные, структурные и управленческие меры. Особое внимание в настоящее время уделяется почвосберегающим практикам, направленным на закрепление почвенного органического углерода, предотвращению эрозии, засоления и уплотнения почв, устойчивому использованию удобрений, сохранению почвенного биоразнообразия. Согласно Протоколу ГПП ФАО

(ГПП, 2018) основными индикаторами устойчивого управления почвами являются продуктивность почв, содержание органического вещества, плотность сложения и микробиологическая активность (дыхание) почв, а также параметры, характеризующие локальные характеристики почв. Показано, что УЗП – один из основных механизмов для достижения НБДЗ (Sanz et al., 2017, Kust et al., 2017, Andreeva et al., 2021). Однако, несмотря на высокое внимание проблеме, остаётся дискуссионным понимание "устойчивости" землепользования и его интерпретация.

Для оценки эффективности применяемых практик землепользования и достижение НБДЗ нами было предложено использовать типологию землепользования (с выделением категорий “практика”, “модель”, “тип”, “класс”) (Andreeva et al., 2021). Согласно предлагаемому нами методологическому подходу, положенному в основу этой иерархии, модель землепользования — это центральный образ совокупности практик и технологий (в отличие от частных местных практик), которые характеризуются определенным сходным набором технологических приемов, природными и социально-экономическими условиями и потенциалом, рисками деградации земель (включая антропогенные воздействия), возможностью и способами достижения НБДЗ (Andreeva et al., 2021).

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Методической основой для анализа успешных практик в рамках данной работы послужили подходы к типологии объектов землепользования, опубликованные нами ранее (Куст и др., 2019, Andreeva et al., 2021). Опыт анализа широкого спектра практик УЗП позволил выделить перечень моделей землепользования для различных природно-географических условий. Так, примерами моделей землепользования могут служить: технологии прямого посева сельскохозяйственных культур, системы севооборотов, системы ирригации, технологии полезащитного лесоразведения, комплексы противоэрозионных мероприятий, системы управления пастбищами (Андреева и др., 2022).

В данной работе мы использовали 5 генерализованных параметров устойчивости землепользования (Андреева и др., 2022), оцениваемых по степени их проявления:

1. Неблагоприятные природные процессы и явления (актуальные) – ПП;
2. Неблагоприятные антропогенные воздействия и вызванные ими процессы (актуальные) – АП;
3. Риск развития деградационных явлений (потенциальные деградационные процессы) – Р;
4. Природный и/или расширенный потенциал земель – ПЗ;
5. Способность земель к самовосстановлению, адаптационные технологии, компенсационные и восстановительные мероприятия – В.

Рассмотрим визуализацию результатов интегральной оценки с использованием лепестковых диаграмм на примере модели УЗП «Система прямого посева сельскохозяйственных культур» (Рис. 1).

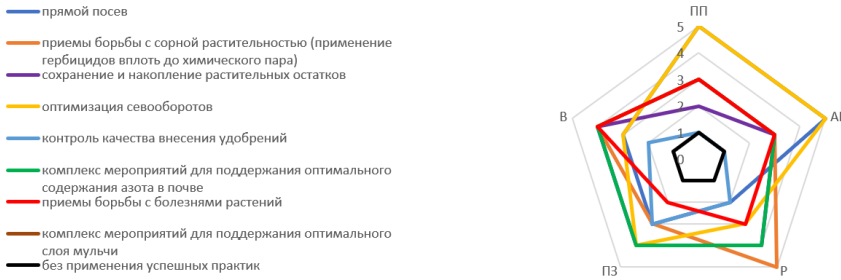


Рис. 1. Модель устойчивого землепользования «Система прямого посева сельскохозяйственных культур»

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Любые «успешные практики», применяемые для данной модели, всегда имеют преимущество и дают свой индивидуальный вклад в восстановление и поддержание почвенного плодородия и состояние земель в целом. Условное исходное состояние (без применения успешных практик) характеризуется худшими характеристиками оцениваемых параметров ("1" по принятой шкале). Суммарная эффективность практики оценивается по общей площади

соответствующего многоугольника. Можно заметить, что каждая отдельная успешная практика эффективна только в отношении определенных параметров модели. Целостность модели УЗП описывается общей площадью фигуры, включающей внешний периметр всех многоугольников. Появление острых углов итоговой фигуры может являться признаком разбалансированности совокупности практик, выбранных для конкретного случая. Для рассматриваемой модели выбраны наиболее типичные практики, характерные для той или иной системы земледелия. Для более полного описания, этот список может дополняться, также как и может быть расширен список параметров оценки устойчивости модели. При стремлении к максимально возможной устойчивости модель УЗП должна иметь в своём составе практики, имеющие максимальные значения по всем параметрам. Это достигается путём добавления в модель практик, направленных на улучшение недостающих параметров. Каждая отдельная практика, даже если и не отражает улучшение состояния земель в максимальной степени, тем не менее способствует поддержанию всей модели в целом. Максимальная площадь фигуры свидетельствует об устойчивости модели землепользования и возможности достижения нейтрального баланса деградации земель.

ВЫВОДЫ

Предложенный подход по моделированию и визуализации УЗП с использованием качественных оценочных шкал и лепестковых диаграмм предложен впервые и позволяет по-новому оценить практики, приёмы и технологии землепользования точки зрения устойчивости. Каждая отдельная практика рассматривается в качестве элемента модели УЗП и направлена на улучшение её параметров и признаков, что дает возможность корректировки практик и технологий с целью достижения наилучшего результата. Максимальные баллы по оценочной шкале свидетельствуют об устойчивости модели и возможности достижения нейтрального баланса деградации земель. Основными параметрами распознавания устойчивости землепользования являются: природное негативное воздействие, антропогенное негативное воздействие, риск деградации, природный/исходный потенциал, способность к самовосстановлению, искусственное поддержание баланса/восстановления,

адаптационные технологии, инновационные технологии для расширения потенциала, достаточность ресурсов и социально-экономических условий. На основе проведенной оценки возможно обоснование внедрения необходимого набора практик (технологий), направленных на реализацию определенных параметров устойчивости и выявления "узких мест" в землепользовании, что позволяет последовательно снижать риски деградации земель, восстанавливать деградированные территории и снижать проявление текущих негативных процессов путем применения компенсационных мероприятий.

ИСТОЧНИКИ ФИНАНСИРОВАНИЯ

Исследование выполнено в рамках темы государственного задания Института географии РАН FMWS-2022-0001

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Андреева О.В., Куст Г.С., Лобковский В.А.* Устойчивое землепользование и нейтральный баланс деградации земель. Вестник Российской Академии наук, 2022, т. 92, №6, с. 509-521. DOI: 10.31857/S0869587322060020

2. Глобальное почвенное партнёрство (ГПП). Пленарная ассамблея, 6 сессия. Рим, 11–13 июня 2018 г. https://www.fao.org/fileadmin/user_upload/GSP/sixth_plenary/RUSSIAN/GSPPA_VI_2018_3_r.pdf

3. *Куст Г.С., Андреева О.В., Лобковский В.А., Костовска С.К.* Методические подходы к разработке типологии моделей устойчивого землепользования // *Экология урбанизированных территорий.* 2019. № 3. С. 34–40.

4. *Akhtar-Schuster M., Stringer L.C., Erlewein A. et al.* Unpacking the concept of land degradation neutrality and addressing its operation through the Rio Conventions // J. Environ. Manage. 2017. V. 195. P. 4–15.

5. *Andreeva O.V., Lobkovsky V.A., Kust G.S., Zonn I.S.* The Concept of Sustainable Land Management: Modern State, Models and Typology Development // Arid Ecosyst. 2021. V. 11. P. 1–10.

6. *Dumanski J.* Criteria and indicators for land quality and sustainable land management // ITC Journal. 1997. № 3/4. P. 216–222.

7. *Fernandes E., Burcroff R., Anderson J. et al.* Sustainable land management. Challenges, opportunities, and trade-offs // The World Bank. Washington, 2006. http://documents.worldbank.org/curated/en/973741468135939915/Sustainable-land-management-challenges-opportunities-and-trade-offs

8. *Kust G., Andreeva O., Cowie A.* Land Degradation Neutrality: Concept development, practical applications and assessment // J. Environ. Manage. 2017. V. 195. P. 16–24.
9. *Liniger H., Mekdaschi R., Moll P., Zander U.*, 2017. Making sense of research for sustainable land management. https://www.ufz.de/export/data/2/126685_full_version_WOCAT_Glues.pdf
10. *Orr B.J., Cowie A.L., Castillo Sanchez V.M. et al.* Scientific Conceptual Framework for Land Degradation Neutrality // A Report of the Science-Policy Interface. United Nations Convention to Combat Desertification (UNCCD). Bonn, 2017.
11. *Reed M.S., Buenemann M., Atlhopheng J., Akhtar-Schuster M., Bachmann F., Bastin G., Bigas H., Chanda R., Dougill A.J., Essahli W., Evely A.C., Fleskens L., Geeson N., Glass J.H., Hessel R., Holden J., Ioris A.A.R., Kruger B., Liniger H.P., Mphinyane W., Nainggolan D., Perkins J., Raymond C.M., Ritsema C.J., Schwilch G., Sebego R., Seely M., Stringer L.C., Thomas R., Twomlow S., Verzandvoort S.*, 2011. Cross-scale monitoring and assessment of land degradation and sustainable land management: A methodological framework for knowledge management. // L. Degrad. Dev. 22, 261–271. https://doi.org/10.1002/ldr.1087
12. *Sanz M.J., Vente J. de, Chotte J.-L. et al.* Sustainable Land Management contribution to successful land-based climate change adaptation and mitigation // A Report of the Science-Policy Interface. United Nations Convention to Combat Desertification (UNCCD). Bonn, 2017.
13. *Smyth A.J., Dumanski J.* FESLM: An International Framework for Evaluating Sustainable Land Management // World Soil Resources Report. 1993. № 73. https://www.faoswalim.org/resources/Land/FESLM.pdf
14. UNCCD 2015. Integration of the Sustainable Development Goals and targets into the implementation of the United Nations Convention to Combat Desertification and the report of the Intergovernmental Working Group on Land Degradation Neutrality. https://www.unccd.int/sites/default/files/sessions/documents/ICCD_COP12_4/4eng.pdf
15. WOCAT database, 2020. https://www.wocat.net/en/global-slm-database (дата обращения 06.08.2020).

УДК 631.459.2

Влияние исторической трансформации землепользования на эродированность пахотных почв Белгородской области

© 2022 г. Ж.А. Буряк[1*], А.О. Полетаев[1]

[1]Белгородский государственный национальный исследовательский университет, Россия,
308019, Белгород, ул. Победы, д. 85,
[*] buryak@bsu.edu.ru

Резюме: В работе представлены результаты оценки изменения структуры агроландшафтов Белгородской области за последние 200 лет. Для трех ключевых бассейнов лесостепной зоны с различными историческими сценариями аграрного освоения выполнено картографирование угодий по планам Генерального межевания (кон. XVIII в.) и Трехверстной военной топографической карте (сер. XIX в.) и проведен сравнительный анализ с современной структурой агроландшафтов. Также для ключевых участков была оценена степень эродированности по крупномасштабным почвенным картам. Каждый бассейн характеризуется своим сценарием земледельческого освоения. Бассейн Ворсклы является староосвоенным, за последние 200 лет дополнительно распахано лишь 5% территории. Распаханность Валуя увеличилась с 36 до 50% за счет освоения целинной степи. Распашка бассейнов притоков Оскола шла за счет сведения лесов: их доля снизилась с 30% до 11%. Картографирование временной динамики угодий для трех сценариев освоения территории и моделирование изменения их эрозионного потенциала позволило сделать следующие выводы. При сельскохозяйственном освоении вовлекаемые в распашку целинные участки по степени эродированности «догоняют» староосвоенные земли примерно за полвека, а далее находятся в относительно стабильном состоянии. На бывших лесных участках процессы водной эрозии идут интенсивнее и в некоторых случаях могут «опережать» староосвоенные почвы. Для пашни под бывшими лесными массивами вклад длительности освоения в текущую эродированность не сопоставим с освоенными степными участками, поскольку эрозионный потенциал первых значительно выше. Низкая противоэрозионная устойчивость распахиваемых лесных почв в сочетании со склоновым рельефом приводят к более стремительному смыву.

Ключевые слова: агроландшафт, пашня, эродированность, Белгородская область.

The influence of the historical transformation of land use on the erosion of arable soils in the Belgorod oblast

© 2022 Zh.A. Buryak[1*], A.O. Poletaev[2]

[1]Belgorod State National Research University,
85 Pobedy St., Belgorod 308019, Russian Federation,
[*] e-mail: buryak@bsu.edu.ru

Abstract: The article presents the results of an assessment of changes in the structure of agricultural landscapes in the Belgorod oblast over the past 200 years. For three key basins of the forest-steppe zone with different historical scenarios of agrarian development, mapping of lands according to the plans of the General Land Survey (end of the 18th century) and the Three-verst military topographic map (middle of the 19th century) was carried out. A comparative analysis with the modern structure of agrolandscapes was carried out. Also, for key areas, the degree of erosion was assessed using large-scale soil maps. Each basin is characterized by its own scenario of agricultural development. The Vorskla basin is a developed one; over the past 200 years, only 5% of the territory has been additionally plowed up. The plowed area of Valuy increased from 36 to 50% due to the development of the virgin steppe. The plowing of the Oskol inflows basins was due to deforestation: their share decreased from 30% to 11%. Mapping the temporal dynamics of lands for three scenarios of territory development and modeling changes in their erosion potential made it possible to draw the following conclusions. During agricultural development, the virgin lands involved in plowing "catch up" with the degree of erosion of the old developed lands in about half a century, and then they are in a relatively stable state. In the former forest areas, the processes of water erosion are more intense and in some cases can "outstrip" the old developed soils. For arable land under former forest tracts, the contribution of the duration of development to the current erosion is not comparable with the developed steppe areas, since the erosion potential of the former is much higher. The low anti-erosion resistance of plowed forest soils, combined with the slope relief, leads to a more rapid washout.

Keywords: agricultural landscape, arable land, erosion, Belgorod oblast.

ВВЕДЕНИЕ

Белгородская область с конца XVI в. являлась пограничным регионом Русского государства. Это сформировало особенные условия заселения края и сельскохозяйственного освоения земель. Если территории к северу от Белгородской засечной черты активно

начали заселяться уже в первой половине XVII в., в южных регионах этот процесс активизировался спустя 100 лет (Лисецкий и др., 2015).

Продолжительная история земледельческого освоения региона привела к деградации всех компонентов геосистем (Чендев и др., 2008), в первую очередь почвенного покрова. В настоящее время половина площади обрабатываемой пашни области в той или иной степени эродирована (Лукин и др., 2008).

В настоящем исследовании решалась задача по сопоставлению различных сценариев земледельческого освоения земель и оценке влияния трансформации угодий на состояние современного почвенного покрова распахиваемых территорий.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Анализ характера пространственно-временной динамики структуры угодий был выполнен для 3-х ключевых водосборов лесостепной зоны – р. Ворскла, р. Валуй и четырех левых притоков Оскола в верхнем течении (реки Дубенка, Орлик, Ольшанка и Халань) (Рис. 1). Для каждого бассейна характерна своя история и специфика землепользования.

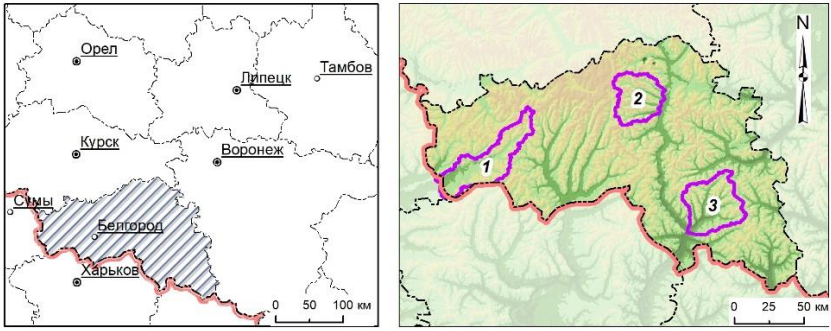


Рис. 1. Расположение объектов исследования в пределах Белгородской области: 1 – бассейн р. Ворскла, 2 – бассейны притоков р. Оскол, 3 – бассейн р. Валуй

Изменение структуры угодий оценивали за период общей продолжительностью около 200 лет. Картографирование проводили для трех временных срезов по следующим источникам:

– конец XVII в. – планы Генерального межевания Курской и Воронежской губерний (1780-е гг.), 1:42000;

– середина XIX в. – Трехверстная военная топографическая карта Российской империи (1850-е гг.), 1:126000;

– база данных земельных угодий из проектов бассейнового природопользования Белгородской области (2010-е гг.), 1:25000.

Для каждого бассейна создали векторную карту структуры угодий по каждому временному срезу. Планы генерального межевания, ввиду отсутствия математической картоосновы, были привязаны в несколько этапов по каркасным линиям рельефа и населенным пунктам методом резинового листа. Трехверстные военные карты привязывались по координатной сетке.

Оценку фактической эродированности для ключевых участков выполняли по крупномасштабным материалам почвенно-эрозионного обследования М. 1:10000, которые проводились на территории Белгородской области в 80-х гг. XX в. По ним был создан векторный слой пашни с разделением по степени смытости.

Для перевода градаций эродированности в количественный критерий использовали сводный балл эродированности (с учетом их процентного соотношения в пределах одного почвенного контура). Несмытым почвам присвоен балл 0, слабосмытым – 1, слабосмытым в сочетании со среднесмытыми 10-25% – 1,18, среднесмытым – 2, сильносмытым – 3 и т.д.

Также для исследуемых объектов был оценен эрозионный потенциал от дождевой эрозии по модели среднегодовых почвенных потерь USLE, адаптированной для условий России (Ларионов, 1993). Под потенциалом понимали сочетание мало вариабельных во времени факторов рельефа и почв из эрозионной модели. Величины эрозионных потерь являются условными, поскольку при оценке не учитывали динамику факторов осадков и агрофона. Однако такой подход вполне удовлетворяет цели сравнительной оценки в настоящем исследовании.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

На рисунке 2 представлены картограммы трансформации структуры угодий для трех ключевых бассейнов за последние 200 лет.

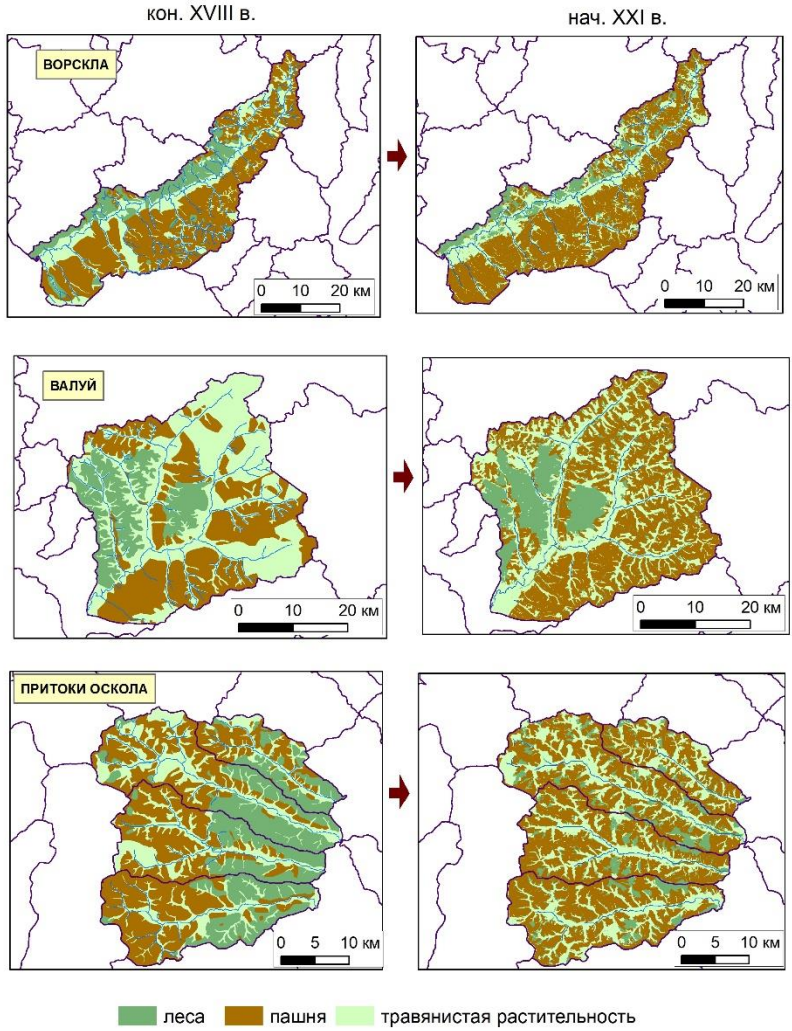
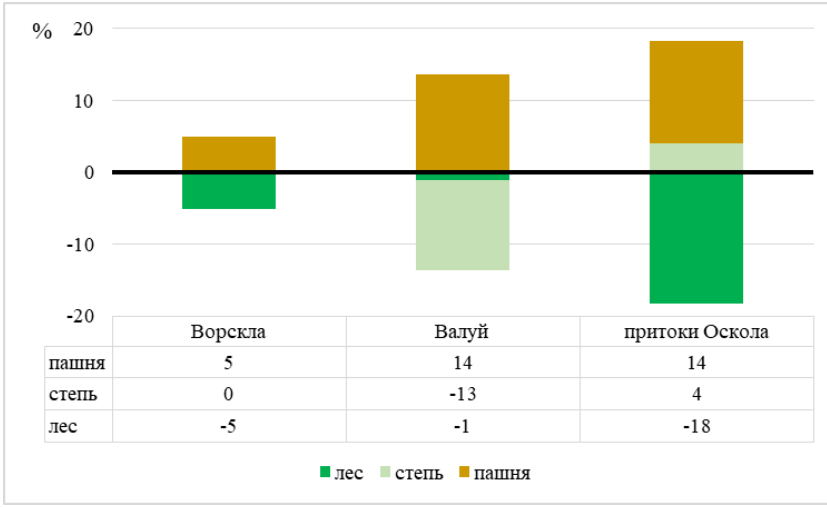


Рис. 2. Трансформация структуры угодий для ключевых участков за 200 лет

Бассейн реки Ворскла характеризуется самой малой трансформацией земель (Рис. 3). Из всей площади водосбора 5% лесов перешли в распахиваемые угодья. Общий баланс земель изменился не сильно, однако существенно возросла фрагментированность ландшафтов бассейна (Украинский и др., 2017).



	Ворскла	Валуй	притоки Оскола
пашня	5	14	14
степь	0	-13	4
лес	-5	-1	-18

Рис. 3. Изменение доли трансформируемых угодий (от общей площади бассейна) для трех ключевых участков

К концу 18 в. бассейн р. Валуй был частично освоен. В восточной части бассейна на тот период все еще сохранились целинные степи. Увеличение пашни происходило преимущественно за счет их освоения: 13% площади бассейна перешло из степей в пашню. Лесные массивы были мало вовлечены в распашку – порядка 1%.

Лесные массивы в бассейнах притоков Оскола концу 18 в занимали 30% территории. Дальнейшее сельскохозяйственное освоение бассейна шло за счет сведения лесов. К настоящему времени лесистость территории составляет 11%.

Скорости освоения бассейнов также отличаются. Как отмечено выше, бассейн Ворсклы по интенсивности агрогенной освоенности уже был близка к настоящему времени. Для Валуя в связи с стремительным заселением к 50-м гг. XIX в. практически все

целинные степи были распаханы. На протяжении оставшихся 150 лет доля пашни изменялась не существенно. Для притоков Оскола освоение шло поэтапно с разной скоростью. К 50-м гг. XIX в. за счет распашки площадь лесов сократилась в 2 раза, на протяжении следующих 150 лет сократилась еще в 1,6 раза.

Оценка фактической эродированности

Фактическая эродированность почв – результат сложного взаимодействия множества природно-антропогенных процессов. Вычленение среди них фактора продолжительности обработки – достаточно условное, однако может показать общие закономерности изменения свойств почв.

Для тестовых участков в бассейне р. Валуй, где трансформация пашни произошла за счет вовлечения целинной степи, балл эродированности равен 0,51. Он меньше, но незначительно отличается от балла эродированности для длительно освоенной пашни – 0,58. Это справедливо для выборки участков как по всей территории пашни, так и для участков на склонах (где балл эродированности более 1). В условиях склонового рельефа балл эродированности равен 1,52 для обоих случаев.

В бассейне р. Халань (южный бассейн из группы притоков Оскола), где прирост пашни обеспечивали леса, складывается несколько иная картина. Средний балл эродированности между всей староосвоенной и вновь освоенной пашней также мало отличается, но уже больше для «лесных» участков – 0,50 против 0,45. Кроме того, если исключить из анализа территории плакоров, разница становится еще более заметной: балл эродированности под сведенными лесами равен 1,70, а под старой пашней – 1,57. Принимая во внимание, что распашка этого бассейна шла равномерно и средняя продолжительность использования в земледелии лесных участков меньше, чем в Валуе, можно сделать вывод, что на этих территориях водно-эрозионные процессы протекают интенсивнее.

Оценка эрозионного потенциала

Для бассейна Валуя проанализирована текущая структура пашни в сравнении с концом 18 в.: 36% площади распахивалось ранее, 44% перешло из степных территорий, 20% из лесного фонда. По почвенно-рельефным условиям освоенные участки целинных степей сопоставимы с ранее распахиваемыми землями – эрозионный потенциал в обоих случаях составляет 11 т/га в год. Для пашни

под освоенными лесными участками на крутых склонах средняя величина эрозионных потерь равна 38 т/га в год. Суммарные потенциальные почвенные потери с пашни для бассейна увеличились в 2,1 раза.

Для бассейна р. Халань (один их притоков Оскола) площадь пашни за 250 лет увеличилась в 1,5 раза. В текущей структуре пашни 68% территории уже распахивалось к концу 18 в., 32% ранее находилось под лесными массивами. Участки пашни под бывшими лесами представлены темно-серыми лесными почвами, для которых характерна меньшая эрозионная устойчивость, чем для черноземов. Средняя величина эрозионных потерь с таких территорий составляет 24 т/га в год, что 2,2 раза больше, чем на черноземах типичных. Хотя для данного бассейна относительный прирост пашни по площади меньше, чем для Валуя, суммарные эрозионные потери для двух бассейнов сопоставимы – они увеличились в 2 раза.

Таблица 1. Сравнение эрозионного потенциала бассейнов р. Валуй и Халань в результате исторической трансформации угодий.

Бассейн	Прирост пашни, раз	Средние эрозионные потери (т/га в год) для территорий:		Прирост суммарных эрозионных потерь, раз
		ранее распахиваемых	вновь распахиваемых	
Валуй	1,8	9	13 – степь 38 – лес	2,1
Халань	1,5	11	24 – лес	2,0

ВЫВОДЫ

Картографирование временной динамики угодий для трех сценариев освоения территории и моделирование изменения их эрозионного потенциала позволило сделать следующие выводы. При сельскохозяйственном освоении вовлекаемые в распашку целинные участки по степени эродированности «догоняют» староосвоенные земли примерно за 50 лет, а далее находятся в относительно стабильном состоянии. На лесных участках, переведенных в пашню, процессы водной эрозии идут интенсивнее и в некоторых случаях могут «опережать» староосвоенные почвы. Для пашни под бывшими лесными массивами вклад длительности освоения в

текущую эродированность не сопоставим с участками освоенной целинной степи, поскольку эрозионный потенциал первых значительно выше. Низкая противоэрозионная устойчивость распахиваемых лесных почв в сочетании со склоновым рельефом приводят к более стремительному смыву.

Исследование выполнено в рамках внутривузовского гранта «Молодые лидеры в науке» по программе "Приоритет 2030"

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Ларионов Г.А*. Эрозия и дефляция почв: основные закономерности и количественные оценки. М.: Изд-во МГУ, 1993. 198 с.
2. *Лисецкий Ф.Н., Дегтярь А.В., Буряк Ж.А., Павлюк Я.В., Нарожняя А.Г., Землякова А.В., Маринина О.А.* Реки и водные объекты Белогорья. Белгород: Константа, 2015. 361 с.
3. *Лукин С.В., Верютина О.С., Корнейко Н.И., Малыгин А.В.* Влияние водной эрозии почв на основные агрохимические свойства пахотных почв Белгородской области // Достижения науки и техники АПК. 2008. № 9. С. 7–8.
4. *Украинский П.А., Терехин Э.А., Павлюк Я.В.* Фрагментация лесов верхней части бассейна реки Ворскла с конца XVIII века // Вестник Московского университета. Серия 5: География. 2017. № 1. С. 82–91.
5. *Чендев Ю.Г., Петин А.Н., Серикова Е.В., Крамчанинов Н.Н.* Деградация геосистем Белгородской области в результате хозяйственной деятельности // География и природные ресурсы. 2008. № 4. С. 69–75.

УДК 631.4

Оценка с/х земель на основе агроэкологической группировки и динамики плодородия почв

© 2022 г. Н.А. Васильева*, В.В. Владимиров

ФИЦ «Почвенный институт им. В.В. Докучаева», Россия,
119017, Москва, Пыжевский пер, 7, стр. 2,
* *nadezda.vasilyeva@gmail.com*

Резюме: Важной государственной задачей является усовершенствование существующей системы кадастровой оценки земли. “Результирующими критериями оценки земель являются продуктивность и экономическая эффективность их использования.” Существует актуальная методика комплексной оценки с/х земель, предложенная В. И. Кирюшиным. Методика основана на последовательном выделении зон, провинций, групп и видов земель. В этой методике вид земель является первичной единицей оценки и характеризуется определенными требованиями технологических операций по возделыванию с/х культур и управлению продукционным процессом растений, минерального питания, водным и тепловым режимом, почвенно-экологическими условиями, ограничениями агрохимической нагрузки на почвы и агроценозы. На последнем этапе методика предполагает расчет урожайности и рентабельности для каждого вида земель при различных уровнях интенсификации земледелия. Мы предлагаем конкретный вариант реализации последнего этапа с применением имитационной модели продуктивности агроэкосистем в сочетании с экономической моделью дисконтированных денежных потоков для сельскохозяйственного предприятия. Учет качества почвы в экономической модели предлагается осуществлять через вычисление затрат на поддержание или приведение к целевым уровням урожайности и плодородия для каждого вида земель согласно имитационной модели продуктивности. Таким образом, предлагаемый алгоритмический метод принимает во внимание возможность управления динамикой почвенного плодородия в процессе землепользования. Метод позволяет вычислять оптимальный сценарий землепользования, который предлагается использовать в качестве базового для оценки вида земель как производственного актива. Наш подход предполагает использование любых имитационных моделей продуктивности, удовлетворяющих определенным минимальным требованиям, таким образом, возможно использование ансамбля моделей для определения диапазона оценки.

Ключевые слова: оценка земель, имитационное моделирование, продуктивностью, DCF-модель, рентабельность, диапазон оценки, оптимизация с/х производства.

Assessment of agricultural lands based on agroecological grouping and dynamics of soil fertility

© 2022 N.A. Vasilyeva*, V.V. Vladimirov

Federal Research Centre "V.V. Dokuchaev Soil Science Institute",
7 Bld. 2 Pyzhevskiy per., Moscow 119017, Russian Federation,
* *e-mail: nadezda.vasilyeva@gmail.com*

Abstract: An important state task is to improve the existing system of cadastral valuation of land. The criteria for assessing agricultural land are productivity and economic efficiency of their use. There is a relevant methodology for a comprehensive assessment of agricultural lands proposed by V.I. Kiryushin. The methodology is based on the sequential allocation of zones, provinces, groups and types of lands. In this methodology, the type of land is the primary unit of assessment and is characterized by certain requirements of technological operations for the cultivation of agricultural crops and management of the production process of plants, mineral nutrition, water and thermal regime, soil and environmental conditions, restrictions of agrochemical load on soils and agrocenoses. At the last stage, the methodology assumes the calculation of yield and profitability for each type of land at different levels of intensification of agriculture. We propose a particular implementation of the last stage using a simulation model of agroecosystem productivity in combination with an economic model of discounted cash flows for an agricultural farm. It is proposed to consider the quality of soil in the economic model by calculating the costs of maintaining or bringing to target levels of yield and fertility for each type of land according to the productivity simulation model. Thus, the proposed algorithmic method takes into account the possibility of controlling the dynamics of soil fertility in the process of land use. The method allows calculating the optimal scenario of land use, which is proposed to be used as a base for assessing the type of land as a production asset. Our approach involves the use of any simulation models of productivity that meet certain minimum requirements, so it is possible to use an ensemble of models to determine the range of valuation.

Keywords: land valuation, simulation modeling, productivity, DCF-model, profitability, valuation range, optimization of agricultural production.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время существует множество моделей для оценки земель (Богатырев и др., 2017). В разное время предлагались различные почвенно-экологических индексы, поправочные коэффициенты и баллы бонитета. К настоящему времени системы оценки, основанные на интегральных показателях, утрачивают значение. В современных условиях интенсификации земледелия растет влияние динамики почвенных свойств, управляемой применяемыми агротехнологиями. Изменения почвенных показателей в процессе землепользования, а также возможность управления почвенным плодородием недостаточно учитываются в существующих моделях. Эти изменения при различных используемых агротехнологиях в настоящее время стало возможно оценить в результате прогресса имитационного моделирования агроэкосистем (обзор современных моделей см., например, Якушев и др., 2019). Однако, для их правильного учета на длительном горизонте планирования требуется экономическая модель с дисконтированием будущих денежных потоков (DCF), которая применяется для оценки стоимости бизнеса и производственных активов.

В данной работе мы предлагаем дополнить методологию комплексной оценки с/х земель (Кирюшин, 2020), предложенную на основе агроэкологической группировки, ансамблем имитационных моделей продуктивности в сочетании с экономической DCF-моделью. Данный подход обеспечивает получение дифференцированной оценки земель внутри вида (первичной единицы оценки земли по Кирюшину) или отдельных участков.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Модель дисконтированных денежных потоков или DCF-модель это вид финансовой модели, который используется для оценки стоимости бизнеса. DCF-модель — это прогноз свободного денежного потока компании, приведенного за счет дисконтирования к сегодняшнему дню.

DCF-модель лежит в основе универсального метода определения так называемой справедливой оценки стоимости предприятия, равной сумме дисконтированного денежного потока F_n за

прогнозный период (n лет) и остаточной стоимости предприятия, которая дисконтируется со временем.

Денежный поток — это денежная сумма, которой распоряжается компания после вычета расходов за какой-то период (распределенное во времени движение денежных средств). Дисконтирование денежного потока позволит посчитать, сколько будет стоить компания в будущем с учётом инфляции, рисков, альтернативных доходов и так далее.

Формула для дисконтирования будущих денежных потоков за n лет:

$$F_n = \sum_1^n \frac{f_i}{(1+r)^i} \qquad (1)$$

f_i - доход или убыток в i-й год складывается из дохода от реализации урожая минус все расходы, r - процентная ставка (ставка дисконтирования или процент, на который средства подешевеют в результате инфляции или других рисков). Мы предлагаем оценивать разницу в стоимости земли как разницу в справедливой стоимости одинаковых типовых хозяйств (например, рекомендуемая методикой Кирюшина для рассматриваемых видов земель), отличающихся только земельным фондом. Предполагается сравнивать оцениваемый участок с некоторым средним или эталонным. Поскольку формула (1) линейная, можно вычислять разницу за счет отдельных факторов. В предлагаемом подходе оценки земли достаточно рассчитать только разницу в справедливой оценке стоимости хозяйств.

$$\Delta F_n = \sum_1^n \frac{\Delta f_i}{(1+r)^i} \qquad (2)$$

где Δf_i изменение денежного потока в i-й год за счет отличия почвенных параметров земельного участка от эталонного Δf_i состоит из дополнительного дохода минус необходимые специфические расходы, связанные с конкретным участком, при этом ΔF даст отличие стоимости оцениваемого земельного участка от эталонного такой же площади. Δf_i вычисляется из модели продуктивности агроэкосистем и модели почвенного плодородия, при некоторых оптимальных или стандартных параметрах ведения хозяйства.

Для того чтобы избежать влияния остаточной стоимости земли, которая зависит от уровня плодородия почвы, мы рассматриваем сценарий землепользования для приведения почвы к

эталонному уровню плодородия (например, при уточнении оценки отдельных видов земель внутри группы, в качестве эталона выбирается среднее по группе). Либо, в случае, когда приведение к эталонному уровню плодородия невозможно (например, максимально достижимый уровень плодородия на участке ниже эталонного), моделирование продолжается до достижения сходимости последовательности (когда дисконтированная разница в доходах от сравниваемых земель в будущем становится незначительной).

Для вычисления последовательности Δf_i необходимо моделировать урожайность и затраты с учетом изменения почвенного плодородия с помощью имитационной модели продуктивности агроэкосистем. Суммарные затраты на мероприятия, которые зависят от текущих свойств почвы возможно оценить только с помощью динамического моделирования состояния почвы в многолетнем продукционном процессе с помощью имитационной модели. Также имитационное моделирование позволяет учесть нерегулярные факторы, такие как вынужденные корректировки в агротехнические планах и рассчитывать допустимые диапазоны таких изменений для достижения целевых показателей.

Минимальные требования к модели включают: Учет географии и положения в рельефе (климатические факторы с поправками на микроклимат), севооборота (воздействие культуры предшественника, пожнивные остатки, симбиотическую азотфиксацию бобовыми растениями), применяемой агротехники с возможностью управления (указание видов, доз и сроков агротехнических мероприятий), моделирование обратной связи урожайности с изменениями основных агрохимических и агрофизических свойств со временем, в частности, водного и температурного режима.

Экономическая DCF-модель в сочетании с моделью продуктивности и алгоритмами оптимизации позволяет определить максимально рентабельный способ ведения хозяйства на рассматриваемом участке. Оптимизация по рентабельности является одним из вариантов выбора оптимального способа ведения хозяйства наряду с экспертным мнением или статистическими данными. В итоге разность результатов DCF-модели между оптимальным хозяйством на данном участке и типовым на эталонном участке является поправкой к оценке земли.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Предлагается алгоритм оценки сельскохозяйственной земли, состоящий из шагов:

1) определения классификационного положения рассматриваемого участка земли в агроэкологической группировке земель, которое определяет необходимые и оптимальные сорта, севообороты и агротехнологические мероприятия.
2) выбор эталонного участка с уже известной стоимостью земли и типовым хозяйством, максимально похожего по агроэкологическим условиям. Это может быть как конкретный участок земли, так и абстрактный типичный участок.
3) запуск имитационной модели продуктивности для вычисления временного ряда урожайности на двух сравниваемых участках (оцениваемый и эталонный) с использованием соответствующих агротехнологий и севооборотов (определенных на шагах 1, 2).
4) использование результатов шага 3 в DCF-модели для расчета стоимости земли как производственного актива и рентабельности хозяйства.

Поскольку не всегда очевидно какой способ ведения хозяйства является оптимальным, возможно применение математической оптимизации имитационной модели продуктивности вместе с DCF-моделью для достижения максимальной рентабельности при условии приведения агроэкологического состояния почвы по основным показателям плодородия (и таким образом, ее остаточной стоимости) к эталонному уровню. Таким образом, возможно использование предлагаемого метода также в качестве инструмента для выбора оптимального землепользования.

Модель продуктивности должна иметь актуальную калибровку для тех агроэкологических условий, в которых предполагается ее применение, для получения такой калибровки может понадобиться систематизация и алгоритмический анализ большого количества данных с/х производства (технологические карты полей и урожайность) либо проведение многофакторных полевых опытов. Для адекватного учета рисков засухи или других неблагоприятных

погодных явлений целесообразно использовать существующие модели для оценки вероятности и величины ущерба от этих явлений. Современные технологии позволяют осуществлять параметризацию подобных сложных моделей на больших объемах данных, и оптимизацию управления в изменяющихся условиях.

Для оценки и прогнозирования экономических параметров, например ставки дисконтирования, цены реализации и затрат на различные агротехнические мероприятия, существуют и разрабатываются различные методики.

ВЫВОДЫ

Данный подход использует алгоритмы математической оптимизации экономической DCF-модели с имитационной моделью продуктивности агроэкосистем, поэтому он может служить не только инструментом для оценки сельскохозяйственной земли, но и для поддержки принятия решений в управлении продукционным процессом, а также для адаптации земледелия к изменениям климата и макроэкономических условий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Богатырев Л.Г., Маслов М.Н., Бенедиктова А.И., Макаров М.И.* Оценка почв и земель (основные показатели и критерии). М.: МАКС Пресс, 2017. 192 с

2. *Якушев В.П., Якушев В.В., Баденко В.Л., Матвеенко Д.А., Чесноков Ю.В.* Оперативное и долгосрочное прогнозирование продуктивности посевов на основе массовых расчетов имитационной модели агроэкосистемы в геоинформационной среде (обзор) // Сельскохозяйственная биология. 2020. Том 55. № 3. С. 451-467.

3. *Кирюшин В.И.* Методология комплексной оценки сельскохозяйственных земель // Почвоведение. 2020 № 7. С. 871-879.

УДК 631.4, 34.037

Проблемы установления факта загрязнения почв при оценке ущерба почвам как компоненту окружающей среды

© 2022 г. М.В. Дабахов[1*], Е.В. Дабахова[2]

[1]ФГБОУ ВО «Нижегородская ГСХА», Россия, 603107, Нижний Новгород, пр. Гагарина, 97
[*] mvd1969@yandex.ru
[2]Институт непрерывного образования ФБГОУ ВО РГАУ-МСХА им.К.А.Тимирязева, Россия, 127550, Москва, ул. Верхняя аллея, 4.

Резюме: «Методика исчисления размера вреда, причиненного почвам как объекту охраны окружающей среды» (утв. приказом Минприроды от 8 июля 2010 года № 238) в составе природоохранного законодательства является основным инструментом, обеспечивающим выполнение положений федерального закона №7-ФЗ от 10.01.2002 «Об охране окружающей среды» в части обеспечения возмещения вреда, причиненного окружающей среде и, в частности, почвенному покрову (ст. 77).

В то же время в правоприменительной практике сложилась ситуация, которая позволяет использовать положения указанной методики для необоснованного установления факта причинения вреда и его степени, что ведет к предъявлению многочисленных исков со стороны государственных надзорных органов (Россельхознадзор, Росприроднадзор) о возмещении вреда, причиненного почвам. При этом ответчиками зачастую становятся добросовестные производители сельскохозяйственной продукции, что наносит ущерб сельскохозяйственному производству и снижает конкурентоспособность предприятий агропромышленного комплекса России.

Основными проблемами применения данной методики являются следующие:

- недостаточная определенность понятия «загрязняющее вещество» по отношению к почвам, в результате чего к загрязнителям относят такие элементы, как фосфор, сера, аммиачный и нитратный азот и другие элементы минерального питания растений;

- оценка степени загрязнения почвы веществами, на которые отсутствуют разработанные нормативы их содержания (ПДК, ОДК);

- использование при расчете размера вреда фонового содержания веществ в почвах как норматива качества окружающей среды.

В рамках данной работы рассматривается правоприменительная практика, связанная с решением указанных проблем в ходе экспертного исследования, и предлагаются пути выхода из данной ситуации.

В качестве мер по оптимизации применения данной Методики предложены введение в ее состав перечня загрязняющих веществ, которые оказывают негативное влияние на выполнение почвой ее экологических функций, а также разработка экологических нормативов (минимальных недействующих концентраций), ниже которых эти вещества не рассматриваются как загрязнители.

Ключевые слова: оценка вреда почвам, загрязняющее вещество, установление факта причинения вреда, ущерб, причиненный почвам

Problems of establishing the fact of soil pollution when assessing damage to soils as a component of the environment

© 2022 M.V. Dabakhov[1*], E.V. Dabakhova[2]

[1]Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Nizhny Novgorod State Agricultural Academy", 97, Gagarin av., Nizhniy Novgorod 603007, Russian Federation
[*] e-mail: mvd1969@yandex.ru,
[2]Institute of Lifelong learning, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy
4 Verkhnyaya all., Moscow 127550, Russian Federation.

Abstract: "The Methodology for calculating the amount of damage caused to soils as an object of environmental protection" (approved by the Order of the Ministry of Natural Resources of July 8, 2010 No. 238) as part of environmental legislation is the main tool ensuring compliance with the provisions of Federal Law No. 7-FZ of 10.01.2002 "On Environmental Protection" in terms of ensuring compensation for damage caused to the environment the environment and, in particular, the soil cover (Article 77).

At the same time, a situation has developed in law enforcement practice that allows using the provisions of this methodology to unreasonably establish the fact of harm and its degree, which leads to numerous lawsuits from state supervisory authorities (Rosselkhoznadzor, Rosprirodnadzor) for compensation for damage caused to soils. At the same time, law-abiding producers of agricultural products often become defendants, which damages agricultural production and reduces the competitiveness of enterprises of the agro-industrial complex of Russia.

The main problems of using this technique are the following:

- insufficient definiteness of the concept of "pollutant" in relation to soils, as a result of which such elements as phosphorus, sulfur, ammonia and nitrate nitrogen and other elements of mineral nutrition of plants are considered pollutants;

- assessment of the degree of contamination by substances for which there are no developed limits of their concentrations in the soil;

- the use of the background content of substances in soils as an environmental quality standard when calculating the amount of harm.

This paper examines the law enforcement practice associated with solving these problems in the course of expert research, and suggests ways out of this situation.

As measures to optimize the application of this Methodology, the introduction of a list of pollutants that have a negative impact on the performance of its ecological functions by the soil, as well as the development of environmental standards (minimum inactive concentrations), below which these substances are not considered as pollutants, are proposed.

Keywords: assessment of damage to soils, polluting substance, establishment of the fact of harm, damage caused to soils.

ВВЕДЕНИЕ

Для обеспечения устойчивого развития отраслей народного хозяйства, связанного с использованием природных ресурсов и, в частности, почвенного покрова, необходимо наличие эффективного природоохранного законодательства, регулирующего масштабы негативного воздействия, связанного с хозяйственной деятельностью человека.

Федеральным законом «Об охране окружающей среды» №7-ФЗ от 10.01.2002 определены правовые основы государственной политики, которая должна обеспечить:

- сохранение баланса между выполнением социально-экономических задач и сохранением благоприятной окружающей среды;

- сохранение окружающей среды, биологического разнообразия и достаточного количества природных ресурсов для последующих поколений;

- соблюдение должного правопорядка в сфере охраны окружающей среды и экологической безопасности.

При этом следует иметь в виду, что абсолютно любая хозяйственная деятельность влечет за собой негативное воздействие на состояние окружающей среды. Для достижения баланса между

выполнением социально-экономических задач и сохранением благоприятной окружающей среды необходимо наличие инструментов, направленных на формирование комплекса ограничительных мер, позволяющих обеспечить поддержание равновесия между негативным воздействием человека и устойчивостью экосистем к указанному воздействию.

В частности, к таким инструментам относится установление ограничений и запретов, нарушение которых влечет за собой обязанность устранения вредных последствий антропогенного воздействия на почвенный покров.

Размер вреда почвам при этом определяется с помощью соответствующих расчетных методов, разработанных компетентными в данной области организациями и утверждаемыми в качестве нормативных документов, основным из которых является «Методика исчисления размера вреда, причиненного почвам как объекту охраны окружающей среды» (утв. Приказом Министерства природных ресурсов и экологии РФ №238 от 08.07.2010).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Практика применения природоохранного законодательства в области охраны почв в настоящее время чаще всего связана с предъявлением финансовых претензий землепользователям со стороны государственных надзорных органов по широкому спектру нарушений, в состав которых входят загрязнение, захламление, перекрытие, снятие и уничтожение почвенного слоя в результате хозяйственной деятельности.

Исчисление вреда в денежной форме при этом основано на стандартном расчете платы за негативное воздействие (атмосферные выбросы, сбросы в природные воды, размещение отходов), применяемом для различных компонентов окружающей среды. В частности, в ходе расчета вреда, причиненного загрязнением почв, производится умножение таксы для почв различных лесорастительных зон на ряд повышающих коэффициентов, определенных с учетом площади, категории и разрешенного использования земель, показателя мощности плодородного слоя, а также степени его загрязнения.

Именно последний из указанных коэффициентов, является основной причиной разногласий при исчислении размера вреда, причиненного почвам в результате загрязнения.

Очевидно, что обоснование расчетов, которые имеют значительные экономические последствия для нарушителя, включая в себя его банкротство и прекращение экономической деятельности, является чрезвычайно ответственным моментом в определении размера вреда, причиненного почвам. Как показывает практика судебно-экологической экспертизы, одним из наиболее острых вопросов, возникающих при этом, является определение перечня загрязняющих веществ, поступивших в почву. При этом могут быть сформулированы следующие проблемы определения размера вреда, причиненного почвам:

- недостаточная определенность понятия «загрязняющее вещество» по отношению к почвам, в результате чего к загрязнителям относят такие элементы, как фосфор, сера, аммиачный и нитратный азот и другие элементы минерального питания растений;

- оценка степени загрязнения почвы веществами, на которые отсутствуют разработанные нормативы их содержания (ПДК, ОДК);

- использование при расчете размера вреда фонового содержания веществ в почвах как норматива качества окружающей среды.

В природоохранной практике традиционно в качестве загрязняющих веществ рассматриваются тяжелые металлы, ряд органических загрязнителей, нитраты и некоторые другие элементы и соединения. Однако в течение последних нескольких лет землепользователям предъявляются иски по загрязнению почв такими веществами, как подвижный фосфор, аммонийный азот, хлорид-ионы, сульфат-ионы, СПАВ и ряд других веществ, которые имеют крайне слабое негативное воздействие на естественные процессы, протекающие в почвах. Более того, некоторые из этих соединений являются незаменимыми элементами питания растений. Как правило, эти вещества при разработке нормативов предельного содержания в почвах (ПДК, ОДК) не исследовались и в настоящее время не нормируются.

В соответствии с Методикой исчисления размера вреда, при определении показателя интенсивности загрязнения используется

отношение фактической концентрации вредных веществ (X_i) к их нормативному содержанию в почвах (X_n). При этом кратность превышения X_i над X_n в диапазоне 1-5 единиц соответствует повышающему коэффициенту 1,5. При возрастании показателя интенсивности загрязнения этот коэффициент увеличивается, оказывая прямое влияние на окончательный результат расчета вреда почве. Максимальное значение коэффициента – 15, устанавливаемое при достижении кратности превышения 250 единиц.

Уязвимое место этого расчета состоит в том, что если вещество, поступающее в почву, не нормируется, то, в соответствии с Методикой, в качестве нормативного значения используется фоновое значение. При этом инспекции государственных надзорных органов (Росприроднадзор, Россельхознадзор, Роспотребнадзор) в качестве загрязняющих веществ рассматривают все существующие элементы и соединения, которые поступают в почву при различных видах землепользования, включая в себя компоненты органических и минеральных удобрений, а также химических мелиорантов. Поскольку концентрации этих веществ и элементов за редким исключением (нитраты) не нормируются, то появляются прецеденты судебного преследования землепользователей за применение минеральных и органических удобрений, причем за нормативное значение содержания этих веществ принимается их концентрация на малоплодородных угодьях и почвах прилегающих к полям лесополос, на которых удобрения не применяются.

Ситуация усугубляется тем, что подвижный фосфор включен в Перечень веществ, загрязняющих почву, утвержденный Распоряжением Правительства РФ от 08.07.2015 № 1316-р «Об утверждении Перечня загрязняющих веществ, в отношении которых применяются меры государственного регулирования в области охраны окружающей среды». Одновременно с этим, в соответствии с Постановлением Правительства РФ от 22 июля 2011 г. № 612 «Об утверждении критериев существенного снижения плодородия земель сельскохозяйственного назначения», снижение содержания подвижного фосфора в почве рассматривается как признак деградации сельскохозяйственных угодий.

Фактически возникает ситуация, когда рекультивация почв, направленная на снижение повышенного содержания фосфора в почве после признания его загрязняющим веществом, влечет за

собой нормативно обоснованную возможность предъявления последующих претензий за снижение содержания фосфора в почве.

Таким образом, при использовании данного подхода все сельскохозяйственные угодья, на которых применяются минеральные и органические удобрения, могут рассматриваться как загрязненные. При этом учитывая, что одним из показателей эффективности работы государственных надзорных органов официально считается количество исков к землепользователям и сумма предъявленных финансовых претензий, имеется высокая (и периодически реализуемая) вероятность предъявления необоснованных претензий к сельхозпроизводителям, что наносит серьезный вред агропромышленному комплексу страны.

Еще одним проблемным местом применения данной методики при установлении факта и степени вреда, причиненного почвам, является оценка загрязнения малотоксичными веществами, не характерными для естественных почв. В качестве примера можно привести АПАВ (анионные поверхностно-активные вещества), которые поступают в почву при попадании на ее поверхность хозяйственно-бытовых сточных вод в результате экологических правонарушений или аварийных ситуаций.

Группа веществ, относящихся к АПАВ, имеет крайне низкую токсичность и высокую скорость разложения в почве. По этой причине фоновая концентрация этих соединений, как правило, при анализе дает значение «ниже предела обнаружения», что делает математически невозможным ее применение при расчете степени загрязнения. В связи с этим в ходе надзорных мероприятий в качестве фонового значения и, следовательно, нормативного значения для почвы, иногда применяется нижняя граница определяемого диапазона вещества – 0,2 мг/кг. Однако при данном подходе подразумевается, что АПАВ на порядок токсичнее ртути (ПДК 2,1 мг/кг), в 2,5-10 раз токсичнее кадмия (ОДК 0,5-2 мг/кг), в 160 раз токсичнее свинца (ПДК 32 мг/кг) (СанПиН 1.2.3685-21), что не соответствует реальной степени опасности данного вещества.

Кроме этого, в соответствии с п.5.17. ГОСТ 58973-2020 «Оценка соответствия. Правила оформления протоколов испытаний» «результаты исследований (испытаний)должны быть представлены точно, четко, недвусмысленно и объективно и должны включать в себя всю информацию, требуемую в соответствии с

применяемым методом», в связи с чем результаты, отображаемые в протоколах химического анализа как «ниже предела обнаружения», не могут использоваться в расчетах.

Таким образом, указанные выше проблемы, возникающие при расчете размера вреда, причиненного почвам, в соответствии с рассматриваемой методикой, являются причиной предъявления необоснованных претензий к землепользователям по факту причинения вреда и размеру его реального ущерба, а судебное разбирательство превращается в научную дискуссию, посвященную возможности признания элемента или соединения загрязняющим веществом.

Учитывая, что современная юридическая практика не предусматривает использования иных методов оценки вреда, причиненного почвам, очевидна необходимость корректировки обсуждаемого документа для исключения указанных выше проблем.

В первую очередь, в качестве нормативно закрепленного дополнения к Методике целесообразна разработка перечня загрязняющих веществ, которые оказывают негативное влияние на выполнение почвой ее экологических функций. При этом в перечень не должны входить элементы и соединения, в отношении которых отсутствуют научно обоснованные данные, подтверждающие их опасность для почв. В качестве примера можно указать на фосфаты, аммонийный азот, железо и другие вещества, являющиеся элементами минерального питания растений и/или не оказывающие на растительные и животные организмы негативного влияния в диапазоне концентраций, характерном для естественных и агрогенно-трансформированных почв.

Для исключения влияния на расчет повышенных концентраций веществ, нехарактерных или малохарактерных для естественных почв и оказывающих незначительное влияние на их экологическое состояние, необходима разработка экологических нормативов (минимальных недействующих концентраций), ниже которых эти вещества не рассматриваются как загрязнители. Данные нормативы могут быть использованы при расчете вреда от загрязнения почвы. Эта же мера позволит исключить рассмотренные выше проблемы, связанные с работой в области концентраций в диапазоне, близком к нижнему пределу обнаружения элементов и соединений в почвах.

Данная разработка должна быть основана на учете степени токсичности этих веществ для растений и животных, скорости деструкции в почвах, а также степени их влияния на реализацию экологических функций почвы. При этом дальнейшее применение нормы, устанавливающей в рассматриваемой Методике применение фоновой концентрации в качестве нормативного значения элемента или соединения в почве при отсутствии разработанного норматива, является нецелесообразным.

ВЫВОДЫ

В настоящее время судебная практика, связанная с определением размера вреда, причиненного почвам при их загрязнении в соответствии с «Методикой исчисления размера вреда, причиненного почвам как объекту охраны окружающей среды» (утв. Приказом Министерства природных ресурсов и экологии РФ №238 от 08.07.2010), сталкивается с проблемами установления факта загрязнения, обусловленного недостаточной определенностью понятия «загрязняющее вещество» и применением в расчетах размера вреда фоновых концентраций ненормируемых веществ в качестве нормативных значений.

Следствием этого являются необоснованные претензии к землепользователям, связанные с применением ими минеральных и органических удобрений, компоненты которых рассматриваются как загрязняющие вещества, а также завышение степени опасности малотоксичных веществ, нехарактерных для естественных почв.

Для оптимизации применения данного нормативного документа целесообразно введение в его состав в качестве нормативно закрепленного приложения перечня загрязняющих веществ, которые оказывают негативное влияние на выполнение почвой ее экологических функций, а также разработка экологических нормативов минимальных недействующих концентраций, ниже которых эти вещества не рассматриваются как загрязнители и могут быть использованы в качестве нормативных значений при расчете вреда от загрязнения почвы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Федеральный закон «Об охране окружающей среды» №7-ФЗ от

10.01.2002.
2. Методика исчисления размера вреда, причиненного почвам как объекту охраны окружающей среды (утв. Приказом Министерства природных ресурсов и экологии РФ №238 от 08.07.2010).
3. Распоряжение Правительства РФ от 08.07.2015 № 1316-р «Об утверждении Перечня загрязняющих веществ, в отношении которых применяются меры государственного регулирования в области охраны окружающей среды»
4. Постановление Правительства РФ от 22 июля 2011 г. № 612 «Об утверждении критериев существенного снижения плодородия земель сельскохозяйственного назначения»
5. СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания» (утв. Постановлением Главного государственного санитарного врача РФ от 28 января 2021 г. №2)
6. ГОСТ 58973-2020 «Оценка соответствия. Правила оформления протоколов испытаний»

УДК 631.51:631.165

Экономические и экологические аспекты минимизации обработки почв в Нечернозёмной зоне

© 2022 г. С.В. Железова[1*], О.А. Савоськина[2]

[1] ФГБНУ Всероссийский научно-исследовательский институт фитопатологии, Россия, 143050, Московская область, Одинцовский район, р.п. Большие Вязёмы, ул. Институт, владение 5,
[*] soferrum@mail.ru
[2] ФГБОУ ВО РГАУ — МСХА имени К.А.Тимирязева, Россия, 127434, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49.

Резюме: В Нечернозёмной зоне РФ в многолетних стационарных опытах по изучению применения ресурсосберегающих технологий обработки почвы показано, что переход к минимализации обработки почвы вплоть до применения нулевой обработки и прямого посева не снижает урожайности зерновых культур и экономически оправдан. Рентабельность производства зерна на 4–17% выше при применении ресурсосберегающих технологий по сравнению с применением традиционной обработки на основе отвальной вспашки. В то же время, существенно ухудшается фитосанитарная обстановка в посевах, что требует дополнительного применения пестицидов. При переходе к минимальным и нулевым обработкам засорённость посевов и запас семян сорняков в почве увеличивается в 1,7–3 раза, распространенность корневых гнилей увеличивается на 20-70%. Накопление органического вещества почвы в Нечерноземной зоне лимитируется общим количеством пожнивных остатков и их быстрым разложением в условиях кислых почв. При достаточном увлажнении и длительном снежном покрове в данной зоне практически не формируется слой мульчи, характерный для системы No-till в степных зонах.

Ключевые слова: минимальная обработка почвы, нулевая обработка почвы, ресурсосберегающее земледелие, нечерноземная зона.

Economic and environmental aspects of soil minimizing treatment in the Non-Chernozem zone

© 2022 S.V. Zhelezova[1*], O.A. Savoskina[2]

[1]*Federal State Budgetary Scientific Establishment All-Russian Scientific Research Institute of Phytopathology (VNIIF) Institus st., 5, Bolshiye Vyazyomy, Odintsovo district, Moscow region, 143050, Russian Federation.*
** e-mail: soferrum@mail.ru,*
[2]*Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Timiryazevskaya st., 49, Moscow, 127550, Russian Federation*.

Abstract: In the Non-Chernozem zone of the Russian Federation, in long-term stationary experiments on the use of resource-saving tillage technologies, it has been shown that the transition to minimizing tillage up to the use of zero tillage and direct sowing does not reduce the yield of grain crops and is economically justified. The profitability of grain production is 4-17% higher with the use of resource- and soil-saving technologies compared with the use of traditional processing based on dump plowing. At the same time, the phytosanitary situation in crops is significantly deteriorating, which requires additional use of pesticides. With the transition to minimal and zero treatments, the contamination of crops and the supply of weed seeds in the soil increases by 1.7–3 times, the prevalence of cereal root rot increases by 20-70%. The accumulation of soil organic matter in the Non-Chernozem zone is limited by the total amount of crop residues and their rapid decomposition in acidic soils. With sufficient moisture and prolonged snow cover period, the mulch layer characteristic of the No-till system in steppe zones is practically not formed in this zone.

Keywords: minimal tillage, zero tillage, resource-saving agriculture, non-chernozem zone

ВВЕДЕНИЕ

Переход на ресурсосберегающие и почвосберегающие технологии во всем мире является актуальным требованием времени. Это обусловлено как экономическими, так и экологическими причинами. По данным Глобального почвенного партнёрства ФАО (Global Soil Partnership, 2016) «ежегодно из-за эрозии пахотные земли во всем мире теряют 75 млрд. тонн плодородной почвы, что эквивалентно предполагаемым финансовым потерям в размере 400 млрд. долл. США в год». Эта проблема глобального масштаба приобретает свои особые черты в каждой природной зоне, и в той или иной степени проблема может быть преодолена с применением адаптивных систем земледелия с учётом особенностей ландшафта (Кирюшин, 2015). Задачами ресурсосберегающего земледелия является достижение запланированной урожайности, со снижением затрат энергии и отрицательных последствий для окружающей

среды (Соколов и др., 2019). Исторически ресурсосберегающие (почвозащитные) технологии земледелия приурочены к степным регионам. Более чем за сто лет эти аспекты были разработаны трудами И.Е. Овсинского, Н.М. Тулайкова, Т.С. Мальцева, А.И. Бараева, и в настоящее время продолжаются в исследованиях В.И. Кирюшина, В.К. Дридигера и др. В Нечернозёмной зоне длительное воздействие почвосберегающих технологий земледелия изучали в многолетних полевых опытах РГАУ - МСХА им. К.А. Тимирязева: в учхозе Михайловское с конца 1970-х до 2009 г. (Баздырев, 2005; Савоськина 2012), и с 2008 г. на полевой опытной станции проводится многолетний опыт с применением элементов точного и ресурсосберегающего земледелия (Железова, 2020). Прямой посев является приёмом земледелия и активно используется в степной зоне при выращивании зерновых (Беляев, 2015). Многолетнее использование прямого посева (не менее 5 лет) на одной и той же территории в специализированном севообороте складывается в систему земледелия No-till, где почва не подвергается механической обработке (Дридигер, 2016). Несмотря на сложность адаптации данной технологии и высокую стоимость техники для прямого посева, в последние годы интерес к этой теме возрастает. Очевидными плюсами прямого посева и нулевых обработок является энергосбережение, влагосбережение и почвосбережение, но и столь же очевидным минусом является общее ухудшение фитосанитарной обстановки (Методические рекомендации…, 2019). Негативные явления при адаптации данной технологии наиболее ярко проявляются в первые годы после начала освоения, затем ситуация стабилизируется, т.к. агрофитоценозы входят в квазиравновесие в новых условиях возделывания. Поэтому оценивать экономическую составляющую и экологические последствия внедрения технологии можно только после нескольких ротаций севооборота.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Объектами изучения были агрофитоценозы многолетних полевых опытов в Нечерноземной зоне (Савоськина, 2012; Железова, 2020). С 2008 г. влияние способа обработки почвы изучают в севооборотах, где на каждом поле заложено по две полосы традиционной и ресурсосберегающей (нулевая/минимальная обработка)

технологий (Рис. 1). В длительных опытах оценивали агрофизические свойства почвы, урожайность сельскохозяйственных культур и фитосанитарное состояние посевов в зависимости от способа обработки почвы (Савоськина, 201; Железова, 2020).

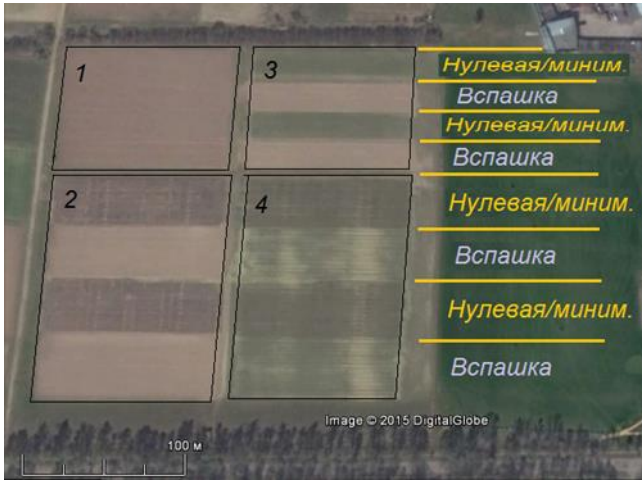


Рис. 1. Схема размещения полос с разными обработками почвы в четырехпольном севообороте многолетнего опыта Центра точного земледелия ФГБОУ ВО РГАУ – МСХА имени К.А.Тимирязева.

Обработку результатов полевых экспериментов проводили методами регрессионного и многофакторного дисперсионного и анализа. Конечной целью подобных исследований является оценка экономических затрат и экологических последствий применения той или иной технологии на уровне севооборота.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Многолетняя динамика органического вещества в почве отображает соотношение процессов накопления/разложения растительных остатков и проявления эрозионных процессов. По результатам многолетних наблюдений в учхозе Михайловское было показано, что на дерново-подзолистой почве наибольшее накопление запасов гумуса происходило при применении плоскорезных обработок. Так, за 20 лет наблюдений прибавка запасов гумуса на этой обработке составила в среднем + 5 т/га по фону с гербицидами и +7

т/га по фону без гербицидов (Баздырев, 2005). В первые 3-4 года при переходе на безотвальную технологию количество запасов гумуса возрастает на 15-20%, затем ситуация стабилизируется и скорость накопления запасов гумуса снижается, и остается на уровне не более 10-15% к начальному запасу каждые 10 лет. Накопление запасов органического вещества при плоскорезной обработке в большей степени приурочено к поверхностному слою почвы. Оценка эффективного плодородия почвы с глубин 0-10, 10-20 и 20-30 см была проведена методом биотестирования. По варианту вспашка (контроль) эффективное плодородие было более-менее равномерным в слоях 0-10 и 10-20 см, и снижалось в среднем на 20% в слое 20-30 см. В то же время при плоскорезной обработке эффективное плодородие возрастало на 70% в слое 0-10 см по сравнению с контролем, и снижалось на 20 и 60% соответственно в слоях 10-20 и 20-30 см. Это связано с устойчивой тенденцией к накоплению элементов минерального питания и органического вещества в самом верхнем слое почвы при отсутствии обработки с оборотом пласта.

В многолетнем полевом опыте Центра точного земледелия в первые две ротации севооборота (2009-2016) не было выявлено существенных различий в содержании и накоплении органического вещества почвы по вариантам вспашка и ресурсосберегающая технология (Матюк и др., 2017).

В целом, почвозащитные технологии на основе безотвальных приёмов обработки почвы ухудшают фитосанитарное состояние посевов по сравнению с вариантом отвальной вспашки: на 70% и выше возрастают общая численность сорняков и запас их семян в почве. Это было отмечено и в многолетних опытах учхоза Михайловское (Савоськина, 2012), и опыте Центра точного земледелия (Железова, 2020), и также согласуется с многочисленными данными других исследователей в целом для Нечерноземной зоны. Однако согласно данным по Чернозёмной зоне и степным регионам, в последующем, при установлении равновесия агрофитоценоза за счет накопления мульчи на поверхности почвы, численность сорных растений и запас их семян в почве снижается (Власенко и др., 2021).

Основной агроэкологические особенностью Нечерноземья является относительно высокое содержание влаги во время

вегетационного сезона и долгий период снежного покрова на почве, что способствует быстрому разложению пожнивных остатков и соломы. Таким образом, слой мульчи практически не формируется, семена сорных растений накапливаются на поверхности почвы и беспрепятственно прорастают в условиях достаточной влагообеспеченности. Это требует дополнительных затрат на обработку посевов гербицидами (Полин, Смелкова, 2015). Помимо увеличения засорённости посевов в многолетних опытах Нечерноземной зоны отмечалось повышенное распространение корневых гнилей зерновых культур в условиях поверхностных обработок (Савоськина, 2012) и прямого посева по нулевой обработке (Железова и др., 2017).

Экономическая составляющая ресурсосберегающих технологий играет немаловажную роль, т.к. главной целью сельхозтоваропроизводителя является повышение рентабельности производства за счёт снижения издержек. Как было показано на примере расчетов рентабельности возделывания зерновых культур в четырехпольном севообороте Центра точного земледелия, возделывание пшеницы было более рентабельно по технологии прямого посева. За две ротации севооборота на интенсивном фоне удобрения средняя урожайность зерна озимой пшеницы составила 4,9 т/га, при этом средняя рентабельность производства зерна составила 30% при нулевой обработке почвы и 13% при традиционной отвальной вспашке (Мельников, Железова, 2019). Урожайность пшеницы в большей степени определялась метеоусловиями вегетационного сезона, нежели технологией возделывания. Соотношение затрат на вспашку по традиционной системе возделывания и на химическую обработку посевов по системе No-till зависит от коммерческих цен на дизельное топливо, на гербициды на основе д.в. глифосата, от размера обрабатываемых площадей и от кратности обработок. Если обработка гербицидами необходима более двух раз за один вегетационный сезон, то технология No-till перестает быть экономически более выгодной, чем традиционная технология на основе вспашки. Средняя урожайность ячменя за две ротации составила 4,1 т/га. Рентабельность производства ячменя составила 42% по минимальной обработке и 38 % при традиционной отвальной вспашке (Железова, 2020).

ВЫВОДЫ

Применение ресурсосберегающих технологий обработки почвы при возделывании зерновых культур в Нечернозёмной зоне РФ способствует повышению рентабельности производства зерна на 4–17% по сравнению с применением традиционной обработки на основе отвальной вспашки. В то же время, при применении ресурсосберегающих технологий обработки почвы в Нечернозёмной зоне возрастают риски проявления фитосанитарных проблем: повышенная засорённость посевов и распространённость корневых гнилей, что требует дополнительного применения пестицидов. В зоне достаточного увлажнения и длительного снежного покрова не образуется слоя соломенной мульчи на поверхности почвы и не происходит быстрого накопления органического вещества в почве при переходе на минимальные и нулевые обработки, поэтому неочевидны преимущества перехода к системе No-till в Нечерноземной зоне.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Global Soil Partnership Endorses Guidelines on Sustainable Soil Management / 2016. – https://www.fao.org/news/story/en/item/416121/icode/ [Дата обращения 05.10.2022]

2. *Кирюшин В.И.* Развитие представлений о функциях ландшафтов в связи с задачами оптимизации природопользования // Бюллетень Почвенного института им. В.В. Докучаева. 2015. № 80. С. 16–25.

3. *Соколов М.С., Глинушкин А.П., Спиридонов Ю.Я. и др.* Технологические особенности почвозащитного ресурсосберегающего земледелия (в развитие концепции ФАО) // Агрохимия. 2019. № 5. С. 3–20.

4. *Баздырев Г.И.* Эффективность длительного применения почвозащитных технологий // Известия ТСХА, 2005. Вып 4. С. 32–39.

5. *Савоськина О.А.* Агроэкологическая роль ресурсосберегающих приёмов обработки дерново-подзолистой почвы эрозионно-опасных ландшафтов Нечерноземной зоны: Дис… докт. с.-х. М.: ФГОУ ВПО РГАУ-МСХА, 2012

6. *Железова С.В.* Научно-методическое обоснование технологий точного и ресурсосберегающего земледелия для зерновых культур в Нечерноземной зоне РФ: Дис. … докт. с.-х. наук. М.: ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, 2020. 415 с.

7. *Дридигер В.К.* Ошибки при освоении технологии No-till // Земледелие. 2016. № 3. С. 5–9.

8. *Матюк Н.С., Малахов Н.В., Коткова Л.И.* Роль разноглубинной заделки сидерата и соломы в повышении плодородия дерново-подзолистой почвы // Агрохимикаты в XXI веке: теория и практика применения. 2017. С. 173-176.
9. *Власенко Н.Г., Власенко А.Н., Кулагин О.В.* Сорный компонент в агрофитоценозах, формирующихся в системе No-till // Сельскохозяйствен-ный журнал. 2021. № S5 (14). С. 63-69.
10. *Полин В.Д., Смелкова И.А.* Изменение сорного компонента под действием ресурсосберегающих систем обработки почвы в зернопропашном севообороте и методы борьбы с ним // Земледелие. 2015. № 8. С. 29–32.
11. *Железова С.В., Акимов Т.А., Белошапкина О.А., Березовский Е.В.* Влияние разных технологий возделывания озимой пшеницы на урожайность и фитосанитарное состояние посевов (на примере полевого опыта Центра точного земледелия РГАУ – МСХА имени К.А. Тимирязева) // Агрохимия. 2017. № 4. С. 72–82.
12. *Мельников А.В., Железова С.В.* Традиционная вспашка или нулевая технология – что выгоднее для производства озимой пшеницы в нечерноземной зоне России? // Теоретические и прикладные проблемы АПК. 2019. №1. С. 35–40. DOI: 10.32935/2221-7312-2019-39-1-35-40

УДК 631.4:551.312.2

Торфяные ресурсы страны, отраслевая принадлежность, использование

© 2022 г. Л.И. Инишева

ФГБОУ «Томский государственный педагогический университет»,
Россия,
634061, Томск, ул. Киевская, 60,
inisheva@mail.ru

Резюме: Торфяные ресурсы – это не только производственный ресурс, но и гидрологические объекты, элемент ландшафта, лесные угодья и сельскохозяйственные земли. Россия обладает самыми большими ресурсами болот. Болота и заболоченные земли с наличием торфа занимают не менее 20 % территории РФ и используются в различных отраслях хозяйственной деятельности общества. Отраслевые интересы к болотам способствовали дифференциации подходов к их изучению. Так, торфяные почвы, имеющие огромное экологическое значение, согласно принятому кадастровому нормативу в сельском хозяйстве оцениваются минимальным показателем и, следовательно, стоимостной показатель этих земель также минимален. Торфяные болота как многофункциональные объекты требуют межведомственной координации в области их изучения, мелиорации и использования, в том числе и в разработке понятийного аппарата и методов исследования. Необходимо создание единого торфяного фонда России – это совокупность всех используемых в разных целях и неиспользуемых ресурсов торфа (болот и месторождений торфа, лесных и сельскохозяйственных земель) и заниматься ими должны профессионально ориентированные организации (например, Минсельхоз). Мелиорация таких территорий не может быть локальной. Она должна быть рассчитана на ландшафтную оптимизацию всей территории, а в основе ее изменения определяющим является состояние водного баланса. Понимание необходимости сохранения и устойчивого использования торфяных болот России в настоящее время очевидно для специалистов и природопользователей. В системе земельного кадастра и в почвенной науке еще недостаточно уделяется внимание особенностям свойств торфяных болот (торфяных почв), методам исследования, их классификации.

Ключевые слова: болота, заболоченные земли, отраслевые интересы, координация, земельный кадастр.

Peat resources of the country, sectoral affiliation, use

© 2022 L.I. Inisheva

Federal state budgetary educational institution of higher professional education «Tomsk State Pedagogical University» «TSPU», Kyivskaya street, 60, Tomsk, 634061, Russian Federation
e-mail: inisheva@mail.ru.

Abstract: Peat resources are not only a production resource, but also hydrological features, landscape element, forest land and agricultural land. Russia has the largest swamp resources. Swamps and swampy lands with peat cover at least 20% of the territory of the Russian Federation and are used in various branches of the company's economic activity. Branch interests in swamps contributed to the differentiation of approaches to their study. Peat soils are a regulator of biogeochemical processes in nature and are of great ecological importance. But they are estimated by the minimum indicator according to the accepted cadastral standard. And the value of these lands is also minimal. Peat swamps as multifunctional objects need interdepartmental coordination in the field of study, melioration and use, as well as the creation of a conceptual apparatus and research methods. An unified peat fund of Russia should be created. This is a collection of all used and unused peat resources (swamps and peat deposits, forest and agricultural lands) for various purposes and should be dealt with by professional organizations. Land reclamation of such territories cannot be local. It should be designed for landscape optimization of the entire territory. The direction of land reclamation planning is determined by the state of the water balance. Understanding the need for the conservation and sustainable use of Russian peat resources is now obvious to specialists and ecologists. In the land cadaster system and in soil science, insufficient attention is still paid to the characteristics of the properties of swamps (peat soils), research methods and their classification.

Keywords: swamps, swampy lands, branch interests, coordination, land cadastral standard.

ВВЕДЕНИЕ

На современном этапе учёные, политики и просто добросовестные люди беспокоятся о природных ресурсах страны, к которым относятся вся минерально-сырьевая база (например, газ,

цветные металлы, уголь, торф), водные, лесные и земельные ресурсы. Мировые ресурсы торфа признаны уникальным природным потенциалом органического происхождения, влияющим на повышение жизненного уровня людей. С развитием науки этот ресурс стал надежным источником в энергетике, биохимии, здравоохранении, микробиологии и сельском хозяйстве.

Но торфяные ресурсы – это не только производственный ресурс, но и гидрологический объект, элемент ландшафта, лесные угодья и сельскохозяйственные земли. Академическая наука настойчиво рекомендует экологически сбалансированный способ землепользования, в то время как практическое землепользование зачастую рассматривает используемые в сельском хозяйстве земли в отрыве от природной среды, забывая об оценке и охране его как многофункционального природного образования, от которого зависит жизнь на Земле. Торфяные почвы, имеющие огромное экологическое значение, согласно принятому кадастровому нормативу, оцениваются минимальным показателем, и, следовательно, стоимостной показатель этих земель также будет минимальным. Такие же отношения сложились и в лесном хозяйстве, основная цель которого – повышение производительности лесов и улучшение качества выращиваемой древесины.

Причина заключается в том, что прерогатива их использования относится к разным ведомствам и эта особенность не позволяет установить для торфяного фонда равноправного положения, которое присутствует среди других природных ресурсов России.

Россия обладает самыми большими ресурсами торфяных болот. Заметим, что становление научных представлений в российской науке о болотах происходило при рассмотрении их как целостных природных объектов, находящихся в движении и развитии. Основой понимания процессов образования торфа на земной поверхности являются известные представления В.И. Вернадского, а позднее Б.Б. Полынова о взаимодействии всех элементов природы и геохимических ландшафтов, где растительный покров рассматривается как показатель геохимических процессов, протекающих в данном ландшафте. Однако со временем отраслевые интересы к болотам способствовали дифференциации подходов к их изучению. Правильный подход к рациональному природопользованию болот подразумевает их особую органогенную структуру,

заключающуюся в сложности строения торфяной мицеллы, которая, по И.И. Лиштвану (Лиштван, Король, 1975), представляет собой полидисперсную многокомпонентную полуколлоидно-высокомолекулярную систему, требующую разработки научных основ и методов управления минерализацией органических веществ.

Болота как объект хозяйственного интереса с одной стороны и живой природы с другой, входят в область государственного регулирования через ряд ведомств, к компетенции которых относится управление разными отраслями хозяйственной деятельности общества: Министерство природных ресурсов (МПР), Минсельхоз России, Минэнерго и др. Далее рассмотрим это положение более подробно.

ОБСУЖДЕНИЕ

Болота как отложения и месторождения торфа. Торфяное месторождение **(ТМ)**– геологическое образование, состоящее из напластований видов торфа, создающих промышленную залежь. Промышленная глубина торфяной залежи – условная граница, проводимая на плане ТМ по глубине торфяной залежи, в пределах которой экономически целесообразна разработка месторождения (Торф…,1985) и в настоящее время ее значение определяется величиной 0,7 м.

Приведём характеристику торфяных ресурсов по Государственному балансу запасов торфа, согласно указу Президента РФ от 13.05.2000г. (№ 849). Общий баланс запаса торфа в РФ составляет 166,9 млрд. т (31,3 % мировых запасов) на площади 47,6 млн. га (476 тыс. км^2). По оценкам специалистов достоверные запасы торфа в стране могут быть увеличены до 250 млрд. т (соответственно площадь ориентировочно – до 71,4 млн. га или 714 тыс. км^2), в основном за счёт выявления новых ТМ в районах Восточной Сибири, Дальнего Востока и Крайнего Севера. В современный период составление баланса торфяного фонда проводится по целевому назначению: охраняемый, мелиоративный (земельный), фонд выработанных, застроенных, затопленных ТМ, разрабатываемых (эксплуатируемые, резервные, перспективные).

Болота России в земельном кадастре. В системе земельного кадастра под болотами понимают земельное угодье, избыточно увлажненное грунтовыми и атмосферными водами с наличием на

поверхности разложившихся и полуразложившихся остатков в виде торфа. По состоянию на 1.01.2000 г. земельный фонд РФ занимал 1709,8 млн. га, под болотами – 140,8 млн. га. Наибольшее количество болот (71,9 % от всей площади) располагается на землях лесного фонда. Достаточно велики площади болот на землях сельскохозяйственного назначения – 14,2 %, на землях запаса – 11,4 %, часть из них входит в состав особо охраняемых территорий. Площадь нарушенных земель составляет 1141,6 тыс. га, в том числе нарушенных при торфоразработках – 242,3 тыс. га.

Учет по площади болотных угодий идет во всех категориях земель: сельскохозяйственного назначения, поселений, особо охраняемых территорий, лесного фонда, водного фонда, и т. д. Болото как отдельное угодье показывается в «Отчете о наличии и распределении земель по категориям и угодьям», «Отчете о наличии земель у предприятий, организаций, граждан, занимающихся производством сельскохозяйственной продукции и «Отчете об использовании земель лесного фонда». Количество переувлажненных и заболоченных (с подразделением на слабо, средне и сильно заболоченные, в том числе иловатые и торфяные сельскохозяйственные земли указываются в приложении «характеристика сельскохозяйственных угодий по механическому составу почв и признакам, влияющим на плодородие»).

В торфяных почвах помимо стандартных показателей (гумус, кислотность и др.) определяется ботанический состав и степень разложения. Сравним показатели земельного фонда под болотами (140,8 млн. га) с проведенными исследованиями С.Э. Вомперского и др. (С.Э. Вомперский и др., 1994). На основе анализа Почвенной карты РСФСР М 1:2.5 млн., данных учета торфяных месторождений и научной литературы авторами была определена общая площадь избыточно увлажненных оторфованных почв в России – 369 млн.га (21.6% территории) в том числе со слоем торфа более 0.3 м – 139 млн. га. Таким образом, площади под болотами в обоих случаях практически аналогичны, но не совпадают с данными геологов по торфяным ресурсам. Однако это совпадение могло быть и случайным. Потому что в земельном кадастре под болотами понимают «земельное угодье, избыточно увлажненное грунтовыми и атмосферными водами с наличием на поверхности разложившихся и полуразложившихся остатков в виде торфа». Здесь не указана

мощность торфа, согласно которой почвы относятся к категории болот (торфяных почв), в то же время у С.Э Вомперского мощность торфяного слоя указывается – 30 см. Кроме того уточняется понятие термина болото. Болото – это участок земной поверхности, для которого характерно постоянное застойное увлажнение и, как следствие, формирование специфической растительности, накопление частично разложившегося органического вещества, превращающегося далее в торфяную залежь, слоем не менее 30 см. При глубине торфа менее 30 см участок относится к заболоченным землям. Отсюда следует, что при принятии этого понятия в земельном кадастре площади болот явно уменьшатся.

*Болота как объект лесного хозяйства. Л*есное хозяйство является основным фондодержателем болотных, заболоченных и переувлажненных земель, как покрытых лесной растительностью, так и лесных. Под болотом в лесном хозяйстве согласно ОСТ – 56-108-98 (Лесоводство…, 1998) понимают участки избыточно увлажненных нелесных земель с древесной растительностью или без нее, на которых лесорастительные условия не обеспечивают произрастание сомкнутых древостоев. Наличие или отсутствие торфа ОСТ вообще не учитывает, но это принимается во внимание при учете лесного фонда.

При лесоустройстве к категории болото относят участки лесного фонда с поверхностным слоем торфа глубиной не менее 30 см в неосушенных местах и 20 см – в осушенных. Открытые болота относят к категории нелесных земель, выделяемые отдельной строкой в материалах лесоустройства (Инструкция…, 1995). Так к заболоченным лесным землям относятся земли лесного фонда, характеризующиеся избыточным увлажнением и наличием торфяного слоя, мощность которого в неосушенном состоянии не превышает 30 см. Периодически избыточно увлажненные земли или леса на минеральных гидроморфных почвах характеризуются периодически избыточным увлажнением и отсутствием торфяного слоя. Кроме того, болота - уникальный комплекс местообитаний видов, животных, растений, грибов и их сообществ, охотничьи угодья и др.

ВЫВОДЫ

Приведенные цифры по болотным землям по отраслевой принадлежности не совпадают между собой, а также с исследованиями учёных, а причина заключается в неполноте учёта заболоченных, болотных и оторфованных почв.

Отраслевая информация содержит значительный массив данных о ресурсах болот и динамике их использования. Полнота и характер данных неодинаков для различных регионов России. Отраслевая информация о болотах России - это огромный пласт ценных несовместимых пока данных о различных аспектах этих комплексных природных и хозяйственных систем.

Болота как многофункциональные объекты требуют межведомственной координации в области изучения, мелиорации и использования болот, в том числе разработки понятийного аппарата и методов исследования. Понимание необходимости сохранения и устойчивого использования болот России в настоящее время очевидно для специалистов и природопользователей. В системе земельного кадастра и в почвенной науке еще недостаточно уделяют внимание особенностям свойств болот (торфяных почв), методам исследования, их классификации.

По всей вероятности, необходимо создание единого торфяного фонда России – это совокупность всех используемых в разных целях и неиспользуемых ресурсов торфа (болот, торфяников и месторождений торфа, лесных и сельскохозяйственных земель) и заниматься ими должны профессионально ориентированные организации (например, Минсельхоз). Мелиорация таких территорий не может быть локальной. Она должна быть рассчитана на ландшафтную оптимизацию всей территории, а в основе ее изменения определяющим является состояние водного баланса.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Лиштван И-И., Король Н.Т.* Основные свойства торфа и методы их определения. - Минск: Наука и техника, 1975. - 320 с

2. Торф. Термины и определения. ГОСТ 21123-85. М: Госкомитет СССР по стандартам. 1985. 46 с.

3. *Вомперский С. Э., Иванов А. И., Цыганова О. П., Валяева Н.А., Глухова Т.В., Дубинин А.И., Глухов А.И., Маркелова Л.Г.* Заболоченные

органогенные почвы и болота России и запас углерода в их торфах // Почвоведение. - 1994. - № 12. - С. 17-25.
4. Лесоводство Термины и определения. ОСТ 56-108-98. М.: ВНИИЦ лесресурс. 1998. 56 с.
5. Инструкция…по проведению лесоустройствав лесном фонде России. Ч. 1. М.: изд. ВНИИЦ лесресурс ФС ЛХ России. 1995. 174 с.

УДК 631.461 : 631.445.24 : 631.811.93

Состояние микробиологической активности дерново-подзолистой почвы в условиях повышенных концентраций аморфного кремнезема и кремниевых кислот в почвенном растворе

© 2022 г. А.В. Козлов[1*], А.Х. Куликова[2]

[1]ФГБОУ ВО «РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева», Россия, 127434, Москва, ул. Тимирязевская, 49, [*]a_v_kozlov@mail.ru

[2]ФГБОУ ВО «УлГАУ имени П.А. Столыпина», Россия, 432017, Ульяновск, б-р Новый Венец, 1.

Резюме: В работе рассматривается динамика численной активности первичных сапротрофных и некоторых литотрофных микроорганизмов в дерново-подзолистой легкосуглинистой почве в условиях увеличенного содержания в почвенном растворе мономеров и полимеров кремниевой кислоты, а также аморфных структур кремнезема за счет применения высокоаморфных кремнистых пород в качестве мелиорантов комплексного действия. Установлено разностороннее влияние данных материалов на численность некоторых эколого-физиологических групп микроорганизмов в почве, в том числе в отношении фосфатредуцентов-органотрофов и литотрофов, а также в отношении силикатредуцирующей группы микробиоты. Данные особенности могут быть учтены при оптимизации плодородия почв подзолистого ряда как наиболее выщелоченных от подвижных соединений кремния.

Ключевые слова: активность почвообитающих микроорганизмов, кремнистые породы, подвижные фракции кремния, дерново-подзолистая почва, химическая мелиорация почв.

State of microbiological activity of sod-podzolic soil under conditions of increased concentrations of amorphous silica and silicic acids in soil solution

© 2022 A.V. Kozlov[1*], A.H. Kulikova[2]

[1]Russian State Agrarian University –

Moscow Timiryazev Agricultural Academy,
49, Timiryazevskaya st., Moscow 127434, Russian Federation,
[*] e-mail: a_v_kozlov@mail.ru,
[2]Stolypin Ulyanovsk State Agricultural University,
1, Novyj Venets b-d, Ulyanovsk 432017, Russian Federation.

Abstract: The work considers to dynamics of numerical activity of primary saprotrophic and some lithotrophic microorganisms in sod-podzolic light-loamy soil under conditions of increased content of monomers and polymers of silicic acid in soil solution, as well as amorphous structures of silica due to application of highly amorphous siliceous rocks as meliorants of complex action. A wide-ranging effect of these materials on number of some ecological and physiological groups of microorganisms in soil, including with respect to phosphate reducents-organotrophs and lithotrophs, as well as with respect to silicate reducing group of microbiota, has been established. These features can be taken into account when optimizing the fertility of podzolic soils as most leached from mobile silicon compounds.

Keywords: activity of soil microorganisms, siliceous rocks, mobile silicon fractions, sod-podzolic soil, chemical soil melioration.

ВВЕДЕНИЕ

Известно, что микробиологическая составляющая является одним из основных факторов почвообразования, а активность почвообитающих микроорганизмов служит индикатором как состояния в целом, так и эволюции почвенного покрова (Аристовская, 1980; Звягинцев и др., 2005; Герасимова, 2015).

Применение различных сыромолотых или модифицированных природных материалов в качестве удобрений и мелиорантов уже вошло в практику земледелия (Кирюшин, 2010; Бочарникова и др., 2011). К таким веществам традиционно относятся не только известковые мелиоранты и различные отходы промышленности, но также и особая группа кремнистых пород, объединенных за счет исходно высокого содержания в своем составе подвижных фракций кремнезема, в том числе водо- и кислоторастворимых соединений кремния. Последние активно участвуют в кремниевом балансе почв, пополняя почвенный раствор и коллоидную систему мономерами и полимерами кремнекислоты, а также аморфными структурами SiO_2 (Матыченков и др., 2016). Данный аспект имеет приоритетное значение для почв подзолистого ряда, поскольку они является одними из наиболее выщелоченных от реакционно-активных

структур кремнезема (Почвообразовательные…, 2006; Худяков, Ретошкин, 2017).

В настоящее время к малоизучаемым вопросам агрономического почвоведения и почвенной микробиологии относятся исследования о состоянии микробиологической активности почвы в условиях ее взаимодействия с альтернативными мелиорантами комплексного действия, к которым в том числе относятся кремнистые породы (Куликова, 2013; Matichenkov, 2013). В том числе данные вопросы касаются состояния активности приоритетных эколого-физиологических ассоциаций почвообитающих микроорганизмов, которые участвуют в превращении органических компонентов и агрономически значимых веществ в почвах. Такие обстоятельства и определили цель настоящих исследований – определить состояние численной активности микроорганизмов дерново-подзолистой почвы под влиянием аморфных кремнистых пород, формирующих высокие концентрации подвижных соединений кремния в почвенном растворе.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Объектами исследований явились различные по генезису и свойствам породы с высоким содержанием подвижного кремнезема в своем составе: диатомит (Инзенское месторождение), цеолит (Хотынецкое месторождение) и бентонитовая глина (Зырянское месторождение). Данные материалы используются в практике химической мелиорации сельскохозяйственных земель в различных регионах страны как нетрадиционные местные минерально-сырьевые ресурсы (Бочарникова и др., 2011; Куликова, 2013).

Породы использовались при закладке микрополевых опытов (2014-2017 гг., ООО «Элитхоз» Борского района Нижегородской области) в качестве единственного мелиоративно-удобрительного вещества. Было заложено три опыта по одному с каждой породой, по схеме, включающей Контроль (естественное плодородие почвы) и по три варианта с высокими дозами материала – 3, 6 и 12 т/га. Породы вносили однократно в летний сезон 2014 года на этапе разбивки участка на делянки. Почва – дерново-подзолистая среднедерновая неглубокоподзолистая легкосуглинистая, сформированная на покровном суглинке, ее основные исходные характеристики:

pH_{KCl} = 4,83 ед. pH, $H_Г$ = 2,83 мг-экв./100 г, ЕКО = 9,10 мг-экв./100 г; V_S = 69%; содержание гумуса = 1,21%, содержание подвижного P_2O_5 и обменного K_2O = 86 мг/кг и 110 мг/кг (по Кирсанову); содержание монокремниевых и поликремниевых кислот = 16 и 48 мг/кг, кислоторастворимых соединений кремния = 213 мг/кг (по Матыченкову).

Содержание подвижных фракций кремния в изучаемых породах (аморфная (%), водорастворимая (мг/кг), кислоторастворимая (мг/кг)) составляло: диатомит – 42,1, 996, 12200; цеолит – 26,7, 1420, 7950; бентонит – 18,4, 2260, 10500 (Куликова, 2013; Махкамова и др., 2019).

На делянках выращивали сельскохозяйственные культуры, сорта которых районированы по Волго-Вятскому региону. Почву для проведения исследований отбирали ежегодно на этапе уборки урожая культур и анализировали на определение численности почвообитающих микроорганизмов чашечным методом Коха (Практикум…, 2005): аммонифицирующая и целлюлозолитическая ассоциации – мясопептонный агар (МПА) и агар Гетчинсона-Клейтона (АГК), фосфатредуценты литотрофы и органотрофы – агар Муромцева (АМУР) и агар Менкиной (АМЕН), общий комплекс силикатредуцентов и специфический вид *Bacillus mucilaginosus* – агар Александрова-Зака (ААЗ) и агар Няниковой-Виноградова (АНВ).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В результате проведенного исследования по определению изменений в численности некоторых эколого-физиологических групп почвообитающих микроорганизмов на фоне влияния различных кремнистых пород были выявлены определенные закономерности, полученные данные представлены в Таблице 1.

Было выявлено, что среди представителей зимогенной ниши почвенных микроорганизмов численность аммонификаторов (рост на МПА) под влиянием всех пород изменялась более выраженно, чем общее количество целлюлозолитической микробиоты (рост на АГК). Например, в зависимости от дозы диатомита и бентонита количество представителей аммонифицирующей группы микроорганизмов в почве увеличивалось соответственно на 25-42% и на 36-46%, а на фоне цеолита – на 7-15% относительно контрольных значений. При этом, повышение численности целлюлозолитических

сапротрофов в условиях взаимодействия почвы со всеми породами имело вид тенденции и лишь на вариантах с применением высоких доз глины достигало только 8% относительно контроля. Вполне вероятно, что это могло быть связано с кислотонейтрализующим эффектом от действия материалов на почву, что способствует созданию более благоприятных условий для развития аммонифицирующей ассоциации, чем целлюлозолитической (Звягинцев, 2005; Заварзин, 2014).

Таблица 1. Изменение численности микроорганизмов в почве в условиях влияния различных кремнистых пород (в среднем за 3 года).

Вариант	Численность микроорганизмов в почве, $\times 10^n$ КОЕ/1 г					
	МПА, n = 7	АГК, n = 5	АМУР, n = 5	АМЕН, n = 5	ААЗ, n = 6	АНВ, n = 6
Контр.	2,26	4,17	52,5	22,6	25,2	6,9
$Д_1$	2,83	4,24	63,7	29,8	45,6	11,2
$Д_2$	3,20	4,33	79,9	34,3	85,1	15,6
$Д_3$	3,09	4,35	91,2	34,2	93,6	21,5
$Ц_1$	2,41	4,22	81,9	34,1	30,0	6,9
$Ц_2$	2,55	4,26	138,5	40,7	46,9	7,3
$Ц_3$	2,59	4,29	157,8	35,6	53,5	8,0
$Б_1$	3,08	4,32	54,1	26,2	38,2	8,8
$Б_2$	3,29	4,48	56,8	31,4	65,2	14,9
$Б_3$	3,19	4,49	59,3	32,0	74,8	17,3

Количество микроорганизмов, участвующих в трансформации фосфорсодержащих веществ в почве, изменялось по-разному в зависимости от породы и группы форфатредуцентов. Так, на фоне влияния диатомита численность обеих групп микробиоты в почве увеличивалась примерно одинаково – в зависимости от дозы на 21-74% по литотрофам (рост на АМУР) и на 32-52% по органотрофам (рост на АМЕН). Под влиянием бентонита количество фосфорредуцирующих органотрофных микроорганизмов в почве повышалось более активнее (на 16-42%), чем количество Р-литотрофной микробиоты (на 3-13%). На вариантах с применением различных доз цеолитовой породы численность обеих групп фосфатредуцентов почвы увеличивалась в наибольшей мере и, в особенности, по литотрофной части микробного пула (в 2,6-3,0 раза) по сравнению с органотрофной частью (до 58-80%).

Численность силикатредуцирующей микробиоты в почве наиболее активно возрастала на фоне ее взаимодействия с породами, что закономерно, поскольку в своем составе они содержат значительные концентрации аморфного кремнезема, а также подвижных фракций кремния (Матыченков и др., 2016). Причем это относится как к общему комплексу почвообитающих силикатредуцентов (рост на АА3), так и к специфическому виду *Bac. mucilaginosus* (рост на АНВ). Из всех материалов наименьший эффект был выявлен на вариантах с применением цеолита, здесь общее количество силикатредуцентов в почве возрастало не более, чем в 2 раза, а количество *Bac. mucilaginosus* – только в виде тенденции на 16% относительно контрольного уровня. На фоне влияния бентонитовой глины численность специфических бацилл-силикатредуцентов в почве увеличивалась в 2,2-2,5 раза, а на фоне диатомовой породы – в 2,3-3,1 раза в зависимости от ее дозы. Общее же количество силикатредуцирующих микроорганизмов в почве более выраженно повышалось также на вариантах с применением диатомита (в 3,4-3,7 раза), чем глины (в 2,6-2,9 раза). Очевидно, что высокие дозы кремнистых пород создавали благоприятные условия для развития данных групп почвообитающих микроорганизмов за счет высокого содержания водо- и кислоторастворимых соединений кремния в виде мономеров и полимеров кремниевых кислот.

ВЫВОДЫ

В результате проведенных исследований было установлено различное, но в целом положительное влияние кремнистых пород на численную активность первичных сапротрофных и литотрофных групп почвообитающей микробиоты в дерново-подзолистой почве. Подвижные кремнистые компоненты диатомита, цеолита и бентонитовой глины, за счет высоких доз (6-12 т/га) обогащающие почвенный раствор мономерами и полимерами кремнекислоты, а также аморфными структурами кремнезема, способствуют существенному усилению активности силикат- и фосфатредуцирующих микроорганизмов в почве (соответственно в 2,2-3,7 раза и в 2,6-3,0 раза), а также создают благоприятные условия в почве для развития сапротрофной микробиоты (на 15-45%).

С учетом того, что исследуемые мелиоранты проявляют оптимизирующий эффект в отношении условий обитания для

почвенной микробиоты, полученные результаты позволяют их рассматривать как материалы комплексного воздействия на плодородие почв, в том числе почв подзолистого ряда.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Аристовская Т.В.* Микробиология процессов почвообразования. Л.: Наука, 1980. 187 с.
2. *Бочарникова Е.А., Матыченков В.В., Матыченков И.В.* Кремниевые удобрения и мелиоранты: история изучения, теория и практика применения // Агрохимия. 2011. № 7. С. 84–96.
3. *Герасимова М.И.* Почвообразовательные процессы и концепция элементарных почвообразовательных процессов в современных почвенных классификациях // Бюлл. почв. ин-та им. В.В. Докучаева. 2015. Вып. 81. С. 91–102.
4. *Заварзин Г.А.* Лекции по природоведческой микробиологии. М.: Наука, 2014. 348 с.
5. *Звягинцев Д.Г., Бабьева И.П., Зенова Г.М.* Биология почв. М.: Изд-во Моск. ун-та, 2005. 448 с.
6. *Кирюшин В.И.* Агрономическое почвоведение. М.: КолосС, 2010. 687 с.
7. *Куликова А.Х.* Кремний и высококремнистые породы в системе удобрения сельскохозяйственных культур. Ульяновск: Изд-во Ульяновской ГСХА им. П.А. Столыпина, 2013. 176 с.
8. *Матыченков И.В. Хомяков Д.М., Пахненко Е.П., Бочарникова Е.А., Матыченков В.В.* Подвижные кремниевые соединения в системе почва–растение и методы их определения // Вестник Моск. университета. Сер. 17. Почвоведение. 2016. № 3. С. 37–46.
9. *Махкамова Д.Н., Содикова Ш.А., Усмонова З.Т.* Бентонитовая глина, ее физико-химическая характеристика и применение в народном хозяйстве // Universum: Технические науки. 2019. № 6 (63). С. 95–98.
10. Почвообразовательные процессы / Под ред. М.С. Симаковой, В.Д. Тонконогого. М.: Почв. ин-т им. В.В Докучаева, 2006. 510 с.
11. Практикум по микробиологии / Под ред. А.И. Нетрусова. М.: Изд. центр «Академия», 2005. 608 с.
12. *Худяков О.И., Ретошкин О.В.* Почвообразование, элементарные почвообразовательные процессы, твердофазные продукты функционирования элементарных почвообразовательных процессов // Известия Самарского научного центра РАН. 2017. Т. 19. №2 (2). С. 354–359.
13. *Matichenkov V.V., Wei X., Liu D., Bocharnikova E.A.* Theory, practice and prospection of Si fertilizer // Agricultural Science Technology. 2013. Vol. 14 (3). P. 498-502.

УДК 631.4

Тяжелые металлы в агроценозах различной окультуренности Владимирского ополья

© 2022 г. А.Д. Котельникова[1*], Т.И. Борисочкина[1], О.Б. Рогова[1], К.А. Колчанова[1], М.А. Шишкин[1], Ф.С. Егоров[1], В.В. Окорков[2], О.А. Фенова[2]

[1]ФИЦ «Почвенный институт им. В.В. Докучаева», Россия, Москва, Пыжевский пер, 7, стр. 2, 119017
[*] a.d.kotelnikova@gmail.com
[2]Верхневолжский федеральный аграрный научный центр, Россия, Владимирская обл., Суздальский р-н, пос. Новый, 601261

Резюме: Элементный состав компонентов агроценоза длительное время является объектом пристального внимания специалистов. Значимость его изучения обусловлена необходимостью обеспечения сбалансированного минерального питания растений, получения безопасной продукции, обладающей соответствующим качеством, ростом антропогенного воздействия, требующего мониторинга и оценки. Вследствие увеличивающейся антропогенной нагрузки сельскохозяйственные почвы подвергаются риску деградации, в том числе химической. Необходимо проведение исследований содержания микроэлементов, которые могут считаться потенциально токсичными, в компонентах агроценозов, находящихся под длительным окультуриванием различного характера. В работе проводится анализ элементного состава компонентов агроценоза – серой лесной почвы и растений – опытных полей Владимирского ополья. Исследовали образцы девяти вариантов опыта: контроль, известь (фон для удобрений), PK, 1 доза NPK, 2 дозы NPK, навоз, навоз + PK, навоз + 1 доза NPK, навоз + 2 дозы NPK. Определено валовое содержание ряда элементов (Ni, Cu, Zn, Sr, Mn, Fe, Al) в образцах верхнего слоя почвы (0-20 см), концентрация подвижных форм данных элементов, экстрагируемая ацетатно-аммонийным буфером и концентрация элементов в растениях гороха и овса. По результатам определения валового содержания ряда ТМ в образцах почвы отсутствовали статистически значимые различия между вариантами внесения удобрений и фоном. При этом средние значения концентрации ТМ – Cu, Zn, Ni, Mn – в вариантах внесения удобрений выше, чем на фоновой делянке. Отмечается увеличение концентрации подвижных форм Al, Mn, Fe, Zn при внесении удобрений, наиболее заметное в варианте внесения двойной дозы NPK. Также рост концентрации этих элементов наблюдался в

отдельных органах растений гороха и овса. Несмотря на отсутствие статистически значимых различий в концентрации как валовых, так и подвижных форм Sr между вариантами опытов, отмечается увеличение концентрации Sr в растительном материале при внесении удобрений, как минеральных в отдельности, так и в сочетании с навозом. Увеличение в почве концентрации подвижных форм микроэлементов, а также рост их концентрации в растительной продукции требует дополнительного мониторинга элементного состава компонентов агроценоза. Полученные результаты могут учитываться при формировании критериев оценки минерального питания растений и норм внесения удобрений.

Ключевые слова: микроэлементы, элементный состав, удобрения.

Heavy Metals in Agrocenoses of Different Cultivation in Vladimirskoe Opol'e

© 2022 A.D. Kotelnikova[1*], T.I. Borisochkina[1], O.B. Rogova[1], K.A. Kolchanova[1], M.A. Shishkin[1], F.S. Egorov[1], V.V. Okorkov[2], O.A. Fenova[2]

[1]Federal Research Centre "V.V. Dokuchaev Soil Science Institute", Russian Federation, Moscow, 7 Bld. 2 Pyzhevskiy per., 119017
[*] e-mail: a.d.kotelnikova@gmail.com
[2]State Scientific Institution Vladimir Research Institute of Agriculture, Russian Federation, Vladimirskaya oblast, Suzdalskiy rayon, p. Noviy, 601261

Abstract: The elemental composition of agrocenosis components has long been the object of close attention of specialists. The importance of its study is due to the need to ensure a balanced mineral nutrition of plants, obtain safe products with appropriate quality, the growth of anthropogenic impact, which requires monitoring and evaluation. Due to the increasing anthropogenic load, agricultural soils are at risk of degradation, including chemical degradation. It is necessary to conduct research on the content of trace elements that can be considered potentially toxic in the components of agrocenoses under long-term cultivation of various kinds. In the work we analyze the elemental composition of agrocenosis components - gray forest soil and plants - of the experimental fields of the Vladimir polje. Samples of nine experimental variants were studied: control, lime (background for fertilizers), PK, 1 dose of NPK, 2 doses of NPK, manure, manure + PK, manure + 1 dose of NPK, manure + 2 doses of NPK. Bulk content of some elements (Ni, Cu, Zn, Sr, Mn, Fe, Al) in the samples of top soil layer (0-20 cm), concentration of mobile forms of these elements extractable by acetate-ammonium buffer and concentration of elements in pea and oat plants were determined. According to the results of determining the bulk content of a number of TM in soil samples, there were no statistically significant

differences between the variants of fertilizer application and the background. At the same time, the average values of the TM concentrations of Cu, Zn, Ni, and Mn were higher in the variants of fertilizer application than in the background plot. There is an increase in the concentration of mobile forms of Al, Mn, Fe, Zn at the application of fertilizers, most noticeable in the variant of application of a double dose of NPK. Also, an increase in the concentration of these elements was observed in some plant organs of pea and oat. Despite the absence of statistically significant differences in the concentration of both bulk and mobile forms of Sr between the variants of experiments, an increase in the concentration of Sr in plant material was observed when fertilizers, both separately and in combination with manure, were applied. Increase in soil concentration of mobile forms of trace elements as well as growth of their concentration in plant products requires additional monitoring of elemental composition of agrocenosis components. The results obtained can be taken into account in the formation of criteria for assessing the mineral nutrition of plants and fertilizer application rates.

Keywords: micronutrients, elemental composition, fertilizers.

ВВЕДЕНИЕ

Серые лесные почвы составляют 33% пашни Владимирской области и на них выращивается >70% валовой сельскохозяйственной продукции. Тяжелые металлы, многие из которых являются микроэлементами, входят в состав ферментов и их недостаток (или избыток) вызывает неблагоприятные последствия не только для роста и урожайности сельскохозяйственных культур, но и для обеспечения животных и человека полноценным питанием. На незагрязненных территориях поступление металлов в почвы с удобрениями и мелиорантами является основным источником прихода металлов и составляет от 72 % до 98 % от общего потока (Попова, 1992). Наибольшие количества примесей содержат фосфорные удобрения. Содержание примесей в фосфорных удобрениях зависит от состава исходного сырья и технологии производства (Карпова, 2003). В фосфорных удобрениях из отечественного сырья существенными являются примеси стронция и фтора. Органические удобрения в большинстве случаев приводят к положительному балансу микроэлементов в агросистеме (Карпова, Минеев, 2015). Особенно существенен вклад органических удобрений в поступлении Zn, Cu, As, Ni (Adriano, 2001). Таким образом длительное применение удобрений может приводить к изменению элементного состава почвы и

растительной продукции. Поэтому проблема оценки обеспеченности растений микроэлементами и разработка критериев их оптимальных содержаний в почвах агроценозов остается достаточно актуальной.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Объектами исследования послужили образцы почвы и растений, отобранные на территории опытных полей Владимирского ополья (Владимирский НИИСХ). Длительный полевой опыт заложен в 1991 г. Исследовали пахотный (0–20 см) слой серых лесных тяжелосуглинистых почв (Luvic Retic Greyzemic Phaeozem (Loamic, Aric)). Чередование культур в севообороте: однолетние травы (смесь гороха с овсом); озимая пшеница; овес с подсевом трав; травы первого года; травы второго года; озимая пшеница; ячмень. Исследовали почвенные пробы девяти вариантов опыта: контроль, известь (фон для удобрений), PK, 1 доза NPK, 2 дозы NPK, навоз, навоз + PK, навоз + 1 доза NPK, навоз + 2 дозы NPK. Далее будут использованы соответствующие сокращенные названия вариантов опыта: контроль, фон, PK, 1NPK, 2NPK, навоз, навоз+PK, навоз+1NPK, навоз+2NPK. Применяемые удобрения: навоз КРС (60 т/га, в 1 т навоза – 6.2 кг азота, 3.2 кг P_2O_5, 6.1 кг K_2O), двойной суперфосфат (P_2O_5, одинарная доза 340 кг/га за ротацию, двойная – 680 кг/га), калийная соль (KCl, 360 кг/га и 720 кг/га), аммиачная селитра (NH_4NO_3, 340 и 680 кг/га). Площадь делянки 100 м^2. Смешанные образцы в трехкратной повторности отбирались с каждой делянки в июле 2021 года, в начале 4-ой ротации. Для анализа растительного материала были отобраны образцы гороха и овса. С более подробным описанием опыта и основными результатами, полученными сотрудниками ВНИИСХ, можно ознакомиться по ряду литературных источников (Окорков, 2006; Окорков 2012; Окорков, Фенова, Окоркова, 2013).

Валовое содержание элементов в образцах почвы определяли энергодисперсионным рентгенофлуоресцентным методом (РФА) на анализаторе «РеСПЕКТ» (Россия). Подвижные формы элементов извлекали ацетатно-аммонийным буфером pH 4,8 (ААБ). Пробоподготовка растительных образцов включала разложение с использованием азотной кислоты (HNO_3) на установке для

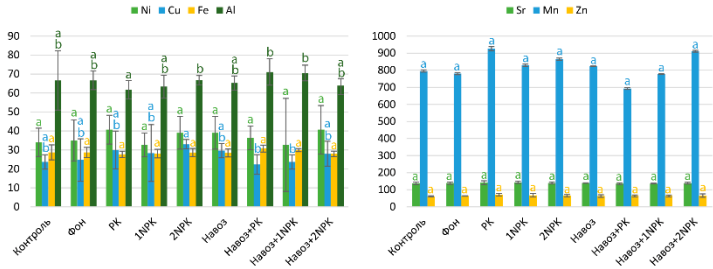
микроволнового разложения проб ETHOS EASY (Milestone, Италия). Отдельно разлагали стебли, листья и плоды растений. Элементный анализ полученных растворов осуществлялся методом оптико-эмиссионной спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой (ИСП-ОЭС) (5800 ICP-OES, Agilent Technologies, USA). Определяли концентрацию в образцах ряда элементов: Ni, Cu, Zn, Sr, Mn, Fe, Al. Результаты исследования обработаны методами непараметрической статистики с использованием STATISTICA 10.0 и языка программирования R в среде R Studio. Различия считались статистически значимыми при $p<0,05$ для всех тестов. Критерий Краскела-Уоллиса применялся для определения наличия различий между группами. Если тест показывал наличие статистически значимых различий между группами, применяли тест Гао для множественного сравнения групп (Gao et al., 2008). Доверительные интервалы для средних значений рассчитывали при величине доверительной вероятности 95 %.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

По результатам определения валового содержания ряда ТМ в образцах почвы отсутствовали статистически значимые различия между вариантами внесения удобрений и фоном (Рис. 1). При этом средние значения концентрации ТМ – Cu, Zn, Ni, Mn – в вариантах внесения удобрений были выше, чем на фоновой делянке. Также можно отметить тренд на увеличение концентрации микроэлементов с ростом внесенной дозы минеральных удобрений. Особенно выражен этот тренд для Cu и Mn при совместном внесении минеральных удобрений и навоза. Валовая концентрация Cu в вариантах навоз+PK и навоз+1NPK статистически значимо ниже, чем в варианте 2NPK. Валовая концентрация Al в варианте PK достоверно ниже, чем в трех вариантах – 2NPK, навоз+PK, навоз+1NPK. Таким образом, внесение минеральных удобрений отдельно и в сочетании с навозом привело к росту содержания Cu, Mn, Al в ряде вариантов с несением повышенной дозы по сравнению с более низкими дозами внесения удобрений. При этом полученные значения остаются в пределах установленных значений ПДК. Установлено, что минеральные удобрения могут служить источником поступления ТМ (Горбунова, Куликова, 2020; Литвинович и др., 2011; Bolan et al., 2005). Но в целом считается, что внесение минеральных и

органических удобрений не может привести к существенному увеличению концентрации ТМ в почве, так как для превышения значений ПДК потребуется от десятков до сотен тысяч лет в зависимости от элемента и дозы удобрений, однако отмечается необходимость мониторинга (Горбунова, Куликова, 2020).

Рис. 1. Валовая концентрация элементов в образцах почвы (Ni, Cu,



Sr, Mn, Zn – мг/кг почвы, Fe, Al – г/кг почвы). Показаны средние значения (n=3) и 95% доверительные интервалы. Группы, не имеющие общих букв, статистически достоверно различаются согласно тесту Гао ($p \leq 0.05$)

При определении подвижных форм микроэлементов заметно увеличение концентрации Al при внесении минеральных удобрений по сравнению с фоном (Рис. 2). Статистически значимо отличие от фона трех вариантов опыта – 1NPK, 2NPK и навоз+2NPK. Концентрация Al также статистически значимо выше в листьях овса в варианте 2NPK по сравнению с фоном.

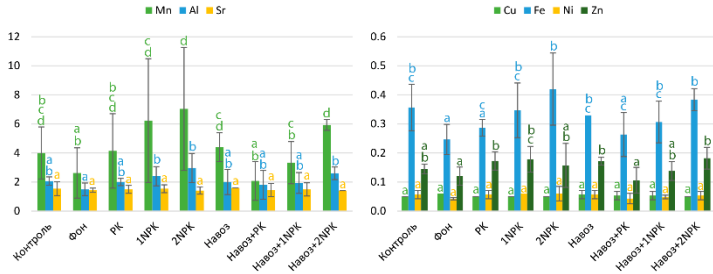


Рис. 2. Концентрация подвижных форм элементов в образцах почвы, мг/кг почвы. Показаны средние значения (n=3) и 95% доверительные интервалы. Группы, не имеющие общих букв, статистически достоверно различаются согласно тесту Гао ($p \leq 0.05$)

Схожие изменения отмечаются для Mn (Рис. 2). Концентрация подвижных форм Mn статистически достоверно выше фонового значения в вариантах опыта 1NPK, 2NPK, навоз, навоз+2NPK. Увеличение концентрации Mn в органах растений отмечается в листьях овса и гороха, стеблях и плодах овса в различных вариантах внесения удобрений (в основном 2NPK и навоз+2NPK) относительно фона.

Примечательны результаты по Sr. Несмотря на отсутствие статистически значимых различий в концентрации как валовых, так и подвижных форм элемента между вариантами опытов, отмечается увеличение концентрации Sr в растительном материале при внесении удобрений, как минеральных в отдельности, так и в сочетании с навозом. Для стеблей гороха изменения статистически значимы для варианта навоз+2NPK. Для плодов овса концентрация Sr статистически значимо выше фонового значения в варианте навоз+1NPK. Также изменения статистически значимы для листьев и стеблей овса в вариантах 2NPK, навоз+2NPK.

ВЫВОДЫ

Отмечается изменение содержания ряда микроэлементов при длительном внесении удобрений в серую лесную почву. Увеличение в почве концентрации подвижных форм микроэлементов, а также рост их концентрации в растительной продукции требует дополнительного мониторинга элементного состава компонентов агроценоза. Полученные результаты могут учитываться при формировании критериев оценки минерального питания растений и норм внесения удобрений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Горбунова Н.С., Куликова Е.В.* Вероятность загрязнения черноземов обыкновенных свинцом и кадмием при длительном применении удобрений и мелиорантов в условиях полевого опыта // Плодородие. 2020. №. 6 (117). С. 56–58.
2. *Карпова Е.А.* Состояние микроэлементов в агроэкосистемах // Техногенез и биогеохимическая эволюция таксонов биосферы. М.: Наука. 2003. С. 76–87.
3. *Карпова Е.А., Минеев В.Г.* Тяжелые металлы в агроэкосистеме. М., 2015. 215 с.

4. *Литвинович А.В. Небольсина З.П., Витковская С.Е., Яковлева Л.В.* Влияние длительного применения фосфорных удобрений и мелиорантов на накопление в почвах и растениях стабильного стронция // Агрохимия. 2011. №. 1. С. 35–41.
5. *Окорков В.В.* Антропогенная трансформация серых лесных почв Владимирского ополья при длительном применении удобрений. Владимир: Владимирский научно-исследовательский институт сельского хозяйства РАСХН, 2012. 104 с.
6. *Окорков В.В.* Удобрения и плодородие серых лесных почв Владимирского ополья. Владимир: ВООО ВОИ, 2006. 355 с.
7. *Окорков В.В., Фенова О.А., Окоркова Л.А.* Сравнительная эффективность систем удобрения на серых лесных почвах Ополья // Владимирский земледелец. 2013. № 4. С. 15–19.
8. *Попова А.А.* Сезонная динамика и баланс тяжелых металлов в дерново-подзолистой почве // Автореферат диссертации на соискание ученой степени канд. биол. наук. М. 1992. 24 с.
9. *Adriano D.C.* Trace Elements in Terrestrial Environments. Biogeochemistry, Bioavailability, and Risks of Metals. New York: Springer, 2001. 867 p.
10. *Bolan N.S., Adriano D.C., Naidu R., De La Luz Mora M., Santiagio M.* Phosphorus-Trace Element Interactions in Soil-Plant Systems // Phosphorus: Agriculture and the environment. 2005. V. 46. P. 317–352.
11. *Gao X., Alvo M., Chen J., Li G.* Nonparametric multiple comparison procedures for unbalanced one-way factorial designs // J. Stat. Plann. Inference. 2008. Vol. 138. No. 8. P. 2574–2591.
12.

УДК 631.4

Почвенные ресурсы Тверской губернии: современное состояние и перспективы использования

© 2022 г. Г.Ю. Рабинович*, И.А. Трешкин

Всероссийский научно-исследовательский институт мелиорированных земель – филиал Федерального государственного бюджетного научного учреждения Федерального исследовательского центра «Почвенный институт имени В.В. Докучаева», Россия

170530, Тверская область, Калининский район, пос. Эммаусс, д. 27
** vniimz @mail.ru*

Резюме: Статья дает представление о почвенных ресурсах Тверской губернии, протяженное положение которой позволяет отнести ее к двум административным округам Российской Федерации: Северо-Западному и Центральному. Почвы Тверской губернии четко определяются гумидной зоной, характеризующейся неустойчивым ведением сельскохозяйственного производства. Почвам региона, 60% из которых относится к дерново-подзолистым (и именно они в первую очередь и используются в сельскохозяйственной отрасли региона), присущ промывной водный режим, обеспечивающий резкую дифференциацию почвенного профиля на горизонты. Дерново-подзолистые почвы необходимо минимум 1 раз в 5 лет известковать в объеме не менее 5 т/га, особенно те, в которых высок уровень кислотности pH<5,0 (а таких в регионе почти 30%). Оптимальное известкование, однако, осуществлялось только в 1971-93 гг. В соответствии с действующей градацией почвы Тверского региона имеют разное содержание гумуса от 1,5% до 4,0%. Согласно многолетним наблюдениям (более 45 лет) за динамикой плодородия почв государственным центром агрохимической службы «Тверской» приемлемым содержанием гумуса для дерново-подзолистых почв Тверской области является его градация 2,0-2,5%, обеспечивающая стабильные и полноценные урожаи сельскохозяйственных культур. В настоящее время почвы Тверской губернии используются крайне ограниченно, особенно залежные или же очень дорогостоящие почвы мелиоративного (осушаемого и орошаемого) фонда. На основании этого ставится вопрос о целесообразности их последующего введения в сельскохозяйственный оборот на фоне поступательного масштабного использования земельных ресурсов эксплуатируемого на постоянной основе фонда. Основной массив

залежных земель сформировался на протяжении 10-20 последних лет, когда выводились из оборота наименее плодородные почвы. В Тверской губернии 13,9% земель выведены из оборота свыше 15 лет назад и покрыты плотно растущим мелколесьем. Процент земель мелиоративного фонда Тверской губернии начал формироваться полвека назад, активно использовался в течение 20 с небольшим лет, однако, впоследствии пришедшая в упадок мелиоративная сеть региона не стала позволять делать это в полной мере. В связи с этим показано проведение мероприятий по удалению кустарников и мелколесья, по раскислению, по внесению удобрений с целью сохранения плодородного слоя, способных в совокупности обеспечить полноценное возвращение в оборот залежных и мелиорированных ранее земель. Возрожденные земли Тверской губернии дадут шанс возделывать здесь расширенный ассортимент стратегически важных сельскохозяйственных культур, в том числе, обеспечивающих продовольственную безопасность страны.

Ключевые слова: дерново-подзолистые почвы Тверской губернии, промывной режим, кислотность, плодородие, структура сельскохозяйственного производства, введение в оборот залежных земель и неэксплуатируемых земель мелиоративного фонда.

Soil resources of the Tver province: current state and prospects for use

© 2022 G.Yu. Rabinovich*, I.A. Treshkin

VNIIMZ FRC V.V. Dokuchaev Soil Science Institute,

170530, Tver Region, Kalininsky District, Emmauss Village, 27,
** e-mail: vniimz @mail.ru*

Abstract: The article gives an idea of the soil resources of the Tver province, the extended position of which allows it to be attributed to two administrative districts of the Russian Federation: North-Western and Central. The soils of the Tver province are clearly defined by the humid zone, characterized by unsustainable agricultural production. The soils of the region, 60% of which are soddy-podzolic (and they are primarily used in the agricultural sector of the region), are characterized by a leaching water regime, which provides a sharp differentiation of the soil profile into horizons. Soddy-podzolic soils need to be limed at least once every 5 years in a volume of at least 5 t/ha, especially those in which the acidity level pH < 5.0 is high (and there are almost 30% of such in the region). Optimal liming, however, was carried out only in 1971-1993. In accordance with the current gradation, the soils of the Tver region have different humus content from 1.5% to 4.0%. According to long-term observations (more

than 45 years) of the dynamics of soil fertility by the state center of the agrochemical service "Tverskoy", the acceptable humus content for soddy-podzolic soils of the Tver region is its gradation of 2.0-2.5%, which ensures stable and high-grade crop yields. At present, the soils of the Tver province are used extremely limitedly, especially fallow or very expensive soils of the reclamation (drained and irrigated) fund. Based on this, the question is raised about the advisability of their subsequent introduction into agricultural circulation against the background of the progressive large-scale use of land resources of the fund operated on a permanent basis. The main mass of fallow lands was formed during the last 10-20 years, when the least fertile soils were taken out of circulation. In the Tver province 13.9% of the land was taken out of circulation more than 15 years ago and is covered with densely growing undergrowth. A percentage of the lands of the reclamation fund of the Tver province began to form half a century ago, was actively used for more than 20 years, however, the reclamation network of the region, which subsequently fell into decay, did not allow this to be done in full. In this regard, it is shown to carry out measures to remove shrubs and small forests, to deacidify, to apply fertilizers in order to preserve the fertile layer, which together can ensure the full return of fallow and reclaimed lands into circulation. The revived lands of the Tver province will give a chance to cultivate here an expanded range of strategically important crops, including those that ensure the country's food security.

Keywords: soddy-podzolic soils of the Tver province, leaching regime, acidity, fertility, structure of agricultural production, introduction of fallow lands and unexploited lands of the reclamation fund into circulation.

ВВЕДЕНИЕ

Почва – ключевой и неоспоримо важнейший ресурс сельскохозяйственного производства нашей цивилизации, поскольку размещаемые на ней угодья задействованы в процессе производства продуктов питания, кормов для животных и технических культур. Кроме того, почва – это среда обитания практически 90% разнообразных живых организмов, в том числе представителей микрофлоры, обеспечивающей, без преувеличения, сохранение жизни на нашей планете и поддержание ее биоразнообразия.

В Российской Федерации за последние двадцать лет почти на треть сократились посевные площади сельскохозяйственных культур, в результате чего серьезные изменения произошли в облике функционирующих агрокомплексов и агроландшафтов, особенно в средней полосе России.

В целом по стране увеличение сельскохозяйственного производства в основном достигается либо путем усиленной эксплуатации земельных ресурсов, либо использованием самых плодородных земель с параллельным выведением из сельскохозяйственного оборота менее продуктивных из них. При этом вынос питательных веществ с урожаем и невосполнение их внесением удобрений провоцируют повсеместно отрицательный баланс питательных веществ в возделываемых почвах, доходящий до 5% (Эффективные приёмы окультуривания…, 2014). Именно это и приводит к быстрому истощению плодородных почв в нашей стране с перспективой их последующей деградации. Интерес исследователей и хозяйственников к проблематике не угасает, причем особый интерес вызывает состояние почв Нечерноземной зоны РФ, среди которых преобладают дерново-подзолистые. Учеными нашей страны по сведениям базы данных научной электронной библиотеки E-library.ru опубликовано очень много работ (более 5 тысяч), в частности, во многих из них, например, за последние 5 лет (Шевченко В.А. и др., 2020; Конончук В.В. и др., 2020; Пчелкин В.В. и др., 2020; Золкина Е.И., 2018; Кулаков В.А. и др., 2017), содержатся материалы, посвященные исследованию дерново-подзолов, путям преодоления возникающих при их эксплуатации трудностей, поиску путей поддержания и увеличения почвенного плодородия.

Цель настоящей статьи – оценка современного состояния почвенных ресурсов Тверской губернии и перспективности полноценного использования при хозяйствовании. В статье учтено, что Тверская губерния является одним из ярких представителей регионов Нечерноземной зоны, гумидность которой и обуславливает трудности ведения сельскохозяйственного производства на ее территории.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Объект изучения – дерново-подзолистые почвы Тверской губернии, их особенности, плодородие, способность обеспечивать желаемый уровень продуктивности.

Методический подход, использованный в статье, – выбор и анализ материалов открытых литературных источников, интернета, результатов многолетних наблюдений ВНИИМЗ за состоянием

почвенного, в первую очередь мелиоративного фонда, посвященных исследованию почвенных ресурсов Тверской губернии.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Тверская губерния – один из самых крупных регионов Центрального Нечерноземья (84,2 тыс. кв. км) располагается в границах двух зон: Северо-Западной и Центральной. Почвы Тверской губернии ограничиваются гумидной зоной, для которой характерно неустойчивое ведение сельскохозяйственного производства. Сильно разнящиеся условия почвообразования на территории гумидной зоны обусловили так называемую пестроту почвенного покрова, которому свойственно существенное варьирование показателей плодородия, в первую очередь агрохимического плана.

Почвы Тверской губернии в основном сформированы на ледниковых и постледниковых отложениях (моренных валунных и слабовалунных глинах, суглинках и супесях, покровных глинах и суглинках). Среди почв Тверской губернии преобладают дерново-подзолистые (60%) разной степени оподзоленности, довольно широко представлены также болотно-подзолистые (22,6%) и торфяно-болотные (10,7%) почвы. 3,5% почвенного покрова региона – это аллювиальные, дерново-глеевые и дерново-карбонатные разновидности (Рис.1).

Наиболее распространены на территории Тверской губернии подзолистые и дерново-подзолистые почвы на валунном суглинке или на лессовидных суглинках. Так, среди всех почвенных разностей дерново-подзолистых почв, которых выделяют не меньше десятка, большие процентные доли принадлежат: дерново-подзолистым преимущественно мелко- и неглубокоподзолистым (48,4%), дерново-подзолистым преимущественно неглубокоподзолистым (12,7%), дерново-подзолистым иллювиально-железистым (10,3%). (Погода в Тверской области, 2022). Подчеркнем, что гранулометрический состав этих почв превалирующе суглинистый и супесчаный, а также песчаный.

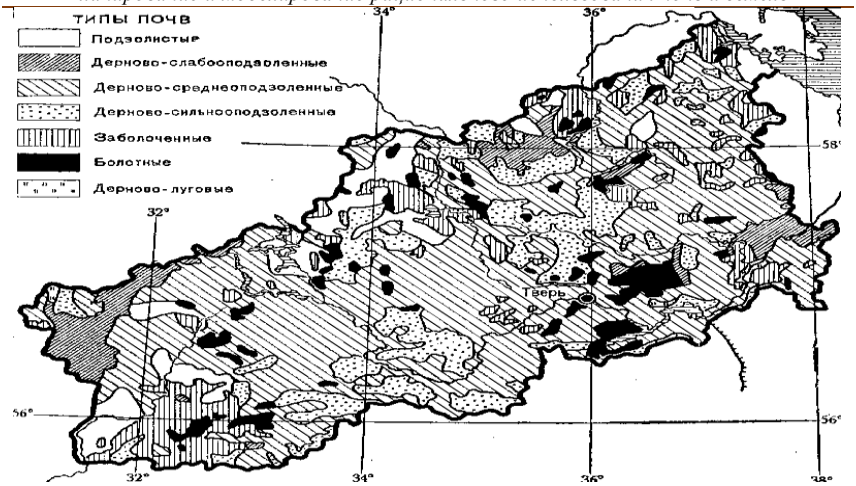


Рис. 1. Карта-схема почв Тверской губернии

Весьма заметна в Тверском регионе неравномерность выпадения осадков, связанная, в том числе, с его протяженностью по параллели: максимум – в западных районах (700…750 мм), минимум – в центральных районах и на востоке (500…650 мм). Отметим также, что в Тверской губернии количество выпадающих осадков чаще всего значительно выше испарения, что и отражается на водном режиме почв, свидетельствуя об избыточности увлажнения (средний коэффициент увлажнения достигает 1,3, прямо указывая на принадлежность почвенных ресурсов региона к гумидной зоне).

Почвам Тверской губернии присущ промывной водный режим, за счет чего и происходит вымывание питательных веществ из пахотных слоев в нижележащие, обеспечивая тем самым резкую дифференциацию почвенного профиля на горизонты. Интенсивность смыва элементов питания варьирует по области (Рис.2). Так, максимум (от 6 т/га до 8 т/га) смыва обнаруживается на западе, минимум (от 1 до 3 т/га) – в восточных районах. Районы без выделения черным цветом на рисунке характеризуются промежуточными значениями.

Под лесом и кустарниковой растительностью, а также под болотами в Тверской губернии занято 57,6%, а на долю сельскохозяйственных угодий остается не более 30% ее территории.

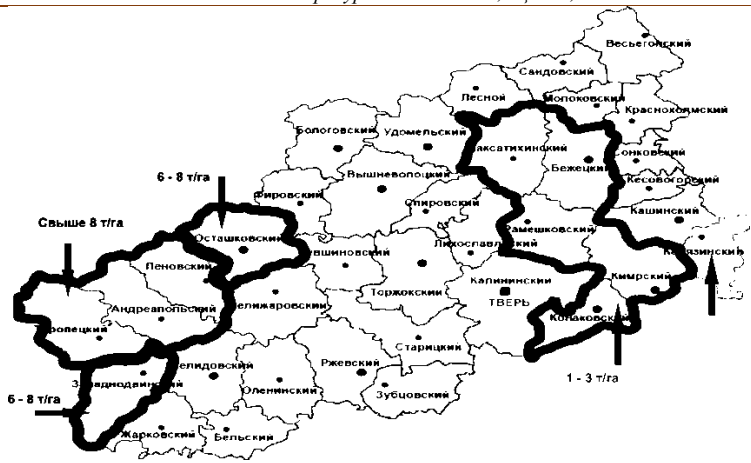


Рис 2. Интенсивность промывного режима почв Тверской губернии

По данным Министерства сельского хозяйства Тверской области площадь сельскохозяйственных угодий достигает 2032,7 тыс. га, из которых 66,7% – пашня, 12,8% – сенокосы, 18,9% – пастбища, 0,8% –залежные земли. В целом, Тверская губерния характеризуется малопродуктивными землями, 2/3 пахотных почв которой содержит менее 2% гумуса, 1 млн 250 тыс. га пашни представлены кислыми почвами, 4,8 % сельскохозяйственных земель заболочены и переувлажнены (Фирсов С.А., 2011).

Реально низкая продуктивность земельного фонда Тверской губернии определяется рядом причин. Так, избыточная кислотность дерново-подзолистых почв во многом зависит от удобрений, используемых хозяйствами Тверской губернии, а также от севооборота и почвообработки. Для проведения мелиоративных мероприятий необходимо минимум 1 раз в 5 лет известковать почвы с уровнем кислотности pH<5,0 (а таких в регионе почти 30%) в объеме не менее 5 т/га. Интенсивное известкование, однако, осуществлялось только в 1971-93 гг. Поскольку по последним данным средневзвешенная величина pH составляет для дерново-подзолов 5,6 ед., не дотягивают до данного показателя районы запада и юго-запада Тверского региона, демонстрирующие избыточную кислотность (pH=5,0-5,2, а то и ниже), – Бельский, Жарковский, Западнодвинский, Оленинский и Ржевский районы Тверской области (Доклад о состоянии и использовании земель…, 2022).

Важнейшим фактором почвенного плодородия является содержание гумуса, оказывающего важнейшее влияние на пищевой режим, физико-механические и биологические свойства почвы (Бобров Д.А., 2019). Оптимальным содержанием гумуса в почве можно считать такое его количество, которое позволяет получать стабильные урожаи сельскохозяйственных культур в данной биоклиматической зоне. Поэтому проблема поддержания гумусового состояния почв Нечерноземной зоны, в том числе Тверской губернии, на приемлемом уровне не теряет своей актуальности.

Результаты обследования почв Тверской губернии на содержание гумуса в пахотном горизонте представлены на рисунке 3. В соответствии с действующей градацией по обеспеченности почв органическим веществом почвы региона имеют очень низкое содержание (до 1,5%), низкое (1,6-2,0%), среднее (2,1-2,5%), повышенное (2,6-3,0%) и высокое (3,1-4,0%) гумуса. Согласно многолетним наблюдениям (более 45 лет) государственного центра агрохимической службы «Тверской» за динамикой плодородия почв и урожайностью сельскохозяйственных культур, оптимальным содержанием гумуса для дерново-подзолистых почв Тверской области является 2,0-2,5%, которое обеспечивает возможность получать стабильные и полноценные урожаи сельскохозяйственных культур (Фирсов С.А., 2011).

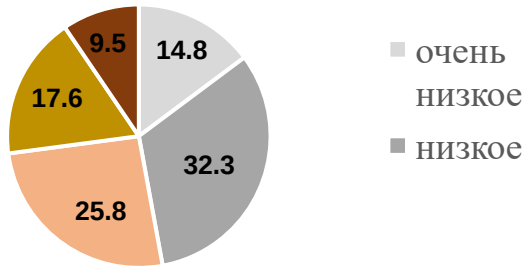


Рис. 3. Обеспеченность органическим веществом почв Тверской губернии

Накопление гумуса и поддержание в дерново-подзолистых почвах необходимого уровня плодородия осуществляется главным

образом за счет поступления органической массы внесением повышенных доз органических удобрений, возделыванием культур, оставляющих после себя в почве много растительных и корневых остатков, заделкой сидеральных культур и соломы. Практиками сельскохозяйственной отрасли в Тверской губернии признается серьезная роль органических удобрений. Согласно балансовым расчетам, бездефицитный баланс гумуса в пахотных дерново-подзолистых почвах достигается при ежегодной насыщенности органическими удобрениями в пределах 8-9 т/га, тогда как фактически вносится 0,5 т/га.

В связи с тем, что, начиная с 1995 года крайне важные агромелиоративные мероприятия носят в нашем регионе эпизодический характер, поэтому идет процесс не только потери уровня плодородия, но и вторичного подкисления, и даже деградации почвы. А если учесть, что пахотные угодья в последнее время сокращались за счет низко плодородных почв, которые выводились из севооборота, то все залежные почвы в настоящий период имеют сильно кислую реакцию среды и для их ввода в севооборот требуется внесение известковой муки в дозе не менее 6 т/га. Отметим, что наибольшее количество пахотных земель приходится на восточные районы (Бежецкий, Краснохолмский), на южные районы (Старицкий, Ржевский, Зубцовский) и на центральные (Торжокский, Калининский, Рамешковский). В связи с обширными площадями под лесами и озерами в северных и юго-западных районах (Бельский, Бологовский, Лесной, Максатихинский, Осташковский, Удомельский) пахотных земель там не так много. По данным Тверьстата посевные площади в Тверской области занимают 477,7 тыс. га (95,8% от 2020 года)

В Тверской губернии, как, собственно, и во всей нашей стране, сократилось использование минеральных удобрений (~ в 15-18 раз). Это вызвало прогрессирующую деградацию почвенного плодородия во многих регионах Российской Федерации, в том числе в Тверском регионе, и представляет угрозу экологической, продовольственной и национальной безопасности страны. Поэтому необходимо мобилизовать и рационально использовать все имеющиеся ресурсы органического сырья (Ермолаев С.А. и др., 2001; Рабинович Г.Ю. и др., 2015; Сычев В.Г., 2019; Шевченко В.А., Соловьев А.М., 2019).

Важнейшим направлением в науке по решению данной проблемы является разработка высокоэффективных систем сельскохозяйственного производства, способных через улучшение почвенного плодородия и увеличение продуктивности сельскохозяйственных растений и животных, обеспечивать устойчивую продовольственную безопасность населения. В сложившейся ситуации для увеличения запасов гумуса в почве необходимо в качестве органических удобрений использовать в максимально возможных объёмах солому, торф, органические компосты, зелёную массу сидеральных культур, бытовые отходы, а также твёрдую фракцию и жидкие стоки крупных животноводческих комплексов и других биосредств органической природы с минимальным вредным воздействием на окружающую природную среду и качество жизни человека. Основным средством в повышении плодородия почв и продуктивности сельскохозяйственных растений являются органические удобрения и различные биопрепараты и биосредства, произведенные на органической основе, а их ассортимент, предлагаемый в настоящее время на рынке, очень разнообразен. Современные органические биосредства характеризуются высоким уровнем агрономически полезной микрофлоры, которая, взаимодействуя с почвенным микробоценозом, усиливает и направляет ключевые процессы формирования плодородия почв – минерализацию и гумификацию. Обогащенный микробоценоз почвы активно участвует в процессах накопления элементов минерального питания и делает их наиболее доступными для формирования растений.

Подчеркнем, что аграрное хозяйство Тверской губернии имеет животноводческую направленность (свиноводство, животноводство КРС и птицеводство). Согласно статистике, на территории Тверской губернии на 1 января 2021 года в хозяйствах различной формы собственности насчитывалось свыше 550 тыс. голов КРС, свыше 1 миллиона свиней, около 40 тыс. голов мелкого рогатого скота и свыше 2800 тыс. голов птиц. Данное поголовье способно дать отходов порядка 2 млн. тонн (600 тыс. тонн навоза и около 1300 тыс. тонн помета), используемых на получение органических удобрений, которое способно обеспечить внесение органических удобрений в почвы в дозе 1,5 т/га.

Для обеспечения животноводства Тверской губернии растениеводческая отрасль фокусируется на развитии кормовой базы.

Благоприятные погодные условия: умеренные температуры летом и достаточное количество осадков способствуют высокоурожайному возделыванию трав на лугах и пастбищах, развитию кормопроизводства. Естественно, что почвенные ресурсы Тверского региона должны соответствовать обозначенной потребности, способствуя производству стратегически важных сельскохозяйственных культур (Растениеводство Тверской области, 2022).

Кроме повышения плодородия существующих пахотных угодий необходимо уделить особое внимание залежным землям как основе увеличения пахотного клина Нечерноземья. Основной массив залежных земель сформировался на протяжении 10-20 последних лет, когда выводились из оборота наименее плодородные почвы. Дерново-подзолистые почвы на песчаной и супесчаной основе отличаются от суглинистых почв низким содержанием гумуса и калия, повышенной кислотностью и низкой суммой поглощённых оснований. В настоящее время пахотные почвы Тверской губернии, в том числе обозначенные выше, используются крайне ограниченно. На основании этого ставится вопрос о целесообразности их введения в сельскохозяйственный оборот и полноценной эксплуатации. Сейчас они поросли сорной травянистой растительностью, кустарником, молодой древесной порослью и закочкарились. Диаметр стволов поросли достигает 4 см (до 10 лет без использования) и 9 см (от 10 до 15 лет без использования). На территории Тверской губернии обнаруживаются также участки с мелколесьем, выбывшие из использования уже свыше 15 лет назад (Шевченко В.А., 2021).

Помимо залежных земель, не должным образом в Тверской губернии эксплуатируются и земли мелиоративного фонда, осушаемые с 70-х гг. прошлого столетия. В настоящее время в Тверской области находится в наличии 257,8 тыс. га осушенных земель, в т.ч. осушенных сельскохозяйственных угодий 250,8 тыс. га. В составе осушенных сельскохозяйственных угодий пашня занимает 179,6 тыс. га, кормовые угодья 71 тыс. га, многолетние насаждения 0,2 тыс. га. Общая площадь орошаемых земель гораздо меньше и составляет 5,2 тыс. га (О мелиорации земель…, 2022).

В решении сложных задач по развитию сельского хозяйства, как в Нечерноземье, так и в Тверской губернии важную роль сыграла аграрная наука, в том числе правопреемник Калининской

сельскохозяйственной опытной станции Всероссийский научно-исследовательский институт сельскохозяйственного использования мелиорированных земель (ныне филиал ФИЦ «Почвенный институт им. В.В. Докучаева»). В институте был создан уникальный опытный полигон, являющийся единственным в Нечерноземной зоне ландшафтно-экологическим полигоном, на котором в течение 45 лет выполнялся основной объем экспериментальных научных исследований, количество публикаций по которым ежегодно достигало 100 и более. В сфере интересов института находилось множество проблем, посвященных в том числе изучению практически всех аспектов функционирования дерново-подзолистых почв. Уделялось особое внимание опытно-экспериментальной работе на мелиорируемых (осушаемых) землях, в последние 20 лет поднимались остро стоящие вопросы о залежном фонде Тверской губернии. Констатация неблагоприятных изменений, происходящих с мелиоративным фондом и фондом земель, сознательно выведенных из оборота, позволила ученым ВНИИМЗ сделать неутешительный вывод о заметной деградации хозяйственной жизни в нашем регионе и о необходимости срочного проведения агромелиоративных мероприятий.

Большую, но недостаточную роль по возрождению мелиоративного фонда сыграла в Тверском регионе региональная целевая программа «Развитие мелиорации земель сельскохозяйственного назначения Тверской области на период до 2020 года», основными задачами которой являлись создание условий для сохранения и восстановления фонда мелиорируемых земель, для развития сельскохозяйственного производства и плодородия почв средствами комплексной мелиорации, для развития на мелиорированных землях кормопроизводства в объемах не менее 30% от общей потребности в кормах развивающегося животноводства, для улучшения социально-экономических условий жизни сельского населения. Были также подняты вопросы по предотвращению выбытия из сельскохозяйственного оборота земель сельскохозяйственного назначения, по обеспечению безаварийности пропуска паводковых вод. Естественно, что не все запланированные мероприятия данной программы удалось выполнить, работа продолжается и по сей день.

Без сомнения, вводить заброшенные земли Тверской губернии в хозяйственный оборот и реанимировать площади

мелиоративного фонда необходимо, что потребует неуклонного выполнения целого комплекса мероприятий. Среди них: использование безопасных пестицидов, способных целенаправленно уничтожить сорную растительность на ранее пахотных, а ныне заброшенных почвах, выкорчевка кустарников и мелколесья. Вместе с тем, почти все земли, выведенные из сельскохозяйственного оборота, требуют раскисления и сохранения плодородного слоя почвы за счет применения оптимальной системы удобрений (органических и минеральных), поэтому их внесение с соблюдением расчетных доз позволит сократить повсеместно наблюдаемый дисбаланс элементов питания. Также существует настоятельная необходимость ввода в севооборот бобовых однолетних и многолетних культур, работающих в качестве поставщиков в обедненную азотом дерново-подзолистую почву биологического азота, важным является также возделывание культур-сидератов. Освоение земель, выведенных из оборота, является весьма затратным предприятием, но своевременно и грамотно выполненное позволит получать дополнительную сельскохозяйственную продукцию.

ВЫВОДЫ

1. Почвы Тверской губернии в основном сформированы на ледниковых и постледниковых отложениях, среди которых преобладают дерново-подзолистые (60%) разной степени оподзоленности, которым свойственен промывной режим, снижающий уровень плодородия из-за вывода элементов питания в нижележащие слои. Гранулометрический состав этих почв превалирующе суглинистый и супесчаный, а также песчаный. Средневзвешенное содержание органического вещества составляет в них 2,1%, средневзвешенная величина pH – 5,6 ед.

2. Для ведения высокорентабельного сельскохозяйственного производства на территории Тверской губернии и увеличения пахотного клина необходимо повышать плодородие ныне эксплуатируемых в качестве пашни и кормовых угодий дерново-подзолистых почв.

3. Эксплуатация оборотных площадей и активное введение в сельскохозяйственный оборот залежных земель и земель дорогостоящего мелиоративного фонда, преимущественно осушаемых, должно сопровождаться выполнением обязательных

агромелиоративных мероприятий, включающих: проведение известкования кислых почв минимум 1 раз в 5 лет в объеме не менее 5 т/га, поддержание почвенного плодородия ежегодным внесением органических удобрений в пределах 10 т/га, соблюдение севооборотов, насыщенных бобовыми травами и культурами-сидератами, удаление кустарников и мелколесья, обработку сорной растительности комплексными гербицидами, известкование кислых почв, ревизию мелиоративных сетей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Эффективные приёмы окультуривания залежных земель в Нечерноземной зоне* / С.А. Новиков, В.А. Шевченко, А.М. Соловьёв, И.П. Фирсов, И.Н. Гаспарян. М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2014. 44 с.

2. *Шевченко В.А., Матюк Н.С., Соловьёв А.М., Бондарева Г.И.* Динамика органического вещества при длительной использовании дерново-подзолистых почв Нечерноземной зоны России // Colloquium-Journal. 2020. № 14-2 (66). С. 60-62. DOI: 10.24411/2520-6990-2020-11961

3. *Кончук В.В., Штырхунов В.Д., Благовещенский Г.В., Тимошенко С.М., Назарова Т.О.* Эффективность и оптимизация систем удобрения в севооборотах с разной долей многолетних трав на дерново-подзолистой почве центра Нечерноземной зоны России // Агрохимия. 2020. № 7. С. 36-46. DOI: 10.31857/S0002188120070078

4. *Пчелкин В.В., Сергеева А.М., Кузина О.М.* Водопотребление красного клевера на дерново-подзолистых почвах водораздельных площадей Нечерноземной зоны // Научная жизнь. 2020. Т. 15. № 9 (109). С. 1186-1194. DOI: 10.35679/1991-9476-2020-15-9-1186-1194

5. *Золкина Е.И.* Влияние минеральных удобрений на урожайность сортов озимой пшеницы и показатели баланса элементов питания на дерново-подзолистой супесчаной почве Нечерноземной зоны // Таврический вестник аграрной науки. 2018. № 3 (15). С. 34-46. DOI: 10.25637/TVAN.2018.03.04

6. *Кулаков В.А., Алтунин Д.А., Леонидова Т.В*. Изменение кислотности дерново-подзолистых почв в зависимости от уровня применения минеральных и органических удобрений на пастбищах в условиях Нечерноземной зоны РФ /В сборнике: Многофункциональное адаптивное кормопроизводство. Москва, 2017. С. 46-52.

7. Погода в Тверской области // Аграрная интернет-энциклопедия. Режим доступа: www.agrien.ru/reg/тверская.html (дата обращения 05.08.2022)

8. *Фирсов С.А.* Состояние плодородия почв Тверской области // Агрохимический вестник. 2011. № 5. С. 30-32.

9. Доклад о состоянии и использовании земель сельскохозяйственного назначения Российской Федерации в 2020 году. М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2022. 384 с.
10. *Бобров Д.А.* Агроэкологическое состояние почвенного покрова Тверской области. Материалы VII Всероссийской научно-практической конференции. Тверь: Твер. Гос.ун-т., 2019. С. 6-8.
11. *Фирсов С.А.* Оптимизация агроэкологического состояния дерново-подзолистых почв Тверской области // Плодородие. 2011. № 5. С. 30-32
12. *Ермолаев С.А., Сычёв В.Г., Плющиков В.Г.* Агрохимическое и агроэкологическое состояние почв России // Плодородие. 2001. №1. С. 4-7.
13. *Рабинович Г.Ю., Смирнова Ю.Д., Васильева Е.А., Фомичева Н.В.* Инновационная технология для решения проблем агроэкологии // Региональная экология. № 6 (41). 2015. С. 32-40.
14. *Сычёв В.Г.* Современное состояние плодородия почв и основные аспекты его регулирования М.: РАН, 2019. С. 19-34.
15. *Шевченко В.А., Соловьев А.М.* Динамика содержания органического вещества при освоении выбывших из оборота малопродуктивных мелиорированных земель в зависимости от системы удобрения и предшественников // Плодородие. 2019. №6. С. 6-10. DOI: 10.25680/S19948603.2019.111.02
16. Растениеводство Тверской области // Министерство сельского хозяйства, пищевой и перерабатывающей промышленности Тверской области. Официальный сайт. Режим доступа: https://минсельхоз.тверскаяобласть.рф/deyatelnost-iogv/napravleniya/rastenievodstvo/?print=y (дата обращения 11.08.2022)
17. *Шевченко В.А.* Вовлечение в оборот неиспользуемых земель сельскохозяйственного назначения // Мелиорация и водное хозяйство. 2021. № 4. С. 12-16
18. О мелиорации земель сельскохозяйственного назначения Тверской области. Режим доступа: https://минздрав.тверскаяобласть.рф/novosti/novosti/?print=y&ELEMENT_ID=61308 (дата обращения 17.08.2022)

УДК 631.4

Роль почвенно-географических факторов в формировании кадастровой стоимости агроландшафтов

© 2022 г. П.М. Сапожников, К.П. Шехтер, Н.И. Данилова

ФГБОУ ВО Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова, Россия
119234, Москва, Ленинские горы, д.1, стр.12
e-mail: sap-petr@yandex.ru, k.shehter@mail.ru, nadya01091998@mail.ru

Резюме: Показана чувствительность подходов кадастровой оценки к различным почвенно-географическим условиям агроландшафтов Европейской территории Российской Федерации. Показатели кадастровой стоимости позволят ранжировать почвы по величине агроклиматического потенциала, а также по наличию и степени влияния негативных признаков, таких как переувлажнение, эродированность, каменистость, засоление и осолонцевание. Показано влияние различного мелиоративного воздействия (осушения и орошения) на величину кадастровой стоимости.

Ключевые слова: почвы Северо-Западного и Южного федеральных округов России, агроклиматические условия, негативные свойства почв, удельные показатели кадастровой стоимости агроландшафтов.

The role of soil-geographical factors in the formation of the cadastral value of agricultural landscapes

© 2022 P.M. Sapozhnikov, K.P. Shekhter, N.I. Danilova

Lomonosov Moscow State University, Russia. M.V. Lomonosov Moscow State University, Russia.

119234, Moscow, Leninskie Gory 1.12
e-mail: sap-petr@yandex.ru, k.shehter@mail.ru, nadya01091998@mail.ru

Abstract: The research demonstrates the cadastral value calculation sensitivity to different soil-geographical conditions of the European territory of the Russian Federation. Cadastral value indicators allow ranking soils by the agroclimatic potential and by the influence of negative properties, such as waterlogging,

erosion, stoniness, salinization and alkalinization. The impact of different meliorative measures (drainage and irrigation) on the cadastral value is shown.
Keywords: soils of the North-Western and Southern Federal districts of Russia, agroclimatic conditions, negative soil properties, cadastral value of agricultural landscapes.

ВВЕДЕНИЕ

Государственная кадастровая оценка земель является неотъемлемой процедурой для успешного функционирования системы земельных отношений Российской Федерации. В первую очередь определение кадастровой стоимости необходимо для налогообложения и вычисления арендной платы. Характеристики качества почв являются источником информации для вычисления кадастровой стоимости земель сельскохозяйственного назначения (Государственная кадастровая оценка, 2012). Базой для этих данных служат материалы крупномасштабных почвенных исследований, проведенных во всех субъектах нашей страны в середине 90-х годов прошлого века (Сапожников, 2019). Почвы, находящиеся в различных агроклиматических условиях и элементах ландшафта, будут дифференцированы по кадастровой стоимости. Изучение характера такой дифференциации является весьма актуальной задачей, имеющей практическую (экономическую) значимость.

Цель настоящей работы – анализ дифференциации кадастровой стоимости в Северо-Западном и Южном федеральных округах Российской Федерации.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Объектом изучения являлись почвы земель сельскохозяйственного назначения субъектов Северо-Западного федерального округа (республика Карелия, Ленинградская, Новгородская, Вологодская, Калининградская и Псковская области) и Южного федерального округа (Краснодарский край, Ставропольский край, Ростовская, Волгоградская и Астраханская области).

Методы исследования включали в себя работу со шкалами ВИСХАГИ (областные списки почв), расчет удельных показателей кадастровой стоимости (УПКС) в соответствии с приказом № П/0336 «Об утверждении Методических указаний о государственной кадастровой оценке» (от 17 декабря 2021 года) (Методика,

2021), работа с системным программным обеспечением «Кадастровая оценка земель сельскохозяйственного назначения» (Пшеничников и др., 2019).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В значительной части относящиеся к северным территориям земельные ресурсы Северо-Западного Федерального округа слабо используются в хозяйственной деятельности. Сельскохозяйственные угодья занимают 6843,6 тыс. га, или 4,1% земель округа. На пашню приходится 3431,4 тыс. га (2,0% всех земель округа); на сенокосы – 1794,3 тыс. га (1,1%); на пастбища – 1256,6 тыс. га (0,7%); на залежь – 239,7 (0,1%); на многолетние насаждения – 121,6 тыс. га (0,1%).

Снижение качества земель отмечается при воздействии различных негативных процессов, таких как переувлажнение и заболачивание, зарастание кормовых угодий и загрязнение почв. Доля эродированных земель сельскохозяйственного назначения составляет 4%. Переувлажненные и заболоченные почвы занимают 31,4% площади сельскохозяйственных угодий. Сильно заболочены сельскохозяйственные угодья отмечены в Псковской области (34,2%), в меньшей степени – Новгородской (15,5%), Вологодской (10,6%), Архангельской (13,3%) областей и Республики Коми (12,5%) (Государственный национальный доклад, 2020).

Территория округа преимущественно равнинная, находится в зоне смешанных лесов, тайги, лесотундры и тундры. В округе сосредоточено около 50 % лесных ресурсов европейской части России. Значительная часть региона находится в зоне рискованного земледелия. Местный климат подходит небольшому количеству сельскохозяйственных культур. Однако для некоторых из них оказывается подходящим прохладное лето и длинный световой день. Таким примером служит лен-долгунец. А рапс, производство которого сейчас возрождают на Вологодчине, служит одновременно сырьем для получения масла, кормом для скота и к тому же улучшает почву в процессе развития. Большие перспективы имеет производство льна, выращивание картофеля и др.

Площадь Северо-Западного Федерального округа обширна, в связи с чем и климат в различных его частях неоднороден: может

быть субарктическим, умеренно-континентальным, переходным от морского к континентальному. Величины агроклиматического потенциала, который во многом определяет величину нормативной урожайности и кадастровой стоимости, колеблются от 3,2 в Мурманской области до 9,1 в Калининградской области. Необходимо отметить, что чем выше будет величина агроклиматического потенциала, тем выше будут значения кадастровой стоимости земель.

Для северных арктических территорий Севера-Запада (Архангельская и Мурманская область, республика Коми) оценка кадастровой стоимости проводилась по кормовым угодьям (сенокосы и пастбища). Оценка сельскохозяйственных угодий арктической зоны Северо-Западного региона в среднем не превышает 1,5 руб./м^2. (Сапожников и др., 2021).

Наибольшие значения УПКС почв Ленинградской области (6,1 руб./м²) оказались у осушенной глубоко-глееватой дерново-карбонатной почвы с содержанием гумуса 4%, а наименьшие (1,3 руб./ м²) у дерново-подзолистых почв с содержанием гумуса 2,6%. Необходимо отметить, что степень гидроморфизма не оказывает влияния на осушенные торфянисто-подзолистые почвы Ленинградской области, а для аллювиальных почв выявлен тренд к снижению УПКС с облегчением гранулометрического состава. Также на стоимость оказывает влияние каменистость (Данилова, Сапожников, 2021).

Максимальные показатели УПКС Республики Карелии (до 5,0 руб./м2) отмечены для пахотных подзолистых, дерново-подзолистых почв и пойменных почв с высоким содержанием гумуса, наименьшие - у торфяных болотных верховых почв, а также у дерново-подзолистых осушенных почв с низким содержанием гумуса с проявлением слабого поверхностного и профильного оглеения.

Стоимость почв Вологодской области находится в диапазоне от 0,4 руб./м² до 6,6 руб./м², Новгородской – от 0,2 руб./м² до 5,8 руб./м².

Для почв Псковской области отмечена ярко выраженная тенденция к снижению показателей кадастровой стоимости с усилением признаков эродированности и гидроморфизма. Причиной тому является невозможность выращивания высокодоходных пропашных культур, а также снижение содержания гумуса и мощности гумусового горизонта.

Максимальные УПКС в округе отмечены для Калининградской области. Наибольшие значения (10,5 руб./м² и 10,1 руб./м²) были получены для дерново-карбонатной и аллювиальной дерновой насыщенной почвы, а минимальные – для дерново-подзолистой почвы (2,8 руб./ м²) (Сапожников, Данилова, 2020).

Показано влияние осушения на величину кадастровой стоимости. В рассмотренных областях наблюдается тренд по повышению УПКС с применением осушительных мелиораций. Наибольшее увеличение стоимости отмечено для дерново-карбонатных осушенных почв Ленинградской области.

Произведено ранжирование УПКС по почвам Северо-Западного региона. При этом отмечено, что наименьшее медианное значение соответствует подзолистым почвам (1,4 руб./ м²). Следующим по величине является медианное значение УПКС торфяных почв (2,2 руб./ м²), однако для них отмечается наименьший разброс значений по почвам, затем дерново-подзолистых. Наибольшее медианное значение УПКС имеют аллювиальные (3,9 руб./ м²) и дерново-карбонатные типичные почвы (4,5 руб./ м²). Дифференциация значений обуславливается негативными свойствами почв и величиной агроклиматического потенциала (Рис.1).

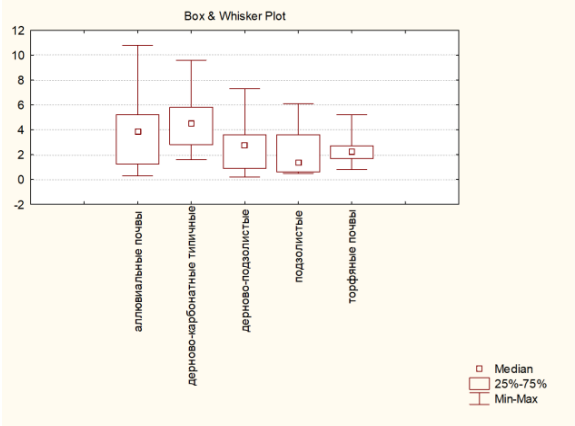


Рис. 1. Дифференциация УПКС (руб./ м²) по почвам в Северо-Западном федеральном округе

В Южном федеральном округе наблюдается интенсивное использование земель. Сельскохозяйственные угодья занимают 33,7

млн.га (75% от площади округа). На пашню приходится 18,5 млн.га (41.3%), сенокосы (2%), пастбища (29,5%), залежи (0,7%). В целом, округ характеризуется обилием тепла и недостатком увлажнения и занимает около 4% площади Российской Федерации. При этом, как было отмечено выше, в структуре земельного фонда значительно преобладают земли сельскохозяйственного назначения. Следует отметить, что наибольшая доля пашни соответствует Краснодарскому краю (84,7%), при этом Ставропольскому краю соответствует наибольший процент земель сельскохозяйственного назначения (87,5%). Наименьшие площади пашни соответствуют Астраханской области, здесь преобладают сенокосы и пастбища (90,6%), а под пашню пригодны лишь земли, занятые аллювиальными почвами (8,8%) (Государственный национальный доклад, 2020).

Максимальные значения УПКС в Южном федеральном округе отмечены для Краснодарского края и соответствуют дерново-карбонатным выщелоченным почвам (60,6 руб./ м²) семнадцатой агроклиматической подзоны со значением агроклиматического потенциала 15,1. Данная почва характеризуется отсутствием негативных свойств и высокими значениями содержания гумуса и мощности гумусового горизонта. Для черноземов обыкновенных отмечено изменение величины кадастровой стоимости от 22,1 руб./ м² до 33,0 руб./ м². В результате дефляции их кадастровая стоимость снижается на 30%. Аналогичная тенденция отмечена для черноземов типичных, величина удельных показателей изменяется от 40,5 руб./ м² (без негативных признаков) до 27,3 руб./ м² (среднедефлированные). Для черноземов выщелоченных значения выше – 32,5 – 44,9 руб./ м². Различия в стоимости обусловлены влиянием такого негативного фактора как уплотнение, снижение показателей достигает 27%. Осолонцевание черноземов южных приводит к уменьшению удельных показателей на 60% (от 19,7 до 8,0 руб./ м²). Минимальные значения отмечены для солонцов области, они не превышают 3,7 руб/м2 для 11 агроклиматической подзоны (Шехтер, Сапожников, 2022).

Ставропольский край состоит из восьми агроклиматических подзон (Носов, 2010) (восьмая подзона не оценивалась). Величина агроклиматического потенциала колеблется от 4,9 до 9,5. Максимальные показатели кадастровой стоимости отмечены для выщелоченных черноземов седьмой агроклиматической подзоны – 43,6

руб./ м². Для обыкновенных черноземов величина удельных показателей кадастровой стоимости изменяется в широких пределах от 11,8 руб./ м² для почвы с признаками осолонцевания до 38,2 руб./ м² для обыкновенных черноземов шестой агроклиматической подзоны без негативных признаков. Величина кадастровой стоимости южных черноземов варьирует от 9,8 руб./ м² (агроклиматический потенциал равен 5,8) до 27,9 руб./ м² (агроклиматический потенциал равен 8,9). С увеличением агроклиматического потенциала возрастает значение удельных показателей кадастровой стоимости. Аналогичная тенденция наблюдается для каштановых и темно-каштановых почв, величина удельных показателей изменяется от 2,2 (агроклиматический потенциал равен 5,8) до 13,5 руб./ м² (агроклиматический потенциал равен 7,7). В результате засоления кадастровая стоимость лугово-черноземных почв снижается на 71% (от 11,2 до 3,2 руб./ м²). Самые низкие показатели кадастровой стоимости отмечены для почв первой агроклиматической подзоны. Удельные показатели соответствуют 0,1 руб./ м² для солончаков луговых и солонцов каштаново-луговых.

Волгоградская область состоит из шести агроклиматических подзон, коэффициент увлажнения уменьшается с северо-запада на юго-восток, что отражается на величине агроклиматического потенциала (уменьшение от 4,2 до 6,6), нормативной урожайности и, соответственно, величине кадастровой стоимости. Максимальные значения кадастровой стоимости отмечены для черноземов области (4,1- 13,0 руб./ м²), дифференциация стоимости обусловлена влиянием негативных свойств и различиями по содержанию гумуса и мощности гумусового горизонта.

Ростовская область разделена на девять агроклиматических подзон (Носов, 2010). Величина агроклиматического потенциала колеблется от 4,9 до 8,0. Максимальные значения отмечены для обыкновенных черноземов пятой агроклиматической подзоны с наибольшим для данной области агроклиматическим потенциалом - 31 руб./ м². Значения кадастровой стоимости южных черноземов без явных негативных признаков изменяется от 9,1 до 11,4 руб./ м². Каменистость снижает показатели на 25-30%. Наибольшее снижение кадастровой стоимости южных черноземов наблюдается при развитии солонцового процесса, удельные показатели уменьшаются до 3,2 – 2,1 руб./ м² (72-75%). Аналогичная тенденция

наблюдается и для лугово-черноземных почв. Самые низкие показатели отмечены для светло-каштановых почв (с признаками осолонцевания) и солонцов – от 1,1 до 0,1 руб./ м² (Сапожников, Шехтер, 2021).

Астраханская область характеризуется низкими для округа значениями удельных показателей, которые варьируют от 0,1 руб./ м² (солонцы каштановые) до 3,9 руб./ м² (аллювиальные дерновые насыщенные почвы). Сильная дифференциация стоимости почв обусловлена влиянием негативных свойств и различиями в показателях агроклиматического потенциала.

При орошении богарных земель показатели кадастровой стоимости увеличиваются на 20-180%. Выявлена закономерность возрастания влияния орошения на величину кадастровой стоимости с уменьшением агроклиматического потенциала.

При ранжировании удельных показателей кадастровой стоимости по почвам отмечено, что наибольшие значения УПКС соответствуют черноземам выщелоченным. В данной выборке не учтены дерново-карбонатные почвы, так как они были отмечены только в Краснодарском крае. Значения кадастровой стоимости для выщелоченных черноземов варьируют от 20,0 до 44,9 руб./ м², а медианное значение составляет 40,8 руб./ м². Наибольший диапазон варьирования отмечен для аллювиальной луговой насыщенной почвы (от 1,2 до 34,7 руб./ м²). Минимальные показатели отмечены для солонцов и светло-каштановых почв, медианные значения составляет 0,2 и 0,4 руб./ м² соответственно (Рис. 2).

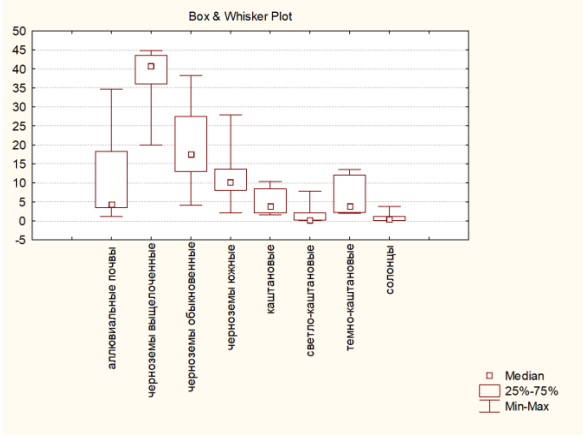


Рис. 2. Дифференциация УПКС (руб./ м²) по почвам в Южном федеральном округе

ВЫВОДЫ

1.Установлена тесная корреляционная зависимость между агроклиматическим потенциалом и величиной кадастровой стоимости.

2. Показана чувствительность подходов расчета кадастровой стоимости по отношению к различным почвенно-географическим факторам. Наибольшие медианные значения УПКСЗ в Северо -Западного федерального округе для почв Калининградской области, наименьшие – Вологодской области; наибольшие значения по почвам Южного федерального округа – в Краснодарском крае, наименьшие – в Астраханской области.

3. Для агроландшафтов Северо-Западного федерального округа выявлены закономерности к снижению УПКС с усилением степени оглеения, эродированности и каменистости почв, а для агроландшафтов Южного федерального округа – к снижению УПКС с усилением солонцеватости, засоления, дефляции и уплотнения почв.

4. Выявлены факты увеличения кадастровой стоимости при мелиоративных воздействиях – осушении и орошении.

Работа выполнена по теме государственного задания: «Физические основы экологических функций почв: технологии мониторинга, прогноза и управления».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Государственная кадастровая оценка земель сельскохозяйственного назначения Российской федерации. /Под ред. П.М. Сапожникова, С.И. Носова. М.: Изд-во ООО «НИПКЦ-Восход А». 2012. – 160 с

2. Государственный (национальный) доклад «О состоянии и использовании земель в Российской Федерации в 2020 году», Москва, 2021.rosreestr.gov.ru, 198с.

3. *Данилова Н.И., Сапожников П.М.* Кадастровая стоимость земель сельскохозяйственного назначения Арктической и Северо-Западной зоны Европейской территории Российской Федерации»//Вопросы оценки, изд-

во Общероссийская общественная организация Российское общество оценщиков (Москва), №2-3(104), 2021, с. 12-16
4. Методические указания о государственной кадастровой оценке. Утверждены Приказом Росреестра от 7 августа 2021 г №П/0336, Москва,149с.
5. *Пшеничников А.П., Носов С.И., Оглезнев А.К., Бондарев Б.Е., Гладков А.А., Сапожников П.М.* Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2019611028 «Кадастровая оценка земель сельскохозяйственного назначения», 2019 г.
6. *Сапожников П.М.* Основные проблемы при проведении государственной кадастровой оценки земель сельскохозяйственного назначения. - Имущественные отношения в Российской Федерации, №12, 2019, с. 111-115.
7. *Сапожников П.М., Данилова Н.И.* Дифференциация земель сельскохозяйственного назначения агроландшафтов Калининградской области по кадастровой стоимости // Использование и охрана природных ресурсов в России, НИА-Природа (М.), № 3, 2020, с. 37-42
8. *Сапожников П.М., Оглезнев А.К., Данилова Н.И.* Влияние агроклиматических и почвенных условий на кадастровую стоимость земель Северо-Западного региона. Сборник: Материалы III Международной научной конференции «Тенденции развития агрофизики: от актуальных проблем земледелия и растениеводства к технологиям будущего». ФГБНУ, АФИ. Санкт-Петербург, 2021, с.147-150.
9. *Сапожников П.М., Шехтер К.П.* Кадастровая стоимость почв земель сельскохозяйственного назначения Ростовской области// «Живые и биокосные системы». – 2021. - №35; URL: https://jbks.ru DOI:10.18522/2308-9709-2021-35-1
10. Справочник агроклиматического оценочного зонирования субъектов Российской Федерации / Под ред. С.И. Носова. М., 2010. 208 с.
11. *Шехтер К.П., Сапожников П.М.* Кадастровая стоимость земель агроландшафтов Краснодарского края // Использование и охрана природных ресурсов в России, НИА-Природа (М.), 2022, № 2, с. 37-42.

УДК 631.46

Перспективные микробиологические индикаторы оценки качества и деградации почв

© 2022г. М.В. Семенов[1*], Д.А. Никитин[1*], Е.А. Иванова[1], А.Д. Железова[1], Н.А. Ксенофонтова[1]

[1]ФИЦ «Почвенный институт им. В.В. Докучаева», Россия, 119017, Москва, Пыжевский пер, 7, стр. 2,
** e-mail: mikhail.v.semenov@gmail.com*

Резюме: Обобщены перспективные микробиологические показатели, которые могут служить индикаторами почвенных экологических функций и быть использованы для оценки качества и деградации почв. Для характеристики биоресурсной функции почв оцениваются индексы разнообразия, таксономическая структура микробных сообществ и численность определенных групп микроорганизмов. Основными микробиологическими показателями трансформации углерода служат содержание углерода микробной биомассы, соотношение биомассы бактерий и грибов, базальное дыхание, ферментативная активность и скорость разложения органического вещества. Индикаторами фитосанитарной функции почвы могут выступать показатели численности копий генов фитопатогенов и их антагонистов.

Ключевые слова: биоразнообразие почвы, почвенная секвестрация углерода, супрессивность почвы

Promising microbial indicators of soil quality and degradation assessment

© 2022 M.V. Semenov[1], D.A. Nikitin[1*], E.A. Ivanova[1], A.D. Zhelezova[1], N.A. Ksenofontova[1]

[1]V.V. Dokuchaev Soil Science Institute, 7 Bld. 2 Pyzhevskiy per., Moscow 119017, Russia

[*] e-mail: mikhail.v.semenov@gmail.com

Abstract: Promising microbial indicators that can serve as indicators of soil ecological functions and be used to assess soil quality and degradation are summarized. Diversity indices and taxonomic structure of microbial communities as well as the number of certain groups of microorganisms are

evaluated to characterize the bioresource function of soils. The main microbiological indicators of soil carbon transformation are the microbial biomass carbon, the fungi-to-bacteria ratio, basal respiration, enzymatic activity, and decomposition rate of soil organic matter. Indicators of soil phytosanitary function can be the genes copies number of phytopathogens and their antagonists in soil.

Keywords: soil biodiversity, soil carbon sequestration, soil suppressiveness

ВВЕДЕНИЕ

Почва – основной компонент наземных экосистем и невозобновляемый ресурс обеспечения продовольственной безопасности. Повышение атропогенной нагрузки приводит к тотальной деградации почвы, поэтому возникает потребность в индикаторах, позволяющих оценивать состояние почв и степень нарушения их экологических функций. Почвенные микроорганизмы являются ключевым звеном в биогеохимических циклах питательных элементов и быстро реагируют на изменения окружающей среды (Благодатская и др., 2016; Fierer et al., 2021; Kravchenko et al, 2021). Микроорганизмы прямо или косвенно участвуют в обеспечении широкого спектра экологических функций почв, и поэтому могут служить высокочувствительными индикаторами для оценки качества и деградации почв (van Bruggen et al., 2017; Fierer et al., 2021).

Поскольку в настоящее время еще не выработано единого общепринятого перечня почвенных функциях, мы акцентировали внимание на таковых, которые по возможности ясно отражают суть процессов, совершающихся именно в почве и обеспечивающих функционирование других компонентов экосистемы. Для некоторых экологических функций почв (гидрологической, опорной, продукционной, трансферной) микробиологических индикаторов не существует. Однако микробиологические показатели могут быть использованы при оценке биоресурсной, фитосанитарной и углерод-трансформирующей функций почв (Никитин и др., 2022). В работе обобщены наиболее актуальные микробиологические показатели, которые могут служить индикаторами этих функций.

ИНДИКАТОРЫ БИОРЕСУРСНОЙ ФУНКЦИИ ПОЧВ

Почвы являются самым большим резервуаром биоразнообразия, вмещающим не менее четверти видов всех живых организмов планеты (Tibbett et al., 2020). Поэтому одна из важнейших почвенных функций – биоресурсная, которая заключается в поддержании биоразнообразия и численности сообществ организмов, обитающих в почве или связанных с ней. Ключевая роль данной функции состоит в обеспечении механизмов устойчивости и саморегуляции экосистем. Снижение разнообразия и численности организмов приводит к замедлению интенсивности биогенных процессов почвообразования, общего плодородия, буферности почвы и ее способности к самовосстановлению после деградации (Tibbett et al., 2020). В настоящее время генетическое разнообразие почвенного микробиома оценивают с помощью секвенирования нового поколения (NGS) с использованием метагеномного анализа или метабаркодинга (Семенов, 2019).

Одними из наиболее распространных **индексов биоразнообразия** являются индексы Маргалефа и Менхиника, для расчета которых необходимы лишь число обнаруженных таксонов и общее число особей (Никитин и др., 2022). Также широко используется индекс Шеннона, спецификой которого является придание большего значения редким видам (Рис. 1). Применяют и индекс выровненности Пиелу, нормирующий индекс Шеннона между 0 и 1 (Никитин и др., 2022). Для оценки численности разных групп почвенных микроорганизмов активно используется количественная полимеразная цепная реакция (ПЦР в реальном времени), которая позволяет детектировать количество копий рибосомальных или функциональных генов в почве (Рис. 1).

ФУНКЦИЯ ТРАНСФОРМАЦИИ УГЛЕРОДА

Органический углерод в почвах содержится в очень широком спектре веществ и соединений, которые обобщенно принято называть почвенным органическим веществом (ПОВ). Количественный и качественный состав ПОВ определяют большинство свойств почвы, что обусловливает ключевую роль ПОВ в функционировании экосистем (Семенов, Когут, 2015). Конверсия растительных остатков в ПОВ, процессы минерализации, стабилизации и дестабилизации ПОВ – важнейшие

этапы динамики почвенного углерода, доступные для микробиологической индикации (Семенов и др., 2019). Почвенные сапротрофные микроорганизмы выступают главным агентом трансформации ПОВ, а их биомасса является динамическим источником обновления ПОВ и стоком углерода (Семенов, Когут, 2015). Основными микробиологическими индикаторами процессов цикла углерода выступают микробная биомасса, базальное дыхание, скорость разложения и минерализации ПОВ, а также ферментативная активность (Рис. 1).

Углерод микробной биомассы (Смик) – самая активная и динамичная часть ПОВ, которая обычно не превышает 3-5% от содержания почвенного органического углерода (Благодатская и др., 2016). Углерод микробной биомассы может быть использован как показатель оценки продуктивности экосистем, а также в качестве раннего индикатора изменений в ПОВ (Семенов, Когут, 2015; Благодатская и др., 2016). **Отношение Смик/Сорг** служит индикатором доступности и биоактивности органического углерода почвы. **Почвенное дыхание** (ПД) – эмиссия CO_2 из почвы при минерализации ОВ и дыхании почвенной биоты. ПД складывается из гетеротрофного (микробного и зоогенного) и автотрофного (корневого) дыхания. ПД хорошо коррелирует с содержанием ПОВ и микробной биомассой, и поэтому является одним из методов оценки биологической активности почвы (Благодатская и др., 2016). Поскольку от 10 до 90% эмиссии CO_2 почвой обеспечивается микроорганизмами, обычно оценивают интенсивность CO_2, выделяемого при разложении ПОВ в свободных от корней и растительных остатков зонах – **базальное дыхание** (БД) (Ананьева и др., 2009; Благодатская и др., 2016).

Одним из показателей участия микроорганизмов в цикле углерода является «метаболический» или **«дыхательный» коэффициент** (qCO_2), устанавливаемый по отношению между базальным и субстрат-индуцированным дыханием (Благодатская и др., 2016). qCO_2 отражает эффективность преобразования гетеротрофными микроорганизмами органического углерода в микробную биомассу, поэтому может быть использован в качестве индикатора изменений качества почвы (Ананьева и др., 2009). Метаболический коэффициент и скорость минерализации органического углерода в почве имеют решающее значение для

углеродного цикла в наземных экосистемах (Семенов, Когут, 2015). Кроме того, qCO_2 описывает состояние, в котором находятся сообщества: чем выше значения данного показателя, тем менее благоприятные условия в экосистеме. Низкий уровень qCO_2 указывает на снижение интенсивности биогеохимического цикла углерода в почве (Ананьева и др., 2009).

Скорость разложения органического вещества. Разложение компонентов ПОВ обычно оценивают по убыли массы материала в сетчатых мешочках, изменению запасов подстилки, а также по образованию CO_2 методом закрытых камер (Schloter et al., 2018). В роли функционального показателя можно использовать стандартный целлюлозный субстрат, например, льняные полотна и хлопчатобумажные полоски, или пакетики с черным и зеленым чаем. Биокинетический метод, базирующийся на учете выделения $C\text{-}CO_2$ из инкубируемой почвы, позволяет оценить одновременно доступность органического вещества для разложения и способность почвенного сообщества разлагать органическое вещество (Семенов и др., 2018). Также эти методы позволяют установить количество разложившегося ПОВ или растительных остатков, а также константу скорости разложения (Семенов и др., 2019). Обширную информацию о трофическом статусе почвенного микробного сообщества можно получить также и путем **мультисубстратного тестирования (CLPP)** – оценки активности потребления ряда органических субстратов разной степени. Еще одной групповой методов диагностики биологической активности почв по отношению к процессам трансформации ПОВ служит определение ферментативной активности почв, которая контролирует баланс между трансформацией стабильного и лабильного ПОВ (Burns et al., 2013).

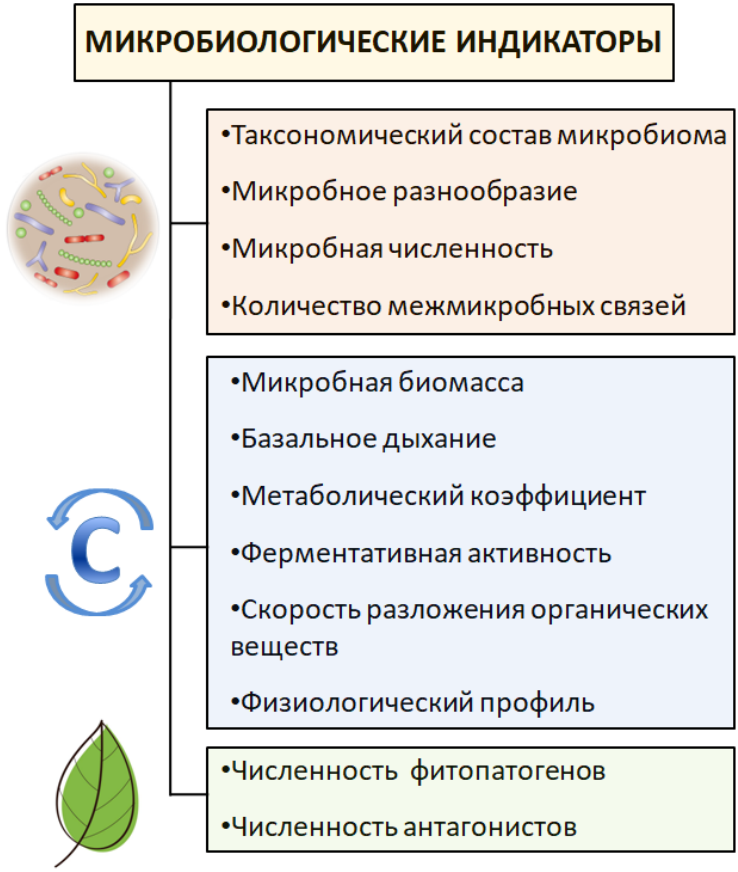


Рис. 1. Микробиологические индикаторы оценки качества и деградации почв

ФИТОСАНИТАРНАЯ ФУНКЦИЯ ПОЧВЫ

Фитосанитарная функция почвы заключается в предотвращении роста и развития микроорганизмов, патогенных для растений (Никитин и др., 2022). При определенных условиях фитопатогенные вирусы, бактерии, грибы и оомицеты способны проникать в растения, угнетая их жизнедеятельность. Инфекционные болезни растений, источником которых является почва – одна из основных проблем сельского хозяйства (Торопова и др., 2016).

В настоящее время идет активный поиск микробиологических индикаторов фитосанитарного состояния почв, большинство из которых основаны на оценке численности микроорганизмов-фитопатогенов или их антагонистов (van Agtmaal et al., 2018). Численность таких микроорганизмов можно оценивать путем культивирования целевых групп фитопатогенов на питательных средах (Соколов и др. 2018), либо с помощью молекулярно-генетических подходов (ПЦР в реальном времени, метабаркодинг и т.д.) (Никитин и др., 2022). Поскольку учет фитопатогенных микроорганизмов на селективных питательных средах – длительная и трудоемкая процедура (Соколов и др. 2018), и многие фитопатогены плохо культивируемы или вовсе не поддаются выращиванию в лаборатории (Торопова и др., 2016), необходимы более надежные микробиологические индикаторы. Одним из возможных подходов к оценке фитосанитарного состояния почвы может выступать определение численности копий рибосомальных генов микроорганизмов, которые, согласно существующим базам данных, относятся к категории наиболее распространенных фитопатогенов: бактерий родов *Ralstonia* и *Erwinia*; грибов родов *Fusarium, Alternaria, Rhizoctonia, Phoma* и *Verticillium*; оомицетов родов *Phytophthora* и *Pythium*, и т.д. (Рис. 1).

ВЫВОДЫ

Рассматриваемые в статье микробиологические параметры могут быть использованы для оценки направленности процессов, связанных с реализацией почвой ряда экологических функций: биоресурсной, фитосанитарной и углеродо-трансформирующей. При использовании микробиологических показателей почвенных функций важно понимать, что не существует «оптимальной» почвы или универсального набора ее характеристик. Проблемами микробиологической индикации почвенных функций также остаются высокая вариабельность многих показателей и сложность их интерпретации. Тем не менее, микробиологические показатели обладают большим потенциалом применения в качестве комплексных чувствительных индикаторов. С учетом прогресса в области молекулярно-биологических методов, количество различных микробиологических показателей почвы будет увеличиваться, а ключевой задачей должен стать тщательный

отбор параметров, которые обладают наилучшей применимостью в качестве индикаторов при оценке качества и деградации почв.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Исследование подготовлено при финансовой поддержке Российского Научного Фонда, проект № 21-76-10025.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Ананьева Н.Д., Сусьян Е.А., Рыжова И.М., Бочарникова Е.О., Стольникова Е.В.* Углерод микробной биомассы и микробное продуцирование двуокиси углерода дерново-подзолистыми почвами постагрогенных биогеоценозов и коренных ельников южной тайги (Костромская область) // Почвоведение. 2009. № 9. С. 1108-1116.
2. *Благодатская Е. В., Семенов М. В., Якушев, А. В.* Активность и биомасса почвенных микроорганизмов в изменяющихся условиях окружающей среды . М.: ООО Товарищество научных изданий КМК, 2016. 243 с.
3. *Никитин Д.А., Семенов М.В., Чернов Т.И., Ксенофонтова Н.А., Железова А.Д., Иванова Е.А., Хитров Н.Б., Степанов А.Л.* Микробиологические индикаторы экологических функций почв (обзор) // Почвоведение. 2022. № 2. С. 228-243.
4. *Семенов В.М., Когут Б.М.* Почвенное органическое вещество // М.: ГЕОС. 2015. 233 с.
5. *Семенов В.М., Когут Б.М., Зинякова Н.Б., Масютенко Н.П., Малюкова Л.С., Лебедева Т.Н., Тулина А.С.* Биологически активное органическое вещество в почвах европейской части России // Почвоведение. 2018. №4. С. 457-472.
6. *Семенов В.М., Паутова Н.Б., Лебедева Т.Н., Хромычкина Д.П., Семенова Н.А.* Разложение растительных остатков и формирование активного органического вещества в почве инкубационных экспериментов // Почвоведение. 2019. № 10. С. 1172-1184.
7. *Семенов, М.В.* Метабаркодинг и метагеномика в почвенно-экологических исследованиях: успехи, проблемы и возможности // Журнал общей биологии. 2019. 80(6), 403-417.
8. *Соколов М.С., Спиридонов Ю.Я., Торопова Е.Ю., Глинушкин А.П., Семенов А.М.* Экологические и фитосанитарные функции почвенного органического вещества (проблемно-аналитический обзор) // Агрохимия. 2018. № 5. С. 79-96.
9. *Торопова Е.Ю., Соколов М.С., Глинушкин А.П.* Индукция супрессивности почвы-важнейший фактор лимитирования вредоносности корневых инфекций // Агрохимия. 2016. № 8. С. 44-55.
10. Burns, R. G., DeForest, J. L., Marxsen, J., Sinsabaugh, R. L., Stromberger, M. E., Wallenstein, M. D., Weintraub, M.N., Zoppini, A. Soil enzymes in a

changing environment: current knowledge and future directions // Soil Biology and Biochemistry. 2013. V. 58. P. 216-234.

11. *Fierer N., Wood S. A., de Mesquita C. P. B.* How microbes can, and cannot, be used to assess soil health // Soil Biology and Biochemistry. 2021. V. 153. P. 108111.

12. *Schloter M., Nannipieri P., Sørensen S.J., van Elsas J.D.* Microbial indicators for soil quality // Biology and Fertility of Soils. 2018. V. 54(1). P. 1-10.

13. *Tibbett M., Fraser T. D., Duddigan S.* Identifying potential threats to soil biodiversity // PeerJ. 2020. V. 8. P. e9271.

14. *Van Agtmaal M, Straathof AL, Termorshuizen A, Lievens B, Hoffland E, de Boer W.* Volatile-mediated suppression of plant pathogens is related to soil properties and microbial community composition // Soil Biology and Biochemistry. 2018. V. 117. P. 164-174.

15. *Van Bruggen A.H.C., He M., Zelenev V.V., Semenov V.M., Semenov A.M., Semenova E.V., Kuznetsova T.V., Khodzaeva A.K., Kuznetsov A.M., Semenov M.V.* Relationships between greenhouse gas emissions and cultivable bacterial populations in conventional, organic and long-term grass plots as affected by environmental variables and disturbances // Soil Biology and Biochemistry. 2017. V. 114. P. 145-159.

УДК 631.4

Оценка ресурсной базы и свойств засоленных почв юга Восточной Сибири

© 2022 г. Г.И. Черноусенко

ФИЦ «Почвенный институт им. В.В. Докучаева», Россия, 119017, Москва, Пыжевский пер, 7, стр. 2,

e-mail: chergi@mail.ru

Резюме: На основе созданных цифровых векторных карт засоления почв Минусинской котловины, котловин Тувы и Бурятии был проведен расчет площадей засоленных почв разной степени, глубины и химизма засоления. Так как чаще засоленные почвы встречаются в комплексе с незасоленными, то их доля оценивалась диапазоном значений. Расчет проводился по минимальному, среднему и максимальному значению диапазона. Согласно средним значениям, засоленные почвы распространены на 25-30% территории днищ котловин, занимая 3.4 млн га в комплексе с незасоленными почвами. Непосредственно только засоленные почвы занимают около 1.1 млн га. Минимальные площади они занимают на юге Красноярского края - 141 тыс га, значительно больше их в соседней Хакасии - 294 тыс га. Несмотря на то, что Тува находится значительно южнее, площади засоленных почв в преимущественно легких по гранулометрическому составу почвах Тувы - 270 тыс га. В Бурятии засоленные почвы занимают максимальные площади - 382 тыс га, что составляет 9.5% от площади днищ котловин республики. Практически столько же - 10% составляют засоленные почвы Тувы. Шире распространены засоленные почвы в Хакасии, где они занимают 15% от равнинной части республики. Во всех регионах доминируют слабозасоленные почвы, преобладают солончаковые разновидности, хотя, согласно ранее изданным почвенным картам, доминировали солончаковатые. Несколько изменилось и представление о преобладающем химизме засоления почв. Во всех регионах доминирует хлоридно-сульфатный химизм засоления. При этом везде также встречаются почвы содового засоления, шире всего они распространены в Бурятии, меньше всего в Туве. В Туве на втором месте отмечается сульфатно-хлоридный тип химизма засоления.

Ключевые слова: площади, химизм, степень, глубина засоления почв, Минусинская котловина, котловины Тувы и Бурятии.

Assessment of the resource base and properties of saline soils in the south of Eastern Siberia

© 2022 G.I. Chernousenko

Federal Research Centre "V.V. Dokuchaev Soil Science Institute",
7 Bld. 2 Pyzhevskiy per., Moscow 119017, Russian Federation,
e-mail: chergi@mail.ru

Abstract: On the basis of the created digital vector maps of soil salinity in the Minusinsk depression, the depressions of Tuva and Buryatia, the areas of saline soils of different degrees, depths and chemistry of salinization were calculated. Since saline soils are more often found in combination with non-saline soils, their share was estimated by a range of values. The calculation was carried out according to the minimum, average and maximum values of the range. According to the average values, saline soils are distributed over 25–30% of the territory of the depression bottoms, occupying 3.4 million hectares in combination with non-saline soils. Only saline soils occupy about 1.1 million hectares. They occupy the minimum area in the south of the Krasnoyarsk Territory - 141 thousand hectares, much more in neighboring Khakassia - 294 thousand hectares. Despite the fact that Tuva is located much to the south, the area of saline soils in predominantly light-textured soils of Tuva is 270 thousand hectares. In Buryatia, saline soils occupy the maximum area - 382 thousand hectares, which is 9.5% of the area of the bottoms of the depressions. Almost the same - 10% occupy saline soils of Tuva. Saline soils are more widespread in Khakassia, where they occupy 15% of the flat part of the territory. Slightly saline soils dominate in all regions, solonchak varieties predominate, although, according to previously published soil maps, solonchakous soils dominated. The idea of the predominant chemistry of soil salinity has also changed somewhat. In all regions, chloride-sulfate chemistry of salinization dominates. At the same time, soils of soda salinization are also found everywhere, they are most widespread in Buryatia, least of all in Tuva. In Tuva, the sulfate-chloride type of salinity chemistry is in second place.

Keywords: areas, chemistry, degree, depth of soil salinization, Minusinsk depression, depressions of Tuva and Buryatia.

ВВЕДЕНИЕ

В мире засоление почв распространяется со скоростью до 2 млн. га в год, а из всех земель которые выводятся ежегодно из оборота 30% плодородных земель теряются именно из-за засоления (Metternicht G.I., Zinck J.A., 2009, Akhtar Abbas et al., 2013). Однако

данные о площадях и свойствах засоленных почв очень неоднозначны. Это относится и к территориям юга Восточной Сибири, что демонстрируют данные Таблицы 1.

Таблица 1. Площади засоленных почв ряда регионов юга Восточной Сибири (тыс. га).

Регион		1*	2	3	4
Минусинская котловина	Юг Красноярского края	59	299	38	<237
	Хакасия	184		226	17
Тува		174	37	237	34
Бурятия		197	348	818	878
Всего		614	684	1319	1177

*1- Качественная характеристика..., 1996; 2 - Почвенные ресурсы..., 2001; 3 - Карта Засоления почв России, 2003-2017; 4 - Единый государственный реестр..., 2014.

На карте Почвенно-экологического районирования М 1:2.5 млн (2013), засоленные почвы на юге Восточной Сибири выделяются лишь в двух округах - Удино-Еравнинском и Чикой-Селенгинском, тогда как на карте Засоления почв России того же масштаба они распространены гораздо шире.

Как было показано ранее (Калинина и др., 2016) из климатических параметров площади засоленных почв лучше всего коррелируют с КУ Иванова, Высоцкого. Согласно проведенному анализу (Панкова, Черноусенко, 2020, Черноусенко, Хитров, 2019, Черноусенко, 2022) во многих котловинах юга Восточной Сибири за последние 50-60 лет наблюдается снижение КУ, что может привести к росту площадей засоленных почв.

Знание ареалов распространения, глубины и степени засоления помогут оценить и провести мониторинг изменения площадей распространения и свойств засоленных почв в связи с изменением климата. А знание химизма, степени и глубины засоления в условиях необходимости дополнительного орошения почв позволит минимизировать возможные риски вторичного засоления, появления содовости и осолонцевания почв.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Объект исследования засоленные почвы ряда регионов юга Восточной Сибири. Площади засоленных почв оценивались по

созданным цифровым векторным картам (Черноусенко и др., 2012, Chernousenko et al, 2014, 2017, 2019,). Способы расчета и оценка площадей были подробно изложены нами ранее (Хитров и др., 2009, Черноусенко и др., 2011). Так как распространение засоленных почв отражено на картах 6 классами доли участия засоленных почв в контуре (0-1, 1-10, 10-25, 25-50, 50-75, 75-100% от площади контура), то подсчет площадей почв разной степени, химизма и глубины засоления проводили по наименьшему, среднему и максимальному значению классового интервала. Например, если доля засоленных почв составляет в контуре 25-50%, то рассчитывали площадь по нижней границе класса - 25%, по верхней границе класса – 50% и по середине класса – 37.5%.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Анализ распространения засоленных почв показал, что они встречаются практически во всех котловинах рассматриваемых регионов. Засоленные почвы редко являются доминирующими в контуре, чаще они сопутствуют незасоленным. Поэтому необходимо различать общую площадь на которых они встречаются и непосредственно площадь лишь засоленных почв. Наибольшее распространение засоленные почвы имеют в Минусинской котловине - 1.75 млн га, причем в основном они распространены в Хакасии -1.22 млн га. Это в 1.8-2.5 раза больше, чем в Туве, где они встречаются на 678 тыс га, (25% от площади равнин) и Бурятии (967 тыс га, 24% от площади равнин). Непосредственно только засоленные почвы занимают: 270±60 тыс га в Туве (10±2% от площади равнин), 382±95 тыс га в Бурятии (9.5±2.5% от площади равнин) и 422±28 тыс га в Минусинской котловине, из них в Хакасии 294±95 тыс га или 15±5% от площади равнин, на юге Красноярского края - 141±36 тыс га или 3.6±1% от площади равнин.

Доминируют почвы, засоленные в верхнем метре, чаще солончаковые (Рис. 1). Но в Хакасии, где широко распространены гипсоносные засоленные породы, доля солончаковатых почв сопоставима с высокопрофильнозасоленными, а на юге Красноярского края солончаковатые почвы доминируют.

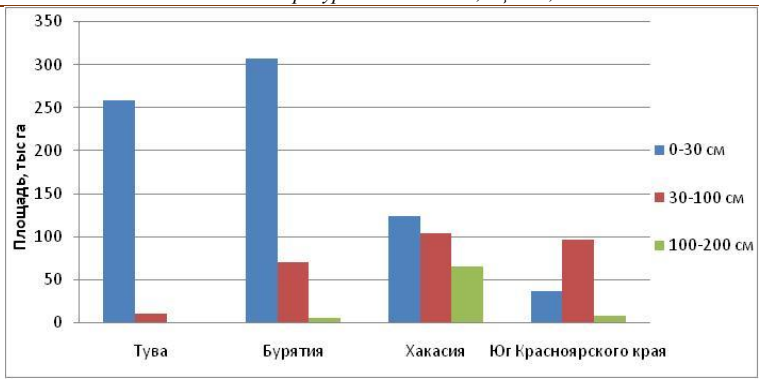


Рис. 1. Площади солончаковых, солончаковатых и глубокозасоленных почв ряда регионов юга Восточной Сибири

В рассматриваемых регионах юга Восточной Сибири доминируют почвы слабой степени засоления (Рис. 2), причем в Бурятии и в Минусинской котловине их площадь примерно одинакова - 266 и 272 тыс га соответственно, в Туве значительно меньше - 176 тыс га.

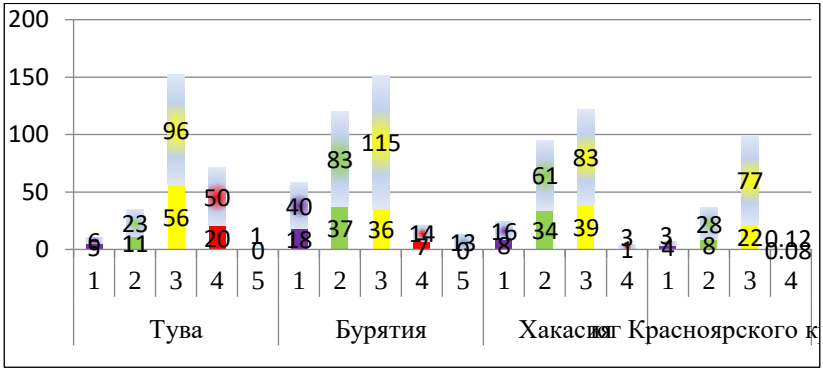


Рис. 2. Площади (тыс. га) засоленных почв регионов юга Восточной Сибири с учетом химизма и степени засоления в верхнем метре профиля (средне- и сильнозасоленные почвы показаны сплошной заливкой, слабозасоленные - градиентной). Кодировка химизма засоления: 1 - содовый, 2 - нейтральный с участием соды в профиле, 3 - сульфатный, хлоридно-сульфатный, 4 - хлоридный, сульфатно-хлоридный, 5 - сульфатно-хлоридно-гидрокарбонатный.

Площадь средне и сильнозасоленных почв в 2-2.5 раза меньше. Она примерно одинакова во всех регионах, колеблется в пределах 93-116 тыс га, из них солончаки занимают 38 тыс га в Туве, 32 тыс га в Бурятии и 68 тыс га в Минусинской котловине (из них 49 тыс га в Хакасии).

Во всех регионах преобладают почвы преимущественно сульфатного и хлоридно-сульфатного засоления (рис. 2), меньше встречается почв этого же химизма засоления, но с наличием соды в профиле почв. В Туве высока доля почв преимущественно хлоридного и сульфатно-хлоридного засоления, которых в 3.5 раза меньше в Бурятии и крайне мало в Хакасии и на юге Красноярского края. Почвы содового засоления встречаются во всех регионах, но больше всего в Бурятии. Значительный процент почвы содового засоления составляют и в Хакасии (11%), ранее на других картах в Хакасии почвы содового засоления не выделялись. Также ранее на картах не выделялся и сульфатно-хлоридно-гидрокарбонатный химизм засоления почв. Этот тип химизма характерен для органогенных торфяных почв высокогорных территорий юго-западных районов Тувы и ряда котловин Бурятии (Баргузинская, Тункинская) и отмечается в почвах слабого засоления.

ВЫВОДЫ

Засоленные почвы являются обязательным элементом ландшафтов котловин юга Восточной Сибири, встречаясь в комплексе с незасоленными почвами на 3.4 млн га или на четверти территории равнин.

Непосредственно засоленные почвы занимают 1.07±0.19 млн га, при этом максимальную долю от площади равнин они имеют в Хакасии - 15±5%, минимальную на юге Красноярского края – 3.6±1%, в Туве и Бурятии доля засоленных почв примерно одинакова - 10±2 и 9.5±2,5% от площади равнин соответственно. В числовых единицах площади засоленных почв составляют: в Хакасии 294±95 тыс га; в Туве 270±60 тыс га; в Бурятии 382±95 тыс га; на юге Красноярского края 141±36 тыс га.

Во всех регионах доминируют почвы, засоленные в верхнем метре, чаще встречаются солончаковые, что не соответствует прежним преставлениям, отраженным на почвенных картах страны, в

том числе на Карте засоления почв России, согласно которым доминируют солончаковатые почвы.

В целом преобладают почвы слабой степени засоления сульфатного и хлоридно-сульфатного химизма, часто с токсичной щелочностью в профиле. Почвы содового засоления встречаясь во всех регионах, больше всего распространены в Бурятии. Они встречаются и в Хакасии, что также ранее не фиксировалось на картах. Вероятно, в Хакасии их площадь возросла в связи с орошением. В Туве, при доминировании слабозасоленных почв, доля сильнозасоленных выше, чем в других регионах, также здесь больше почв преимущественно хлоридного химизма засоления.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Единый государственный реестр почвенных ресурсов России. М: Почвенный ин-т им. В.В. Докучаева, 2014. 768 с.
2. *Калинина Н.В., Рухович Д.И, Панкова Е.И., Черноусенко Г.И, Королева П.В.* Картографический анализ зависимости распространения засоленных почв на территории России от ряда климатических характеристик (по широте 53°44′) // Почвоведение. 2016. № 11. С. 1-19. DOI: 10.7868/S0032180X16110046
3. Карта засоления почв России. М 1 : 2.5 млн. Цифровой авторский оригинал скорректированный по ЦМР / Под ред. Е.И. Панковой, Н.Б. Хитрова. Лаборатория информатики. Почвенный ин-т им. В.В. Докучаева. М., 2007-2017 гг.
4. Качественная характеристика и культуртехническое состояние земель Российской Федерации на 1.01.1996. М.: Роскомзем, 1996. 141 с.
5. *Панкова Е.И., Черноусенко Г.И.* Проблема активизации засоления в почвах юга Восточной Сибири и Монголии в связи с аридизацией климата // Бюллетень Почвенного института имени В.В. Докучаева. 2020. Вып. 101. С. 92-116. DOI: 10.19047/0136-1694-2020-101-92-116
6. Почвенный покров и земельные ресурсы Российской Федерации. М., 2001. 400 с.
7. Карта почвенно-экологического районирования Российской Федерации М 1: 2500000 под ред. Г.В. Добровольского и И.С. Урусевской. М.: ООО "Талка+" 2013. 16 л.
8. *Хитров Н.Б., Рухович Д.И., Калинина Н.В., Новикова А.Ф., Панкова Е.И., Черноусенко Г.И.* Оценка площадей распространения засоленных почв на территории европейской России (по электронной версии карты засоления почв масштаба 1:2,5 млн) // Почвоведение. 2009. № 6. С. 627-637.

9. *Черноусенко Г.И.* Засоленные почвы котловин юга Восточной Сибири. М.: МАКС Пресс. 2022. 480 с.
10. *Черноусенко Г.И., Калинина Н.В., Рухович Д.И., П.И. Королева.* Цифровая карта засоления почв Хакасии // Почвоведение. 2012. № 11. С.1131-1147.
11. *Черноусенко Г.И., Калинина Н.В., Хитров Н.Б., Панкова Е.И., Рухович Д.И., Ямнова И.А., Новикова А.Ф.* Оценка площадей засоленных и солонцовых почв на территории Уральского федерального округа России // Почвоведение. 2011. № 4. С. 403-416.
12. *Черноусенко Г.И., Хитров Н.Б.* Изменение климата в зоне распространения засоленных почв криоаридных регионов на юге Восточной Сибири // Экосистемы: экология и динамика. 2019. Т. 3. № 3. С. 5-57. DOI: 10.24411/ 2542-2006-2019-10038 [электронный ресурс] URL: http://www.ecosystemsdynamic.ru
13. *Akhtar Abbas, Shahbaz Khan, Nisar Hussain, Munir A. Hanjra, Saud Akbar.* Characterizing soil salinity in irrigated agriculture using a remote sensing approach // Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C. 2013. V. 55-57. P. 43–52. DOI: 10.1016/j.pce.2010.12.004
14. *Chernousenko G.I., Kalinina N.V., Rukhovich D.I.* A Digital Map of Soil Salinity in the Region Middle Siberia //Proceedings of Third International Salinity Forum. June 16-18, 2014. Riverside Convention Center, California. (339 p.) P. 147-148
15. *Chernousenko G.I., Kalinina N.V., Rukhovich D.I.* Estimation of the Areas of Saline Soils of Western Transbaikalia. // 19th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2019 : conference proceedings, Albena, Bulgaria, 30 June - 6 July, 2019. Sofia, 2019. Vol. 19. Issue 3.2. Soils Forest Ecosystems Изд-во: Общество с ограниченной ответственностью СТЕФ92 Технолоджи (София) ISSN: 1314-270. pp. 171-178. DOI: 10.5593/sgem2019/3.2/S13.023
16. *G.I. Chernousenko, N.V. Kalinina, D.I. Rukhovich.* GIS analysis of the vector map of salt-affected soils in Tuva //GlobalSoilMap - Digital Soil Mapping from Country to Globe: Proceedings of the Global Soil Map 2017 Conference, July 4-6, 2017, Moscow, Russia Dominique Arrouays, Igor Savin, Johan Leenaars, Alex B. McBratney. November 27, 2017 Forthcoming by CRC Press Reference - 174 Pages ISBN 9780815375487 - CAT# K338657 pp.145-148.
17. Remote Sensing of Soil Salinization: Impact on Land Management. Edited by Metternicht G.I., Zinck J.A. CRC Press, Boca Raton, 2009. 377 p.

УДК 631.48

Почвы коллекционных питомников Полярно-альпийского ботанического сада-института

© 2022 г. Н.В. Чуева, Г.М. Кашулина*, Н.М. Коробейникова

[1]*Полярно-альпийский ботанический сад-институт КНЦ РАН, Россия, 184209, г. Апатиты, Ферсмана 18а*
[*] *galina.kashulina@gmail.com*

Резюме: Полярно-альпийский ботанический сад КНЦ РАН является самым северным ботаническим садом в России. Естественные почвы на Кольском полуострове характеризуются низким плодородием. При создании искусственного гумусового горизонта почв и поддержания его плодородия в регионе требуется внесение больших доз органических и минеральных удобрений, а также извести. Данные исследования были проведены с целью оценки текущего состояния плодородия почв коллекционных питомников, чтобы наметить наиболее эффективные мероприятия по его повышения и созданию условий для более успешной акклиматизации интродуцируемых растений к условиям субарктики. Как показали результаты, почвы коллекционных питомников в настоящее время характеризуются низким содержанием органического вещества. В зависимости от участка от 20 до 80% площадок нуждаются в проведении известкования. Более 90% площадок характеризуются очень низкой обеспеченностью почв минеральными формами азота. По уровням доступного фосфора почвы на обоих обследованных участках находятся в области высокой обеспеченности, калием – средней. Из-за частого перепланирования территории под различные цели, обоим участкам свойственна высокая пространственная неоднородность всех определенных агрохимических показателей. Различия по содержанию органического вещества (ППП), полевой влажности, и содержанию доступного фосфора между площадками на одном участке могут составлять более 2-ух раз, по содержанию минеральных форм азота – более 5-ти раз. Корреляционный анализ показал, что содержание органического вещества является фактором, с которым достоверно связано распределение между площадками полевой влажности, обменной и гидролитической кислотностей, а также содержание доступного фосфора. Для повышения плодородия почв на этих участках необходимо, в первую очередь, повысить содержание органического вещества, увеличить дозу внесения минеральных форм азота и провести известкование на отдельных площадках. Высокая пространственная неоднородность агрохимических свойств почв обусловливает

необходимость разрабатывать индивидуальную систему мелиоративных мероприятий для каждой площадки.

Ключевые слова: Агроподзол, кислотность, органическое вещество, питательные элементы, ботанический сад, Кольский полуостров

Agrochemical properties of soil of Polar-alpine botanical garden-institute

© 2022 N.V. Chueva, G.M. Kashulina*, N.M. Korobeynikova

[1]Polar-alpine botanical garden-institute KSC RAS, Russia,
184209, Apatity, Fersman st., 18a,
[*] e-mail: [*] galina.kashulina@gmail.com

Abstract: The Polar-Alpine Botanical Garden of KSC RAS is the northernmost botanical garden in Russia. Natural soil on the Kola Peninsula are characterised by low fertility. When creating an artificial humus horizon and maintaining its fertility in the region, large doses of organic and mineral fertilizers, as well as lime, are required annually. These studies were carried out to assess the current state of soil fertility in the botanical garden in order to the most effective measures to increase it and create conditions for effective acclimatization of introduced plants to subarctic. As the results showed, the soil of botanical garden are characterized by a low content of organic matter. Depending on the location, 20-80% of the sites need liming. Soils of more than 90% of the sites are characterized by very low availability of mineral forms of nitrogen. According to the content of available phosphorus, the soil at all sites of both localities are in high level of sufficiency, potassium – in medium. Due to frequent redevelopment of the territory for different purposes, both localities are characterized by high spatial variability of all agrochemical properties. Differences in the content of organic matter, field humidity and the content of available phosphorus between sites in one locality can be more than 2 times, in content of mineral forms of nitrogen - more than 5 times. Correlation analysis showed that the content of organic matter (LOI) is a factor with which the distribution between the sites of field humidity, exchangeable and hydrolytic acidity and the content of available phosphorus is significantly correlate at both localities. To maintain soil fertility in the botanical garden, it is first necessary to increase the content of organic matter through the addition of organic fertilizer, increase the dose of nitrogen fertilizer and liming at some sites. The high spatial heterogeneity of the agrochemical properties necessitates the development of an individual system of reclamation measures for each site.

Keywords: Anthrosols, acidity, available nutrients, organic matter, botanical garden, Kola Peninsula.

ВВЕДЕНИЕ

Антропогенно-преобразованные почвы ботанических садов служат продукционной основой уникальных коллекций растений из разных природных зон и играют огромную роль в сохранении биоразнообразия. Для более эффективного использования генетического потенциала интродуцированных растений в научных и прикладных целях необходимо следить и постоянно поддерживать плодородие почв ботанических садов в соответствии с требования выращиваемых видов растений. Полярно-альпийский ботанический сад КНЦ РАН (ПАБСИ) является самым северным ботаническим садом в России. Естественные почвы на Кольском полуострове характеризуются низким естественным плодородием (Переверзев, 2004). При создании искусственного плодородного гумусового горизонта почв и поддержании его плодородия в регионе требуется ежегодное внесение больших доз органических и минеральных удобрений, а также извести (Переверзев, 1987; Елсаков и др., 2001). В практике же ухода за почвами в ПАБСИ в последние годы применялись лишь небольшие дозы минеральных удобрений. В этой связи особый интерес представляет оценка современного состояния плодородия почв ПАБСИ, чтобы наметить эффективные меры по повышению и поддержания их плодородия. В данном докладе будут представлены данные агрохимических анализов почв на двух площадках коллекционного участка ПАБСИ, расположенного в окрестностях г. Апатиты.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Участок с коллекцией многолетних травянистых растений **(**КТР) ПАБСИ в окрестностях г. Апатиты был создан в 1987 году с целью подбора ассортимента лекарственных растений для Кольского севера и разработки приемов их агротехники (Елсаков и др., 2001). Плодородный слой здесь был создан из компоста, составленного из смеси торфа, песка, навоза и извести и добавленного к естественному грунту**.** В последние 10 лет уход за почвами включал ежегодное весенние около 40 г/м^2 азофоски (N60P60K60). Участок на месте демонстрационного эксперимента (ДЭ) длительное время не возделывался и зарос сорняками. Весной 2017 года его вспахали и провели демонстрационный эксперимент с сидератами.

Первичное агрохимическое опробование на участке КТР было проведено 12.09.2016 г. Всего на этом участке было отобрано 27 смешанных образцов, представляющих отдельные делянки коллекционного питомника травянистых растений размером от1 до 5 м^2. На участке ДЭ 21 сентября 2017 было проведено опробование на 15 площадках размером от 1 до 3 м^2.

Агрохимический анализ включал определение потери при прокаливании (ППП), полевой влажности, pH$_{KCl}$, нитратного ($N\text{-}NO_3$) и аммиачного ($N\text{-}NH_4$) азота, доступных для растений форм фосфора (P_2O_5) и калия (K_2O) по Кирсанову, гидролитической кислотности (Нг), а также гранулометрического состав по Н.А. Качинскому (Агрохимические методы.., 1975).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Как показали результаты, в *гранулометрическом составе* почв на обоих участках значительно преобладают песчаные фракции. При этом содержание песка (фракции 0.05-1 мм) в почвах на участке ДЭ-17 было выше по сравнению с участком КТР-16. Наоборот, содержание агрономически ценной фракции физической глины (фракция <0.01 мм) на площадке ДЭ-17 было ниже по сравнению с участком КТР-16. По содержанию физической глины, гранулометрический состав почв на 71% площадок с участка ДЭ-17 характеризовался как связный песок, и только на 29% - как супесь. Наоборот, на участке КТР-16 почва на 33% площадок была отнесены к связному песку и 67% - к супеси.

Содержание органического вещества. По содержанию органического вещества, оцененного по величине потери при прокаливании (ППП), различия между площадками на обоих участках составили более чем в 2 раза (Табл.1). При этом, в целом, содержание органического вещества в почвах на участке КТР-16 было значимо, согласно *U*-критерию Манна-Уитни при $p \leq 0.01$, выше по сравнению с участком ДЭ-17.

Корреляционный анализ показал, что содержание органического вещества (ППП) является фактором, с которым достоверно (при $p \leq 0.01$) на обоих участках связано распределение между площадками полевой влажности ($r = 0.66$ для КТР-16 и $r = 0.92$ для ДЭ-17, обменной кислотности - pH$_{KCl}$ ($r = -0.48$ для КТР-16 года и $r =$

-0.57 для ДЭ-17), гидролитической кислотности – Нг (*r = 0.45* для КТР-16) и содержания доступного фосфора (*r = 0.63* для КТР-16 и *r = 0.69* для ДЭ-17).

Таблица 1. Минимум, медиана, максимум распределения агрохимических показателей на площадках коллекционного питомника лекарственных травянистых растений, N=27 (КТР-16) и места проведения демонстрационного эксперимента с сидератами, N=15 (ДЭ-17).

Показатель	Величина	Мин	Медиана	Макс
КТР-16				
ППП	%	7.40	9.60	15.4
pH$_{KCl}$		4.50	5.11	6.30
N-NH_4	мг/100 г	0.23	0.61	1.43
N-NO_3	мг/100 г	0.00	0.08	0.69
N-(NO_3+NH_4)	мг/100 г	0.31	0.73	1.73
P_2O_5	мг/100 г	41.8	57.9	96.5
K_2O	мг/100 г	8.0	16.5	30.5
Нг	смоль(экв)/кг	0.8	3.2	6.1
Влажность	%	24.1	30.7	39.9
ДЭ-17				
ППП	%	3.93	6.64	8.81
pH$_{KCl}$		5.40	5.60	6.16
N-NH_4	мг/100 г	0.26	0.60	1.59
N-NO_3	мг/100 г	0	0	0.57
N-(NH_4+NO_3)	мг/100 г	0.26	0.73	1.59
P_2O_5	мг/100 г	46.3	64.8	78.1
K_2O	мг/100 г	11.0	13.0	17.0
Нг	смоль(экв)/кг			
Влажность, %	% .	11.0	20.8	27.2

Обменная кислотность (pHKCl). Реакция среды на обоих участках значительно варьировала между площадками от кислой до нейтральной (Табл.1). Различия между участками по кислотности почв, согласно *U*-критерию Манна-Уитни оказались значимыми (при *p≤0.01*). По величине pH$_{KCl}$ около 80% площадок на участке

КТР-16 нуждалось в известковании, на участке ДЭ-17 – только 13%.

Доступные соединения фосфора. По содержанию доступных для растений соединений фосфора участки КТР-16 и ДЭ-17 не различались между собой (Табл.1). Сравнение полученных результатов и существующих шкал обеспеченности окультуренных почв элементами питания (Методические указания.., 2003) показало, что почвы на всех площадках обоих участков характеризовались очень высокой обеспеченностью доступным для растений фосфором.

Доступные соединения калия. В отличие от фосфора, обследованные участки ПАБСИ значимо, согласно *U*-критерию Манна-Уитни при $p \leq 0.01$, различались по содержанию доступного калия. Сравнение с принятыми шкалами обеспеченности (Методические указания.., 2003) показало, что уровень обеспеченности почв доступным калием на обоих участках характеризуется от средним до высокого.

Минеральные формы азота. Содержание аммиачного ($N\text{-}NH_4$) и нитратного $N\text{-}NO_3$ азота, а также их суммы в почвах не зависело от участка. На преобладающем большинстве площадок обоих участков сумма нитратного и аммиачного азота в почвах не превышала 1.5 мг/100 г почвы, и, согласно шкале Г.П. Гамзикова (2000), они характеризовались очень низкой обеспеченностью минеральными формами азота.

ВЫВОДЫ

Почвы на обследованных участках ПАБСИ значимо, согласно *U*-критерию Манна-Уитни, различаются по уровням содержания органического вещества, которое является важным показателем плодородия почв, а также по уровням кислотности и обеспеченности растений доступными формами калия.

По уровням обеспеченности доступным фосфором и минеральными формами азота обследованные участки не различаются. При этом уровни фосфора в почвах на всех площадках обоих участков находятся в области высокой обеспеченности, а минеральных форм азота - очень низкой.

Из-за частого перепланирования территории под различные коллекции интродуцированных растений на обоих участках

выявлена высокая пространственная неоднородность всех определенных агрохимических показателей. Различия по содержанию органического вещества, полевой влажности и содержанию доступного фосфора между площадками на одном участке составляют около 2-ух раз. Наиболее значительно (более 5-ти раз) площадки на участках отличаются по содержанию минеральных форм азота.

Корреляционный анализ показал, что содержание органического вещества (ППП) является фактором, с которым достоверно на обоих участках связано распределение между площадками полевой влажности, обменной кислотности (pH_{KCl}), гидролитической кислотности и содержания доступного фосфора.

Для поддержания плодородия почв на этих участках необходимо повысить содержание органического вещества за счет внесения органических удобрений, увеличить дозу внесения азотных удобрений и провести известкование на отдельных площадках.

Высокая пространственная неоднородность агрохимических свойств почв обусловливает необходимость разрабатывать индивидуальную систему мелиоративных мероприятий для каждой площадки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Агрохимические методы* исследования почв. М.: Наука, 1975. 656 с.
2. *Гамзиков Г.П.* Научные основы и рекомендации по диагностике и оптимизации минерального питания зерновых и других культур. М.: ВИУА, 2000. 99 с.
3. *Елсаков Г.В., Горелова А.П., Миронова Р.А*. Роль удобрений при возделывании лекарственных культур в Заполярье // Агрохимия, 2001. № 2. С. 40-45.
4. *Методические указания* по проведению комплексного мониторинга плодородия почв земель сельскохозяйственного назначения / Под ред. Державина Л. М., Булгакова Д.С. М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2003. 240 с.
5. *Классификация* и диагностика почв России. Смоленск: Ойкумена, 2004. 343
6. *Переверзев В.Н*. Лесные почвы Кольского полуострова. М.: Наука, 2004. - 232 с.
7. *Переверзев В.Н*. Биохимия гумуса и азота почв Кольского полуострова. Л.: Наука, 1987. 303 с.

Научное издание

ПОЧВЕННЫЕ И ЗЕМЕЛЬНЫЕ РЕСУРСЫ: СОСТОЯНИЕ, ОЦЕНКА, ИСПОЛЬЗОВАНИЕ

К 95-летию основания
Почвенного института имени В.В. Докучаева

Сборник докладов
Четвертой Всероссийской открытой конференции

Москва, 5 - 7 декабря 2022 г.

ФИЦ «Почвенный институт имени В.В. Докучаева»
119017, г. Москва, Пыжевский пер., д. 7, стр. 2
Тел. +7 (495) 951-50-37 E-mail: info@esoil.ru