

МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
имени М.В. ЛОМОНОСОВА
ФАКУЛЬТЕТ ПОЧВОВЕДЕНИЯ

На правах рукописи

Беляева Мария Владиславовна
ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА РЕГИОНА
НА ОСНОВЕ ПРИМЕНЕНИЯ
ГЛОБАЛЬНЫХ И РЕГИОНАЛЬНЫХ ИНДИКАТОРОВ
НЕЙТРАЛЬНОГО БАЛАНСА ДЕГРАДАЦИИ ЗЕМЕЛЬ
(НА ПРИМЕРЕ САМАРСКОЙ ОБЛАСТИ)

1.5.19. Почвоведение (биологические науки)

ДИССЕРТАЦИЯ
на соискание ученой степени
кандидата биологических наук

Научные руководители:
проф., д.б.н. Макаров О.А.
доцент., д.б.н. Куст Г.С.

Москва – 2025

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
ГЛАВА 1. СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ПРОБЛЕМЫ	11
1.1 Определение понятий деградации почв и земель	11
1.2 Способы оценки деградации почв	14
1.3 Оценка ущерба/вреда от деградации почв и земель	16
1.4 Международные подходы к оценке деградации земель	20
1.4.1 Экономика деградации земель	20
1.4.2 Нейтральный баланс деградации земель	25
ГЛАВА 2. ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ.....	39
2.1 Характеристика объектов исследования	39
2.1.1. Самарская область	39
2.1.2. Похвистневский район	43
2.1.3. Агроинновационный центр «Орловка»	45
2.2 Методы исследования	48
2.2.1. Оценка ущерба/вреда от деградации почв и земель	48
2.2.2. Экономика деградации земель	50
2.2.3. Методология Нейтрального баланса деградации земель	51
ГЛАВА 3. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ	57
3.1. Оценка ущерба/вреда от деградации почв и земель	57
3.1.1 Оценка ущерба/вреда для Самарской области в целом	61
3.1.2 Оценка ущерба/вреда для Похвистневского муниципального района	65
3.1.3 Оценка ущерба/вреда АИЦ «Орловка»	66
3.2 Оценка деградации земель с использованием методологии «Экономика деградации земель»	68
3.2.1 Оценка действия/бездействия для Самарской области	68
3.2.2 Оценка действия/бездействия для Похвистневского района	70
3.2.3 Оценка действия/бездействия для АИЦ «Орловка»	71
3.3. Оценка достижимости нейтрального баланса деградации земель	73
3.3.1. Корректировка и адаптация глобальных индикаторов НБДЗ согласно местным условиям	73

3.3.2 Оценка нейтрального баланса деградации земель Самарской области	76
3.3.3. Оценка нейтрального баланса деградации земель Похвистневского муниципального района	95
3.3.4. Оценка нейтрального баланса деградации земель для территории АИЦ «Орловка»	105
3.4 Сопоставление результатов, полученных при применении различных методов эколого-экономической оценки деградации почв и земель	120
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	122
ВЫВОДЫ	125
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	127

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность: В современном мире почвы подвергаются мощной антропогенной нагрузке, особенно в черноземной зоне, что приводит к деградации земель. Что, в свою очередь вызывает значительный интерес в современных научных и практических областях. Разрушительные последствия деградации земель оказывают прямое влияние на устойчивость экосистем, на сельское хозяйство и доходы населения, а также на общую экономику и социальное благополучие общества. Согласно отчету специального издания ООН о Показателях достижения Целей устойчивого развития, опубликованному в 2019 году, деградация земель является одной из главных проблем, с которыми сталкиваются во многих странах мира. Результаты глобального обзора состояния земель, проведенного ООН в 2017 году, подтверждают, что значительная часть площадей во всем мире подвержена процессам деградации, приводящим к снижению плодородия почв и ухудшению условий для сельскохозяйственного производства.

В России борьба с опустыниванием и деградацией земель также является одним из приоритетных направлений в сферах защиты окружающей среды, а также в социально-экономической сфере (Национальный доклад ..., 2019).

В связи с этим, возникает необходимость в оценке состояния почв для контроля текущего состояния окружающей среды, прогнозирования развития деградации и создания рекомендаций по рациональному использованию земель, а также снизить экологические риски и повысить экономическую эффективность землепользования (Иванов и др., 2018).

Объекты исследования: Интенсивное использование земель Самарской области в сельском хозяйстве определило выбор данного региона в качестве объекта исследования. Самарская область расположена на юго-востоке европейской части России в Приволжском федеральном округе (рис.1). На уровне муниципального района был выбран Похвистневский район, а на уровне

агрохозяйства – Агроинновационный центр «Орловка», расположенный в Похвистневском районе.

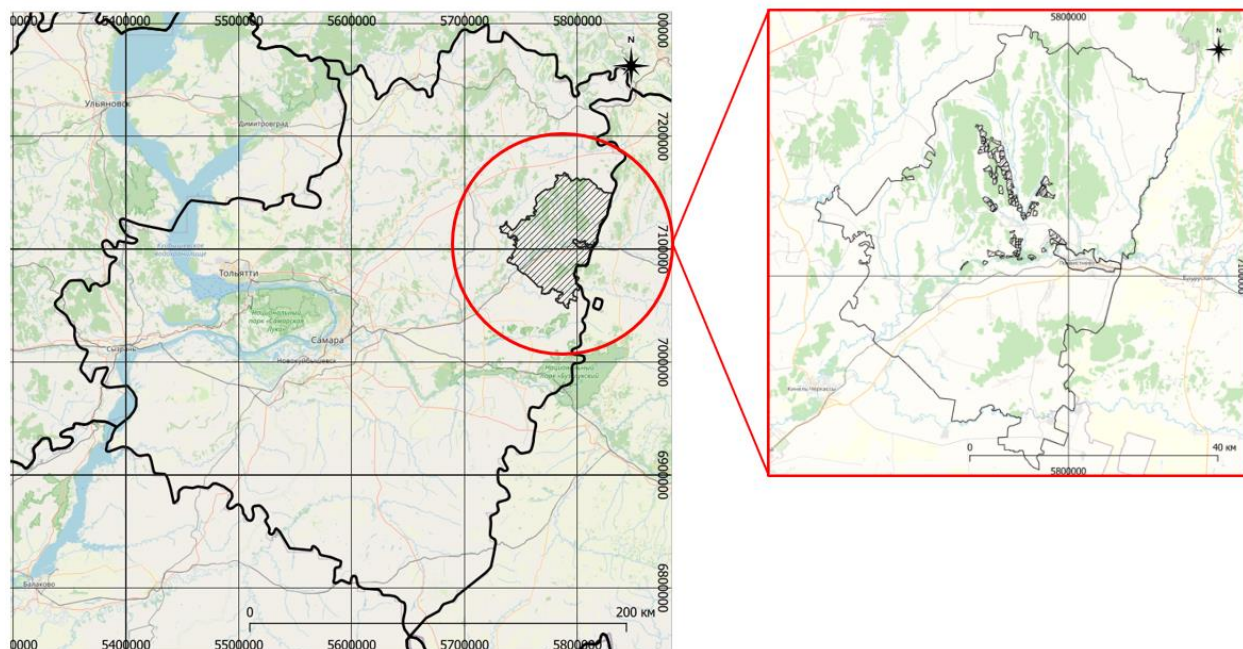


Рисунок 1 – Расположение выбранных объектов исследования: Самарской области, Похвистневского района и Агроинновационного центра «Орловка»

Цель: выявить особенности оценки деградации почв и земель при помощи различных методических подходов (оценка ущерба от деградации земель, экономика деградации земель, нейтральный баланс деградации земель) на трех уровнях административно-хозяйственного устройства региона — области в целом, муниципального района, агрохозяйства на примере Самарской области.

Задачи:

1. Оценить степень выраженности деградационных процессов в почвах и землях Самарской области методом их сравнения с эталонами по показателям агроистощения (уменьшение содержания, гумуса, подвижного фосфора и обменного калия, изменение кислотности).
2. Рассчитать величину ущерба от деградации почв и земель на трёх уровнях административно-хозяйственного устройства Самарской области: область — муниципальный район — агрохозяйство.

3. Основываясь на методике Й. фон Брауна, проанализировать рентабельность восстановления деградированных земель в Самарской области с помощью расчета соотношения действия/бездействия.

4. Определить особенности оценки нейтрального баланса деградации земель (НБДЗ) для трех выбранных масштабных уровней исследования.

5. Определить значения основных показателей НБДЗ, используя глобальные и региональные индикаторы, рассчитать индекс НБДЗ на основании полученных данных.

Научная новизна: впервые при расчете индекса нейтрального баланса деградации земель глобальные индикаторы были оценены на достоверность, разработаны их аналоги и использованы региональные индикаторы НБДЗ, опирающиеся на почвенные показатели, а также определены особенности оценки НБДЗ на различных уровнях административно-хозяйственного устройства региона (субъекта) Российской Федерации.

Защищаемые положения:

1. Использование концепции НБДЗ на различных уровнях административно-хозяйственного устройства субъекта Российской Федерации имеет определенные особенности, зависящие от масштаба исследования. Так, на уровне муниципального района и области данные, полученные при помощи модуля Trends.Earth (TE) в режиме «по умолчанию», имеют более высокую достоверность, чем на уровне агрохозяйства.

2. Помимо глобальных индикаторов, таких как изменения наземного покрова, продуктивности земель и запасов почвенного органического углерода, в процессе оценки НБДЗ в Самарской области на всех уровнях исследования рекомендуется учитывать индикатор, связанный с развитием эрозионных процессов в почвах. Этот индикатор также оказывает влияние на состояние других показателей, касающихся состояния почв и продуктивности сельскохозяйственных земель.

3. Относительный размер ущерба от деградации почв и земель может значительно увеличиваться за счет высокого дохода от ведения сельскохозяйственной деятельности при равной степени деградации земель.

Практическая значимость: Полученные результаты могут быть использованы для оценки эффективности действующих систем землепользования и разработки устойчивых систем землепользования на территории Самарской области.

Методология и методы исследования

В данном исследовании были применены такие эколого-экономические методы оценки деградации почв и земель, как расчет величины ущерба/вреда от деградации почв и земель, метод «действия»/«бездействия» Й. фон Брауна, а также методология НБДЗ.

Степень достоверности и апробация результатов

Основные положения диссертации были представлены на Международной конференции XXIII Докучаевские молодежные чтения "Почва в условиях глобального изменения климата" (Санкт-Петербург, 2020), Третьей всероссийской открытой конференции Почвенные и земельные ресурсы: состояние, оценка, использование (Москва, 2019).

Публикации

По теме диссертации было опубликовано 8 научных работ, 5 из них опубликованы в журналах из списков Scopus, WoS, RSCI, а также в изданиях, рекомендованных для защиты в диссертационном совете МГУ по специальностям 1.5.19 – Почвоведение.

1. **Беляева М.В., Куст Г.С., Андреева О.В.** Оценка нейтрального баланса деградации земель Самарской области с помощью глобальных и региональных индикаторов // *Вестник Московского университета. Серия 17: Почвоведение.* — 2023. — Т. 78, № №3, 2023. — С. 16–27. DOI: 10.55959/msu0137-0944-17-2023-78-3-16-27. – IF РИНЦ 2022: 0,463. (0,8 п.л./0,3 п.л.)

2. **Беляева М. В., Макаров О. А., Абдулханова Д. Р.** Оценка ущерба от деградации почв и земель Самарской области на уровне региона, муниципального района и агрохозяйства // *Земледелие*. — 2022. — № 8. — С. 3–7. DOI: 10.24412/0044-3913-2022-8-3-7. – IF РИНЦ 2021: 1,337. (0,53 п.л./0,18 п.л.)
3. **Беляева М. В.,** Строков А. С., Макаров О. А., Абдулханова Д.Р., Кубарев Е.Н. Оценка «действия/бездействия» на трех иерархических уровнях организации Самарской области: регион в целом, муниципальный район и агрохозяйство // *Агрохимический вестник*. — 2023. — № 2. — С. 24–27. DOI: 10.24412/1029-2551-2023-2-004 — IF РИНЦ 2021: 0,699. (0,34 п.л./0,09 п.л.)
4. Макаров О.А., Абдулханова, Д.Р., Карпова, Д.В., Красильникова, В.С., Марахова, Н.А., Крючков, Н.Р., Чекин М.Р., Беляева М.В., Балджиев А.С. Оценка ущерба от деградации почв и земель на трех иерархических уровнях административно-хозяйственного устройства Российской Федерации: субъектов, муниципальных образований и агрохозяйств // *Вестник Московского университета. 10 Серия 17: Почвоведение*. — 2023. — Т. 78, № 2. — С. 86–93. DOI: 10.55959/MSU0137-0944-17-2023-78-2-86-93. – ИФ РИНЦ (2021): 0,463. (1,01 п.л./0,13 п.л.)
[Makarov O.A., Abdulkhanova D.R., Karpova D.V., Krasilnikova V.S., Marakhova N.A., Kryuchkov N.R., Chekin M.R., Belyaeva M.V., Baldjiev A.S. Assessment of damage from soil and land degradation at three hierarchical levels of the administrative and economic structure of the russian federation: Subjects, municipalities, and agricultural farms // *Moscow University Soil Science Bulletin*. — 2023. — Vol. 78, № 2. — P. 149–155. DOI: 10.3103/S0147687423020072 – SJR: 0,18. (1,01 п.л./0,13 п.л.)]
5. Черкасова О.В., Строков А.С., Цветнов Е.В., Карпова Д.В., Беляева М.В., Чекин М.Р., Марахова Н.А. Вопросы оценки продовольственной безопасности в российской федерации // *Вестник Московского университета. Серия 17: Почвоведение*. — 2023. — Т. 78, № 2. — С. 117–

127. DOI: 10.55959/MSU0137-0944-17-2023-78-2-117-127.– IF РИНЦ 2021: 0,463;

(1,2 п.л./0,17 п.л.)

[Cherkasova O.V., Strokov A.S., Tsvetnov E.V., Karpova D.V., Belyaeva M.V., Chekin M.R., Marakhova N.A. Issues of Food-Security Assessment in the Russian Federation // *Moscow University Soil Science Bulletin*. — 2023. — Vol. 78, № 2. — P. 177–186. DOI: 10.55959/MSU0137-0944-17-2023-78-2-117-127.– SJR: 0,463. (1,2 п.л./0,17 п.л.)]

Другие работы:

6. Беляева М.В., Андреева О.В., Куст Г.С., Лобковский В.А. Опыт оценки динамики деградации земель юга европейской части России с использованием методологии нейтрального баланса деградации земель // *Экосистемы: экология и динамика*. — 2020. — Т. 4, № 3. — С. 145–165. DOI: 10.24411/2542-2006-2020-10066. – IF РИНЦ 2021: 0,620. (1,06 п.л./0,27 п.л.)
7. Макаров О.А., Строков А.С., Кузнецов М.С., Абдулханова Д.Р., Беляева М.В. Пути усовершенствования методологии экономики деградации земель // *Использование и охрана природных ресурсов в России*. — 2023. — № 2. — С. 74–79. – IF РИНЦ 2021: 0,260. (1,05 п.л./0,21 п.л.)
8. Экономика деградации земель и продовольственная безопасность регионов России / Под редакцией О.А. Макарова / Макаров О.А., Абдулханова Д.Р., Балджиев А.С., Беляева М.В., Карпова Д.В., Красильникова В.С., Крючков Н.Р., Марахова Н.А., Строков А.С., Цветнов Е.В., Цветнова О.Б., Чекин М.Р., Черкасова О.В. — Москва: ООО МАКС Пресс, 2022. — 320 с. DOI: 10.29003/m3113.978-5-317-06906-3 (26 п.л./0,2 п.л.)

Личный вклад автора

Автор самостоятельно провел анализ научной литературы по рассматриваемой теме, выполнил основную часть лабораторных исследований, обработал полученные данные и участвовал в подготовке публикаций по теме

работы. В статье [1] вклад автора составил 0,28 п.л. из 0,8 п.л., в статье [2] – 0,18 п.л. из 0,53 п.л., в статье [3] – 0,09 п.л. из 0,34 п.л., в статье [4] – 0,13 п.л. из 1,0 п.л., в статье [5] – 0,17 п.л. из 1,2 п.л., в статье [6] – 0,27 п.л. из 1,06 п.л., в статье [7] – 0,21 п.л. из 1,05 п.л., в статье [8] – 2 п.л. из 26 п.л.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, 3-х глав, заключения, выводов, списка литературы. Материалы работы изложены на 138 страницах, содержат 35 таблиц, 41 рисунок. Список литературы включает 146 источник, в том числе 53 – на иностранном языке.

Благодарности

Автор выражает благодарность руководителям д.б.н. О.А. Макарову, д.б.н. и Г.С. Кусту за неоценимую помощь в подготовке данной работы и ценные советы. Также автор признателен к.б.н. О.В. Андреевой, к.э.н. А.С. Строкову, Д.Р. Абдулхановой, к.б.н. Е.В. Цветнову, к.б.н. Н.Р. Крючкову, Н.А. Мараховой, М.Р. Чекину, О.В. Черкасовой, Е.Н. Есафовой. Автор выражает благодарность все сотрудникам кафедры эрозии и охраны почв, а также членам своей семьи за моральную поддержку. Исследование выполнено при поддержке гранта РФФИ № 19–29–05021 МК.

ГЛАВА 1. СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ПРОБЛЕМЫ

1.1 Определение понятий деградации почв и земель

Согласно анализу национальных докладов для Конвенции по борьбе с опустыниванием ООН (КБО ООН) на 2019 год деградации в мире подверглись почти 30 миллионов км² земель, что составляет около 20% от всей территории суши земного шара (UN ECOSOC, 2019).

Последние полвека характеризуются увеличением скорости потери плодородных почв в 30 раз (150 тыс. км² в год) по сравнению со средне исторической. Если нынешняя тенденция будет сохраняться, то к 2050 году 8,5 миллионов км² естественных земель будут деградированными (Global land outlook, 2017).

Непрерывное снижение количества плодородных земель и рост спроса на земельные ресурсы приводят к дефициту продовольствия (Montanarella et al., 2016).

Для Российской Федерации число деградированных земель достигает 2 млн. км², что в свою очередь составляет около 85% от земель сельскохозяйственного назначения. Наиболее распространёнными процессами деградации земель на территории Российской Федерации являются водная и ветровая эрозия, засоление, подкисление (Национальный доклад..., 2019).

На законодательном уровне деградация земель определяется как «снижение или потеря биологической и экономической продуктивности и сложной структуры богарных пахотных земель, орошаемых пахотных земель или пастбищ, лесов и лесистых участков в засушливых, полузасушливых и сухих субгумидных районах в результате землепользования или действия одного или нескольких процессов, в т.ч. связанных с деятельностью человека и структурами расселения, таких как ветровая и/или водная эрозия почв; ухудшение физических, химических и биологических или экономических свойств почв; и долгосрочная потеря естественного растительного покрова» (ГОСТ Р 59055-2020). Это определение полностью соответствует по своему содержанию

определению опустынивания, приведенному в Конвенции ООН по борьбе с опустыниванием (КБО ООН). КБО ООН определяет опустынивание как «деградацию земель в аридных, субаридных и засушливых субгумидных районах в результате действия различных факторов, включая изменение климата и деятельность человека», а деградацию земель, в свою очередь, как: «уменьшение или утрата биологической или экономической производительности и сложности возделываемых неорошаемых пахотных земель, орошаемых пахотных земель или ареала, пастбищ, лесов и лесных массивов в результате сочетания различных методов, включая методы землепользования и управления» (КБО ООН, 1994).

Намного более подробно раскрыто понятие деградации почв. Для более полного понимания различий терминов «деградация земель» и «деградация почв» рассмотрим отличия понятий «почва» и «земля».

Согласно действующему в настоящее время ГОСТу 59055-2020 (2020) земля это – «значительная по площади территория, на которой могут быть представлены разные типы почв, но имеющая конкретное хозяйственное назначение (сельскохозяйственное, рекреационное, лесопользование и др.)». Стоит отметить, что данное определение имеет ряд недостатков: в определении рассматривается только один компонент – почвы, при этом не упоминаются климат, рельеф, растительность и т.д.; земли рассматриваются больше с хозяйственной точки зрения, при этом упускается их экологическое значение. Более удачным определением, по нашему мнению, следует считать определение, приведенное в ГОСТ 26640-85 (1985), где земля – это «важнейшая часть окружающей природной среды, характеризующаяся пространством, рельефом, климатом, почвенным покровом, растительностью, недрами, водами, являющаяся главным средством производства в сельском и лесном хозяйстве, а также пространственным базисом для размещения предприятий и организаций всех отраслей народного хозяйства».

КБО ООН определяет термин земля сходным образом, как «земную биопродуктивную систему, включающую в себя почву, воду, растительность,

прочую биомассу, экологические и гидрологические процессы, происходящие внутри системы» (КБО ООН, 1994).

Почвы же в свою очередь определяются как «самостоятельное естественно-историческое органоминеральное природное тело, возникшее на поверхности земли в результате длительного воздействия биотических, абиотических и антропогенных факторов, состоящее из твердых минеральных и органических частиц, воды и воздуха и имеющее специфические генетико-морфологические признаки, свойства, создающие для роста и развития растений соответствующие условия» (ГОСТ 27593-88).

Почвы при этом следует рассматривать как составную часть земель. Также при этом стоит отметить, что множество процессов деградации земель включают в себя процессы деградации почв такие как водная эрозия, ветровая эрозия, засоление почв, снижение плодородия почв и т. д. (Dominati et al., 2010).

Понятие деградации почв используется довольно широко как в мировой, так и отечественной литературе с различными вариациями («Проблемы деградации...», 2008; Толковый словарь по почвоведению, 1975; Снакин, 2000 и др.). Многообразие определений деградации почв вызвано стремлением исследователей рассмотреть сложный процесс деградации с разных сторон, таких как экологический подход, экономический и другие.

Ниже представлены некоторые определения термина «деградация почв»:

Деградация почв, согласно М.И. Герасимовой и соавторам (2000), это «изменения в почвенной системе, и в составе и строении твердой фазы почв, и регуляторной функции почв, имеющие результатом отклонение от экологической нормы и ухудшение параметров, важных для функционирования биоты и человека».

«Деградация почвы – это вызванный человеком процесс ухудшения и/или утраты свойств и качеств почвы (в пределах элементарного почвенного ареала), результат которого способствует увеличению затрат различного рода ресурсов (энергетических, сырьевых, информационных и проч.) для достижения ранее получаемого количества и качества продукции и/или увеличению ограничений

на дальнейшую деятельность человека» (Хитров, 1998). Хитров предлагает определить деградацию аналогично предыдущему определению, но с акцентом на ее анализ в пределах одного элементарного почвенного ареала. Также он вводит детализирующие понятия, такие как степень деградации, скорость деградации, вид деградации и др. (Хитров, 1998).

Также определения, в которых деградация рассматривается как негативное изменение функции почвы, были даны многими авторами, как отечественными, так и зарубежными: Карманов, Булгаков (1998), Reynolds (2001), Camprubi et al. (2015), Costa et al. (2015) и др.

Ряд ученых указывает на антропогенную деятельность, как на основную причину деградации (Хитров, 1998; Khaledian et al., 2017; Camprubi et al., 2015). Тем не менее, большинство ученых считают, что деградация почв может возникать в результате взаимодействия природных и антропогенных факторов, и что уменьшение деградации возможно за счет внедрения эффективных методов управления землепользованием (Мотузова, Безуглова, 2007; Зонн, 1994; Creda et al., 2009).

Следует подчеркнуть, что данное разнообразие определений деградации почв обуславливает наличие различных методов оценки этого явления, которые будут рассмотрены далее.

1.2 Способы оценки деградации почв

Экологический мониторинг согласно ФЗ «Об охране окружающей среды (2002) рассматривается как «система регулярных длительных наблюдений в пространстве и времени, дающих информацию о состоянии окружающей среды с целью оценки прошлого, настоящего и прогноза изменения в будущем параметров окружающей среды, имеющих значение для человека». При мониторинге состояния земель основным объектом является не вся среда, а именно земли.

В СССР в XX веке пик развития системы государственного мониторинга состояния земель приходится на 70-80-е годы. Мониторинг осуществляли

проектные институты системы «Гипрозем». За время их работы было выполнено несколько туров почвенного обследования, результатом которого было создание крупномасштабных почвенных карт почти на территорию всего Советского Союза. В 90-е годы советская система государственного мониторинга в России была почти полностью разрушена, землеустроительные и мелиоративные службы были расформированы, сокращены агрохимические службы (Кирюшин, 2007).

В России в настоящее время за наблюдения за состоянием земель и их качеством отвечает система государственного мониторинга земель. При этом, в соответствии с Земельным Кодексом РФ, такие земли могут принадлежать различным категориям земель и секторам экономики, включая сельское и лесное хозяйство, промышленность, транспорт и так далее. Выявление деградированных, нарушенных и загрязненных земель производится по запросам Министерства природы России, Росреестра и Минсельхоза с использованием почвенных, агрохимических и других обследований (Куст и др. 2002).

В соответствии со статьей 67 от 25.10.2001 №136 – ФЗ (ред. от 26.12.2024) Земельного кодекса Российской Федерации, государственный мониторинг земель можно разделить на две основные категории: «наблюдение за использованием земель и земельных участков в соответствии с их целевым назначением» и мониторинг состояния земель в рамках которого «осуществляются наблюдение за изменением количественных и качественных характеристик земель, в том числе с учетом данных результатов наблюдений за состоянием почв, их загрязнением, захламлением, деградацией, нарушением земель, оценка и прогнозирование изменений состояния земель».

Несмотря на частичное восстановление мониторинговых служб (агрохимическая служба, подразделения Росреестра) на территории России после распада Советского Союза, все еще имеется ряд трудностей для полноценной оценки состояния земель (Подколзин и др., 2018, Каюков, 2020). Таким образом, информация, используемая для мониторинга, в основном была

собрана в 80-90-х годах прошлого века. Эти материалы о состоянии почв и земель считаются устаревшими и не соответствуют современным требованиям для разработки планов землеустройства (Разумов и др., 2015).

Тем не менее, в настоящее время выборочный мониторинг осуществляется ежегодно, преимущественно в наиболее экологически уязвимых районах. Поэтому данные, полученные в ходе этих исследований, можно применять ко всей территории РФ лишь с условием, так как они носят фрагментарный характер. Более того, результаты локальных обследований отдельных участков зачастую не дают объективной картины и не являются репрезентативными даже на уровне субъектов РФ.

Разнообразие показателей мониторинга и их несопоставимость также затрудняют интеграцию результатов, оценку влияния на тип и степень деградации земель, а также разработку мер по рациональному использованию природных ресурсов и предотвращению негативных последствий (Лобковский и др., 2022). В зависимости от конкретной ситуации могут применяться различные индикаторы, как почвенно-экологические, так и экономические, которые варьируются в зависимости от типа и степени деградации, методов диагностики и набора показателей, определяемого целями мониторинга состояния земель.

Эти проблемы указывают на отсутствие полноценного мониторинга состояния почв и земель на федеральном, региональном и муниципальном уровнях (Разумов и др., 2015).

1.3 Оценка ущерба/вреда от деградации почв и земель

Согласно Российскому законодательству, а именно согласно статье 4 ФЗ №7-ФЗ «Об охране окружающей среды» от 10.01.2002 г почвы и земли являются «объектом охраны окружающей среды от загрязнения, истощения, деградации, порчи, уничтожения и иного негативного воздействия хозяйственной и иной деятельности» (Макаров и др. 2023). Этим же законом предусмотрено полное возмещение вреда, нанесенного окружающей среде.

Наиболее распространенным в РФ подходом для оценки размера вреда/ущерба от деградации земель является подход, основанный на сравнении деградированных и эталонных почв (Крючков, 2022, Чекин, 2024, Куделин, 2024).

Существует два способа оценки размеров ущерба («Порядок определения...», 1993; Бондаренко, 2016):

- 1) подход, основанный на величине затрат, необходимых для проведения полного восстановления качества земель: очистка загрязнённых и захламленных земель, восстановление деградированных земель;
- 2) расчетный метод, использующий формулы, учитывающие площадь и уровень загрязнения, захламления и деградации, а также экономические характеристики исследуемой территории и специальные земельные налоги, устанавливаемые нормативным образом. Этот подход применяется в тех случаях, когда невозможно определить затраты на восстановление земель.

Далее представлены ключевые методики, созданные с 90-х годов XX века и до настоящего времени, для оценки ущерба и вреда, вызванного деградацией земель, а также их характерные особенности (Макаров и др. 2023):

1) «Порядок определения размеров ущерба от загрязнения земель химическими веществами». Эта методика учитывает исключительно ущерб, причиненный химическим загрязнением почв и захламлением земель на основе использования показателя ПДК (предельно-допустимая концентрация). В настоящее время данная методика не применяется.

2) «Методика определения размеров ущерба от деградации почв и земель» (Утверждена приказом Роскомзема и Минприроды России от 17 июля 1994 года). Методика включает в себя оценку большого количества показателей, которые отражают такие деградационные процессы, как технологическая деградация (ухудшение физических и химических свойств почв), эрозия, заболачивание и засоление и др. Так же вводится коэффициент пересчета в зависимости от

изменения степени деградации, что позволяет оценить динамику состояния земель. В настоящее время данная методика не применяется.

3) «Методика исчисления размера ущерба, вызванного захламлением, загрязнением и деградацией земель на территории Москвы» (Утверждена Постановлением Правительства Москвы от 22 июля 2008 г. №589-ПП). При расчете оцениваются затраты, необходимые для приведения городских почв и земель в соответствие с нормативными стандартами. В эти затраты не включаются расходы на восстановление и обследование территории. Методика позволяет оценить такие процессы деградации, как загрязнение химическими веществами, захламление, эрозия (водная и ветровая), подтопление, засоление и другие деградационные процессы, но применяется исключительно для городских почв. В настоящее время данная методика не применяется (Бондаренко, 2016).

4) «Методика исчисления размера вреда, причиненного почвам как объекту охраны окружающей среды» (Утверждена приказом Минприроды России от 8 июля 2010 г. №238). Общий ущерб, причиненный почвам, определяется как сумма потерь от их загрязнения, захламления, застройки искусственными структурами, удаления и/или перемещения верхнего плодородного слоя, а также от уничтожения этого слоя. В настоящее время является действующей. Существенным недостатком данной методики является то, что в ней не рассматриваются деградационные процессы, связанные с ухудшением химических, физических и биологических свойств почв, а следовательно, данную методику невозможно применить для оценки ущерба на сельскохозяйственных территориях, на которых происходят такие процессы как агроистощение, эрозия и др.

Несмотря на развитие подходов к оценке ущерба/вреда от деградации почв и формальную отмену действия, наиболее эффективной в научном сообществе до сих пор признается «Методика определения размеров ущерба от деградации почв и земель» (1994), поскольку в рамках ее подхода рассматривается наибольшее количество деградационных показателей, в отличие от большинства

методик, в которых рассматривается преимущественно только загрязнение почв химическими веществами и захламление почв, также в ней определены конкретные шкалы степеней деградации (Экономика деградации земель..., 2022).

Рассмотрим данную методику подробнее.

Ущерб, связанный с деградацией земель, в соответствии с данной методикой, вычисляется с помощью формулы (Методика определения размеров ущерба от деградации почв и земель, 1994):

$$Ущ = Нс \times S \times Кэ \times Кс \times Кп + Дх \times S \times Кв, \quad (2)$$

где:

Нс – нормативная стоимость участка, (руб./га);

S - площадь деградированных почв и земель (га);

Кэ - коэффициент экологической ситуации территории;

Кс - коэффициент пересчета в зависимости от изменения степени деградации почв и земель;

Кп - коэффициент для особо охраняемых территорий;

Дх - годовой доход с единицы площади, (руб./га);

Кв - коэффициент пересчета в зависимости от периода времени по восстановлению деградированных почв и земель.

Поскольку показатель нормативной стоимости земель в настоящее время не используется на территории РФ, большинство исследователей заменяют этот показатель на кадастровую стоимость земель (Макаров и др. 2021, Макаров и др. 2022, Крючков, 2022, Чекин 2024, Куделин, 2024), оценка которой проводится согласно Приказам соответствующих комитетов по управлению государственным имуществом соответствующих субъектов Российской Федерации. Для Самарской области – это Приказ министерства имущественных отношений Самарской области от 25.11.2022 № 2181 «Об утверждении результатов определения кадастровой стоимости всех учтенных в Едином государственном реестре недвижимости земельных участков, расположенных на

территории Самарской области и среднего уровня кадастровой стоимости по муниципальным районам и городским округам Самарской области»

В данной методике введены коэффициенты пересчета, учитывающие степень деградации территории (всего выделяется 5 степеней деградации от 0 – недеградированные до 4 – очень сильнодеградированные), экологическую ситуацию и экологическую значимость территории, доход с сельскохозяйственных земель в зависимости от времени восстановления территории, а также коэффициент пересчета для особо охраняемых территорий.

При подсчете ущерба учитывается потеря ежегодного дохода (Дх) от деградации земель. Для его подсчета используются значения фактического объема производства, усредненные за последние 5 лет.

1.4 Международные подходы к оценке деградации земель

На международной арене также проводились попытки оценить деградацию земель, что, в свою очередь, способствовало разработке нескольких проектов, направленных на эту оценку, таких как LADA, GLASOD, ASSOD, SOVEUR и другие (Молчанов и др., 2015, Куст, 2024). Далее будут рассмотрены два наиболее современных метода оценки деградации земель: экономический и экосистемный.

1.4.1 Экономика деградации земель

Концепция экономики деградации земель как эколого-экономический подход к оценке состояния земель был сформулирован в 2011 году. Данный подход был разработан Международным институтом по исследованию продовольственной политики (IFPRI), Центром Развития Исследований (ZEF) Университета Бонна и другими международными организациями при поддержке КБО ООН, Европейской комиссии и министерства экономического сотрудничества и развития Германии под руководством Й. фон Брауна (Nkonya et al., 2013). Главной целью данного подхода является стимулирование политических и инвестиционных действий против деградации земель с помощью

оценки неблагоприятных последствий от деградации земель, а также выгод, связанных с предотвращением или смягчением последствий деградации земель. Таким образом концепция способствует стимулированию перехода на устойчивые сценарии использования земель с помощью экономического анализа затрат и выгод от деградации и восстановления земель (Von Braun et al., 2013).

Стоит отметить, что концепция рассматривает не только прямые экономические потери от снижения продуктивности земель, но учитывает экосистемные услуги, концепция которых становится все более понятной и распространенной в последнее время. Учет экосистемных услуг – важная часть оценки экономики деградации земель, так как потери от деградации земель исчисляются не только непосредственно измеряемыми параметрами окружающей среды, а также учитывает расходы, связанные с косвенными воздействиями на окружающую среду не только на территории исследования, но и за ее пределами, такие как сокращение биоразнообразия и др. (Foley et al., 2005). Данная концепция также рассматривает и учитывает косвенные сферы, на которые может опосредованно влиять деградация земель, например, продовольственная безопасность, безработица, миграция населения и другие. Сложность взаимосвязей деградации земель с прямыми и косвенными сферами обуславливает трудность учета всех расходов, которые могут быть вызваны деградацией земель. Также не менее сложной задачей является оценка утрат экосистемных преимуществ, вызванных деградацией земель (Barbier, 2011).

Концептуальная основа оценки деградации, основанная на методологии Й. фон Брауна включает в себя сравнение двух сценариев - стоимости «бездействия» и «действия» (Von Braun et al., 2013). В данном контексте бездействие в борьбе с деградацией приводит к её продолжению или даже ускорению, что влечет за собой рост затрат, связанных с деградацией и её последствиями. Важно отметить, что, помимо потенциальных выгод от внедрения мер по предотвращению деградации земель, существуют и определённые издержки. Эти издержки включают как прямые расходы на реализацию конкретных мероприятий, так и альтернативные издержки,

связанные с ресурсами, которые не могут быть использованы в других целях (Nkonya et al., 2013) Основная цель этой концепции заключается в сравнении затрат и выгод от внедрения мер по борьбе с деградацией (сценарий действия) с издержками, возникающими в случае отсутствия таких мер (сценарий бездействия) (Nkonya et al., 2012a). Подобные подходы были применены для территории России (Крючков, 2022, Чекин, 2024, Куделин, 2024).

Существует два подхода к определению соотношения между действиями и бездействием. Первый из них, называемый упрощенным, основан на изменении типа землепользования в рассматриваемый период, в то время как второй метод предполагает отсутствие каких-либо изменений в землепользовании (Макаров и др. 2020).

В рамках упрощенного подхода осуществляется расчет изменения стоимости земли в результате смены типа землепользования или растительного покрова, как правило, в сторону менее продуктивных вариантов. Например, это может происходить, когда лесные участки преобразуются в менее продуктивные пастбища. В таком случае меры, направленные на восстановление лесных площадей, будут рассматриваться как сценарий действия, тогда как сценарий бездействия будет заключаться в сохранении текущего малопродуктивного растительного покрова, продуктивность которого со временем будет продолжать снижаться (Макаров и др., 2020).

Так, уменьшение стоимости земель рассчитывается по формуле (Nkonya et al., 2013):

$$C_{LUCC} = \sum_i^K (\Delta a_1 p_1 - \Delta a_1 p_2), \quad (3)$$

где C_{LUCC} – цена деградации земель в результате изменения типа землепользования и/или растительного покрова;

Δa_1 – площадь земель типа I (обычно принимается деградированная территория, к которой должны быть применены меры по восстановлению). При применении мер по восстановлению земель, земли переходят в тип II.

p_1 и p_2 – общая экономическая ценность земель типа I и типа II соответственно.

Стоимость бездействия в этом случае рассчитывается как ежегодное снижение стоимости деградированных земель (Nkonya et al., 2013):

$$CI_i = \sum_{t=1}^T C_{LUCC}, \quad (4)$$

где CI_i – стоимость бездействия при растительном покрове i ,

Стоимость действия же определяется согласно формуле 5 (Nkonya et al., 2013):

$$CTA_i = A_i \frac{1}{\rho^t} \{z_i + \sum_{t=1}^T (x_i + p_j x_j)\}, \quad (5)$$

где: CTA_i - стоимость восстановления высокоценного растительного покрова i ;

ρ^t - дисконтный фактор землепользователя (дисконтный фактор – коэффициент «стоимости денег», то есть банковская ставка по кредиту либо упущенная выгода в размере ставки начислений по вкладу, если для улучшения ландшафта используются свои средства);

A_i - площадь высокоценного растительного покрова i который был замещен низкоценным растительным покровом j ;

z_i - стоимость восстановления высокоценного растительного покрова i ;

x_i - стоимость ухода за растительным покровом i ;

x_j - продуктивность низкоценного растительного покрова j на гектар;

p_j - стоимость низкоценного растительного покрова j на единицу (например, на тонну);

t - время в годах (период горизонта планирования);

T - горизонт планирования при принятии решений по деградации земель.

$p_j x_j$ - значение упущенной выгоды от использования низкоценного растительного покрова j при его замещении.

Если отношение бездействия/действия меньше единицы, то проект по восстановлению земель нерентабелен, и его реализация не окупит себя за период установленного горизонта планирования. Если соотношение больше единицы, то восстановление земель экономически оправдано и затраты на его реализацию окупятся в течение оцениваемого периода.

Упрощенный метод имеет ряд недостатков. Так данный метод позволяет рассматривать изменение продуктивности территории, которое происходит при смене типа землепользования данной территории, но не позволяет оценить изменения продуктивности территории, когда смены землепользования не происходит. Такая ситуация наиболее распространена в большинстве своем для развитых стран, где развиты процессы интенсификации производства, способствующие увеличению нагрузки на экосистему (загрязнение пестицидами, переизбыток вносимых удобрений и др.), которые в свою очередь приводят к деградации земель. Схожая ситуация характерна и для территории России (Яковлев и др., 2016).

Более точным в такой ситуации является метод, не подразумевающий смену землепользования и/или растительного покрова.

Таким образом, оценка мероприятий по борьбе с деградацией земель осуществляется с использованием чистой приведенной стоимости (NPV) для каждого года планирования. Расчет выполняется по следующей формуле (Nkonya et al., 2013):

$$\pi_t^c = \frac{1}{\rho^t} \sum_{t=0}^T (PY_t^c + IV_t + NU_t + b_t^c - lm_t^c - c_t^c - \tau_t^c), \quad (6)$$

где π_t^c – чистая приведенная стоимость (NPV);

Y_t^c – выход продукционных функций прямого использования при использовании практик устойчивого землепользования;

$\rho^t = 1+r$, где r – ставка дисконтирования;

P – стоимость Y_t^c ;

IV_t – стоимость непрямого использования;

NU_t – стоимость неиспользования на территории;

b_t^c – выгоды от практик устойчивого землепользования вне исследуемого участка;

lm_t^c – затраты на реализацию практик устойчивого землепользования;

c_t^c – прямые затраты на производство продукции, не связанной с земледелием;

τ_t^c – затраты на практики устойчивого землепользования вне оцениваемого участка (на использование и неиспользование).

Стоимость бездействия также рассчитывается через чистую приведенную стоимость (Nkonya et al., 2013):

$$\pi_t^d = \frac{1}{\rho^t} \sum_{t=0}^T (PY_t^d + IV_t + NU_t + b_t^d - lm_t^d - c_t^d - \tau_t^d), \quad (7)$$

где π_t^d – чистая приведенная стоимость в случае использования землепользователем традиционных практик.

Для расчета выгоды от применения практик устойчивого землепользования (ВА) используется формула (Nkonya et al., 2013):

$$BA = \pi_t^c - \pi_t^d. \quad (8)$$

Данный метод позволяет более полно оценить факторы, которые влияют на экономическую эффективность практик землепользования. При том стоит отметить, что недостаток данного метода заключается в сложности определения и измерения некоторых приведенных выше параметров, поэтому они являются достаточно условными.

Несмотря на некоторые сложности использования данной методики двумя методами, данная концепция имеет неоспоримые достоинства, а именно экономическое обоснование применения практик устойчивого землепользования способствует повышению вероятности их применения как на государственном уровне, так и на уровне землепользователя.

1.4.2 Нейтральный баланс деградации земель

На Конференции ООН, посвященной вопросам окружающей среды человека, состоявшейся в 1972 году в Стокгольме (Швеция), опустынивание и ухудшение состояния земель были официально признаны одними из ключевых экологических проблем, которые ставят под угрозу глобальное благополучие и безопасность человечества на мировом уровне (Kust, 2011). На данной конференции было принято решение о необходимости создания глобальной

системы мониторинга окружающей среды (ГСМОС), а также были разработаны рекомендации по ее организации (Добровольский и др. 1983).

В 1977 году на Конференции ООН, посвященной вопросам опустынивания, был одобрен План Действий по борьбе с опустыниванием, основная цель которого заключалась в прекращении процесса опустынивания к 2000 году (UN, 1977, Куст и др. 2019). Также данный план включал в себя рекомендации, направленные на предотвращение и прекращение процесса опустынивания.

Хотя к 2000 году цели Плана действий не были достигнуты и был установлен дополнительный срок в десять лет для их реализации, идеи о состоянии окружающей среды продолжали развиваться. В докладе «Наше общее будущее» была представлена концепция устойчивого развития, в рамках которой устойчивое развитие понимается как «процесс изменений, в котором эксплуатация ресурсов, направление капиталовложений, ориентация технического развития и институционные изменения должны находиться в гармонии; повышение ценности имеющегося и будущего потенциала, с целью удовлетворения человеческих потребностей и стремлений» (Зонн и др., 2017). С принятием целей устойчивого развития (ЦУР) вопросы борьбы с опустыниванием и деградацией земель были явно выделены в Цели 15, которая предполагает «защиту и восстановление экосистем суши, и содействие их рациональному использованию, рациональное лесопользование, борьбу с опустыниванием, прекращение и обращение вспять процесса деградации земель и прекращение процесса утраты биологического разнообразия» (Зонн и др., 2017, «Деградация и опустынивание...», 2019).

После определения терминов, касающихся процессов деградации земель и опустынивания, возникла необходимость в разработке адекватных методов для оценки и картографирования деградации земель, позволяющих сравнивать состояние земель по всему миру. Основной трудностью в оценке состояния земель является отсутствие объективных индикаторов и методов, позволяющих

выявлять причины деградации и способы ее предотвращения («Деградация и опустынивание...», 2019).

Важным аспектом исследования и мониторинга процессов опустынивания и деградации земель является выбор индикаторов, отражающих негативные изменения в ландшафте или явления, свидетельствующие о таких изменениях. Существует множество методологических подходов, каждый из которых включает конкретные показатели и индикаторы состояния земель (UNEP-FAO, 2011). Одним из таких подходов является метод оценки нейтрального баланса деградации земель.

Для оценки достижения цели 15 устойчивого развития ООН (ЦУР), задачи 15.3 – «К 2030 году бороться с опустыниванием, восстанавливать деградированные земли и почвы, в том числе земли, затронутые опустыниванием, засухой и наводнениями, и стремиться к достижению нейтрального баланса деградации земель» (UNCCD, 2016) была разработана методология НБДЗ, позволяющая осуществлять мониторинг деградации земель на глобальном и национальном уровнях. Официальное определение НБДЗ было принято на 12 конференции КБО ООН, согласно которому НБДЗ – это «состояние, при котором количество и качество земельных ресурсов, необходимое для поддержания функций и услуг экосистемы и повышения продовольственной безопасности, остается стабильным или растет в рамках заданных временных и пространственных масштабов и экосистем» (UNCCD, 2015). Согласно данной методологии НБДЗ может быть достигнут в случае прекращения роста площади деградированных земель или в случае, когда количество деградированных земель не увеличивается за счет улучшения такого же количества территории при условии равноценности в качественном отношении деградированных и улучшенных земель. Так, НБДЗ сочетает в себе меры по предупреждению и предотвращению деградации, а также меры по восстановлению уже деградированных земель (Orr et al., 2017).

Главным принципом оценки состояния земель является динамический подход, при котором сравнивается текущее состояние территории с исходным

(базовой линией). Притом базовая линия не является фиксированным периодом времени, а зависит от территориальных условий и текущей ситуации. Наиболее оптимальным на уровне глобальной оценки принято считать период с 2000 по 2015 год (Trends.Earth. Conservation International, 2022), однако использование периода «по умолчанию» имеет определенные ограничения, которые касаются и России (Национальный доклад..., 2019). Эти ограничения могут быть обусловлены не только природными характеристиками региона, но и социально-экономическими факторами (Лобковский и др., 2019).

Для оценки достижения НБДЗ и задачи 15.3 ЦУР был принят индикатор ЦУР 15.3.1, который рассчитывается как доля деградированных земель от общей площади земель. Данный индикатор является интегральным отображением состояния индикаторов более низкого уровня, которые были разработаны КБО ООН для предоставления отчетности о деградации земель в рамках мониторинга деградации. К ним относятся динамика наземного покрова, динамика продуктивности земель, динамика содержания почвенного органического углерода (UNCCD, 2013). Данный набор индикаторов является минимальным набором универсальных индикаторов, которые в сочетании друг с другом содержат в себе достаточно информации для оценки состояния земель (Kust et al., 2017). Для заключения о достижении НБДЗ необходимо, чтобы ни один из представленных индикаторов не ухудшался за заданный период времени, также еще одним преимуществом данного набора индикаторов является то, что они могут быть оценены с помощью дистанционных методов и доступных баз данных. Для возможности сравнения оценки НБДЗ на разных территориях был создан модуль Trends.Earth (Тренды.Земля) (Trends.Earth. Conservation International, 2022), который реализуется на основе ГИС-платформы QuantumGIS. Данный инструмент позволяет рассчитывать глобальные индикаторы с помощью набора спутниковых данных.

Рассмотрим подробнее рекомендованные глобальные индикаторы.

Под наземным покровом (почвенно-растительным покровом) понимается видимый физический слой на поверхности земли, который отображает

распределение различных типов растительности, водных объектов и антропогенных элементов, а также степень использования земельных ресурсов, включая сельское и лесное хозяйство. Существует международная классификация типов наземного покрова, рекомендованная ФАО – Land Cover Classification System. Согласно данной классификации, наземный покров делится на 22 основных класса и 14 дополнительных классов, которые сгруппированы в 6 основных категорий: леса, сельскохозяйственные земли, земли с луговой растительностью, включая территории с кустарниковой растительностью, болота, искусственные территории, прочие земли (табл. 1).

Таблица 1 – Категории и классы наземного покрова (Sims et al., 2017, Куст и др., 2020)

Категории	Описание	Классы
Леса	Географические зоны с преобладающим древесным типом растительности (более 15%), в том числе мозаичные деревья и кустарники, древесная растительность, сезонно или постоянно затопленная пресной водой	Широколиственный вечнозеленые деревья
		Широколиственные листопадные деревья
		Мелколиственные вечнозеленые деревья
		Мелколиственные листопадные деревья
		Деревья с листьями смешанного типа
		Мозаичные деревья и кустарники
		Затопленные пресной водой деревья

Категории	Описание	Классы
Травяниста я раститель- ность	Географические зоны с преобладающими: - кустарниками природного типа; - травянистыми растениями природного типа - территориями со скудной естественной растительностью (покрытие менее 15%)	Мозаичная травянистая растительность, сменяющаяся пахотными угодьями
		Мозаичная травянистая растительность, сменяющаяся деревьями и кустарниками
		Лугопастбищные территории; территории, покрытые кустарниками
		Мох и лишайники
		Скудная растительность
Пахотные угодья	Географические зоны с преобладающими: - однолетними культурами - многолетними насаждениями - смешанные однолетние культуры и многолетние насаждения	Неорошаемые пахотные угодья
		Травянистый покров
		Деревья или кустарники
		Орошаемые или осушаемые пахотные угодья
		Мозаичная пахотные угодья, сменяющаяся естественной растительностью

Категории	Описание	Классы
Болота	Географические зоны с преобладающими: -травянистой или кустарниковой растительностью, постоянно или периодически затопляемая; -мангровые леса;	Древесный покров, затопляемый соленой водой
		Травянистая или кустарниковая растительность, затопляемая пресной или соленой водой
		Водоемы
Искусственные территории	Географические зоны с преобладающими искусственными поверхностями, в т.ч. урбанизированные, городские парки, транспортная инфраструктура, промышленные зоны, свалки, территории добычи ископаемых	Урбанизированные территории
Прочие земли	Географические зоны с преобладающими: -голыми участками земли; -покрытые снегом и ледниками территории	Голые территории
		Территории, постоянно покрытые льдами и снегом

Изменения в наземном покрове являются отражением первых признаков изменения экосистем, а также показателем изменения типа землепользования (Vajocco S. et al., 2012). К тому же, показатели динамики продуктивности наземного покрова и динамики запасов почвенного органического углерода – тесно связаны с наземным покровом и его изменениями (Framework..., 2016).

Изменения в наземном покрове, которые основаны на изменениях классов, могут быть положительными или отрицательными в зависимости от уникальных местных условий.

Продуктивность земель отражает здоровье экосистемы и ее функционирование (Pettorelli et al. 2014). Она выражается через общую надземную чистую первичную продуктивность, которая является отражением скорости накопления биомассы растениями. Динамика продуктивности земель характеризует долгосрочные изменения на территории, что находит свое отражение в скорости роста растений и состоянии растительности.

Наиболее распространённым и доступным способом оценки первичной продуктивности является нормализованный вегетационный индекс (NDVI), который вычисляется при помощи данных дистанционного зондирования. NDVI широко применяется для оценки состояния растительности на разных масштабах исследования таких процессов как опустынивание (Olsson et al. 2005 ; Sternberg et al. 2011; Tucker, Nicholson 1999; Wessels et al. 2004; Symeonakis, Drake 2004, Yengoh et al., 2014), оценка и мониторинг засухи (Anyamba, Tucker 2012; Bandyopadhyay, Saha 2014; Karnieli et al. 2010), воздействие на экосистемы (Liu and Juárez 2001), мониторинг и оценка состояния и изменения наземного покрова и типов землепользования (Achard et al. 2007; Bai et al., 2013; Bradley, Mustard 2008; Zhang et al., 2013; Cook, Pau 2013; Field et al., 1995). Данный индекс наиболее распространён при оценке состояния растительности, так как способ имеет ряд преимуществ. Дистанционные методы помогают получить непрерывные пространственные данные, а также данные временных рядов, которые позволяют оценивать динамику и временные закономерности состояния растительности (Jacquin et al. 2010). Использование индекса NDVI обусловлено

тем, что данный индекс обеспечивает наиболее прямую количественную оценку поглощённого растительностью фотосинтетически активного излучения (ФАР) (Running et al., 2004).

Математически NDVI рассчитывается следующим образом:

$$NDVI = \frac{NIR - Red}{NIR + Red}, \quad (1)$$

где Red - интенсивность отраженного света в красном диапазоне, а NIR – интенсивность отраженного света в инфракрасном диапазоне.

При подсчете динамики продуктивности в модуле Trends.Earth используются данные космических снимков MODIS или AVHRR с разрешением 250 м или 8 км соответственно. Периодичность съемки составляет примерно 14 дней. Так, временные ряды группируются в годовые интегралы NDVI, которые затем применяются для расчета трех показателей динамики продуктивности: «траектория продуктивности» (productivity trajectory degradation), «состояние продуктивности» (productivity state degradation) и «проявление продуктивности» (productivity performance degradation).

«Траектория продуктивности» показывает скорость изменения продуктивности с течением времени. Данный показатель отражает линейную регрессию индекса NDVI в рамках одного пикселя за оцениваемый период времени. При этом не учитываются незначительные изменения (с помощью непараметрического критерий Манна-Кендалла ($p = 0,05$)). Так, положительные тенденции говорят об улучшении состояния земель по данному показателю, а отрицательные – об ухудшении (Sims et al., 2020).

Показатель «состояние продуктивности» позволяет оценить изменение продуктивности земель относительно базовой линии. Период сравнения может определяться местными условиями, но рекомендуется использовать временные периоды, включающие в себя 3 и более лет, во избежание погрешностей, связанных с ежегодными колебаниями. Расчет показателя производится по среднегодовым интегральным значениям NDVI базового и текущего периода в рамках каждого пикселя (Trends.Earth. Conservation International).

Затем значения распределения частот делятся на 10 процентильных классов (от 1 до 10), которые отражают средние показатели для базового и текущего периодов. Затем устанавливается разница между классами для указанных периодов. Если эта разница составляет -2 или менее, пиксель считается потенциально ухудшенным. Если разница равна 2 или больше, пиксель демонстрирует положительную динамику. Пиксели с разницей от -1 до 1 классифицируются как условно стабильные (Sims et al., 2020).

«Проявление продуктивности» отражает локальную продуктивность относительно схожей территории с аналогичными биоклиматическими условиями и типами растительного покрова на всей исследуемой территории. Для определения таких территорий модуль Trends.Earth использует информацию о почвенных единицах системы USD (на базе SoilGrids) и данные о растительном покрове (ESA CCI), уникальное пересечение которых составляют экологически сходные единицы. Для схожих территорий вычисляется среднее значение NDVI. Для каждого пикселя вычисляется среднее значение NDVI и на основе этих данных строится кривая распределения частот. За максимальную продуктивность данного района берется 90-й перцентиль частотного распределения. Для оценки показателя производительности продуктивности сравниваются среднее значение NDVI и вычисленная максимальная производительность. Пиксель принимается за ухудшенный, если среднее значение NDVI ниже максимальной производительности более чем на 50%.

Приведенные выше три показателя интегрируются в общий индикатор динамики продуктивности земель согласно следующим правилам (табл. 2).

Запасы почвенного органического углерода (ПОУ) – это индикатор, который включает в себя все формы углерода, как растворимое органическое вещество, так и общий органический углерод. Значимость запасов органического вещества в почвах неоспорима: оно определяет плодородие почв, гидрофизические свойства почв, микробиологическую активность и другие параметры, важные для нормального функционирования экосистемы в целом (Добровольский, 2002).

Таблица 2 – Оценка индикатора продуктивности земель в соответствии со значениями отдельных показателей

Показатели продуктивности земель			Индикатор динамики продуктивности земель (5 класса)	Итоговый индикатор динамики продуктивности земель (3 класса)
Траектория	Состояние	Проявление		
Улучшение	Улучшение	Стабильность	Улучшение	Улучшение
		Ухудшение		
	Стабильность	Стабильность		
		Ухудшение		
	Ухудшение	Стабильность		
		Ухудшение	Ранние признаки снижения	Ухудшение
Стабильность	Улучшение	Стабильность	Стабильность	Стабильность
		Ухудшение		
	Стабильность	Стабильность		
		Ухудшение	Стабильность, но угнетение	
	Ухудшение	Стабильность	Ранние признаки снижения	
		Ухудшение	Ухудшение	
Ухудшение	Улучшение	Стабильность		Ухудшение
		Ухудшение		
	Стабильность	Стабильность		
		Ухудшение		
	Ухудшение	Стабильность		
		Ухудшение		

Несмотря на важность данного индикатора оценка его динамики в рамках методологии НБДЗ затруднена. Это связано с трудностями оценки содержания ПОУ с помощью дистанционных методов, а наземные методы трудоемки и затратны, особенно для оценки на глобальном уровне. В модуле ТЕ представлен

подход, заключающийся в сочетании показателей наземного покрова (7 классов) и содержания почвенного органического углерода. Для определения содержания почвенного органического углерода используются данные международной базы SoilGrids в верхних 30 см почвенного слоя (разрешение 250 м) (Chotte et al., 2019). Таким образом, изменения в запасах почвенного органического углерода (ПОУ) оказываются связанными с трансформациями наземного покрова с помощью коэффициентов пересчета, полученных из научных публикаций. Эти коэффициенты иллюстрируют, как содержание ПОУ варьируется в зависимости от типа наземного покрова на протяжении 20-летнего периода (Куст и др., 2018). Коэффициенты пересчета представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Коэффициенты пересчета изменения запасов ПОУ при изменении класса наземного покрова

	Леса	Травянистая растительность	Сельскохозяйственные земли	Болота	Искусственные территории	Прочие земли	Водные объекты
Леса	1	1	f^*	1	0,1	0,1	1
Травянистая растительность	1	1	f	1	0,1	0,1	1
Искусственные территории	2	2	2	2	1	1	1
Прочие земли	2	2	2	2	1	1	1
Водные объекты	1	1	1	1	1	1	1

* - коэффициент определяется климатическим регионом: умеренно сухой ($f=0,80$), умеренно влажный ($f=0,69$), тропический сухой ($f=0,58$), тропический влажный ($f=0,48$), тропический горный ($f=0,64$).

Если после пересчета, разница между текущим периодом и базовым составляет более 10%, то данные территории считаются деградированными, если происходит увеличение содержания ПОУ на 10% и более, то территория считается улучшенной по данному показателю.

Для более точной оценки состояния земель концепция НБДЗ допускает использование дополнительных (региональных) индикаторов, которые необходимы в случае недостаточности глобальных индикаторов. Таким образом, для оценки деградации, вызванной различными факторами, вводятся дополнительные индикаторы. К таким индикаторам относятся эрозия почвы, засоление и осолонцевание, а также химическое или радиоактивное загрязнение, ухудшение физических и биологических характеристик почвы и другие (Лобковский и др., 2022). Региональные индикаторы могут быть получены из различных источников, таких как национальная статистика, данные дистанционного зондирования Земли разного масштаба, наземные исследования, информация от землепользователей и отражать качественные показатели состояния земель и риски их деградации.

Индикатор ЦУР 15.3.1 объединяет все ранее упомянутые глобальные и региональные индикаторы, следуя принципу «всеобъемлющего охвата». Это означает, что, если хотя бы один из индикаторов на определенной территории ухудшается в течение установленного времени, данная территория признается деградированной. В таблице 4 представлена более подробная схема интерпретации индикатора ЦУР 15.3.1 при интеграции глобальных индикаторов.

Необходимо отметить, что характерной чертой концепции НБДЗ является возможность сравнения в рамках единых подходов разных территорий, сравнение которых между собой ранее было затруднено (Куст и др., 2018).

Таблица – 4 Интеграция глобальных индикаторов в индикатор ЦУР 15.3.1
(Trends.Earth. Conservation International, 2018)

Продуктивность	Наземный покров	ПОУ	ЦУР 15.3.1
Улучшение	Улучшение	Улучшение	Улучшение
		Стабильность	
		Ухудшение	
	Стабильность	Улучшение	
		Стабильность	
		Ухудшение	
	Ухудшение	Улучшение	Ухудшение
		Стабильность	
		Ухудшение	
Стабильность	Улучшение	Улучшение	Улучшение
		Стабильность	Ухудшение
		Ухудшение	
	Стабильность	Улучшение	Улучшение
		Стабильность	Стабильность
		Ухудшение	Ухудшение
	Ухудшение	Улучшение	
		Стабильность	
		Ухудшение	
Ухудшение	Улучшение	Улучшение	Ухудшение
		Стабильность	
		Ухудшение	
	Стабильность	Улучшение	
		Стабильность	
		Ухудшение	
	Ухудшение	Улучшение	
		Стабильность	
		Ухудшение	

ГЛАВА 2. ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

2.1 Характеристика объектов исследования

Исследование проводилось на трех масштабных уровнях: уровень хозяйства, муниципального района и области. В рамках исследования были изучены Самарская область, Похвистневский район области и территория Агроинновационного центра «Орловка» (рис.1).

2.1.1. Самарская область

Самарская область находится в юго-восточной части европейской территории России и входит в состав Приволжского федерального округа и занимает территорию равную 53,6 тысячам км², что по данным управления Федеральной службы государственной регистрации, кадастра и картографии по Самарской области составляет 0,31% от всей территории России («Доклад...», 2019).

Климат. Климат области умеренно-континентальный. Этот климат относится к категории Dfb – теплый влажный континентальный климат по классификации Кеппен-Гейгера (Peel et al., 2007). Для области характерны теплая и малоснежная зима с отдельными холодными периодами, короткие весна и осень, жаркое сухое лето. Более шести месяцев преобладают антициклоны. В холодное время года преобладают пасмурные дни, а летом – малооблачные и ясные. Средняя температура воздуха в июле варьируется от 19°C на северо-востоке до 22°C на юго-западе. В январе среднемесячные температуры колеблются от -13°C на западе до -15°C на юго-востоке. Абсолютные максимумы температуры могут достигать +40°C, а минимумы — падать до -43°C. Суммарное количество активных температур выше 10°C на севере региона составляет 2600, в то время как на юге этот показатель колеблется от 3000 до 3600. Длительность вегетационного периода составляет от 130 до 150 дней (Переведенцев и др., 2021).

Данная местность характеризуется как засушливая, причем уровень засушливости увеличивается с севера на юг, и количество осадков значительно колеблется из года в год. Наибольшее количество осадков наблюдается на северо-востоке (примерно 580 мм в год), тогда как на юго-востоке этот показатель составляет около 360 мм. Около 70% всех атмосферных осадков выпадает с апреля по октябрь, причем пик приходится на июнь и июль. Относительная влажность воздуха составляет примерно 70% (Переведенцев и др., 2013).

На территории области ветры интенсивные, преимущественно южного направления. Средняя годовая скорость ветра составляет 3,2 – 4,4 м/с.

Для Самарской области (особенно южной ее части) характерно периодическое проявление засух и суховеев, это связано с близостью среднеазиатский полупустынь.

Рельеф и поверхностные отложения. Самарская область расположена на юго-восточной части Восточно-Европейской равнины. В целом, рельеф региона преимущественно равнинный, за исключением отдельных участков с холмистым ландшафтом, таких как Жигулевские горы и Бугульминско-Белебеевская возвышенность. Река Волга делит область на левую и правую стороны. Левобережье включает в себя низменную территорию на юго-западе (Низменное Заволжье) и возвышенную волнистую равнину, которая на севере запада пересечена оврагами. Правобережье области занимает Приволжская возвышенность, представленная сильно расчлененными оврагами и балками платообразными участками (Сенатор, 2015).

Территория Самарской области расположена на восточной части Восточно-Европейской платформы. Осадочный чехол сложен карбонатными, гипсоносными и соленосными породами. Четвертичные отложения представлены элювиальными, делювиальными и аллювиальными отложениями, а также лёссами (Самарский статистический ежегодник, 2019).

Растительность. Территорию Самарской области можно разделить на три природно-климатические зоны: лесостепная, степная и сухостепная зоны,

сменяющие друг друга с севера на юг. Лесостепная зона представлена широколиственными (иногда хвойными) лесами, расположенными на водоразделах и луговой степью. Преобладающими породами являются дуб *Quercus robur* L., липа *Tilia cordata* Mill., осина *Populus tremula* L., береза *Betula pendula* Roth., сосна *Pinus sylvestris* L. В кустарниковом подлеске — лещина *Corylus avellana* L., бересклет бородавчатый *Euonymus verrucosus* Scop., жимолость *Lonicera tatarica* L. и др. (Захаров, Горелов, 1995).

При продвижении на юг количество лесов уменьшается, степная растительность становится более редкой и скудной. Луговая степь сильно изменена сельскохозяйственной деятельностью. К незначительным территориям луговых степей, на которых не ведется сельскохозяйственная деятельность, относятся балки, склон балок и луга, находящиеся на территории заповедников. На данных территориях преобладает лугово-степное разнотравье в сочетании с типчаком и ковылями, представленное такими видами как адонис весенний *Adonis vernalis*, углостебельник высокий *Goniolimon elatum* (Fisch. ex Spreng.) Boiss., шалфей мутовчатый *Salvia verticillata* L., подмаренник настоящий *Galium verum* L., якобея эруколистная *Jacobaea erucifolia* (L.), душица обыкновенная *Origanum vulgare* L., марьянник полевой *Melampyrum arvense* L., полынь австрийская *Artemisia austriaca* Jacq., василёк шероховатый *Centaurea scabiosa* L. и др. (Шаронова, Курочкин, 2015).

Сухостепная зона также претерпела большое сельскохозяйственное воздействие. Территории используются как для распашки, так и в качестве пастбищ. Аборигенная растительность представлена бедно-разнотравно-ковыльно-типчаковыми степями в сочетании со злаково-разнотравными лугами.

Почвы. Черноземы (включая выщелоченные, типичные, обыкновенные и южные) являются наиболее распространёнными и занимают около 97% пахотных земель региона. На севере области встречаются дерново-подзолистые и серые лесные почвы, в то время как на юге преобладают темно-каштановые и солонцы. Главные почвообразующие породы включают элювиальные отложения известняка, глин, гипса и песчаников (Васильева и др. 2011).

Почвы Самарской области отличаются относительно большими запасами гумуса (от 80-270 т/га в метровом слое в серых лесных почвах до 800-900 т/га в черноземах типичных). Большинство почв имеет глинистый и тяжелосуглинистый состав. На почвы среднесуглинистого, легкого и песчаного механического состава приходится не более 20% (Абакумов, Гагарина, 2011). Почти все почвы региона характеризуются нейтральной реакцией почвенного раствора (Обущенко, Гнеденко, 2015).

Хозяйственное использование. В связи с благоприятными агроэкологическими свойствами территории Самарская область является аграрным регионом. В структуре земельного фонда земли сельскохозяйственного назначения составляют 76%, 10% земли лесного фонда, 7% земли населенных пунктов, 3% земли водного фонда, 3% земли особо охраняемых природных территорий, 1% земли промышленности, транспорта и иного специального назначения.

На более чем половине площади пашни выращиваются зерновые (озимая пшеница, яровая пшеница, рожь, ячмень, овес, просо, гречиха). Вторые по распространению - технические культуры, подсолнечник, картофель, овощи. Животноводство представлено разведением крупного рогатого скота мясомолочного направления, свиноводством, птицеводством.

В связи с активным использованием земель в сельском хозяйстве, почвы Самарской области подвержены деградиционным процессам. Наиболее распространен процесс эрозии и дефляции (в южной части области). На территории области проявляются такие процессы деградации земель как дегумификация почв, засоление, переуплотнение подпахотного горизонта, зарастание сельскохозяйственных угодий древесно-кустарниковой растительностью, загрязнение земель вдоль дорог и близ промышленных объектов. Так, по данным ФГБУ САС "Самарская" сократились площади почв с высоким и средним содержанием гумуса, в то время как увеличилось количество слабогумусированных почв за период 1987 по 2013 год (Обущенко, Гнеденко,

2015). Данные процессы ведут к снижению плодородия земель и продуктивности угодий.

2.1.2. Похвистневский район

Похвистневский район расположен на северо-востоке Самарской области. Площадь района составляет 2 104 км².

Климат. Климат района континентальный, с дефицитом влаги. Количество осадков снижается с севера на юг, варьируясь от 420 мм до 371 мм. Среднегодовая температура воздуха составляет +3,5°C. Температура самого теплого месяца (июль) достигает +19,4°C, в то время как самого холодного месяца (январь) – -15,3°C. Вегетационный период длится 142 дня. С весны до осени преобладают северо-западные ветра, а в остальное время года – южные и юго-западные (Атлас земель..., 2002).

Рельеф. Похвистневский район расположен в северо-восточной части Самарской области, которая в свою очередь относится к Высокому Заволжью. Рельеф района представлен холмисто-увалистой равниной, глубоко расчлененная реками, балками и оврагами. Плоско-выпуклые увалы и сырты являются основными формами рельефа. Также распространены такие формы рельефа как хорошо разработанные и широкие долины рек и балок (Соловьева, 2021).

Река Большой Кинель делит территорию области на две части – северную (большую) и южную (маленькую). В северной части располагаются Кинельские горы, представляющие собой волнистую равнину, расчлененную реками. Западные склоны более крутые и расчлененные с возможными выступающими на поверхности почвообразующими породами, в то время как восточные более пологие и длинные. В южной части района расположен водораздел рек Большой и Малый Кинель, который в свою очередь разделен рекой Большой Толкай, которых характеризуется южной и северной ориентацией склонов, где северные пологие и длинные, а южные – крутые и короткие (Атлас земель..., 2002).

Растительность. Район располагается на границе двух зон: южной части лесостепной зоны (севернее р. Б. Кинель) и северной части степной зоны (южнее р. Б. Кинель). Леса представлены суходолами и пойменными лесами. К древесному ярусу суходолов относятся: дуб *Quercus robur* L., осина *Populus tremula* L., липа *Tilia cordata* Mill., клен *Acer platanoides* L., береза *Betula pendula* Roth. Кустарники представлены бересклетом *Euonymus verrucosus* Scop. и рябиной *Sorbus aucuparia* L. Травянистый покров состоит преимущественно из ландыша *Convallaria majalis* L, хмеля *Humulus lupulus* L., щитовника *Dryopteris filix-mas* (L.) Schott, сныти *Aegopodium podagraria* L. и купены лекарственной *Polygonatum odoratum* (Mill.) Druce. Пойменные леса состоят из дубовых, вязовых и реже - осиновых пород. В подлеске произрастают крушина *Frangula alnus* Mill, бересклет *Euonymus verrucosus* Scop. и шиповник *Rosa cinnamomea* L. и др.

В речных поймах располагаются разнотравно-злаковые луга, травостой которых представлен лисохвостом *Alopecurus pratensis* L., мятликом узколиственным *Poa angustifolia* L., овсяницей красной *Festuca rubra* L., полынью горькой *Artemisia absinthium* L., донником лекарственным *Melilotus officinalis* (L.) Pall, чередой *Bidens frondosa* L., зверобоем *Hypericum perforatum* L., клевером средним *Trifolium medium* L., василистником вонючим *Thalictrum foetidum*, мелколепестником подольским *Erigeron podolicus* Besser, одуванчиком лекарственным *Taraxacum officinale* F.H. Wigg. s.l. (Иванова и др., 2021).

Почвы. Основными почвообразующими породами района являются четвертичные делювиальные отложения и элювий коренных пород, таких как мергель и известняк. Наиболее распространенным типом почв является чернозем подтипов выщелоченного и типичного, занимающие более половины площади района. Они находятся на пологих склонах водоразделов, формируясь на желтовато-бурых покровных глинах и суглинках. На втором месте по распространенности находятся остаточо-карбонатные черноземы, которые могут иметь каменистую или щебнистую структуру и располагаются на плотных известково-мергелевых породах. Эти почвы встречаются на водораздельных

плато, а также на крутых и коротких склонах. В поймах рек можно найти пойменные черноземовидные слоисто-зернистые почвы пород (Абакумов и др., 2009).

Также на территории района присутствуют серые лесные почвы, черноземы оподзоленные, а также террасовые черноземы, лугово-черноземные почвы, солонец лугово-степной, комплексы пойменной зернистой карбонатной почвы, смытые и намытые почвы оврагов и балок и обнажения пород (Абакумов и др., 2009).

Хозяйственное использование. На долю пашни приходится около 50%. Поля района заняты такими культурами как яровая пшеница, озимая рожь, просо, ячмень, кукуруза (на силос), гречиха. Пастбищами занято 15,25% площади района. Они расположены вдоль балок и оврагов и на крутых склонах. В поймах рек располагаются сенокосы. Они составляют менее 1% от общей площади района. Выращивание многолетних насаждений не распространено в районе и на его долю приходится не более 0,1% от общей площади района.

2.1.3. Агроинновационный центр «Орловка»

Агроинновационный центр (АИЦ) «Орловка» расположен в северной части Похвистневского района Самарской области. Общая площадь хозяйства - 39,9 км².

Климат на территории агрохозяйства относится к теплому влажному континентальному климату, согласно классификации, Кеппен Гейгера – Dfb (Pell et al., 2007). Для него характерны теплая и малоснежная зима, жаркое лето с недостаточным увлажнением и короткие межсезонья (Переведенцев и др., 2021). Среднемесячная температура июля колеблется от 17,8 °С до 25,4 °С, а января – от -3,5 °С до -19,4 °С в период с 2000 до 2020 года. Среднегодовое количество осадков за тот же период составляет 457 мм, где в самые засушливые годы выпадает не более 350 мм (Атлас земель..., 2002).

Рельеф. Хозяйство расположено вдоль русел рек Аманак и Муракла. Часть полей хозяйства расположены на склонах речных долин. Южная часть полей

хозяйства находится на пониженных территориях, преимущественно это пойма реки Большой Кинель.

Растительность. Хозяйство находится в лесостепной зоне. К территории полей хозяйства прилегают лесные территории. На водоразделах произрастают широколиственные леса, представленные преимущественно кленово-липовыми дубравами, где произрастают дуб *Quercus robur* L., осина *Populus tremula* L., липа *Tilia cordata* Mill., береза *Betula pendula* Roth, клен *Acer negundo* L и *Acer platanoides* L. Кустарниковый ярус представлен бересклетом *Euonymus verrucosus* Scop., рябиной *Sorbus aucuparia* L., травянистая растительность - ландышем *Convallaria majalis* L, хмелем *Humulus lupulus* L., щитовником *Dryopteris filix-mas* (L.) Schott и др. (Шаронова, Курочкин, 2015).

Травянистый покров представлен лесным разнотравьем: сныть *Aegopodium podagraria* L., ландыш *Convallaria majalis* L., купена лекарственная *Polygonatum odoratum* (Mill.) Druce, фиалка *Viola tanaitica*, земляника *Fragaria vesca* L., душица обыкновенная *Origanum vulgare* L., колокольчики *Campanula bononiensis* L., звездчатка *Stellaria holostea* L. и др.

Почвенный покров представлен преимущественно черноземными почвами. По данным агрохимической службы, в хозяйстве наибольшую территорию занимают автоморфные черноземы выщелоченные и типичные мощные тяжелосуглинистые (41,0% от площади хозяйства. Также автоморфные почвы представлены черноземами остаточного карбонатными слабощелочистыми (10,7%). На низменных участках, расположенных рядом с поймой, встречаются полугидроморфные лугово-черноземные и луговые почвы с средней мощностью, состоящие из тяжелосуглинистых (16,6%), слабогидроморфных черноземно-луговых (5,2%) и сильногидроморфных влажно-луговых (1,4%) типов. Рельеф определяет наличие эродированных территорий в хозяйстве: черноземы выщелоченные и черноземы типичные слабосмытые занимают 9,3% площадь хозяйства, а черноземы выщелоченные и черноземы типичные среднесмытые – 5,5% (рис. 2). Отдельными участками отмечаются сильносмытые почвы, а также овраги и балки (Троц и др. 2023).

Карта структур почвенного покрова
ООО "Орловка-АИЦ" Самарской области

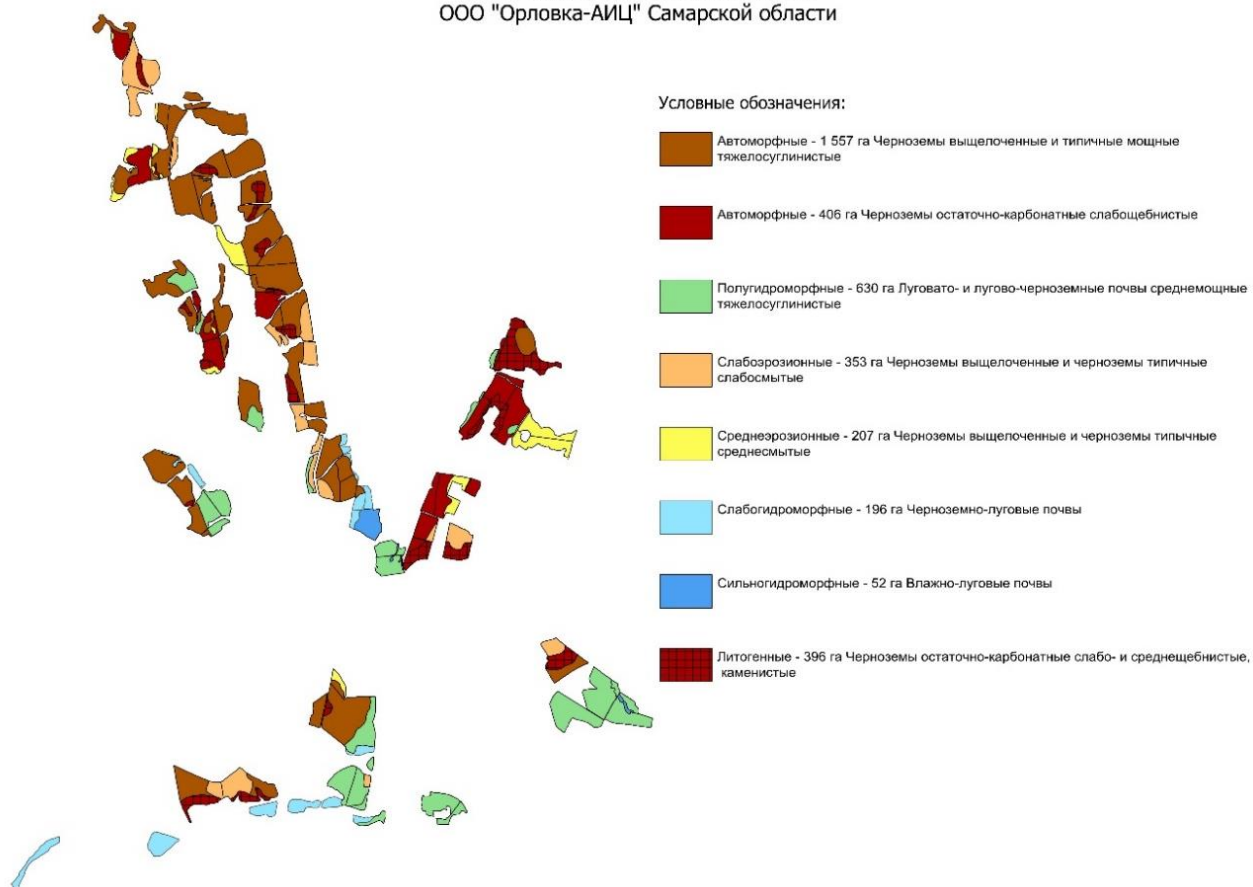


Рисунок 2 – Почвенный покров АИЦ «Орловка»

Хозяйственное использование. На территории хозяйства выращивается твердая пшеница, соя, подсолнечник, сорго, ячмень. Стоит отметить, что севооборот в хозяйстве претерпевал значительные изменения пока не был подобран оптимальный набор культур в последние годы.

С 2013 года хозяйство постепенно начало переходить на практики устойчивого землепользования и почвозащитные системы земледелия. Вводятся практики использования бактериально-грибковых препаратов, точного посева, no-till, строгого соблюдения мер химической защиты семян и растений, внедрения основных минеральных удобрений и микроэлементов, высева покровных культур.

2.2 Методы исследования

В этом исследовании для анализа состояния и деградации земель применялись методы оценки ущерба от деградации, методика действий и бездействий Й. фон Брауна, а также методика нейтрального баланса деградации земель.

2.2.1. Оценка ущерба/вреда от деградации почв и земель

«Методика определения размеров ущерба от деградации почв и земель» (1994) использована для оценки ущерба от деградации земель на всех исследуемых уровнях. Хотя формально данная методика считается устаревшей, она все еще сохраняет свою значимость в научных исследованиях. Ее основное преимущество по сравнению с другими методами, описанными в первой главе, заключается в способности оценивать деградацию почв и земель по множеству показателей. Эти показатели, такие как агроистощение, эрозия и дегумификация, особенно актуальны для сельскохозяйственных земель, чего не могут предоставить другие методики. В настоящее время существует ряд работ, посвященных оценке с помощью данной методики, подтверждающие ее актуальность (Макаров и др., 2016, 2017, 2020, 2021а, 2021б, 2022; Крючков, 2022, Чекин 2024, Куделин, 2024, Беляева и др., 2022; Гагарин, Репотецкая, 2008; Самбуу и др., 2022; Бадмаев, 2016).

Расчеты были выполнены в соответствии с формулой (2), представленной в главе 1.

Для оценки деградации почв в пределах агрохозяйств и муниципальных районов были отобраны следующие параметры: динамика содержания обменного калия, подвижного фосфора, гумуса и уровня кислотности почв. Однако при анализе деградации земель в масштабах всей Самарской области показатель изменения кислотности почв не учитывался из-за недостатка достоверных данных. Данные агрохимических показателей на уровне хозяйства данные агрохимических показателей для каждого поля были получены при анализе архивов Агро-инновационного центра «Орловка». Информация для

оценки ущерба, причиненного деградацией почв и земель на уровне муниципального района и области, была получена от Федерального государственного учреждения «Станция агрохимической службы «Самарская». Данные касаются среднего содержания подвижных форм калия и фосфора (по методике Чирикова) за 2020 год, а также содержания гумуса за 2021 год и кислотности почв за 2019 год. Все материалы были предоставлены по нашему запросу.

Для определения степени деградации земель по указанным показателям использовались пятибалльные шкалы, разработанные в соответствии с Методическими рекомендациями... (1994) – таблица 5.

Таблица 5 – Степени деградации почв и земель по агрохимическим показателям («Методика определения размеров ущерба от деградации почв и земель», 1994)

Показатель	Степень деградации				
	0	1	2	3	4
Уменьшение содержания гумуса, % от эталонной почвы	<10	11-20	21-40	41-80	>80
Уменьшение содержания подвижного фосфора, % от обеспеченности эталонной почвы	<10	11-20	21-40	41-80	>80
Уменьшение содержания подвижного калия, % от обеспеченности эталонной почвы	<10	11-20	21-40	41-80	>80
Изменение степени кислотности (рН сол.), % от степени кислотности эталонной почвы	<10	11-15	16-20	21-25	>25

В качестве эталонных почв (недеградированных аналогов) были использованы модели высокоплодородных почв, характерные для исследуемой области, согласно монографии «Оценка почв» (Савич и др., 2003). Модель выщелоченного чернозема была использована для определения степеней деградации чернозема выщелоченного и типичного, а модель южного чернозема – для обыкновенного и южного чернозема. Для Самарской области степени деградации были выделены для каждого муниципального района, по преобладающему подтипу почв, на уровне Похвистневского района и АИЦ «Орловка» была использована модель чернозема выщелоченного.

2.2.2. Экономика деградации земель

В работе использовалась упрощенная методика Й. фон Брауна, которая подразумевает смену типа наземного покрова (продуктивность территории снижается из-за деградации, что приводит к смене более продуктивного типа наземного покрова на менее продуктивный наземный покров). Данная методика широко используется при оценке экономики деградации земель на территории России и в регионах с большой долей аграрных территорий (Макаров и др., 2020; Строков и др., 2022; Макаров и др., 2023)

Согласно данной методике, были рассчитаны стоимости бездействия по формуле 4 и действия по формуле 5, которые были рассмотрены в главе 1.

Параметры для расчета стоимостей бездействия и действия были адаптированы для российских реалий, основываясь на опыте ряда авторов (Строков и др., 2022). Параметры и их адаптации представлены в таблице 6.

Все показатели, согласно методике, рассчитывались за 5-летний период (с 2015 по 2020 год) с учетом инфляции.

Ставка дисконтирования принята равной 1,10 (по нижней границе, указанной в обзоре Семенюк (2023)).

Было рассмотрено два горизонта планирования: краткосрочный – 6 лет, долгосрочный – 20 лет.

Таблица 6 – Параметры для расчёта стоимостей действия и бездействия и их альтернативные показатели.

Параметр	Альтернативный показатель
z_i - стоимость восстановления высокоценного растительного покрова i	размер ущерба от деградации земель, подсчитанный с помощью «Методики ...» (1994)
x_i - стоимость ухода за растительным покровом i	затраты текущего землепользования (принимается, что затраты на использование низко продуктивных и высокопродуктивных территорий равны)
$x_j^* p_j$ - значение упущенной выгоды от использования низкоценного растительного покрова j при его замещении.	выручка от текущего землепользования

2.2.3. Методология Нейтрального баланса деградации земель

НБДЗ был оценен на трех уровнях исследования: области, района, агрохозяйства. Для каждого уровня были применены индивидуальные подходы к оценке НБДЗ, но алгоритм исследования был одинаков для всех объектов исследования: подсчет глобальных индикаторов с помощью ГИС-модуля Trends.Earth, проверка полученных данных на адекватность, корректировка полученных данных при необходимости с помощью дистанционных методов или фондовых данных, разработка региональных индикаторов, подсчет региональных индикаторов, подсчет индикатора ЦУР 15.3.1 и подсчет индекса НБДЗ для оценки его достижения.

Оценка НБДЗ исследуемых объектов была произведена для сельскохозяйственных территорий. Значения «глобальных» индикаторов рассчитывались с помощью модуля Trends.Earth (Trends.Earth. Conservation

International, 2022). Период оценки составлял 15 лет (согласно рекомендациям КБО ООН) с 2005 по 2020 года для всех трех уровней исследования (области, района, хозяйства). Данный период обусловлен также периодичностью агрохимических обследований, данные которых были взяты нами в качестве региональных индикаторов для оценки НБДЗ.

Наземный покров определялся на момент 2005 и 2020 год в терминах 6 объединенных категорий (леса, травянистая растительность, сельскохозяйственные земли, болота, искусственные территории, прочие земли). Характер изменения наземного покрова характеризовался как отрицательный или положительный в зависимости от матрицы переходов одной категории земель в другие, используемой для анализа изменений в наземном покрове используется матрица «по умолчанию», которая рекомендована в основной методологии Trends.Earth и представлена в таблице 7 (Kussul et al., 2017).

Продуктивность земель, рассчитывалась на основе ежегодных снимков MODIS в модуле Trends.Earth. Были рассчитаны все показатели продуктивности: состояние продуктивности, траектория продуктивности и проявление продуктивности.

Запасы почвенного органического углерода рассчитывались с помощью модуля Trends.Earth для умеренно сухой зоны ($f=0,80$) на всех трех уровнях исследования за период 2005-2020 гг.

Поскольку данная методология является глобальной и унифицированной, необходимо учитывать местные условия и масштаб исследования, для более точной и корректной оценки деградации. В связи с этим была проведена оценка полученных данных на корректность с помощью дистанционных данных высокого и сверхвысокого разрешения, фондовых материалов и наземных исследований. При недостаточно корректном отражении состояния земель были подобраны альтернативные показатели. Также методология НБДЗ предполагает использование региональных индикаторов, которые также рассчитываются на основе фондовых и дистанционных материалов. В таблице 8 представлены типы

использованных нами данных и их источники для разных масштабных уровней исследования.

Таблица 7 – Характер переходов наземного покрова между категориями (красный, «-» - негативные изменения, зеленый, «+» - положительные изменения, «0» - нейтральные изменения) (Kussul et al., 2017).

		Наземный покров в конце оцениваемого периода					
Наземный покров в начале оцениваемого периода		Лесопокр ытые территор ии	Травянис тые сообщест ва	Пахотны е угодья	Водно- болота угодья	Искусств енные поверхно сти	Другие земли
	Лесопокр ытые территор ии	0	-	-	-	-	-
	Травянис тые сообщест ва	+	0	+	-	-	-
	Пахотные угодья	+	-	0	-	-	-
	Водно- болота угодья	-	-	-	0	-	-
	Искусств енные поверхно сти	+	+	+	+	0	-
	Другие земли	+	+	+	+	-	0

Таблица 8 – Данные и их источники для корректировки глобальных индикаторов и расчета региональных индикаторов.

Индикатор	Самарская область	Похвистневский район	АИЦ «Орловка»
Динамика ПОУ - Изменения средневзвешенного содержания гумуса в 30-см слое	Данные агрохимической службы для каждого муниципального района отдельно (2003 и 2021 года)	Данные агрохимической службы (2003 и 2021 года)	Расчет баланса углерода с помощью калькулятора Ех-Аст*
Изменение содержания доступных форм калия и фосфора	Данные агрохимической службы для каждого муниципального района отдельно (2003 и 2020 года)	Данные агрохимической службы (2003 и 2020 года)	-
Динамика урожайности	Официальная статистика по урожайности зерновых и зернобобовых с 2005 по 2020 год	Официальная статистика по урожайности зерновых и зернобобовых с 2005 по 2020 год	Сопоставление средней урожайности по культуре в рамках всего хозяйства 2013 года с урожайностью конкретного поля в 2018 году**.

Индикатор	Самарская область	Похвистневский район	АИЦ «Орловка»
Эрозия	Карта крутизны склонов по данным SRTM	Карта крутизны склонов по данным SRTM	Визуальное дешифрирование снимков Landsat за 2005, 2006, 2007 и 2018, 2019, 2020 года.

**При расчетах баланса углерода за состояние без технологии было принято традиционное ведение сельского хозяйства, включающее в себя распашку полей. Измененная технология хозяйства включает в себя использование технологии no-till, частичное орошение культур (500 га из 2500 га), оставление пожнивных остатков на полях, использование азотных удобрений и увеличенного по сравнению с традиционным хозяйством количества гербицидов.*

***Территории по данному показателю делились на 3 класса: улучшенные, стабильные и ухудшенные. За улучшенные принимались поля, урожайность которых выросла более чем на 1ц/га, стабильными – изменения которых происходили в пределах одного ц/га и ухудшенными – урожайность уменьшилась более чем на 1 ц/га.*

Индикатор ЦУР 15.3.1 получается в результате интеграции всех индикаторов. Если хотя бы один из индикаторов НБДЗ свидетельствует о негативных изменениях на территории за заданный период, это указывает на деградацию данной территории. Следовательно, принцип «всеобъемлющего охвата» подразумевает, что исключение одного индикатора автоматически влечет за собой исключение всех остальных (Trends.Earth. Conservation International, 2022).

Оценка достижения нейтрального баланса деградации земель осуществлялась с помощью индекса НБДЗ (%) (Лобковский и др. 2022), который представляет собой разность улучшенных и деградированных территорий. Если индекс НБДЗ больше нуля, то нейтральный баланс на территории достигнут, и не достигнут, если индекс НБДЗ меньше нуля.

Оценка НБДЗ осуществлялась в данном исследовании с помощью трех методик: базовой (оценка с помощью глобальных индикаторов, рассчитанных

помощью модуля Trends.Earth с настройками, соответствующими местным условиям), модифицированной (оценка с помощью глобальных индикаторов, рассчитанных с помощью модуля Trends.Earth или с помощью дополнительных источников данных) и адаптированной (оценка с помощью глобальных индикаторов, рассчитанных с помощью модуля Trends.Earth или с помощью дополнительных источников данных и региональных индикаторов).

ГЛАВА 3. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

3.1. Оценка ущерба/вреда от деградации почв и земель¹

Для оценки степеней деградации с использованием данных агрохимической службы были выделены классы степеней деградации для выщелоченного, обыкновенного, типичного и южного чернозема в соответствии со значениями показателей эталонных почв (табл. 9 и табл. 10).

Таблица 9 – Диапазоны значений показателей свойств выщелоченных и типичных черноземов, которые были выделены в соответствии с различным степеням деградации

Показатель	Степень деградации				
	0	1	2	3	4
Содержание гумуса, %	>6,0	4,1-6,0	-*	2,0-4,0	<2,0
Содержание подвижного фосфора, мг/кг	>150	101-150	51-100	20-50	<20
Содержание подвижного калия, мг/кг	>180	121-180	81-120	40-80	<40
pH солевой	>5,58	5,27-5,58	4,96-5,27	4,56- 4,95	<4,56

**- в представленных агрохимической службой Самарской области диапазонах данных отсутствует возможность выделения данной степени деградации по изучаемому показателю, поскольку нет четкого соответствия между классами степени обеспеченности (по данным агрохимической службы) и степенями деградации (выделенными согласно Методике (1994) относительно заданного эталона).*

¹ Подробные результаты этой главы представлены в публикациях автора:

1. Беляева М. В., Макаров О. А., Абдулханова Д. Р. Оценка ущерба от деградации почв и земель Самарской области на уровне региона, муниципального района и агрохозяйства // Земледелие. — 2022. — № 8. — С. 3–7. DOI: 10.24412/0044-3913-2022-8-3-7. – IF РИНЦ 2021: 1,337;
2. Макаров О. А., Абдулханова, Д. Р., Карпова, Д. В., Красильникова, В. С., Марахова, Н. А., Крючков, Н. Р., Чекин М. Р., Беляева М. В., Балджиев А.С. Оценка ущерба от деградации почв и земель на трех иерархических уровнях административно-хозяйственного устройства Российской Федерации: субъектов, муниципальных образований и агрохозяйств // Вестник Московского университета. Серия 17: Почвоведение. — 2023. — Т. 78, № 2. — С. 86–93. DOI: 10.55959/MSU0137-0944-17-2023-78-2-86-93 – IF РИНЦ 2021: 0,463. [Makarov O.A., Abdulkhanova D.R., Karpova D.V., Krasilnikova V.S., Marakhova N.A., Kryuchkov N.R., Chekin M.R., Belyaeva M.V., Baldjiev A.S. Assessment of damage from soil and land degradation at three hierarchical levels of the administrative and economic structure of the russian federation: Subjects, municipalities, and agricultural farms // Moscow University Soil Science Bulletin. — 2023. — Vol. 78, № 2. — P. 149–155. DOI: 10.3103/S0147687423020072 – SJR: 0,18]

Таблица 10 – Диапазоны значений показателей свойств обыкновенных и южных черноземов, которые были выделены в соответствии с различным степеням деградации

Показатель	Степень деградации				
	0	1	2	3	4
Содержание гумуса, %	>4,1	-	2,0-4,0	-	<2,0
Содержание подвижного фосфора, мг/кг	>151	-	101-150	20-100	<20
Содержание подвижного калия, мг/кг	>180	121-180	81-120	40-80	<40

Для этого использовали такие показатели как: изменение содержания гумуса, доступных форм калия и фосфора, изменение кислотности почв для уровня хозяйства и района. Поскольку в данных, представленных агрохимической службой по степеням обеспеченности почв элементами минерального питания растений, нет полного соответствия со степенями деградации, выделить каждую степень деградации отдельно не представляется возможным.

При подсчете ущерба для Самарской области в целом был рассчитан ущерб для каждого муниципального района области отдельно. За доход (Дх) принималась выручка отдельного района от реализации продукта по данным министерства сельского хозяйства Самарской области за 2015 год, пересчитанная с учетом инфляции на 2020 год. При том, нормативная стоимость земель, выраженная через кадастровую стоимость сельскохозяйственных угодий для каждого района различна. При определении степеней деградации использовался принцип преобладающего подтипа почв на территории каждого муниципального района (согласно таблицам 9 и 10). Данные по кадастровой стоимости и преобладающей почве представлены в таблице 11.

Таблица 11 – Кадастровая стоимость сельскохозяйственных угодий и преобладающий подтип почв муниципальных районов Самарской области

Район	Средняя кадастровая стоимость, сельскохозяйственных угодий, входящих в состав земель сельскохозяйственного назначения, руб./га	Выручка от реализации продукции растениеводства в пересчете на единицу посевов*, руб./га	Преобладающий подтип чернозема
Алексеевский	15 800	8802	Южный
Безенчукский	23 200	32383	Обыкновенный
Богатовский	31 800	13195	Типичный
Большеглушицкий	16 300	16544	Южный
Большечерниговский	16 000	13297	Южный
Борский	19 700	9973	Обыкновенный
Волжский	21 300	11662	Обыкновенный
Елховский	30 900	12780	Выщелоченный
Исаклинский	38 000	6799	Типичный
Камышлинский	27 700	8263	Выщелоченный
Кинельский	27 700	15976	Типичный
Кинель-Черкасский	42 300	12518	Обыкновенный
Клявлинский	28 100	7861	Типичный
Кошкинский	35 600	19443	Выщелоченный

Район	Средняя кадастровая стоимость, сельскохозяйственных угодий, входящих в состав земель сельскохозяйственного назначения, руб./га	Выручка от реализации продукции растениеводства в пересчете на единицу посевов*, руб./га	Преобладающий подтип чернозема
Красноармейский	16 600	13043	Южный
Красноярский	33 800	11760	Выщелоченный
Нефтегорский	21 200	7364	Обыкновенный
Пестравский	15 000	16680	Южный
Похвистневский	30 300	9302	Выщелоченный
Приволжский	23 900	17280	Обыкновенный
Сергиевский	28 500	13783	Типичный
Ставропольский	30 300	21584	Выщелоченный
Сызранский	25 500	16286	Выщелоченный
Хворостянский	17 700	12083	Южный
Челно-Вершинский	33 900	6226	Выщелоченный
Шенталинский	43 300	3469	Выщелоченный
Шигонский	22 500	13632	Выщелоченный

**в пересчете на 2020 год*

На уровне Похвистневского района была использована модель выщелоченного чернозема (Савич, 2003) как преобладающего подтипа почв. За нормативную стоимость земель была принята кадастровая стоимость сельскохозяйственных угодий, входящих в состав земель сельскохозяйственного назначения района, которая составила 30,3 тыс. руб./га. В качестве доходов от

растениеводческой деятельности в районе была принята выручка от реализации продукции растениеводства в пересчете на единицу посевов Похвистневского района, которая составляет 9 302 руб./га. Степени деградации были определены для всего района в целом, что определялось характером данных, полученных от агрохимической службы.

Для АИЦ Орловка в качестве эталона была использована модель высокого плодородия чернозёма выщелоченного (Савич, 2003), поскольку данные почвы занимают наибольшую территорию в хозяйстве. Степени деградации были определены на уровне каждого поля. За нормативную стоимость была принята средняя кадастровая стоимость всех территории хозяйства, которая составила 14 500 руб./га. Ежегодный доход (Дх) АИЦ за период 5 лет (с 2015 по 2020 гг.) составил 19 440 руб./га с учетом инфляции.

3.1.1 Оценка ущерба/вреда для Самарской области в целом

Рассмотрим распространение степеней деградации по основным показателям агроистощения, определенным на основе данных агрохимической службы согласно таблицам 9 и 10. По показателю содержания гумуса преобладают земли со степенями деградации 0 (недеградированные), которые занимают площадь 1003,1 тыс. га, и степенью деградации 1, с площадью 666,8 тыс. га. Преобладание на территории почв со степенью деградации 0 и 1 говорит о достаточно благополучном состоянии области по данному показателю (рис. 3, а). По показателю обменного калия преобладают территории со степенями деградации 0 и 1: на недеградированные территории приходится 875,5 тыс. га, а территории с 1-ой степенью деградации - 1091, 2 тыс. га (рис. 3, в). По показателю доступного фосфора преобладают деградированные территории: так, на недеградированные почвы и земли приходится лишь 70,9 тыс. га, а на почвы и земли с 3-й и 4-й степенями деградации в сумме - 831,5 тыс. га (рис. 3, б).

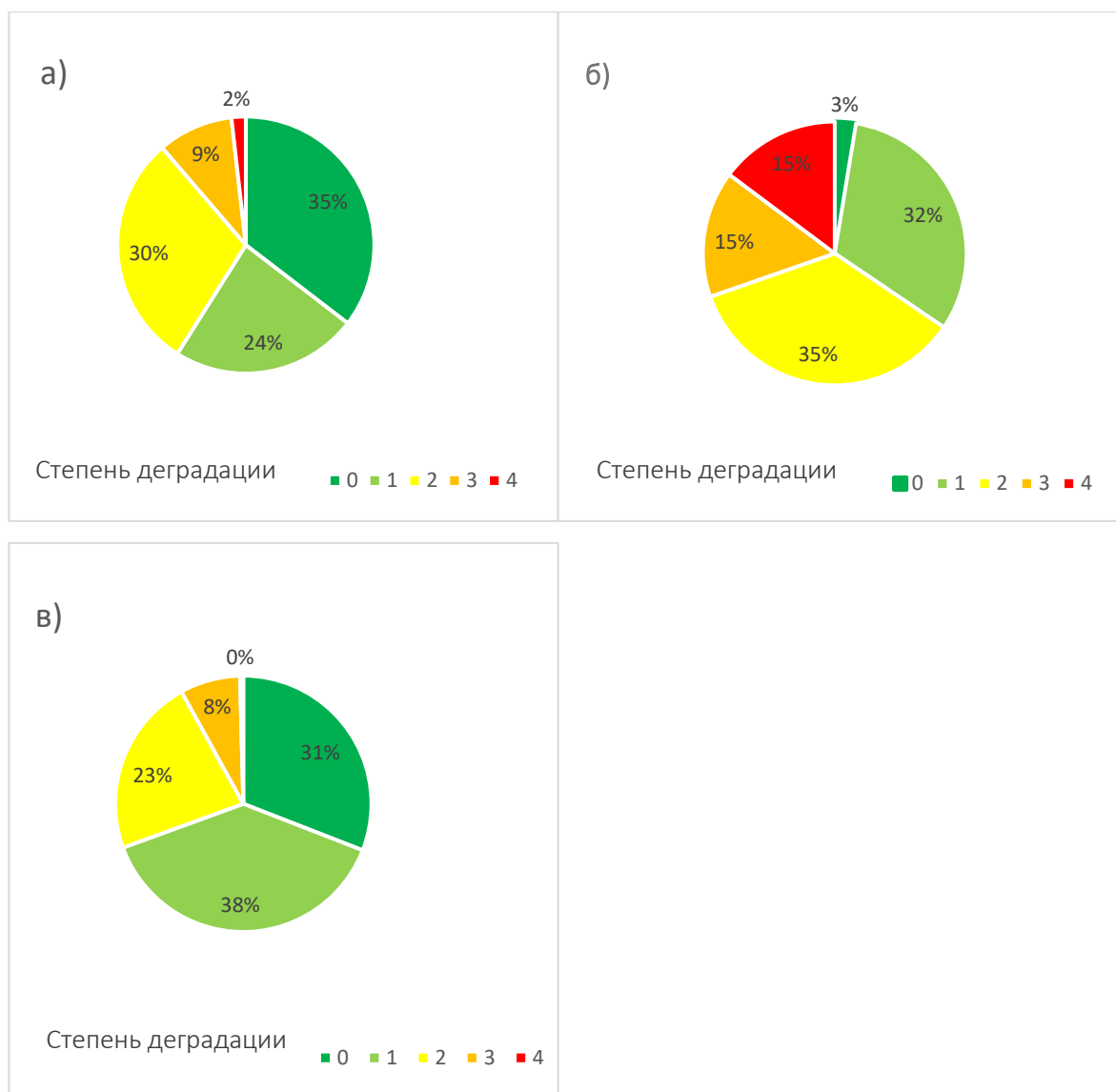


Рисунок 3 – Распределение площадей почв и земель различной степени деградации в Самарской области по следующим показателям: а) содержание гумуса, б) содержание подвижного фосфора, в) содержание обменного калия.

С целью вычисления ущерба, вызванного ухудшением состояния почв и земель Самарской области, был проведен расчет ущерба для каждого муниципального района по отдельности. Общая величина ущерба от деградации всей области равняется сумме ущерба всех муниципальных районов. (табл. 12). Также был рассчитан удельный ущерб – размер ущерба на деградированной площади почв и земель (которые имеют не нулевую степень деградации).

Таблица 12. Ущерб от деградации почв и земель муниципальных районов Самарской области

Район	Ущерб, млн. руб.	Удельный ущерб, руб./ га
Алексеевский район	6882	24095
Безенчукский район	6280	50385
Богатовский район	3806	34694
Большеглушицкий район	7860	32578
Большечерниговский район	15021	28304
Борский район	4302	29729
Волжский район	4586	39912
Елховский район	8389	40311
Исаклинский район	6898	37369
Камышлинский район	2684	30466
Кинельский район	9138	35445
Кинель-Черкасский район	11517	56261
Клявлинский район	4715	33180
Кошкинский район	10901	41927
Красноармейский район	9312	28945
Красноярский район	8151	33736
Нефтегорский район	6047	27751
Пестравский район	6647	27343
Похвистневский район	4409	22807
Приволжский район	6311	40510
Сергиевский район	9157	31179
Ставропольский район	14022	45000
Сызранский район	5601	34150
Хворостянский район	9389	31081
Челно-Вершинский район	2480	26000

Район	Ущерб, млн. руб.	Удельный ущерб, руб./ га
Шенталинский район	4598	32360
Шигонский район	6750	31220
Самарская область	195853	33473

По результатам оценки видно, что удельный ущерб имеет большой разброс значений между муниципальными районами. Самый большой удельный ущерб от деградации почв и земель приходится на Безенчукский и Кинель-Черкасский муниципальные районы (50 385 руб./га и 56 261 руб./га соответственно). Большой удельный ущерб относительно других районов области для Безенчукского района связан с высокой выручкой от растениеводства (соответственно большее количество денег потеряно от деградации земель). Для Кинель-Черкасского района большой ущерб объясняется большим количеством деградированных земель и высокой кадастровой стоимостью сельскохозяйственных земель относительно средней по области (4,2 руб./м² против 2,66 руб./м² по области).

Минимальный ущерб в регионе наблюдается в Похвистневском (22 807 руб./га) и Алексеевском (24 095 руб./га) районах (рис. 4). Важно подчеркнуть, что небольшой ущерб, вызванный деградацией почв и земель в Алексеевском районе, обусловлен в основном низким уровнем доходов от сельскохозяйственной деятельности, а не тем, что в этом районе отсутствуют процессы деградации.

Общий ущерб от деградации почв и земель для Самарской области в целом составил 195 853 000 тыс. руб., или 33 473 руб./га.

Зависимости между размером ущерба и доминирующим типом почв не прослеживается. Таким образом, можно предположить, что величину ущерба от деградации почв и земель определяет в большей степени уровень агротехники и эффективность землепользования.

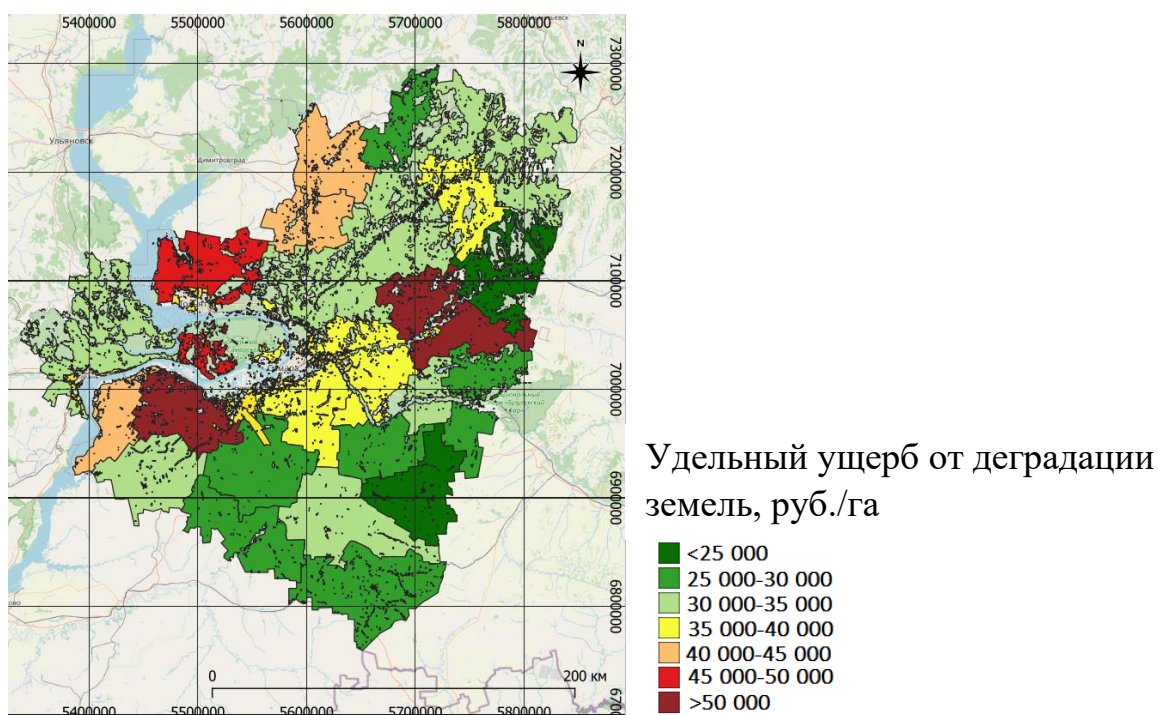


Рисунок 4 – Распределение удельного ущерба (руб./га) муниципальных районов Самарской области

3.1.2 Оценка ущерба/вреда для Похвистневского муниципального района

В таблице 13 приведены данные о распределении уровней деградации почв в Похвистневском районе, оцененных по четырем основным критериям: содержание гумуса, доступные формы фосфора и калия, а также изменение уровня кислотности.

Таблица 13 – Распределение степеней деградации почв и земель в Похвистневском районе относительно эталона, % от общей площади.

Показатель	0 степень	1 степень	2 степень	3 степень	4 степень
Уменьшение содержание гумуса в почвах	19,5	71	-	9	-
Уменьшение содержания подвижного фосфора в почвах	19	47	31,5	2,5	-

Показатель	0 степень	1 степень	2 степень	3 степень	4 степень
Уменьшение содержания обменного калия в почвах	47	46	6	0,5	-
Изменение кислотности почв (рН солевой)	87,25	11,25	-	1,5	-

Согласно таблице 13 на территории Похвистневского района не было выявлено деградированных почв и земель 4 (максимальной) степени деградации. При оценке распространения деградированных почв и земель, что может указывать на отсутствие чрезвычайно сильной деградации по исследуемым показателям.

Общий ущерб от деградации почв и земель на территории Похвистневского района составил 5 649 723 960 руб. или 24 922 руб./га. Стоит отметить, что удельный ущерб от деградации почв и земель в Похвистневском районе несколько ниже, чем удельный ущерб Самарской области в целом. В главе 3.1.1. был рассчитан ущерб Похвистневского района на основе 3 показателей агроистощения (без показателя изменения кислотности), при сравнении с которым можно отметить, что при введении 4 показателя – изменение кислотности, величина удельного ущерба увеличивается незначительно около 2000 руб./га.

3.1.3 Оценка ущерба/вреда АИЦ «Орловка»

При оценке степени деградации почв относительно недеградированного эталона согласно таблице 3.1.1 были получены следующие данные: наименее деградированной территория хозяйства оказалась по показателю изменения степени кислотности (рН солевой), а именно 97% территории недеградированы (0-ая степень деградации), 3% приходится на земли с 1-й и 2-й степенями деградации. По показателям уменьшения содержания гумуса и обменного калия больше половины территорий приходится на недеградированные почвы и земли

(нулевая степень деградации), 82% и 66% соответственно. Почвы, находящиеся на территории данного хозяйства, характеризуются наибольшей степенью деградации по уровню снижения подвижных форм фосфора (к недеградированным относится только 25% территории, а остальные приходятся на 2-ю и 3-ю степень деградации).

Общий ущерб от деградации почв и земель на территории агроинновационного центра «Орловка» составил 149 299 439 руб. или 29 962 руб./га. При этом, показатель уменьшения подвижного фосфора внес наибольший вклад в размер ущерба (63% от общей суммы ущерба) (табл. 14).

Стоит отметить, что удельный ущерб АИЦ «Орловка» выше, чем ущерб Похвистневского района. При этом размер ущерба вырастает в большей степени не за счет развития деградационных процессов, а за счет высокой выручки от растениеводческой деятельности хозяйства.

Таблица 14 – Размер ущерба от деградации почв и земель на территории Агро-инновационного центра «Орловка» (Самарская область, Похвистневский район)

Показатель	Уменьшение содержания гумуса	Уменьшение содержания подвижного фосфора	Уменьшение содержания подвижного калия	Изменение степени кислотности (рН сол.)
Ущерб по отдельным показателям, руб.	34 130 850	93 292 986	18 762 658	3 112 945
Суммарный ущерб, руб.	149 299 439			
Удельный ущерб, руб./га	29 962			

Стоит отметить, что на всех трех уровнях исследования уменьшение содержания подвижного фосфора является наиболее значимым фактором в оценке размеров ущерба от деградации почв и земель. Также стоит отметить, что при оценке ущерба увеличение дохода от растениеводства при прочих равных (особенно степени развития деградации почв) приводит к увеличению размера ущерба, что при сравнении двух ущербов может приводить к неверным выводам относительно проявления деградации на сравниваемых территориях, как вышло с ущербами Похвистневского района и АИЦ «Орловка». При сравнении ущерба на уровне района и на уровне хозяйства можно сделать вывод, что землепользование АИЦ Орловка не эффективно по сравнению со средним по району. Но доходы на территории хозяйства и района различаются более чем в два раза (9 302 руб./га на уровне района и 19 449 руб./га на уровне хозяйства), что может говорить о том, что не смотря на условно равную степень деградации земель по району, агротехнологии, применяемые в хозяйстве, позволяют получать высокий доход от продукции растениеводства.

3.2 Оценка деградации земель с использованием методологии «Экономика деградации земель»²

3.2.1 Оценка действия/бездействия для Самарской области

Параметры, требуемые для вычисления стоимости действия и бездействия приведены в таблице 15.

² Подробные результаты этой главы представлены в публикациях автора:

1. Беляева М.В., Строков А. С., Макаров О.А., Кубарев Е.Н. Оценка «действия/бездействия» на трех иерархических уровнях организации Самарской области: регион в целом, муниципальный район и агрохозяйство // *Агрохимический вестник*. — 2023. — № 2. — С. 24–27. DOI: 10.24412/1029-2551-2023-2-004 — IF РИНЦ 2021: 0,699;
2. Макаров О.А., Строков А.С., Кузнецов М.С., Абдулханова Д.Р., Беляева М.В. Пути усовершенствования методологии экономики деградации земель // *Использование и охрана природных ресурсов в России*. — 2023. — № 2. — С. 74–79. — IF РИНЦ 2021: 0,260.
3. Экономика деградации земель и продовольственная безопасность регионов России / Под редакцией О.А. Макарова / Макаров О.А., Абдулханова Д.Р., Балджиев А.С., Беляева М.В., Карпова Д.В., Красильникова В.С., Крючков Н.Р., Марахова Н.А., Строков А.С., Цветнов Е.В., Цветнова О.Б., Чекин М.Р., Черкасова О.В. — Москва: ООО МАКС Пресс, 2022. — 320 с. DOI: 10.29003/m3113.978-5-317-06906-3 (26 п.л./0,2 п.л.)

Таблица 15 – Показатели для расчета действия/бездействия в Самарской области

Показатели	Переменная	Самарская область
Выручка дорогой (восстановленной) земли, руб./га	$z_i + x_i$	40 647 Р
Ставка дисконтирования	p	1,1
Затраты на восстановление от ущерба (разовый), руб./га	z_i	33 138 Р
Затраты на ежегодный уход за восстановленной землей, руб./га	x_i	12 165 Р
Выручка от фактического (текущего) типа землепользования, руб./га	$p_j * x_j$	13 046 Р
Соотношение выручки дорогой земли к выручке дешевой земли	-	3,12

Для краткосрочного периода соотношение бездействия к действию, больше единицы, что говорит о том, что применение мер по восстановлению деградированных земель нерентабельно при рассмотрении краткосрочного периода и не окупится для области в целом в течении 6 лет. Но при рассмотрении 20-летнего периода соотношение бездействия к действию становится больше единицы и мероприятия по восстановлению деградированных земель представляются окупаемыми (табл. 16). Причина рентабельности восстановления земель связана с низкой продуктивностью земель и как следствие с низкой прибылью от их использования. При осуществлении необходимых мероприятий по восстановлению деградированных земель (в рамках сценария действий) ожидается, что прибыль от использования этих земель возрастет в 3,12 раза, что позволит окупить инвестиции в восстановление в течение 20 лет.

Таблица 16. Соотношение бездействия к действию для Самарской области в краткосрочный и долгосрочный периоды

Показатель	6-летний период	20-летний период
Стоимость действия, руб./га	125 881 Р	218 875 Р
Стоимость бездействия, руб./га	120 208 Р	234 979 Р
Соотношение бездействия к действию	0,95	1,07

3.2.2 Оценка действия/бездействия для Похвистневского района

Параметры необходимые для расчета стоимостей действия и бездействия представлены в таблице 17.

Таблица 17 – Показатели для расчета действия/бездействия в Похвистневском районе

Показатели	Переменная	Похвистневский район
Выручка дорогой (восстановленной) земли, руб./га	$z_i + x_i$	36 848 Р
Ставка дисконтирования	p	1,1
Затраты на восстановление от ущерба (разовый), руб./га	z_i	24 922 Р
Затраты на ежегодный уход за восстановленной землей, руб./га	x_i	14 848 Р
Выручка от фактического (текущего типа землепользования), руб./га	$p_j * x_j$	9 302 Р
Соотношение выручки дорогой земли к выручке дешевой земли	-	3,96

Как для долгосрочного, так и для краткосрочного периодов восстановление деградированных территорий в Похвистневском районе экономически выгодно. Это связано, как и в случае всей Самарской области (при оценке долгосрочного периода), с низкой продуктивностью земель при текущем землепользовании. Прибыль от использования таких земель в текущем режиме составляет 9 302 руб./га. В случае реализации проекта по восстановлению деградированных земель выручка от землепользования увеличится в 3,96 раза (табл. 18).

Таблица 18 – Соотношение действия/бездействия для Похвистневского района в краткосрочный и долгосрочный периоды

Показатель	6-летний период	20-летний период
Стоимость действия, руб./га	117 601	208 878
Стоимость бездействия, руб./га	119 972	234 518
Соотношение бездействия к действию	1,02	1,12

3.2.3 Оценка действия/бездействия для АИЦ «Орловка»

Показали, используемые для расчета стоимостей действия и бездействия по методике Й. фон Брауна представлены в таблице 19.

Таблица 19 – Показатели для расчета действия/бездействия в АИЦ «Орловка»

Показатели	Переменная	АИЦ «Орловка»
Выручка дорогой (восстановленной) земли, руб./га	$z_i + x_i$	46 131

Показатели	Переменная	АИЦ «Орловка»
Ставка дисконтирования	p	1,1
Затраты на восстановление от ущерба (разовый), руб./га	z_i	29 962
Затраты на ежегодный уход за восстановленной землей, руб./га	x_i	24 513
Выручка от фактического (текущего типа землепользования), руб./га	$p_j * x_j$	19 440
Соотношение выручки дорогой земли к выручке дешевой земли	-	1,17

Расчет действия/бездействия в краткосрочном и долгосрочном планировании показал, что для агрохозяйства «Орловка» нерентабельно восстановление деградированных земель, поскольку данный показатель составляет <1 (табл. 20).

Таблица 20 – Соотношение действия/бездействия для АИЦ «Орловка» в краткосрочный и долгосрочный периоды

Показатель	6-летний период	20-летний период
Стоимость действия, руб./га	203 631	377 414
Стоимость бездействия, руб./га	116 246	227 236
Соотношение бездействия к действию	0,57	0,60

Экономическая нецелесообразность связана с достаточно низкой стоимостью бездействия, которая является следствием высокой стоимости «деградированной» земли. Высокая стоимость «деградированной» земли в свою очередь объясняется высокой продуктивностью текущего землепользования

хозяйства, которая благодаря рациональному и высокотехнологичному подходу к ведению землепользования обеспечивает высокую урожайность и как следствие высокую выручку от реализации продукции.

Стоит отметить, что несмотря на относительно сопоставимые размеры ущерба от деградации земель на всех трех уровнях исследования, рентабельность восстановления деградированных земель в достаточной мере разнится в зависимости от уровня исследования. Для понимания причин значительной разницы рентабельности восстановления была применена методика НБДЗ, поскольку она позволяет оценить динамику состояния земель.

3.3. Оценка достижимости нейтрального баланса деградации земель³

3.3.1. Корректировка и адаптация глобальных индикаторов НБДЗ согласно местным условиям

Наземный покров. Применение стандартной матрицы переходов типов наземного покрова, предложенной в ГИС-модуле Trends.Earth, не соответствует специфике местных условий. Например, согласно подходам по умолчанию, переход из класса сельскохозяйственных земель в леса является положительным процессом, но для Самарской области явление зарастания полей является деградационным процессом, вывод сельскохозяйственных земель из эксплуатации препятствует использованию земель по прямому назначению (Цветнов и др., 2016; Семочкин и др., 2020; Арзамасцева и др., 2022). Данная матрица была скорректирована, как рекомендуют другие авторы (Kust et al., 2022) для точного отражения характера изменения наземного (табл. 21).

³ Подробные результаты этой главы представлены в публикациях автора:

1. Беляева М.В., Куст Г.С., Андреева О.В. Оценка нейтрального баланса деградации земель Самарской области с помощью глобальных и региональных индикаторов // Вестник Московского университета. Серия 17: Почвоведение. — 2023. — Т. 78, № №3, 2023. — С. 16–27. DOI: 10.55959/msu0137-0944-17-2023-78-3-16-27. – IF РИНЦ 2022: 0,463;
2. Экономика деградации земель и продовольственная безопасность регионов России / Под редакцией О.А. Макарова / Макаров О.А., Абдулханова Д.Р., Балджиев А.С., Беляева М.В., Карпова Д.В., Красильникова В.С., Крючков Н.Р., Марахова Н.А., Строков А.С., Цветнов Е.В., Цветнова О.Б., Чекин М.Р., Черкасова О.В. — Москва: ООО МАКС Пресс, 2022. — 320 с. DOI: 10.29003/m3113.978-5-317-06906-3

Таблица 21 – Характер переходов наземного покрова между классами (красный, «-» - негативные изменения, зеленый, «+» - положительные изменения, «0» - нейтральные изменения)

		Наземный покров в конце оцениваемого периода					
Наземный покров в начале оцениваемого периода		Лесопокрытые территории	Травянистые сообщества	Пахотные угодья	Водно-болотные угодья	Искусственные поверхности	Другие земли
	Лесопокрытые территории	0	-	-	-	-	-
	Травянистые сообщества	+	0	+	-	-	-
	Пахотные угодья		-	0	-	-	-
	Водно-болотные угодья	-	-	-	0	-	-
	Искусственные поверхности	+	+	+	+	0	-
	Другие земли	+	+	+	+	-	0

**штриховкой обозначен переход типов наземного покрова, который был изменен в соответствии с местными условиями*

После корректировки матрицы переход пахотных угодий в лесопокрытые территории в условиях Самарской области становится отрицательным (деградационным), при этом в матрице переходов классов наземного покрова «по умолчанию» такой переход является положительным. Данная корректировка

применима как для оценки всей Самарской области, так и для Похвистневского района (территория агрохозяйства является стабильной, переходов между классами земельного покрова отсутствует).

Продуктивность земель. Для оценки динамики продуктивности были использованы все три параметра, по которым оценивается этот индикатор с применением данных дистанционного зондирования: «траектория продуктивности», «состояние продуктивности», «проявление продуктивности». Оценка параметра «состояние продуктивности» основана на сравнении двух средних значений продуктивности двух периодов: начального и конечного. На рисунке 5 (а) показано, какие временные интервалы берутся для оценки начального и текущего периода «по умолчанию». Так, по умолчанию за начальный период принимаются первые 12 лет всего оцениваемого 15-летнего периода, а текущий период составляет три последние года. Поскольку ряд исследований (Хвостиков, Барталев, 2018; Терехин, 2015) отмечают, что разные сельскохозяйственные культуры имеют разные индексы NDVI, это осложняет оценку динамики одного поля по данному индексу при применении практики севооборотов. Таким образом, велика вероятность ошибки в оценке сравниваемых периодов за счет «короткого» текущего периода, который может выпадать на выращивание культур с более низким NDVI относительно культур, выращиваемых в предыдущие годы.

Для снижения погрешности в оценке динамики NDVI, границы текущего периода были расширены до наиболее распространенных практик севооборотов в Самарской области – 8-полной (Вороников и др., 2009). Следовательно, за начальный период был взят временной интервал 2005-2012 гг., а за текущий период 2013-2020 гг. (рис. 5, б). «Траектория продуктивности» и «проявление продуктивности» рассчитывались с 2005 по 2020 год.

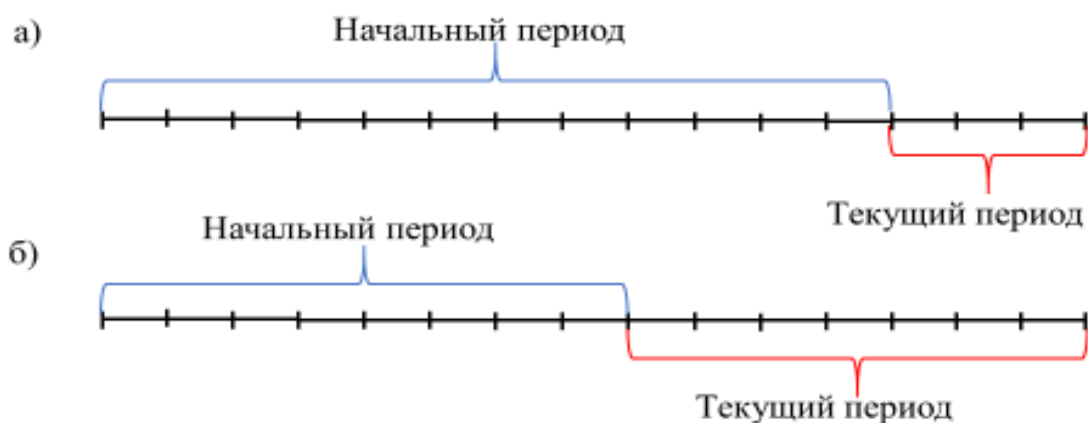


Рисунок 5 – Начальный и текущий периоды а) «по умолчанию» б) с учетом местных условий

3.3.2 Оценка нейтрального баланса деградации земель Самарской области

3.3.2.1 Расчет с использованием глобальных индикаторов по материалам международных баз данных «по умолчанию», их критическая оценка и модификация.

Наземный покров. Результаты расчета значений индикатора динамики наземного покрова показали, что в Самарской области в целом сложились благоприятные условия для сельского хозяйства, так как 79,88% территории занимают сельскохозяйственные земли, равномерно распределенные по всей области. Лесные угодья занимают 13,24% и располагаются в поймах рек и на водоразделах. Болотные угодья составляют 0,66% от площади региона и расположены в поймах реки Волги. Травянистые сообщества (луга и залежи) занимают 1,57%, обычно это территории, непригодные для ведения сельского хозяйства, расположенные на склонах балок и оврагов (рис. 6).

Если сопоставить данные, полученные с помощью модуля Trends.Earth с данными национальной статистики (данные Росстата), то можно заметить, что нет полного соответствия категорий наземного покрова. Для возможности сопоставления данных в нашей работе угодья по данным официальной статистики были приведены к классам наземного покрова модуля Trends.Earth согласно таблице 22.

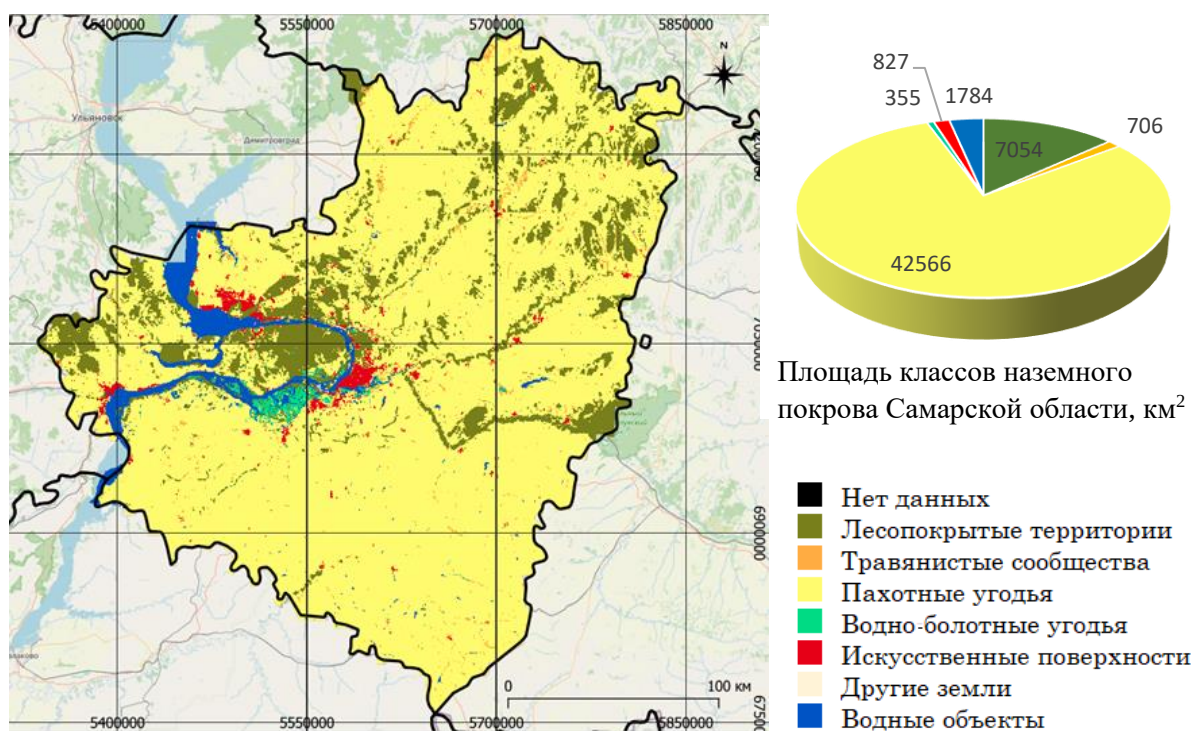


Рисунок 6 – Состояние наземного покрова на 2020 год по данным модуля Trends.Earth

Таблица 22 – Сопоставление земельных угодий с категориями наземного покрова

Земельные угодья (Росстат)	Классы наземного покрова (Trends.Earth)
Пашня	Пашня
Многолетние насаждения (сады)	
Залежь	Травянистые сообщества
Пастбища	
Сенокосы	
Лесные земли	Лесопокрываемые территории
Лесные не входящие в лесной фонд	
Болота	Водно-болотные угодья
Под водой	Водные объекты
Земли застройки	Искусственные поверхности
Под дорогами	

Согласно полученным данным, можно сказать, что нет полного соответствия между данными национальной статистики и данными, полученными с помощью дистанционных методов (рис. 7). Наибольшее расхождение данных наблюдается для пахотных угодий (12 770 км²) и для травянистых сообществ (9 471 км²). Данное расхождение связано затруднением определения с помощью модуля Trends.Earth залежей при данном масштабе, что вносит определенную погрешность и несостыковку с данными национальной статистики.

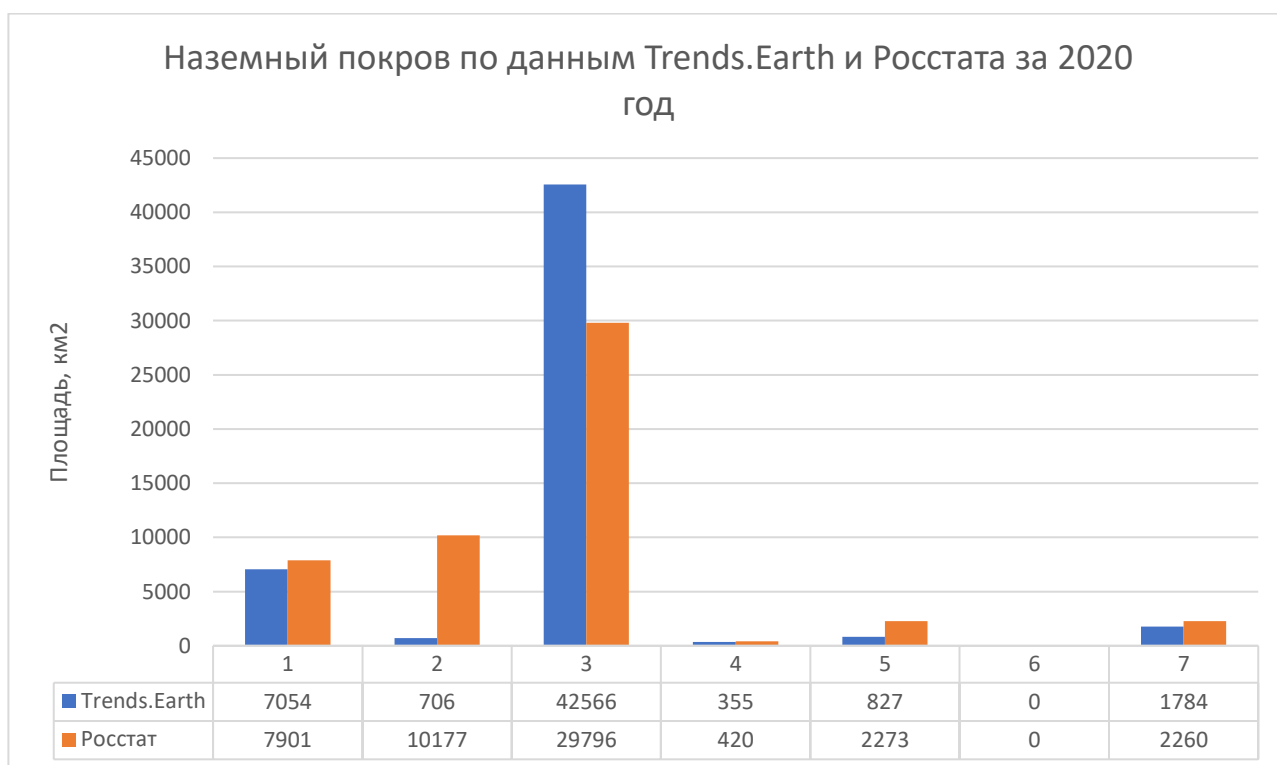


Рисунок 7 – Сравнение состава наземного покрова по данным национальной статистики и данным, полученным с помощью дистанционных методов в модуле Trends.Earth: 1 – *лесопокрытые территории*, 2 – *травянистые территории*, 3 – *пахотные угодья*, 4 – *водно-болотные угодья*, 5 – *искусственные поверхности*, 6 – *другие земли*, 7 – *водные объекты*.

Анализ динамики наземного покрова Самарской области в период с 2005 по 2020 год показывает следующие результаты по взаимным переходам одних типов наземного покрова в другие (табл. 23).

Таблица 23 – Сравнение динамики наземного покрова по данным Trends.Earth и национальной статистики

	Национальная статистика, км²	Модуль Trends.Earth, км²
Лесопокрытые территории	+51	+70
Травянистые сообщества	+35	–1,41
Пашня	-186	–170,48
Водно-болотные угодья	-6	1,02

Анализируя динамику наземного покрова Самарской области, можно сказать, что территория в целом остается стабильной. Следует отметить, что положительные изменения наблюдаются на 0,28% территории области, в то время как отрицательные изменения отмечаются на 0,69% данной территории. К основным негативным процессам, согласно модифицированной матрице переходов классов наземного покрова, описанной в главе 3.1.1, является зарастание пашни малоценными древесными породами, занимающее 218,53 км² и являющееся негативным изменением, а также расширение промышленных и городских территорий застройки, занимающее 100,31 км².

К положительному изменению относится процесс введения в сельскохозяйственный оборот (распашка) ранее заросших территорий, который характерен для территории в 134,55 км². Данный процесс является обратным процессу зарастания, описанному выше. Стоит отметить, зарастающих территорий больше, чем территорий, введенных в сельскохозяйственную эксплуатацию (разница между ними составляет 83,98 км²).

Если сравнить изменения наземного покрова по данным модуля Trends.Earth с изменениями наземного покрова по данным Росреестра за период 2005 по 2020 год, то данные сопоставимы друг с другом (табл. 23).

Таким образом, закономерности изменения наземного покрова соответствуют двум вышеупомянутым источникам данных за исключением направления изменения травянистых сообществ и водно-болотных угодий.

Исходя из схожести полученных данных с официальной статистикой можно сделать вывод о возможности использования данных о наземном покрове и его изменениях на уровне области в целом.

Оценка других индикаторов проводится в отношении сельскохозяйственных земель, границы которых были получены согласно маске пахотных угодий при расчете наземного покрова в модуле Trends.Earth.

Продуктивность. Анализ глобального индикатора динамики продуктивности земель показал, что на территории области преобладают стабильные территории (35 802 км²). Положительные изменения продуктивности отмечаются на 1 382 км², а отрицательные - на 5 433 км². Из территорий с отрицательной динамикой продуктивности наиболее распространены территории с ухудшенной продуктивностью и умеренно-ухудшенной продуктивностью, 3 560 км² и 1 879 км², соответственно. Угнетенные территории занимают менее одного процента общей площади области (рис. 8).

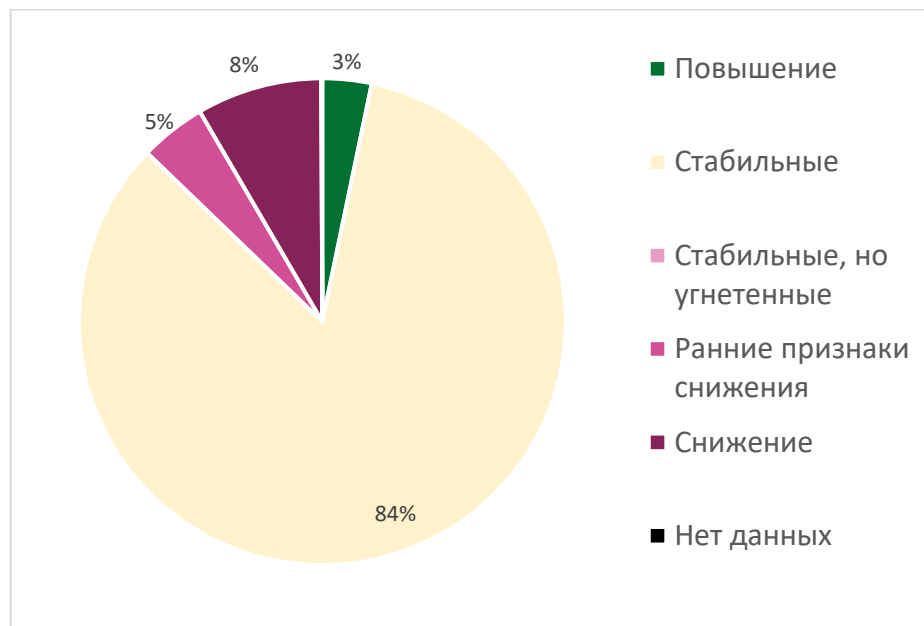


Рисунок 8 – Динамика продуктивности сельскохозяйственных земель Самарской области за период 2005–2020 гг.

При анализе пространственного распределения улучшенных и деградированных территорий по показателю динамики продуктивности, были получены следующие результаты. Деградированные территории преобладают на

северо-востоке области. Улучшенные же территории наиболее распространены на западе области (рис. 9).

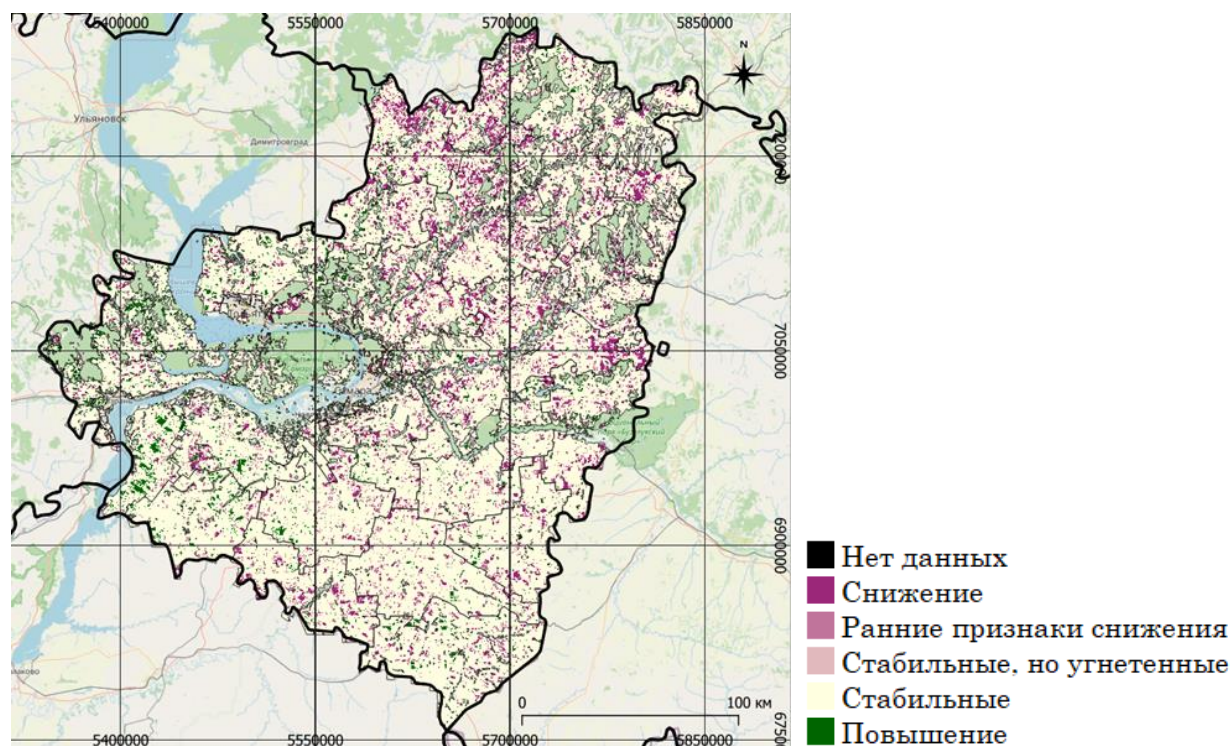


Рисунок 9 – Динамика продуктивности сельскохозяйственных земель Самарской области за период 2005–2020 гг.

С помощью визуального дешифрирования космических снимков сверхвысокого разрешения были выявлены причины повышения или снижения продуктивности. Так, снижение продуктивности характерно для территорий, на которых протекают эрозийные процессы. Повышение продуктивности земель приурочено к введению орошения на полях (преимущественно на севере области), высадке многолетних насаждений на бывших залежах и зарастанием пахотных территорий кустарниковой растительностью (в восточной и центральной части области) (рис. 10). Как было сказано выше, зарастание полей, несмотря на увеличение продуктивности, является отрицательным процессом.

Исходя из вышесказанного, можно сделать вывод о том, что индикатор динамики продуктивности на уровне области в целом отражает общие и значительные тренды, происходящие на территории области, такие как изменения наземного покрова, изменения в агротехнике, интенсивное развитие

эрозионных процессов. Так данный индикатор подходит для использования НБДЗ на уровне области.

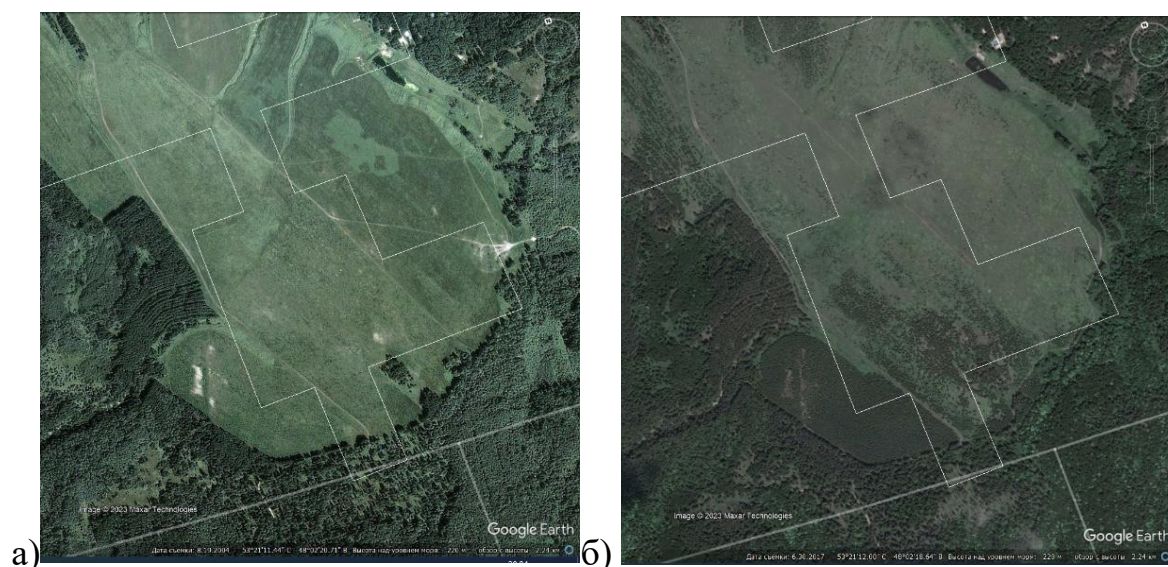


Рисунок 10 – Заращение пахотных земель кустарниковой и древесной растительностью: а) 2004 год, б) 2017 год. (Сызранский район, 53°21'12,00" С 48°02'10,64" В).

Запас почвенного органического углерода является одним из важнейших показателей состояния почв. Если сравнить запасы ПОУ, полученные с помощью модуля Trends.Earth, с данными агрохимической службы, то можно сказать, что пространственное распределение схоже: в обоих случаях уменьшение содержания ПОУ уменьшается с севера на юг (рис. 11). Но по абсолютным значениям данные не совпадают.

Согласно данным, полученным с использованием модуля Trends.Earth, изменения в запасах почвенного органического углерода затронули лишь 0,11% от общей площади исследуемой территории (из них 0,01% демонстрируют положительную динамику, а 0,1% — отрицательную). Такой малый процент изменений на территории обусловлен привязкой изменений ПОУ к изменениям наземного покрова, что исключает возможность оценки изменений содержания ПОУ на территориях со стабильным наземным покровом. Для Самарской области, как для аграрного региона такой подход не применим, поскольку многими исследователями были отмечены активные процессы дегумификации

почв на сельскохозяйственных территориях Самарской области (Гнеденко, Обущенко, 2013; Зудилин, 2016; Казанцев, Яицкий, 2016).

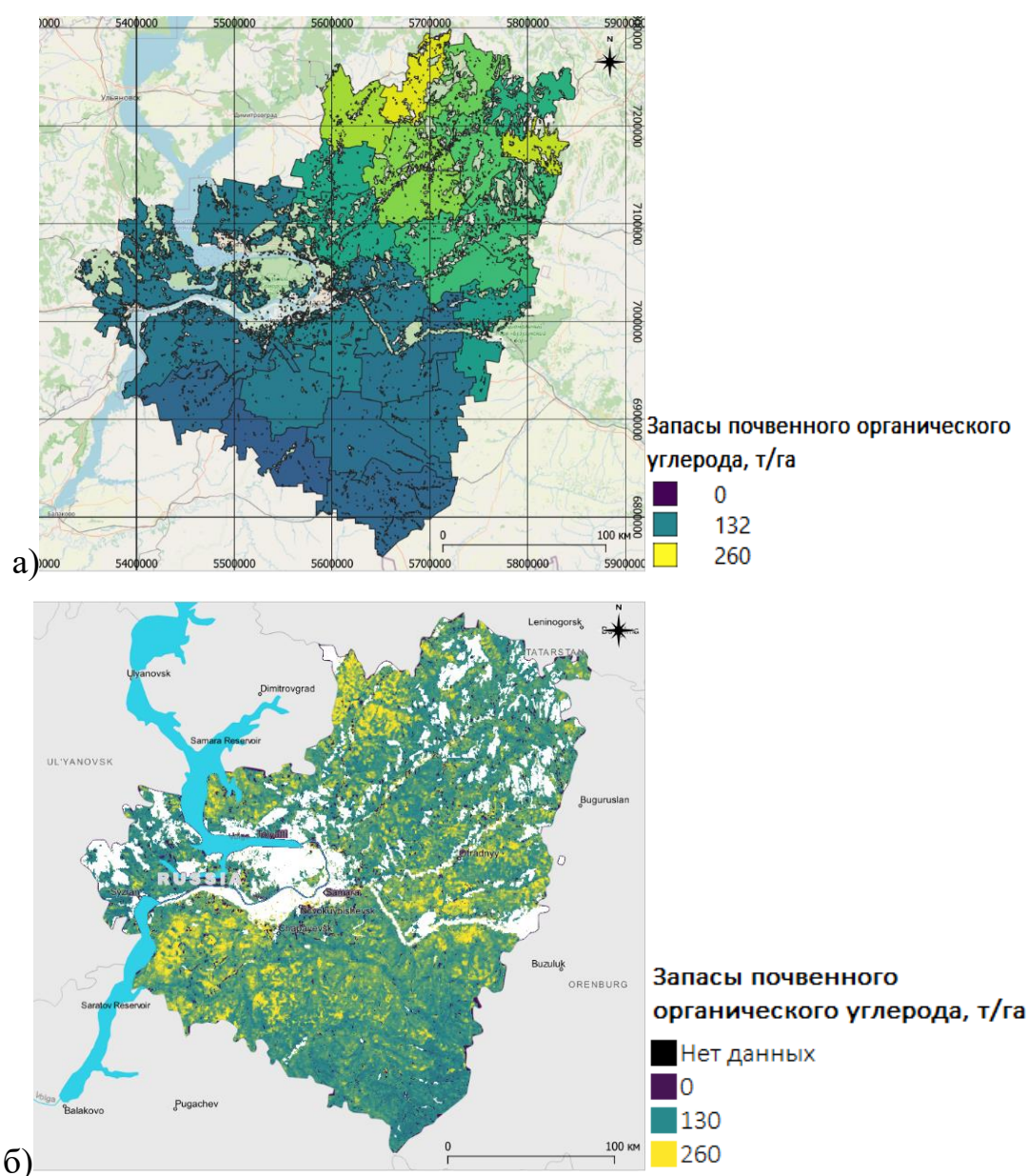


Рисунок 11 – Территориальное распределение запасов гумуса по данным а) агрохимической службы (от 195 т/га – желтый, до 95 т/га – синий), б) модуля Trends.Earth.

Для более корректной оценки динамики ПОУ ряд исследователей (Макаров и др., 2021; Цветнов и др., 2021) рекомендуют использовать абсолютное содержание гумуса в 30-см слое почвы.

Во избежание ошибки в оценке изменения запасов почвенного органического углерода, вызванных незначительными колебаниями содержания

гумуса, деградацией или улучшением территории мы считали изменения содержания гумуса более 10% от исходного (что согласуется с методикой модуля Trends.Earth).

Таблица 24 – Площадь деградированных и улучшенных земель по показателю содержания гумуса в почвах по данным агрохимической службы на уровне Самарской области.

	км ²	%
Улучшенные	6548	15,32
Стабильные	29163	68,23
Ухудшенные	7033	16,45

Согласно данным агрохимической службы (табл. 24), большинство территорий является стабильными, особенно на севере области, южные территории в свою очередь являются более динамичными (проявляются как положительные изменения, так и отрицательные) (рис. 12).

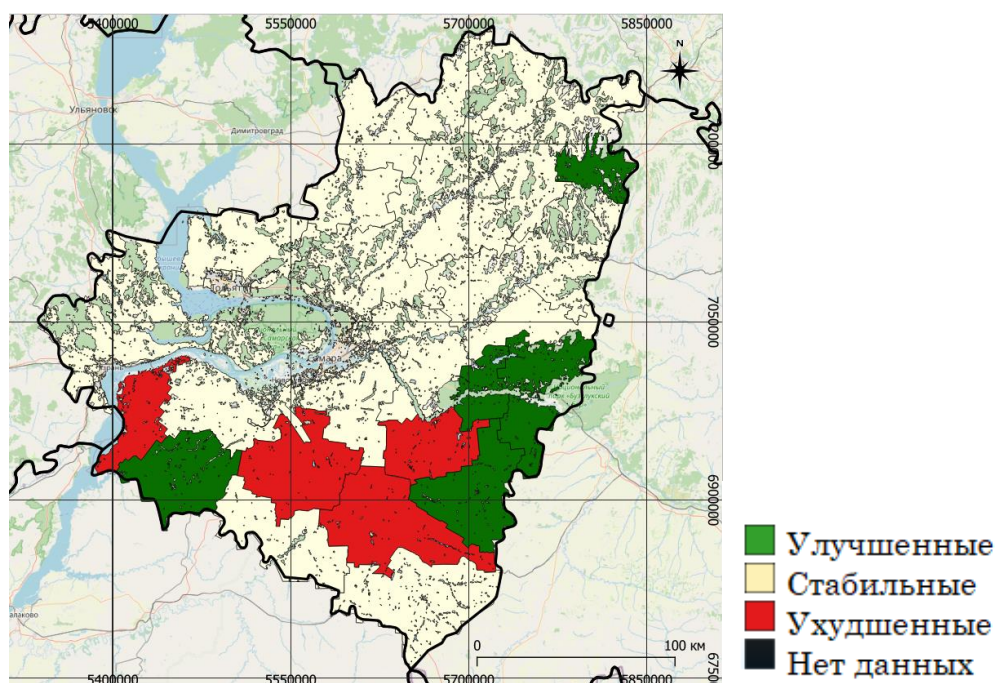


Рисунок 12 – Динамика содержания гумуса в почвах Самарской области с 2003 по 2021 г. (карта составлена на основании средневзвешенного содержания гумуса по муниципальным районам).

Использование показателя содержания ПОУ, рассчитанного с помощью модуля Trends.Earth приводит к значительной недооценке изменений в запасах и содержании почвенного гумуса, что обуславливает необходимость использования альтернативных индикаторов.

3.3.2.2 Подбор и расчет региональных индикаторов НБДЗ на уровне Самарской области

Для более полной оценки состояния земель были подобраны региональные индикаторы для Самарской области на уровне региона. Так их выбор обусловлен тем, что оценка производится на территории сельскохозяйственных земель, а также доступностью информации на уровне целого региона. Для оценки эффективности ведения растениеводческой деятельности была исследована динамика урожайности. Для сельскохозяйственных земель также важны показатели, отражающие плодородие почв – это содержание доступных форм фосфора и калия в почвах. Одним из важнейших индикаторов была выбрана эрозия почв, так как она широко распространена в Приволжском Федеральном округе и является доминирующим процессом деградации почв на исследуемой территории.

Урожайность. В.А. Лобковский и соавторы (2020), утверждают, что для оценки НБДЗ эффективно использовать приведенную урожайность зерновых культур на территории сельскохозяйственных земель. Анализ динамики урожайности зерновых в период с 2005 по 2020 год по данным национальной статистики показывает, что в целом по области сохраняется положительная тенденция, несмотря на большие колебания в отдельные годы (рис. 13).

Нами был проведен анализ изменения урожайности в разных муниципальных районах области. Наблюдается положительная динамика урожайности во всех районах за период с 2005 по 2010 гг., но скорость роста урожайности различна. Для оценки скорости увеличения урожайности в каждом районе были использован коэффициент регрессии (рис. 13), отражающий наклон

линии тренда (табл. 25), показывающий, с какой интенсивностью растет урожайность в конкретном районе.



Рисунок 13 – Динамика урожайности зерновых культур Самарской области (*значение постоянного параметра «а» в уравнении регрессии не имеет физического смысла, поэтому не обсуждается в работе)

Полученные коэффициенты сравнили с их средним значением для всей области. На основе этого были выделены четыре класса, характеризующие динамику урожайности: незначительное улучшение (0-0,55), среднее улучшение (0,56-0,75), сильное улучшение (0,76-1) и значительное улучшение (>1) (рис. 14). Наименьший прирост урожайности со временем отмечается в северо-восточных и южных районах.

Согласно полученным результатам, 20,66% территории (8 832 км²) имеют незначительное улучшение показателя динамики урожайности, 27,36% (11 695 км²) — средне улучшенные, 41,00% (17 524 км²) — сильно улучшенные, 10,98% (4 693 км²) — значительно улучшенные.

Таблица 25 – Динамика урожайности зерновых в муниципальных районах Самарской области

Район	Динамика урожайности (коэффициент наклона линии тренда)	Район	Динамика урожайности (коэффициент наклона линии тренда)
Алексеевский	0,7615	Красноармейский	0,5551
Безенчукский	0,9271	Красноярский	0,59
Богатовский	0,4915	Нефтегорский	0,7356
Большеглушицкий	0,5922	Пестравский	0,7807
Большечерниговский	0,4134	Похвистневский	0,6468
Борский	0,7571	Приволжский	0,7969
Волжский	1,2003	Сергиевский	0,8779
Елховский	0,8285	Ставропольский	0,8401
Исаклинский	0,3437	Сызранский	0,6303
Камышлинский	0,8222	Хворостянский	0,7197
Кинельский	1,0625	Челно- Вершинский	1,1079
Кинель-Черкасский	0,55	Шенталинский	0,4665
Клявлинский	0,5247	Шигонский	0,5921
Кошкинский	0,844		

Если сравнить распределение территорий по росту урожайности и продуктивности, которая была рассмотрена ранее (оценка по NDVI), можно отметить, что полного соответствия между данными нет. Следовательно, урожайность является необходимым дополнительным индикатором в оценке продуктивности сельскохозяйственных земель.

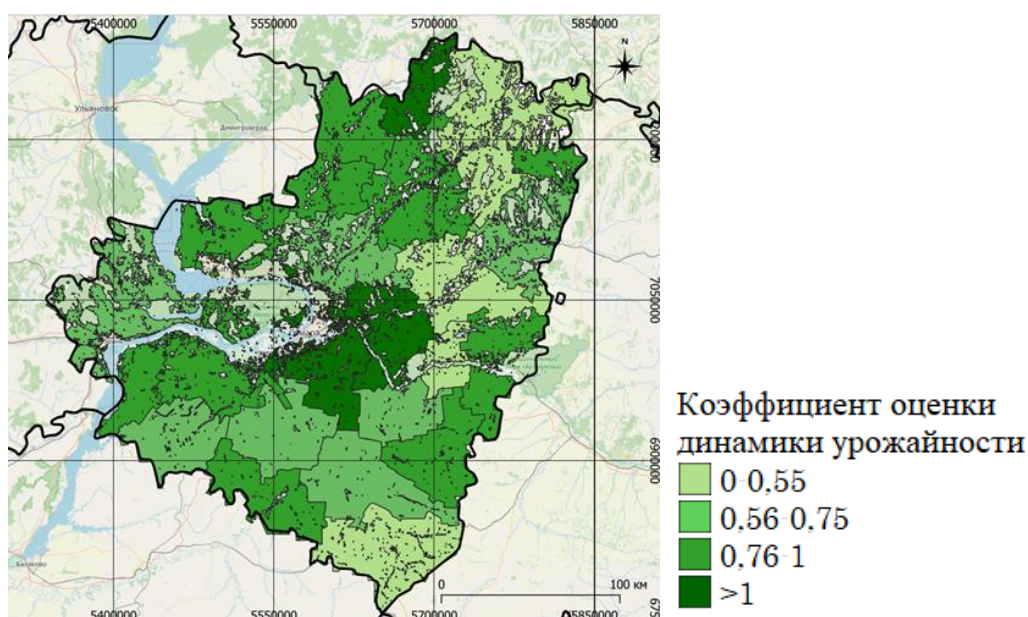


Рисунок 14 – Динамика урожайности зерновых в Самарской области за период 2005–2020 гг.

Содержание подвижных форм калия и фосфора. Одними из важнейших характеристик свойств почв, определяющих их состояние и плодородие, являются показатели содержания питательных элементов: фосфора и калия. Поэтому некоторые исследователи (Цветнов и др., 2020; Макаров и др., 2021, Бондаренко, 2016) рекомендуют использовать динамику содержания этих элементов в почве при оценке НБДЗ. Так, были сопоставлено содержание калия и фосфора за 2020 и 2003 годы по данным агрохимической службы. При анализе данных было установлено, что по данным показателям преобладают улучшенные и стабильные территории (табл. 26).

Таблица 26 – Оценка земель Самарской области по динамике содержания подвижных форма фосфора и калия в почвах за период 2003-2020 гг.

	фосфор		калий	
	км ²	%	км ²	%
Улучшенные	29902	69,96	16798	39,30
Стабильные	5274	12,34	16742	39,17
Ухудшенные	5840	13,66	7476	17,49
Нет данных	1728	4,04	1728	4,04

Позитивные результаты на территории области были достигнуты регулярным внесением удобрений в период с 2005 по 2020 год (рис. 15).



Рисунок 15 – Внесение минеральных удобрений на территории Самарской области в период 2005-2019 гг. (*значение постоянного параметра «а» в уравнении регрессии не имеет физического смысла, поэтому не обсуждается в работе)

Улучшенные территории по показателю подвижного фосфора преобладают в центральной части региона, в то время как ухудшенные территории встречаются в южной части региона, за исключением Клявлинского района (рис. 16, а). По показателю обменного калия закономерностей территориального распределения улучшенных и ухудшенных территорий выявлено не было (рис. 16, б).

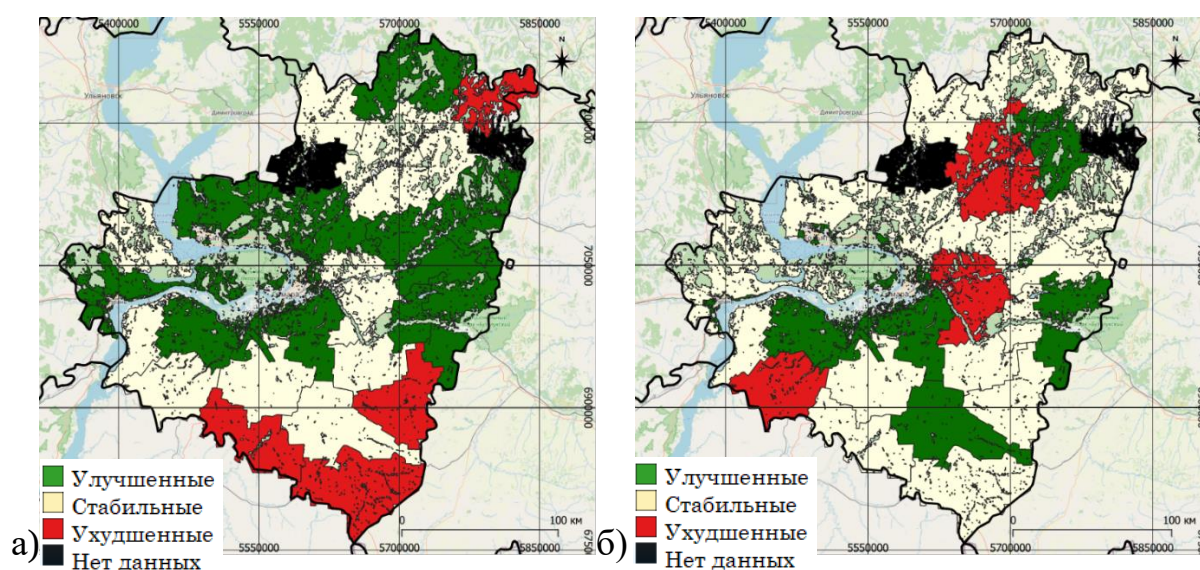


Рисунок 16 – Динамика содержания: а) подвижных форм фосфора б) обменного калия.

Эрозия. Для Самарской области ведущим процессом деградации земель является водная эрозия почв (Казанцев, Ибрагимова, 2016). Данные процессы протекают во всех административных районах (Атлас земель Самарской области, 2002) и им подвержено более 30% земель, используемых в сельском хозяйстве (Ибрагимова и др., 2014). Ранее некоторыми исследователями уже была доказана важность использования показателя эрозии почв в качестве регионального индикатора для оценки НБДЗ (Tsymbarovich et al., 2020).

На территории Самарской области отсутствуют достоверные картографические данные о развитии эрозионных процессов, что не позволяет напрямую оценить данный показатель.

Если оценивать развитие эрозионных процессов через прирост эрозионно-опасных земель, то согласно данным Ибрагимовой и соавт. (2014), можно говорить о прекращении интенсивного развития эрозии (рис. 17), в связи с этим можно заключить о достижении нейтрального баланса деградации земель в отношении эрозии почв (термин предложен (Tsymbarovich et al., 2020) за исследуемый период.

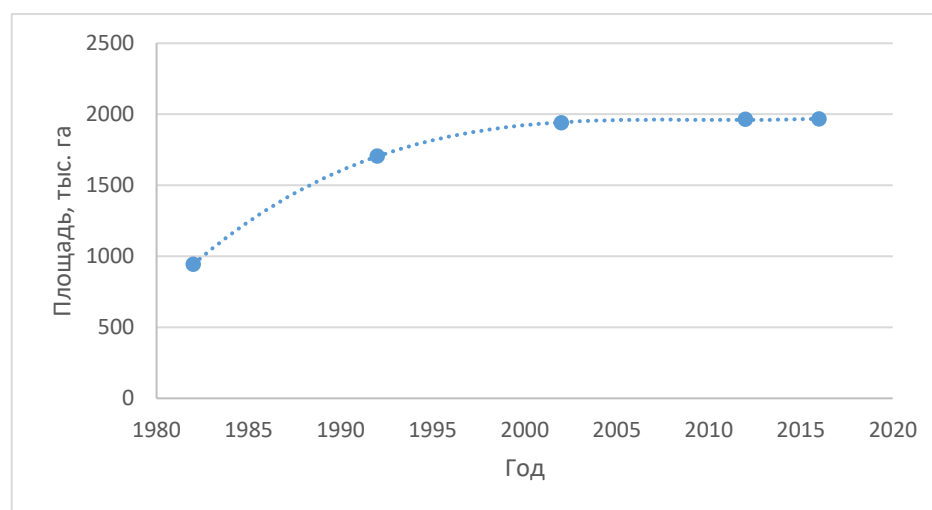


Рисунок 17 – Динамика площади эрозионно-опасных земель на территории Самарской области

Хотя с 2000 года прирост земель, подверженных эрозии, практически остановился в рассматриваемый период, эрозионные процессы не прекратились полностью на исследуемой территории. Так с помощью снимков сверхвысокого

разрешения было выявлено, что за исследуемый период происходит развитие промоин на территории сельскохозяйственных полей (рис. 18).



Рисунок 18 – Развитие промоин на территории сельскохозяйственных земель в Большечерниговском районе Самарской области: а) 2003 год, б) 2021 год (данные получены с платформы Google Earth).

Если оценивать распределение эрозионных процессов, то закономерно, что развитие эрозионных процессов в большей степени проявляется на северо-востоке, что определяется наиболее расчленённым рельефом (рис. 19).

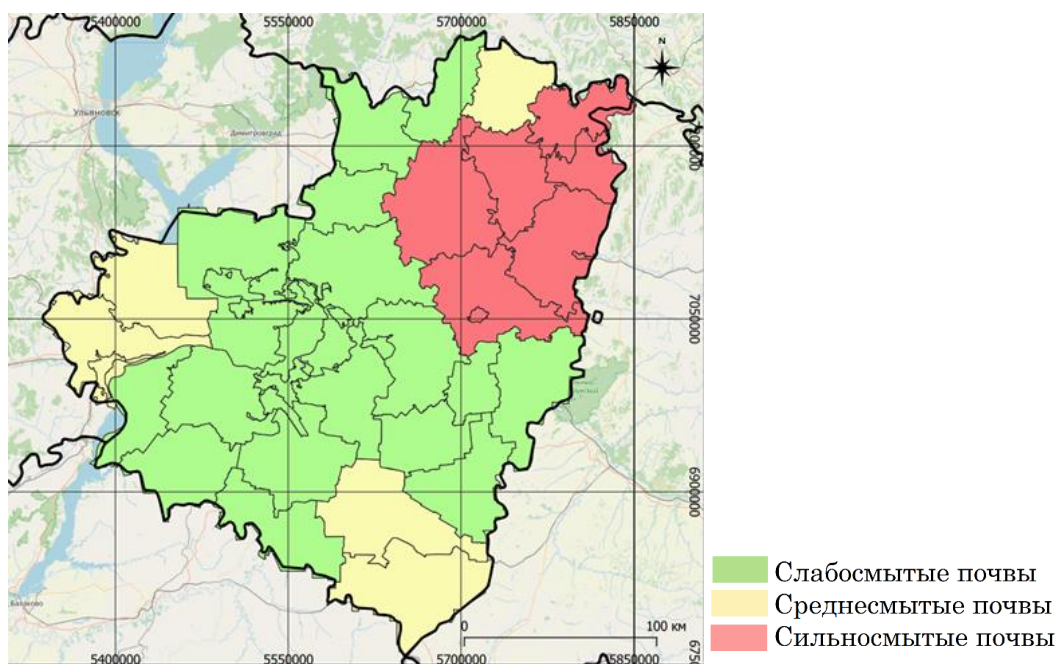


Рисунок 19 – Распространение почв разной степени смытости в Самарской области

Для оценки индикатора эрозии было предложено использовать косвенный показатель. Для этого космические снимки высокого разрешения (полученные с помощью платформы Google Earth: Maxar Technologies) территорий, на которых происходит развитие эрозионных процессов, были сопоставлены с крутизной склонов данных территорий, оцениваемых по картам уклонов, составленных на базе цифровых моделей рельефа (SRTM). Сравнение проводилось в рамках исследуемого периода с 2005 по 2020 гг. Экспертная оценка показала, что основные современные эрозионные процессы, проявляющиеся на космических снимках в виде осветленных пятен с изреженной растительностью и древовидных ложбин в основном проявляются на склонах крутизной более 2°. Проведенная полевая верификация на тестовых участках подтвердила эти наблюдения. Наши наблюдения подтверждаются аналогичными данными Ибрагимовой и др. (2014). На этом основании мы предлагаем рассматривать для исследуемого объекта в качестве деградированных территории с уклоном более 2°. Аналогичные склоны могут быть рассмотрены в качестве потенциально опасных в отношении водной эрозии и для других аналогичных объектов в Самарской области. С учетом этого подхода территории, подверженные эрозии или опасные в отношении ее развития на сельскохозяйственных землях, составляют 6 639 км² (15,57 %) территории области (рис. 20).

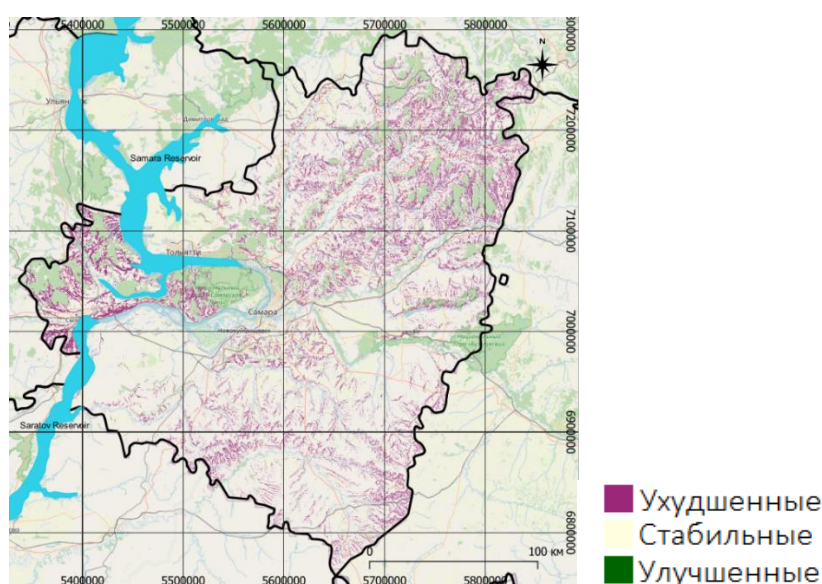


Рисунок 20 – Индикатор эрозии почв Самарской области (территории с крутизной склонов более 2°)

3.3.2.3 Расчет индикатора ЦУР 15.3.1 для уровня Самарской области

На основе результатов, полученных для глобальных индикаторов НБДЗ, был рассчитан индикатор ЦУР 15.3.1 тремя методиками: базовой, модифицированной, адаптированной (которые были описаны в главе 2.2.3) (рис.21).

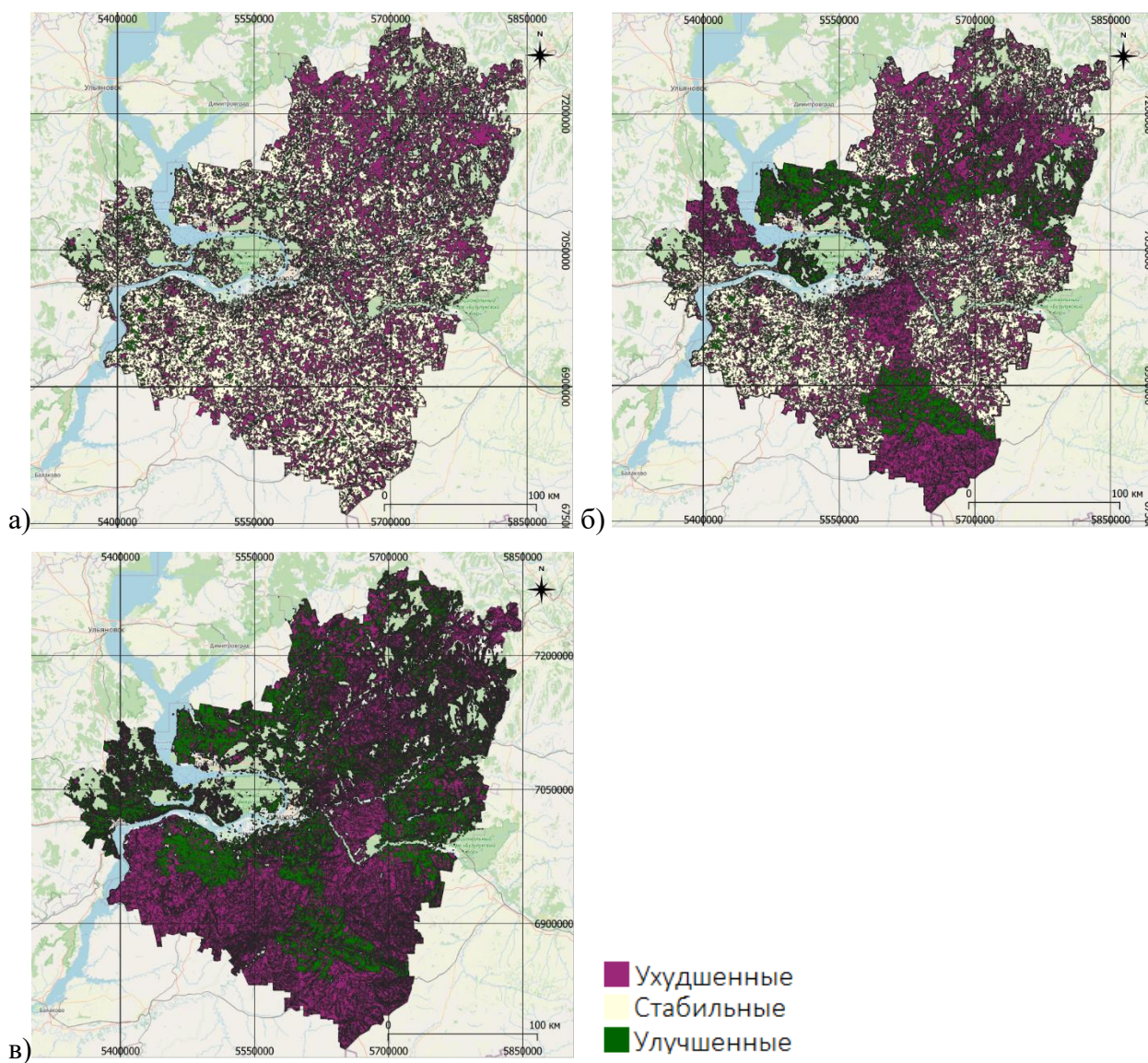


Рисунок 21 – Интегральная оценка деградации земель Самарской области с использованием глобальных индикаторов: а) по умолчанию, б) с модификацией глобальных индикаторов, в) с модификацией глобальных индикаторов и использованием региональных индикаторов.

Индикатор ЦУР 15.3.1, рассчитанный по базовой методике, вычислялся с помощью модуля Trends.Earth (рис. 21, а). Для подсчета индикатора ЦУР 15.3.1 модифицированной методикой индикатор динамики запасов почвенного

органического углерода, рассчитанный с помощью модуля Trends.Earth, был заменен на изменение содержания гумуса по данным агрохимической службы (рис. 21, б). Для расчета адаптированной методикой были использованы глобальные модифицированные индикаторы (как в модифицированной методике) и региональные: динамика урожайности, содержания доступных форма калия и фосфора и развития эрозии (рис. 21, в).

Согласно полученным данным, НБДЗ не достигнут на территории Самарской области при расчёте с помощью любой из методик: базовой, модифицированной или адаптированной (табл. 27). Так при подсчете базовой методикой индекс НБДЗ для области составляет -10,02%, модифицированной – -27,45%, а адаптированной – -44,05%. При оценке базовой методикой отрицательное значение индекса НБДЗ связано с преобладанием ухудшенных над улучшенными (при преобладании стабильных территории). Но также стоит отметить, что при расчете индекса НБДЗ с помощью, модифицированной и адаптированной методиками увеличивается не только количество ухудшенных, но и улучшенных территорий относительно расчетов базовой методикой.

Таблица 27 – Индикатор ЦУР 15.3.1. подсчитанный согласно базовой, модифицированной и адаптированной методиками.

	Базовая		Модифицированная		Адаптированная	
	км ²	%	км ²	%	км ²	%
Улучшенные	1 349	3,16	7 305	17,13	11 914	27,94
Стабильные	35 643	83,59	16 298	38,22	0	0,00
Ухудшенные	5 618	13,18	19 007	44,58	30 696	71,99
Нет данных	30	0,07	30	0,07	30	0,07
Индекс НБДЗ, %	-10,02		-27,45		-44,05	

3.3.3. Оценка нейтрального баланса деградации земель Похвистневского муниципального района

3.3.3.1 Подсчет глобальных индикаторов по умолчанию, их критическая оценка и модификация.

Наземный покров. Доля территорий, занятых лесной растительностью в Похвистневском районе больше, чем по всей области – 25,4% от всей территории района. На пахотные угодья приходится 71,4%, на травянистые сообщества (включая территории крутых склонов оврагов и балок) – 2,8%, на водно-болотные угодья – 0,03%, искусственные поверхности – 0,3% и водные объекты – 0,07% (рис. 22).



Рисунок 22 – Состояние наземного покрова Похвистневского района на 2020 год.

Изменения наземного покрова в районе незначительны – на стабильные территории приходится 99,25% от всей площади района, на изменяющиеся – 0,75%, 0,03% из которых положительные, а 0,72% отрицательные. Наиболее распространены противоположные процессы: переходы из леса в пашню (0,32%), зарастание пашни (0,26%), а также переход из лесов в травянистые сообщества (0,06%) и зарастание травянистых сообществ (0,03%). Наибольший прирост площади приходится на класс травянистые сообщества (табл. 28).

Таблица 28 – Изменения наземного покрова Похвистневского района

Классы наземного покрова	2005 г (км²)	2020 г (км²)	Изменения площади (км²)	Изменения площади (%)
Лесопокрываемые территории	546,90	545,05	-1,85	-0,34
Травянистые сообщества	60,48	61,15	0,67	1,10
Пахотные угодья	1 533,57	1 532,85	-0,71	-0,05
Водно-болотные угодья	0,74	0,74	0,00	0,00
Искусственные поверхности	5,01	6,90	1,89	37,75
Другие земли	0,00	0,00	0,00	0,00
Водные объекты	1,59	1,59	0,00	0,00

Дальнейшие расчеты производились относительно сельскохозяйственных земель, по маске полученной с помощью модуля Trends.Earth.

Продуктивность. В Похвистневском районе преобладают стабильные территории. На основании показателя продуктивности, подсчитанного помощью модуля Trends.Earth, они занимают 1 303 км². На ухудшенные территории приходится 218,6 км², а на улучшенные – 18,1 км² (табл. 29, рис. 23).

Таблица 29 – Соотношение улучшенных и ухудшенных территорий по показателю динамики продуктивности земель

	Площадь, км²	Площадь, %
Улучшенные	18,1	1,18
Стабильные	1 303,0	84,60
Ухудшенные	218,6	14,19

При анализе пространственного распределения улучшенных и ухудшенных территорий явных закономерностей не было выявлено.

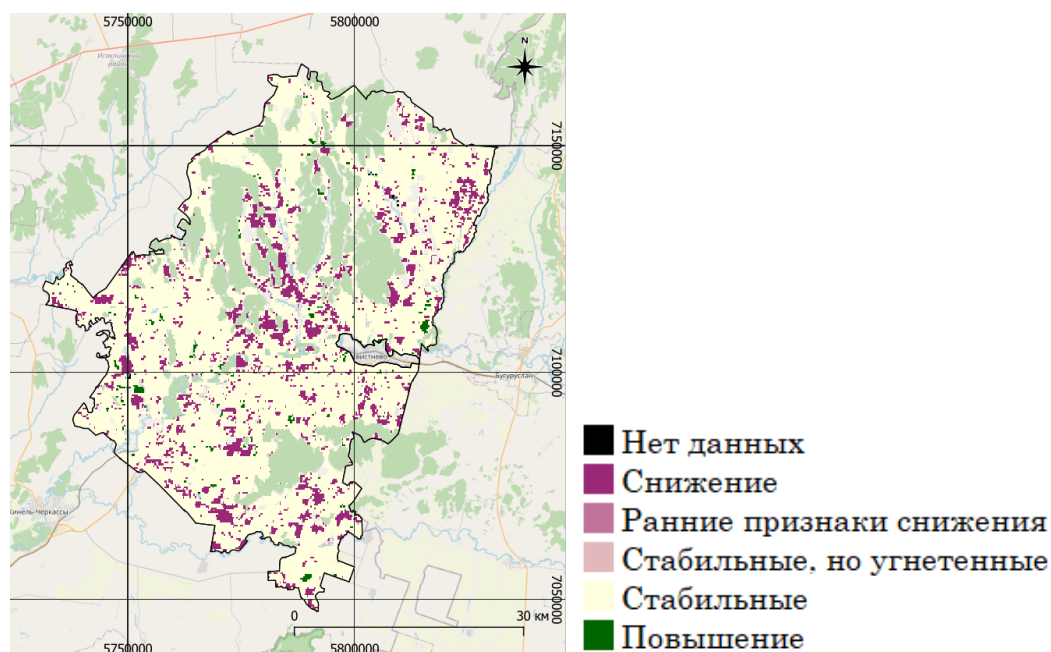


Рисунок 23 – Динамика продуктивности Похвистневского района за 2005-2020 гг.

Если сравнить динамику индекса NDVI на весь район, то видно, что значительное снижение NDVI происходит в 2010 год, так как на этот года припала сильная засуха во всем Поволжье. В целом же на графике виден тренд снижения продуктивности района (рис. 24).

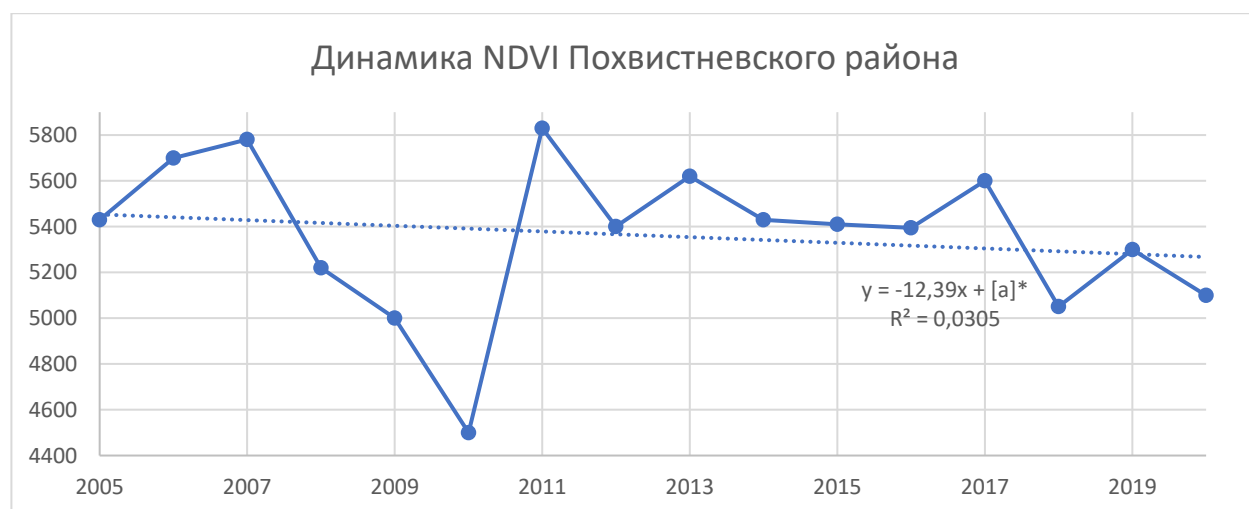


Рисунок 24 – Динамика индекса NDVI на территории сельскохозяйственных земель Похвистневского района в период 2005-2020 гг.
(*значение постоянного параметра «а» в уравнении регрессии не имеет физического смысла, поэтому не обсуждается в работе)

Это подтверждается сравнением колебаний NDVI и увлажнения: засушливые годы приводят к значительному снижению продуктивности, а при увеличении увлажнения, зависимость урожайности от количества осадков выражена не так явно (рис. 25).

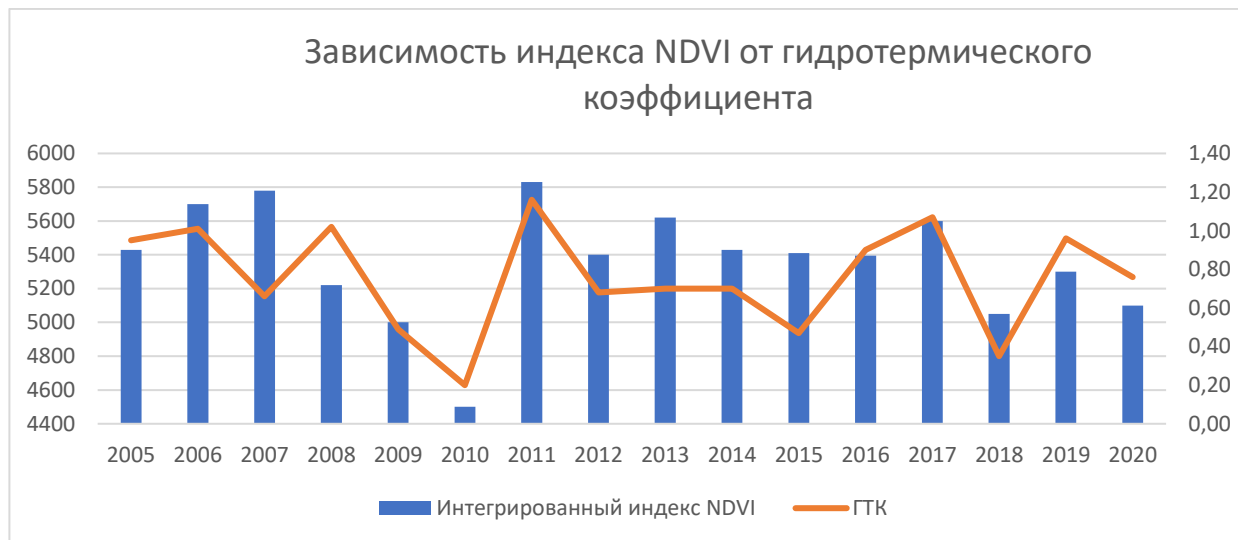


Рисунок 25 – Зависимость индекса NDVI от гидротермического коэффициента в Похвистневском районе в период 2005-2020 гг.

Ухудшение продуктивности по большей степени происходит на территориях с развитыми признаками эрозионных процессов. Если построить рельеф участков, характеризующихся снижением продуктивности, то видно, что средний уклон превышает 2 градуса, что и привело к развитию эрозионных процессов (рис. 26).



Рисунок 26 – Ухудшение продуктивности на территориях с со склонами более двух градусов в Похвистневском районе (данные платформы Google.Earth), красными линиями обозначены промоины.

Улучшенных территорий по показателю продуктивности земель в Похвистневском районе значительно меньше, чем деградированных. На примере, приведённом на рисунке 27 видно, показано увеличения продуктивности земель, которое было вызвано ростом древесной растительности, а также за счет накопления гумуса в нижней пологой части склона. При этом в масштабе модуля Trends.Earth данный участок не меняет своей категории, а остается в рамках категории сельскохозяйственных угодий.



Рисунок 27 – Улучшение продуктивности сельскохозяйственных земель за счёт зарастания древесной растительностью на территории Похвистневского района а) 2013 год б) 2020 год (данные платформы Google Earth)

В целом, оценка продуктивности с помощью модуля Trends.Earth отражает основные причины изменения продуктивности земель, вызванные эрозией, зарастанием или иными причинами.

Почвенный органический углерод. Согласно данным, полученным с помощью модуля Trends.Earth, наибольшие запасы почвенного органического углерода характерны для южной части района, и колеблются от 130 до 160 т/га (рис. 28).

Изменения содержания почвенного органического углерода по данным модуля Trends.Earth незначительны: улучшенные территории составляют 0,7 км² (0,02%), а ухудшенные 4,2 км² (0,10%), остальные 99,88% приходится на

стабильные территории, поскольку как уже было рассмотрено ранее, изменения запасов ПОУ приурочены к изменению наземного покрова.

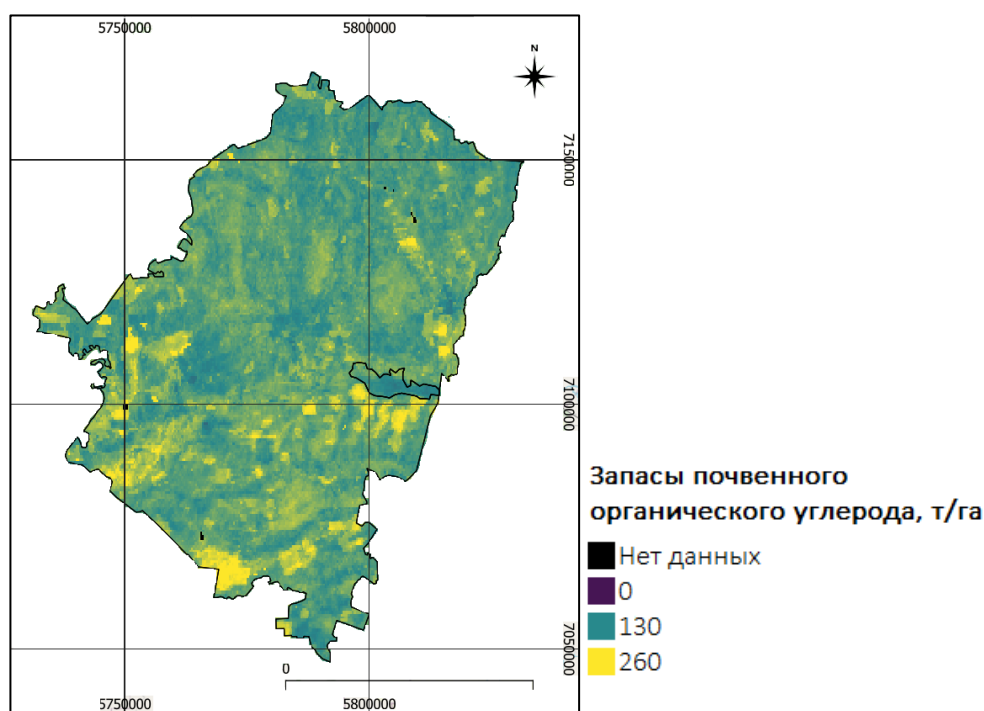


Рисунок 28 – Распределение запасов почвенного органического углерода в Похвистневском районе в 2020 году, т/га

Полученные данные значительно расходятся с данными агрохимической службы. Согласно данным агрохимической службы, происходит увеличение средневзвешенного содержания гумуса с 5,07% (в 2003 году) до 5,3% (в 2021 году). За рассматриваемый период времени количество почв с очень низким содержанием гумуса (0,2 тыс. га в 2003 году) улучшили свое качество с 2003 года, и к 2021 году почвы с очень низким содержанием гумуса уже отсутствуют. Уменьшилось количество почв с низким содержанием гумуса (с 13,3 тыс. га до 9,8 тыс. га) и средним (с 75,6 тыс. га до 75,4 тыс. га), а количество почв с повышенным содержанием гумуса увеличилось (с 15,8 тыс. га до 20,6 тыс. га). Почвы с высоким содержанием гумуса также отсутствуют при обследовании в 2021 году (0,9 тыс. га было в 2003 году). Это говорит о вполне благоприятных изменениях на территории района.

К сожалению, недостаточность данных агрохимической службы невозможно представить картографически, что осложняет учет данного

индикатора. Поскольку средневзвешенное содержание гумуса в почвах Похвистневского района увеличиваются незначительно, можно принять индикатор содержания почвенного органического углерода в целом стабильным.

Анализ глобальных индикаторов показал, что продуктивность земель отражает процессы снижения продуктивности из-за развития эрозионных процессов. Оценка динамики ПОУ модулем Trends.Earth не дает адекватной оценки состояния земель, при том зачастую по данным агрохимических служб невозможно пространственно оценить динамику содержания гумуса в почвах.

3.3.3.2. Подбор и расчет региональных индикаторов НБДЗ на уровне Похвистневского района

Урожайность. Динамика урожайности в Похвистневском районе за 2005-2020 годы в целом положительна (рис. 29). Но даже с увеличением урожайности со временем в районе не достигнут уровень нормативной урожайности, который составляет 29 ц/га для зерновых. Резкое падение урожайности в 2010, 2012 и 2018 году связано с засушливым весенне-летним периодом.

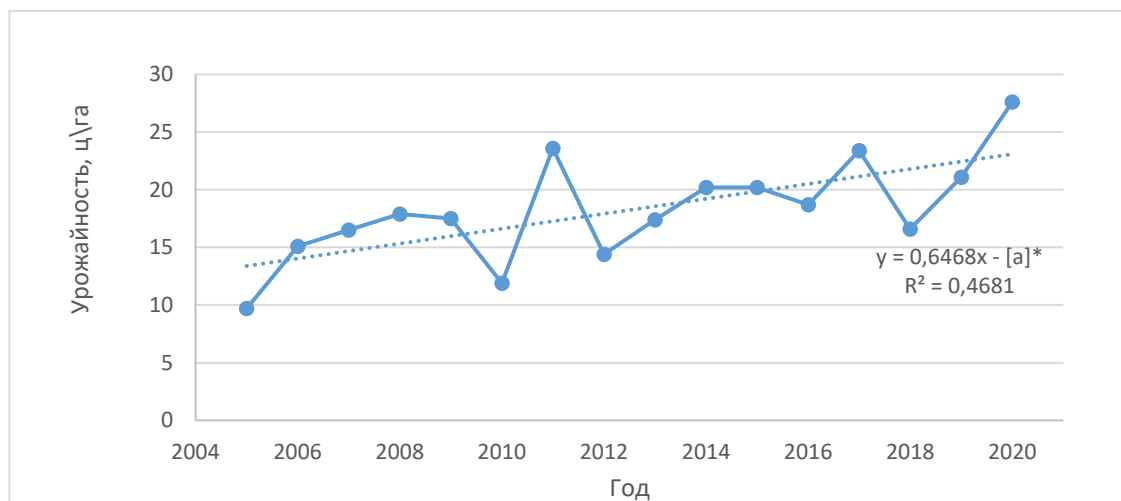


Рисунок 29 – Динамика урожайности зерновых на территории Похвистневского района (*значение постоянного параметра «а» в уравнении регрессии не имеет физического смысла, поэтому не обсуждается в работе)

Пространственно оценить динамику урожайности на уровне района не представляется возможным из-за отсутствия данных.

Динамика содержания подвижных форм калия и фосфора. Средневзвешенное содержание обменного калия в Похвистневской районе Самарской области, согласно данным агрохимической службы, увеличилось на

территории района с 139 мг/кг почвы до 181 мг/кг почвы. На 2021 год на территории района отсутствуют почвы с очень низким и низким содержанием калия. 0,5 тыс. га приходится на почвы со средним содержанием калия, 6,9 тыс. га – с повышенным, 48,3 тыс. га – с высоким, 50,1 тыс. га – с очень высоким.

Средневзвешенное содержание фосфора также увеличивается за исследуемый период с 71 мг/кг почвы до 108 мг/кг почвы. На момент обследования в 2021 году на территории района преобладают почвы со средним и повышенным содержанием фосфора (49,8 тыс. га и 33,4 тыс. га соответственно). На почвы с высоким содержанием фосфора приходится 15,7 тыс. га, с очень высоким – 4,3 тыс. га. Почвы с низким содержанием фосфора занимают 2,6 тыс. га.

Пространственно выразить динамику содержания доступных форм фосфора и калия в почве не представляется возможным ввиду отсутствия картографического отражения агрохимических данных.

Эрозия. Похвистневский район отличается сильной расчлененностью рельефа, что обуславливает распространение сильноэродированных почв в районе, особенно это характерно для северной части района (рис. 30).

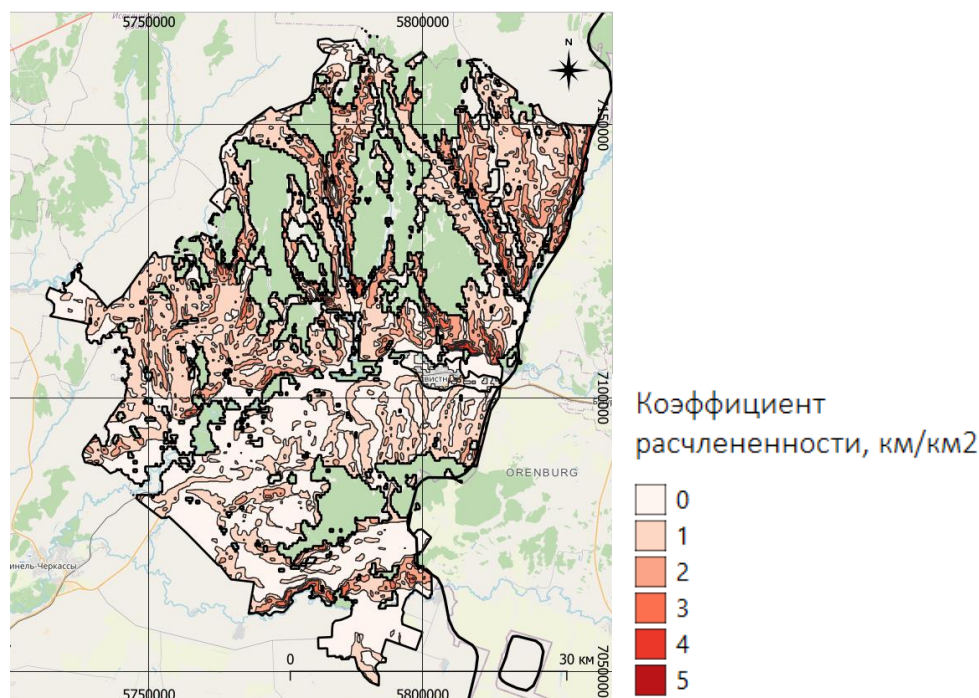


Рисунок 30 – Коэффициент расчлененности рельефа Похвистневского района

Согласно подходу к выделению эрозионно опасных и эродированных земель, описанному выше в главе 3.1.2.2. и проведенному мониторингу развития эрозионных процессов за исследуемый период с помощью снимков высокого разрешения для Похвистневского района, на основе цифровой модели рельефа и карты уклонов местности была составлена картосхема индикатора эрозии, где за территории с актуальными проявлениями и потенциальным риском эрозии были приняты земли с крутизной склонов 2 и более градусов (рис. 31). Такие территории занимают площадь 576 км² (37,31%).

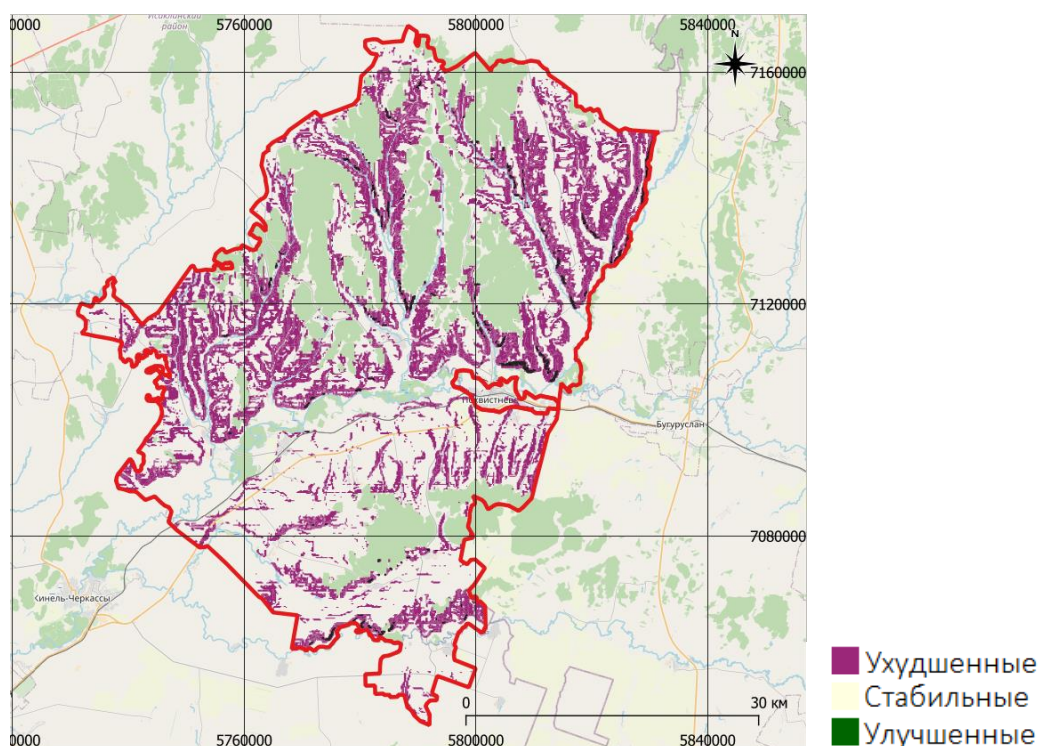


Рисунок 31 – Индикатор эрозии на территории Похвистневского района за период 2005-2020 год.

Главной сложностью расчета региональных индикаторов НБДЗ на уровне района является невозможность их картографического отражения из-за недостаточной детальности данных. Так, данные агрохимической службы на уровне районов представляют собой среднее значение на весь район. Статистические данные также имеют недостаточную детальность для оценки территорий внутри одного района. Единственным возможным способом оценки регионального индикатора эрозии для муниципальных районов Самарской

области является косвенная оценка показателей с помощью дистанционных методов.

3.2.2.3 Расчет индикатора ЦУР 15.3.1 на уровне Похвистневского района

Индикатор ЦУР 15.3.1 был рассчитан по базовой методике и адаптированной методике (табл. 30), в которую был включен региональный индикатор эрозии почв. Стоит отметить, что при использовании адаптированной методики происходит недооценка улучшенных территорий, которые не отражены пространственно, но которые в рамках всего района имеют положительную динамику.

Таблица 30 – Индикатор ЦУР 15.3.1 на территории Похвистневского района

	Базовая методика		Адаптированная методика	
	км ²	%	км ²	%
Улучшенные	17	1,13	11	0,73
Стабильные	1285	84,03	778	50,54
Ухудшенные	226	14,80	750	48,7
Нет данных	0,5	0,03	0,5	0,03

Индекс НБДЗ, согласно базовой методике, составляет -13,67%, а по адаптированной – -47,97%, что говорит о том, что НБДЗ не достигнут на территории района вне зависимости от выбора методики. Важно отметить, что при подсчете НБДЗ с помощью базовой методики наибольший вклад в индикатор ЦУР 15.3.1 вносит показатель продуктивности, так как изменение двух других глобальных индикаторов минимальны (рис. 32).

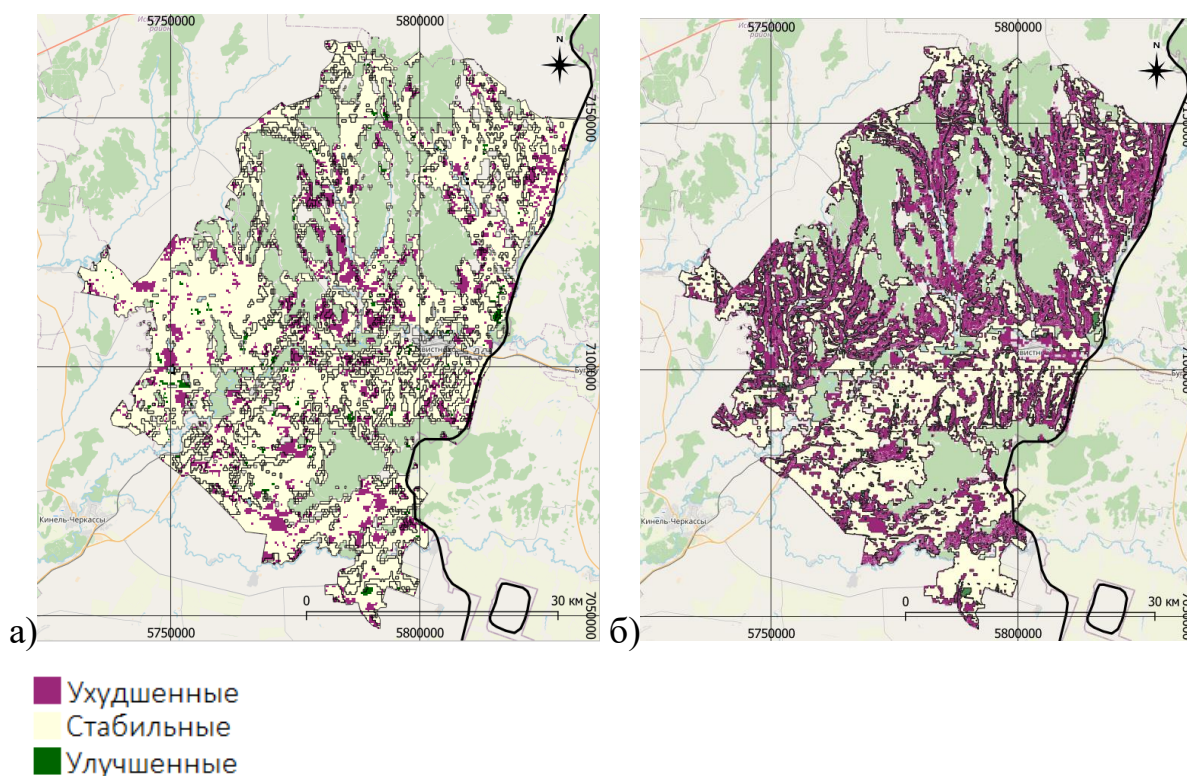


Рисунок 32 – Индикатор ЦУР 15.3.1 на территории Похвистневского района, подсчитанный а) по базовой методике; б) по адаптированной.

3.3.4. Оценка нейтрального баланса деградации земель для территории АИЦ «Орловка»

3.3.4.1 Подсчет глобальных индикаторов «по умолчанию», их критическая оценка и модификация.

Наземный покров. Поскольку наземный покров хозяйства в рамках выделенных категорий Trends.Earth относится к сельскохозяйственным угодьям (а именно к пашням) и не меняется в исследуемый промежуток времени, то показатель изменений наземного покрова можно считать стабильным.

Продуктивность земель. Согласно данным, полученным по умолчанию с помощью модуля Trends.Earth, на территории хозяйства Орловка продуктивность в период с 2005 по 2020 гг. изменялась следующим образом: 26,0 км² (65,13%) территории ухудшились, 13,8 км² (34,59%) остались стабильными и около 0,1 км² (0,28%) улучшились (рис. 33).

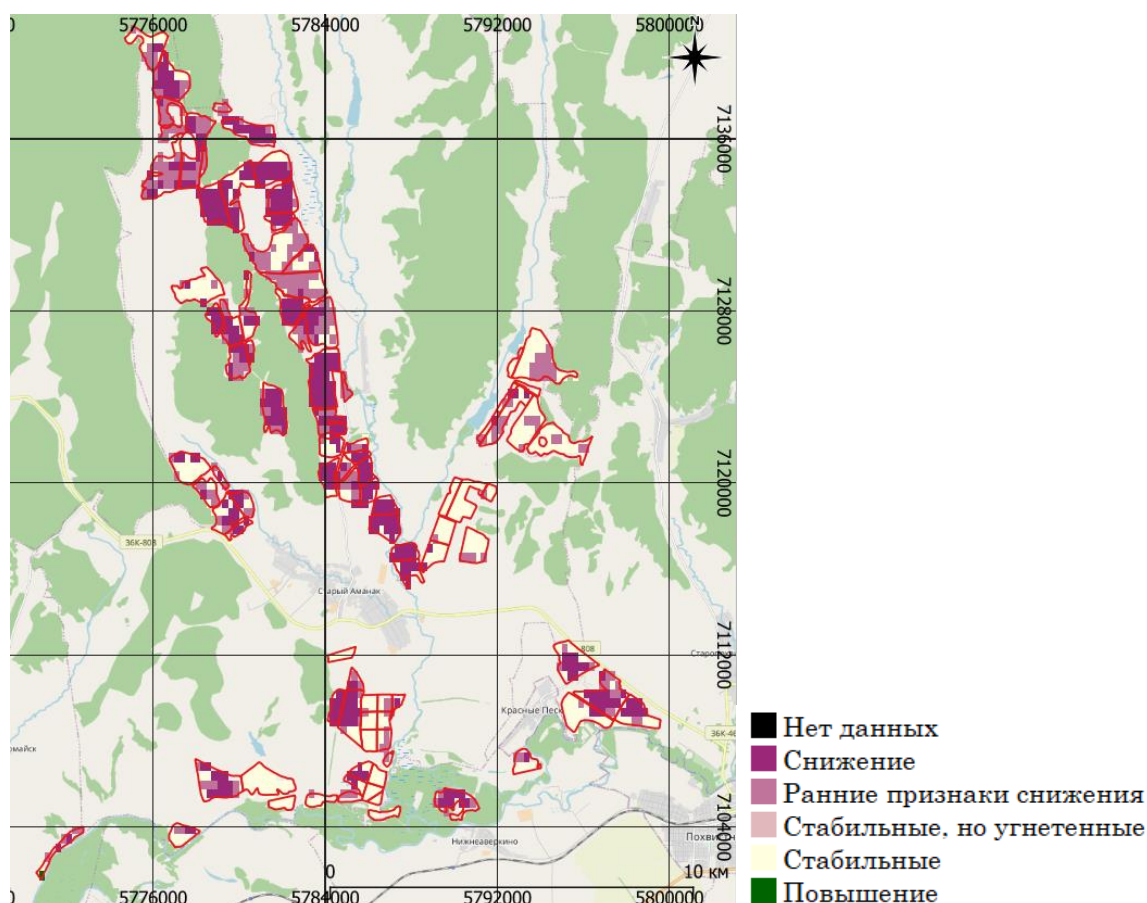


Рисунок 33 – Динамика продуктивности (NDVI) земель хозяйства Орловка, подсчитанная с помощью модуля Trends.Earth

Как было отмечено ранее оценка с помощью модуля Trends.Earth позволяет отследить только значительные изменения продуктивности земель. На уровне хозяйства необходимо укрупнение и детализация данных.

С этой целью рассмотрим 3 составляющие интегрального индикатора динамики продуктивности земель (NDVI): «траектория» продуктивности, «состояние» продуктивности и «проявление» продуктивности.

Показатель «траектории» продуктивности показывает снижение индекса NDVI на территории всего хозяйства (рис. 34). Отчасти ежегодные колебания определяются изменением осадков в вегетационный период. Колебания NDVI так же могут быть вызваны сменой состава выращиваемых культур и их соотношением. Таким образом, показатель «траектории» может включать в себя погрешности, связанные со спецификой растительности сельскохозяйственных

земель, но многолетнее снижение или рост продуктивности отражает общее состояние территории.



Рисунок 34 – Динамика показателя NDVI на территории всего хозяйства с 2001 года по 2020 год. (*значение постоянного параметра «а» в уравнении регрессии не имеет физического смысла, поэтому не обсуждается в работе)

Влияние выбора базовой линии на нейтральный баланс деградации земель.

Оценка «состояния» продуктивности также имеет ряд сложностей, вызванных применением неустоявшихся севооборотов в хозяйстве. При данном показателе выбор базовой линии имеет ключевое значение для оценки динамики показателя.

Рассмотрим разные подходы к выбору базовой линии и результаты изменения продуктивности в зависимости от базовой линии. В 2013 году хозяйство «Орловка» взяло курс на устойчивое землепользование, первыми шагами которого было введение новой системы обработки почв no-till. В связи с этим можно предположить, что за указанный период следует ожидать положительных изменений продуктивности. В таблице представлены три использованных нами подхода к выбору базовой линии для оценки этих изменений и информация, которую мы ожидаем получить в зависимости от выбранного периода (базовой линии) для оценки изменений продуктивности (табл. 31).

Таблица 31 – Зависимость показателя «состояние» продуктивности от базовой линии

Вариант	Базовая линия	Период сравнения	Получаемая информация	Выводы
А	2005-2017	2018-2020	Тренд изменения продуктивности территории за 15-летний период, не учитывается изменение в землепользовании или агротехнологии	Выявление общего тренда, независимо от типа и характера землепользования
Б	Среднее значение по годам до деятельности и АИЦ «Орловка» традиционным способом (2005-2012 гг.)	Среднее значение по годам за время деятельности АИЦ «Орловка» с введением курса на устойчивое землепользование (2013-2020 гг.)	Как изменяется продуктивность при изменении агротехнологий в хозяйстве.	Рациональность смены сценариев землепользования

Вариант	Базовая линия	Период сравнения	Получаемая информация	Выводы
В	Начальный период курса на устойчивое землепользование в АИЦ «Орловка» (2013-2017 гг.)	Текущий период курса на устойчивое землепользование в АИЦ «Орловка» (2017-2020 гг.)	Как изменяется продуктивность территории в период деятельности одного хозяйства при текущей агротехнике	Эффективность выбранного способ землепользования

В таблице 32 представлен показатель «состояния» продуктивности одной и той же территории – АИЦ «Орловка», но с оценкой по разным базовым линиям. Из таблицы 32 видно, что в зависимости от выбранной базовой линии, существенно меняются результаты расчетов долей деградированных, стабильных и улучшенных земель. Худшая динамика продуктивности земель отмечается при выборе базовой линии варианта В, что говорит, о снижении индекса NDVI от начала перехода хозяйства на ресурсосберегающие подходы (2013 год) до 2020 года. Стоит отметить, что нельзя сделать вывод о том, что ресурсосберегающие технологии приводят к снижению продуктивности. Данное снижение продуктивности связано с тем, что переход на технологию no-till по заявлениям самого хозяйства был сопряжен с некоторыми трудностями, такими как увеличение сорной растительности на полях в связи с отсутствием необходимого опыта и знаний использования гербицидов, а также необходимостью досеивать некоторые культуры.

Схожую ситуацию можно наблюдать и при оценке динамики с использованием периодов сравнения 15 лет (2005-2020 гг.) «по умолчанию». Наименьшее снижение продуктивности отмечается в варианте выбора в качестве

базовой линии период перехода АИЦ «Орловка» с традиционного ведения хозяйства на ресурсосберегающее землепользование и no-till. Снижение продуктивности на некоторых полях связано с тем, что ранее они не использовались и на них произрастала луговая растительность.

Можно говорить об улучшении состояния продуктивности при использовании новой агротехники в хозяйстве «Орловка».

Таблица 32 – Динамика «состояния» продуктивности на территории АИЦ Орловка а) изменения за 15-летний период, б) изменения продуктивности при изменении агротехнологий в хозяйстве, в) изменения продуктивности территории в период деятельности одного хозяйства при текущей агротехнике

	Улучшенные, %	Стабильные, %	Ухудшенные, %
А	0,00	18,69	81,21
Б	0,09	51,22	48,87
В	0,00	16,46	83,64

Таким образом, при оценке общей продуктивности на уровне хозяйства спорным показателем является показатель «состояние» продуктивности, поскольку сравнение периодов осложнено севооборотами, которые постоянно модифицируются в исследуемом хозяйстве и происходит изменение периода ротации, а также состав культур, которые имеют разные значения индекса NDVI. Это, в свою очередь не позволяет выявить адекватные периоды сравнения продуктивности для хозяйств с изменяющимися агротехниками. Таким образом, для более точной оценки продуктивности на территории хозяйства был исключен субпоказатель «состояние» продуктивности.

Показатель «проявление» продуктивности, отражающий состояние территории относительно аналогичной, при расчете с помощью модуля Trends.Earth имеет недостаточно крупный масштаб для уровня хозяйства и определяется на всей территории хозяйства как стабильный.

Для получения более детальной картины по субпоказателю «проявление» продуктивности были использованы космические снимки Landsat за 2005 и 2020 год. В рамках каждого поля хозяйства были выделены участки, NDVI которых ниже по сравнению с остальным полем. Динамика таких площадей и отражается через субпоказатель «проявление» продуктивности (рис. 35).

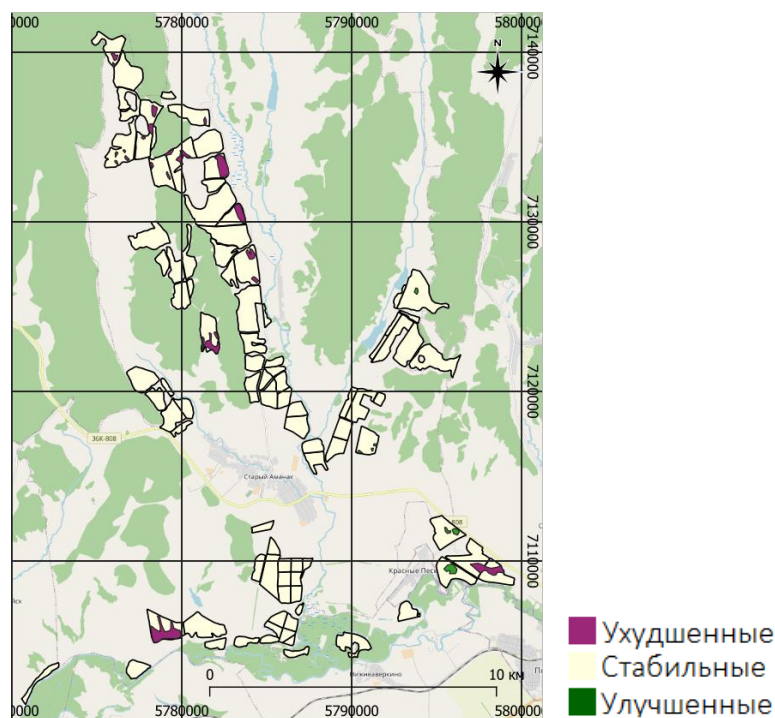


Рисунок 35 – Динамика «проявления» продуктивности АИЦ «Орловка» с 2005 до 2020 года.

При использовании снимков Landsat были подсчитаны стабильные, улучшенные и ухудшенные территории для всей территории хозяйства. Так, на стабильные приходится 95,52%, на улучшенные – 0,50%, на ухудшенные – 3,98%.

Стоит отметить, что на уровне хозяйства применение модуля Trends.Earth для расчета динамики продуктивности приводит к значительным погрешностям в оценке, что приводит к необходимости использования дополнительных источников информации, а частности, более детальных данных дистанционного зондирования.

Почвенный органический углерод. Как было сказано ранее данные по динамике содержания ПОУ, полученные с помощью модуля Trends.Earth

непригодны для уровня области и района, и тем более для крупного масштаба на уровне хозяйства.

Нами была проанализирована возможность применения данных, предоставленных агрохозяйством, о содержании гумуса в почвах. Однако эти данные представляли из себя разовые измерения, которые не позволяют оценить динамику изменения гумуса в почвах. В связи с чем, предоставленные данные не могут быть использованы в качестве индикаторы НБДЗ.

В качестве альтернативы для оценки динамики органического вещества почв была рассмотрена возможность применения калькулятора углеродного баланса EX_Act.

Основой таких расчетов является сопоставление углеродных потоков с использованием той или иной агротехнологии, с одной стороны, и без технологии, с другой (т.е. землепользование ведется без изменений). В данном случае за сценарий без технологии принимается традиционное ведение сельского хозяйства без орошения, использования удобрений и с небольшим применением гербицидов. «Измененная технология» хозяйства включает в себя использование систему нулевой обработки no-till, частичное орошение культур (500 га из 2500 га), оставление пожнивных остатков на полях, применение азотных удобрений и гербицидов.

Согласно расчетам (табл. 33) при изменении технологии ведения хозяйства происходит ежегодное депонирование углерода в почве в размере 0,9 т/га, что превосходит величину депонирования углерода при традиционном ведении сельского хозяйства (0,2 т/га).

Наибольший вклад в накоплении углерода в почве вносит использование улучшенных практик землепользования (практики, позволяющие получать большой урожай, такие как рациональный севооборот, использование улучшенных сортов) и внедрение орошения. Использование удобрений, пестицидов и др. химических веществ способствует выбросу парниковых газов в атмосферу (в дальнейшем они пересчитываются на тCO₂ эквивалент и также учитываются в балансе углерода), но их количество недостаточно большое,

чтобы оказывать значительное влияние на баланс углерода. Значительная часть углерода накапливается в почве, что способствует повышению содержанию гумуса.

Таблица. 33. Потоки углерода при использовании технологии (переход на ресурсосберегающую технологию) и без технологии (традиционное ведение сельского хозяйства) (положительные значения – эмиссия углерода, отрицательные значения – депонирование).

Компоненты проекта	Общие потоки			Доля выбросов ПГ в балансе					Результат за год		
	Без	С	Баланс	Всего выбросов ПГ в тCO2экв.					Без	С	Баланс
				CO2			N2O	CH4			
				Биомасса	Почва	Другое					
Изменение землепользования	Всего выбросов ПГ в тCO2экв.			CO2-Биомасса	CO2-Почва	CO2-Другое					
Однолетние	-5461,5	-32769,0	-27307,5	0,0	-29125,0		1817,5	0,0	-364,1	-2184,6	-1820,5
Поступления и инвестиции	0,0	10,0	10,0			5,3	4,7	0,0	0,0	0,7	0,7
Всего	-5461,5	-32759,0	-27297,5	0,0	-29125,0	5,3	1822,2	0,0	-364,1	-2183,9	-1819,8
На гектар	-2,2	-13,1	-10,9	0,0	-11,7	0,0	0,7	0,0			
На гектар в год	-0,1	-0,9	-0,7	0,0	-0,8	0,0	0,0	0,0	-0,1	-0,9	-0,7

Согласно полученным расчетам, можно сделать вывод о том, что технологии, применяемые в хозяйстве «Орловка» способствуют накоплению углерода в почве, что является положительным изменением состояния земель по индикатору динамики содержания почвенного органического углерода.

Для оценки динамики ПОУ на всей территории хозяйства использование калькулятора углеродного баланса EX_Act показывает эффективные результаты.

При этом пространственно оценить динамику содержания ПОУ не представляется возможным в связи с отсутствием достаточного количества данных.

Индикатор ПОУ является наиболее значимым в оценке состояния земель на уровне хозяйства, так как он не подвержен ежегодным колебаниям и напрямую отражает плодородие почв. Для его точной оценки не подходит использование данных модуля Trends.Earth, а необходимо введение (если это возможно) других показателей динамики содержания органического вещества в почвах более крупного масштаба.

Использование глобальных индикаторов «по умолчанию» для оценки НБДЗ на уровне хозяйства, не всегда приводит к адекватной оценке земель. Основные неточности вызваны недостаточно крупным масштабом измеряемых индикаторов, а также использование глобальных баз данных для оценки почвенного органического углерода.

3.3.4.2 Расчет региональных индикаторов НБДЗ на уровне АИЦ «Орловка»

Урожайность. Для сельскохозяйственных земель основным показателем продуктивности земель является урожайность.

Динамика урожайности за период 2013 - 2020 гг. является положительной по всем культурам, которые высеваются на 2020 год (рис. 36), что может свидетельствовать о совершенствовании агротехнических приемов в хозяйстве.

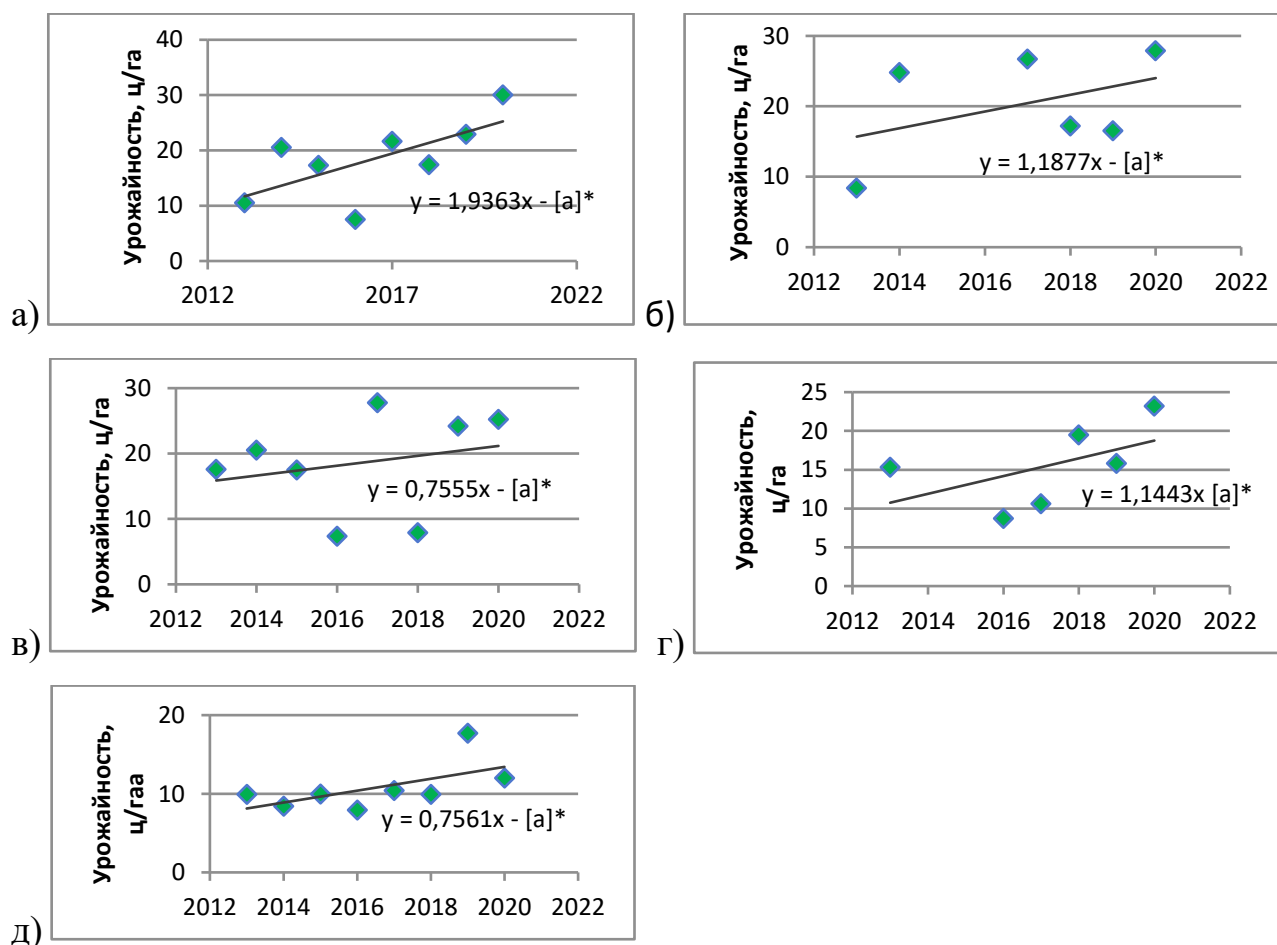


Рисунок 36 – Динамика урожайности среднее по культуре АИЦ Орловка с 2013 по 2020 гг.: а) твердая пшеница, б) озимая пшеница, в) ячмень, г) подсолнечник, д) соя (*значение постоянного параметра «а» в уравнении регрессии не имеет физического смысла, поэтому не обсуждается в работе)

Поскольку хозяйство не ведет учет урожайности в рамках каждого поля, а только в рамках отдельных культур, то для картографического отражения динамики урожайности были использованы единичные данные по урожайности полей за 2018 год, которые сравнивались со средней урожайностью по культуре за 2013 год (как самый ранний).

С учетом того, что урожайность всех культур растет (рис. 36), можно ожидать, что урожайность в рамках каждого поля тоже должна вырасти. Поэтому для оценки динамики урожайности в рамках одного поля урожайность каждого поля за 2018 год сравнивалась с данными по урожайности всей культуры за 2013 (среднее со всех полей).

Таким образом, для полей, урожайность которых ниже даже показателей за 2013 год можно считать, что они характеризуются отрицательной динамикой продуктивности сельскохозяйственных культур (рис. 37).

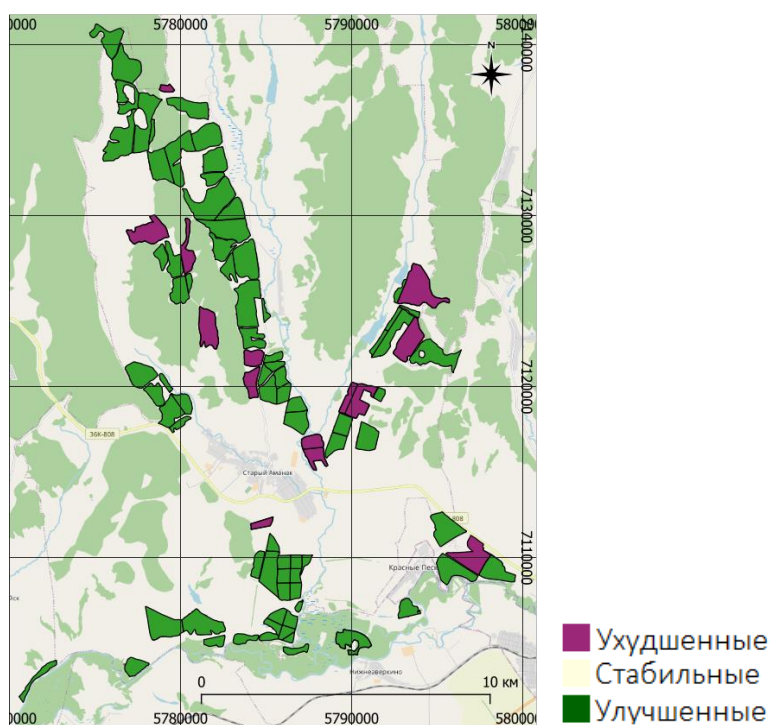


Рисунок 37 – Изменение урожайности 2013-2018 гг. на территории АИЦ «Орловка»

Эрозия. Хозяйство расположено на территории с крутизной 0-7°. Наибольшую площадь занимают склоны 1° и 2° – 14,78 км² (37,09%) и 10,91 км² (27,38%), соответственно. На территории с уклоном 0° приходится 8,26 км²

(20,73%). Склоны в 3° занимают $4,13 \text{ км}^2$ (10,36%), 4° – $1,43 \text{ км}^2$ (3,59%), 5° – $0,29 \text{ км}^2$ (0,73%), 6° – $0,05 \text{ км}^2$ (0,13%), 7° – $0,002 \text{ км}^2$ (0,01%) (рис. 38).

С помощью визуального дешифрирования разновременных снимков Landsat за 2005 и 2020 год, была оценено эрозионное состояние территории хозяйства. На начало исследуемого периода на территории хозяйства уже были развиты эрозионные формы: промоины и смытые территории. В течение наблюдаемого периода эрозия полностью не прекратилась. Если сравнить рис. 3.2.3.2-3 и 3.2.3.2-4, можно отметить, что промоины располагаются преимущественно на склонах крутизной более двух градусов. Так в 2005 году общая длина промоин составляла 63 495 м, к 2020 это значение выросло до 75 652 м, следовательно, за исследуемый период с 2005 по 2020 года длина промоин увеличилась на 12 157 м, что составляет около 19,1% от первоначальной длины промоин (рис. 39).

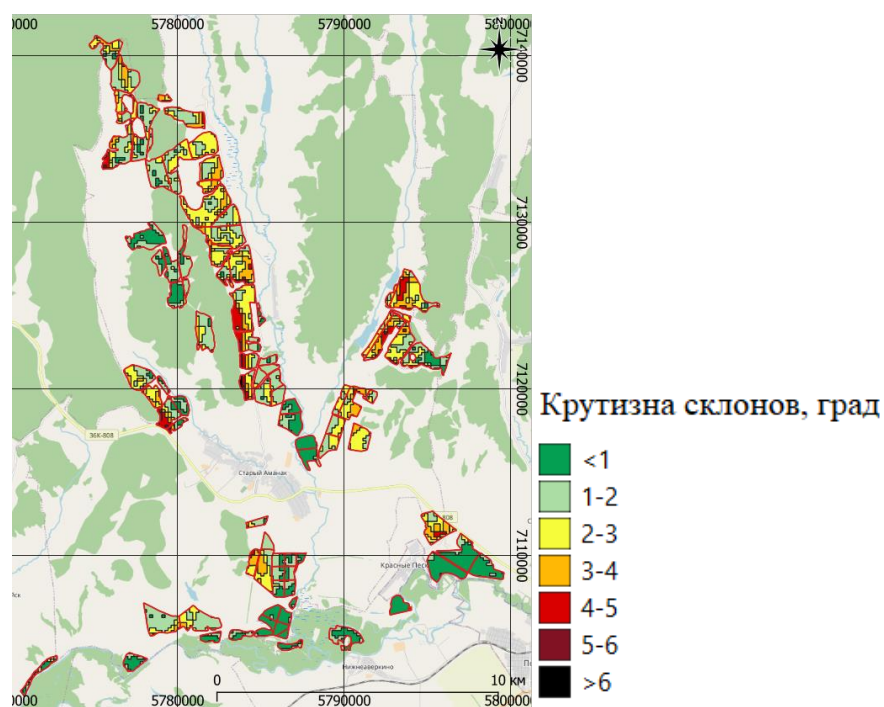


Рисунок 38 – Крутизна склонов АИЦ «Орловка»

Что касается поверхностного смыва, за исследуемый период возросло количество смытых территорий (где преобладают почвы различной степени смытости) на $0,78 \text{ км}^2$, что составляет 25,8% от состояния на 2005 год. Развитие промоин и смытых территорий определяются как отрицательная динамика индикатора эрозии почв.

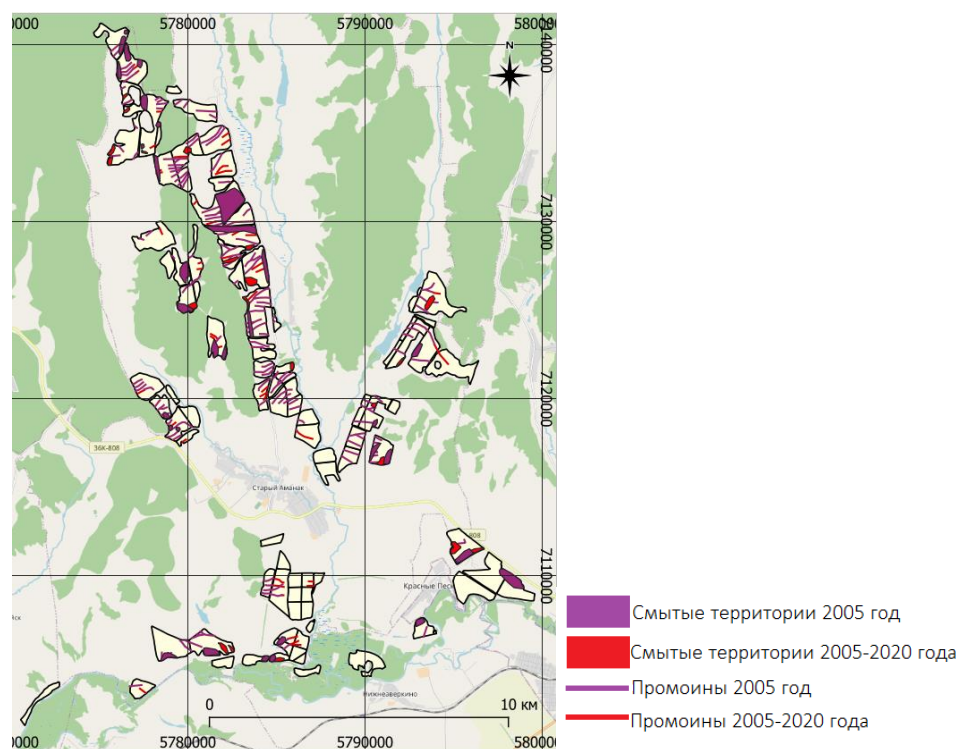


Рисунок 39 – Проявления эрозионных процессов на территории АИЦ «Орловка»

Оценка динамики земель по индикатору эрозии почв за изучаемый период представлена на рисунке 40. Так, территории с отрицательной динамикой составляют 0,78 км² и 12,16 км².

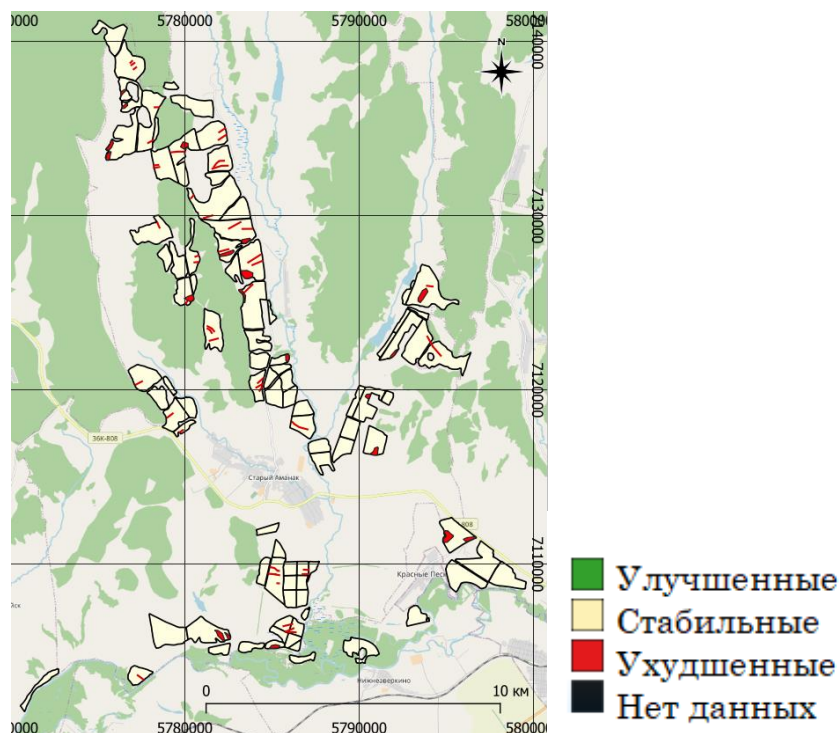


Рисунок 40 – Индикатор эрозии почв в хозяйстве Орловка за период 2005-2020 гг.

3.3.4.3 Расчет индикатора ЦУР 15.3.1 на уровне агрохозяйства «Орловка»

В таблице 34 представлены значения деградированных, стабильных и улучшенных территорий, полученных тремя методиками: базовой (используются глобальные индикаторы, полученные с помощью модуля Trends.Earth), модифицированной (используются модифицированные глобальные индикаторы: продуктивность выражена только через «траекторию» продуктивности и «проявление» продуктивности, «проявление» продуктивности рассчитано в более крупном масштабе с использованием снимков Landsat) и адаптированной (используются модифицированные глобальные индикаторы и региональные индикаторы: динамика урожайности, развитие эрозии почв) методиками.

Таблица 34 – Индикатор ЦУР 15.3.1, посчитанный по базовой, модифицированной и адаптированной методикам

	Базовая		Модифицированная		Адаптированная	
	км ²	%	км ²	%	км ²	%
Всего земель	39,9	100,00	39,9	100,0	39,9	100,00
Улучшенные	0,1	0,28	0,1	0,21	18,3	45,85
Стабильные	13,8	34,59	24,0	60,18	0	0
Ухудшенные	26,0	5,13	15,8	39,61	21,6	54,15
Индекс НБДЗ	-64,85%		-39,40%		-8,28%	

Если сравнить индикаторы ЦУР 15.3.1, подсчитанные разными способами, то видно, что худшие результаты по динамике качества земель получаются при подсчете базовой методикой, а лучшие – при использовании модифицированной, что связано с недоучетом развития процессов эрозии. Адаптированная методика, характеризуется значительно большим количеством улучшенных территории, за счет введения показателя динамики урожайности, который говорит о повышении продуктивности выращиваемых культур (рис. 41).

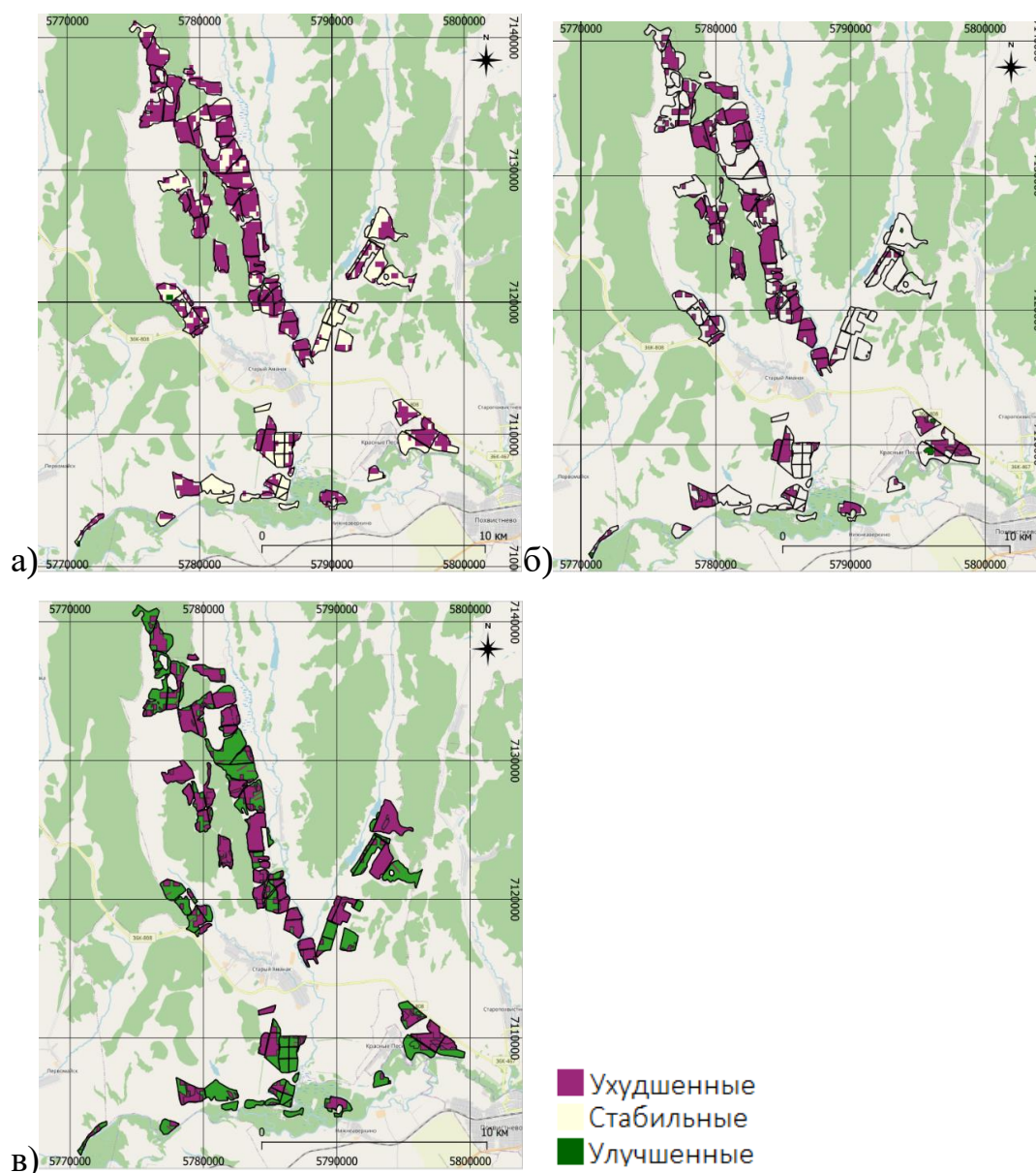


Рисунок 41 – Индикатор ЦУР 15.3.1 а) базовая методика, б) модифицированная методика в) адаптированная методика

При каждом способе подсчета индекс НБДЗ меньше нуля (для базовой методики индекс НБДЗ равен -64,85%, для модифицированной – -39,4%, а для адаптированной – -8,28%). Несмотря на то, что при подсчете всеми перечисленными методиками нейтральный баланс не достигнут, в подсчете адаптированной методикой количество улучшенных территорий значительно превалирует по сравнению с базовой методикой (на 45,58%), а ухудшенных, наоборот несколько меньше по сравнению с базовой методикой (на 10,99%). Отсутствие стабильных территорий при оценке адаптированной методикой

связано с введением показателя урожайности, при котором за счет роста урожайности культур большинство территории считается улучшенной. При этом растет также и количество деградированных территорий за счет развития эрозионных процессов и снижения урожайности на некоторых полях.

3.4 Сопоставление результатов, полученных при оценки деградации почв и земель с применением различных методов

В разделах 3.1, 3.2 и 3.3 представлены различные методы оценки деградации земель, включая анализ ущерба от деградации, оценку действий и бездействия Й. фон Брауна, а также концепцию НБДЗ (табл. 35). Эти подходы имеют между собой сходные черты. Так, методики оценки ущерба и действия/бездействия включают в себя экономические показатели состояния земель. При оценке ущерба и в методике НБДЗ оценивается деградация территорий (для ущерба проводят сравнение с эталоном, для НБДЗ – сравнение с базовой линией, «условным эталоном»). Стоит также отметить, что при оценке ущерба от деградации земель важную роль играет определение степеней деградации относительно эталона, а концепция НБДЗ позволяет оценить состояние земель в динамике.

Использование различных методов эколого-экономической оценки почв и земель для одной территории (Самарской области на трех уровнях её административно-хозяйственного устройства) привело к различным результатам этой оценки. Так, при почти равном удельном ущербе от деградации почв и земель на всех трех уровнях величины индекса НБДЗ и соотношения «действия/бездействия» различны для указанных уровней. Данное различие может быть обусловлено набором показателей, которые используются в той или иной методике: для оценки ущерба – показатели агроистощения, показатели стоимости земель, при использовании метода «действия/бездействия» – экономические показатели ведения землепользования, для расчета индекса НБДЗ – показатели состояния растительного покрова и почв.

Таблица 35 – Сравнение результатов эколого-экономической оценки земель

	Самарская область	Похвистневский район	АИЦ «Орловка»
Индекс НБДЗ (базовая методика), %	-10,02	-13,67	-64,85
Индекс НБДЗ (модифицированная методика), %	-27,44	-	-39,40
Индекс НБДЗ (адаптированная методика)	-44,05	-47,97	-8,28
Удельный ущерб (руб./га)	33 473	24 922	29 962
Соотношение бездействия к действию (20-летний период)	1,07	1,12	0,60

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

При оценке состояния земель немаловажную роль играют экономические показатели, которые определяют эффективность ведения текущего землепользования.

Рассчитанный удельный ущерб от деградации земель Самарской области является небольшим (33 тыс. руб./га) по сравнению с другими областями. Так для Калининградской области величина удельного ущерба составляет 118 тыс. руб./га (Макаров и др., 2022), для Пензенской области 112 тыс. руб./га (Макаров и др., 2022, Чекин 2024), для Владимирской области – 47 тыс. руб./га (Макаров и др., 2023). Это свидетельствует об относительно небольшом отличии состояния исследованных почв от недеградированных аналогов (эталонов). При этом нельзя говорить об отсутствии деградационных процессов на территории Самарской области, о чем говорит отрицательное значение индекса НБДЗ для региона. Также оценка с учетом подходов действия/бездействия показала, что Самарская область недополучает часть прибыли от сельского хозяйства в результате развития деградационных процессов в почвах и землях.

Стоит отметить, что адекватная оценка нейтрального баланса деградации земель с помощью инструмента Trends.Earth требует определенных модификаций, определяющиеся особенностями исследуемой территории, и от масштаба (уровня) исследования. Так, на всех уровнях исследования требуются модификация периодов сравнения продуктивности земель соответственно практике севооборотов, модификация матрицы переходов классов наземного покрова и также замена показателя динамики содержания или запасов почвенного органического углерода на альтернативные показатели.

На разных уровнях исследования оценка НБДЗ имеет разный уровень достоверности. На уровне области оценка отражает основные тенденции изменения состояния земель. А на уровне хозяйства, наоборот, требует наибольшей модификации.

К основным модификациям относится адаптация показателя динамики наземной продуктивности земель, и введение региональных индикаторов, таких

как динамика эрозии почв, урожайности, содержания доступных форм калия и фосфора в почвах.

При оценке НБДЗ базовой методикой на платформе Trends.Earth наиболее значимым глобальным индикатором для оценки деградации земель на всех уровнях исследования является индикатор динамики продуктивности земель, в то время как другие глобальные индикаторы (динамика наземного покрова и запасов почвенного органического углерода) являются по большей части стабильными. Эти результаты подтверждаются схожими исследованиями (Куст и др. 2018). Индикатор динамики продуктивности, выраженный через динамику нормализованного вегетационного индекса NDVI, отражает тренды изменения наземной растительной биомассы, что достаточно точно показывает реальные изменения, происходящие на исследуемой территории. При этом не всегда формальное снижение NDVI означает ухудшение состояния растительности. Так, снижение NDVI может быть связано с распашкой многолетних залежей, что в свою очередь не является отрицательным изменением для сельскохозяйственных территорий. Обратный процесс зарастания земель, так же приводит к увеличению NDVI, но по своей сути является негативным изменением состояния пахотных земель. Так же оценку динамики продуктивности осложняет наличие практики севооборотов на территории сельскохозяйственных земель. Поэтому при использовании данного индикатора необходим индивидуальный подход в выборе периодов сравнения, особенно на крупномасштабных исследованиях (уровень хозяйства и меньше). В связи с этими сложностями, особенно для сельскохозяйственных земель, полезно использование дополнительного индикатора, отражающего продуктивность – индикатора динамики урожайности. Следовательно, для оценки НБДЗ на территории Самарской области необходимо учитывать как глобальные, так и региональные индикаторы.

Важнейшим дополнительным индикатором для территории Самарской области на всех уровнях исследования является индикатор развития эрозионных процессов, который в свою очередь влияет на состояние других индикаторов,

таких как продуктивность земель, содержание почвенного органического углерода, содержание гумуса, интенсивность увеличения урожайности. Особенно значительное соответствие указанных индикаторов отмечается для районов, подверженных сильной и средней степени эрозии (Похвистневского и Сергиевского районов). Для районов, на которых преобладающими почвами являются слабоэродированные, и земель, на территории которых осуществляются активные противоэрозионные мероприятия такая закономерность отсутствует. Как было показано, на территории области прирост эрозионно-опасных земель значительно сократился в исследуемый период, тем не менее на эродированных территориях, где современный смыв почти отсутствует, отмечается низкая продуктивность земель, пониженное содержание гумуса и относительно низкий прирост урожайности относительно менее эродированных аналогов. С помощью снимков сверхвысокого разрешения было установлено, что нет полной остановки в развитии эрозионных процессов, на территории исследуемых объектов увеличивается количество промоин и смытых участков в исследуемый период времени.

Для оценки достижения НБДЗ в Самарской области, индикаторы, связанные с обеспеченностью почв калием и фосфором, имеют второстепенное значение. Это связано с тем, что на большей части территории области содержание этих элементов в почвах находится в пределах достаточного уровня. Обеспечение подходящим количеством удобрений способствует высокому содержанию доступной формы калия и фосфора в почвах.

ВЫВОДЫ

1. Оценка ущерба, вызванного деградацией почв и земель, позволила выявить сопоставимые значения удельного ущерба для трех уровней административно-хозяйственной структуры Самарской области, основываясь на показателях снижения содержания гумуса, подвижных форм фосфора и калия, а также изменения кислотности: на уровне региона в целом – 33 473 руб./га, на уровне Похвистневского муниципального района – 24 922 руб./га, на уровне Агро-инновационного центра «Орловка» – 29 962 руб./га.

2. При использовании методики экономики деградации земель по Й. фон Брауну было установлено, что в краткосрочном периоде планирования (6 лет) восстановление земель нерентабельно для Самарской области в целом и АИЦ «Орловка» и рентабельно для Похвистневского муниципального района. При долгосрочном планировании (20 лет) восстановление земель становится рентабельным для всей Самарской области, и остается нерентабельным для АИЦ «Орловка» и рентабельным для Похвистневского района.

3. Использование различных подходов к эколого-экономической оценке деградации земель на трех уровнях административно-хозяйственной структуры Самарской области дало возможность выявить характерные черты развития процессов деградации в прошлом (метод НБДЗ), в настоящем (оценка ущерба) и прогнозировать их в будущем (методика Й. фон Брауна). Поэтому, несмотря на отсутствие прямых зависимостей между рассмотренными методами, противоречия между ними нет, поскольку они предоставляют разную информацию о состоянии земель, их динамики и возможных путей использования.

4. Согласно базовой методике расчета индикатора ЦУР 15.3, НБДЗ не достигнут ни на одном уровне исследования. Индекс НБДЗ для Самарской области составляет «-10,02%», для Похвистневского муниципального района – «-13,67%», для АИЦ «Орловка» – «-64,85%». При проверке адекватности расчетов, подсчитанных при помощи модуля Trends.Earth, было выявлено, что показатель продуктивности отражает общие тренды изменений на уровне

области и муниципального района. Продуктивность на уровне агрохозяйства не отражала основных изменений, связи с особенностями хозяйства. Показатель изменения наземного покрова отвечал реальным изменениям территории на всех уровнях. Показатель изменения запасов ПОУ не отражал действительных трендов, происходящих на территории ни на одном из уровней исследования.

5. Использование модифицированной методики показало, что НБДЗ не достигнут на всех уровнях исследования. Индекс НБДЗ на уровне Самарской области составляет «-27,45%», на уровне хозяйства «Орловка» – «-39,4%». Подсчет по модифицированной методике на уровне муниципального района не представляется возможным.

6. Адаптированная методика применялась с введением следующих региональных показателей: динамика урожайности, динамика доступных форм калия и фосфора, динамика развития эрозионных процессов. Расчеты показали, что НБДЗ не достигнут на всех уровнях исследования: для Самарской области индекс НБДЗ составляет «-44,05%», для Похвистневского района – «-47,97%», для АИЦ «Орловка» – «-8,28%».

7. Наиболее выраженным показателем деградации почв и земель на всех уровнях исследования Самарской области является уменьшение содержания подвижных форм фосфора по сравнению с эталонными значениями.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абакумов, Е. В., Гагарина, Э. И., Вехник, В. П., Руденко, Н. А., Саксонов, С. В., Щуцкая, П. В. Почвы Самарской Луки: разнообразие, генезис, охрана //Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2008. – Т. 10. – №. 2. – С. 267-287.
2. Абакумов Е. В., Саксонов С. В., Савельев К. Н. Почвенно-ботанические экскурсии по северо-востоку и востоку Самарской области: перспективы создания региональной Красной книги почв //Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2009. – Т. 11. – №. 1-4. – С. 552-555.
3. Апарин Б. Ф. Проблемы оценки деградации почв мира //Biological Communications. – 2006. – №. 1. – С. 70-80.
4. Арзамасцева Н. В., Ковалева Е. В., Мухаметзянов Р. Р. Критический анализ подходов вовлечения неиспользуемых земель в сельскохозяйственный оборот //Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. – 2022. – №. 3. – С. 77-89.
5. Атлас земель Самарской области / глав. редактор Л.Н. Порошина. М.: Федеральная служба геодезии и картографии России. – 2002. – 100 с.
6. Бадмаев А. Г. Эколого-экономическая оценка сельскохозяйственных угодий в республике Бурятия с учётом деградации почв и экологического ущерба //Управление экономическими системами: электронный научный журнал. Кисловодск. – 2015. – №. 80.
7. Беляева М. В., Макаров О. А., Абдулханова Д. Р. Оценка ущерба от деградации почв и земель самарской области на уровне региона, муниципального района и агрохозяйства //Земледелие. – 2022. – №. 8. – С. 3-7.
8. Бондаренко Е. В. Опыт учета экосистемных сервисов почв при оценке деградации земель (на примере УО ПЭЦ МГУ) / Е. В. Бондаренко. – дис. ... канд.б. наук - МГУ им. М.В.Ломоносова, 2016. – 121 с.
9. Васильева, Д. И., Баранова, М. Н., Какутина, О. М., Шиманчик, И. П. Геологическое строение и почвенный покров территории г. о. Самара. //Самара: Самарский муниципальный институт управления. – 2011. – 167с.
10. Ворников Д. В., Баздырев Г. И., Павликов А. А. Оценка плодородия и продуктивности севооборотов в степной зоне Среднего Поволжья //Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. – 2009. – №. 2. – С. 39-46.
11. Гагарин А. И., Репотецкая М. Ю. Эколого-экономическая оценка земель сельскохозяйственного назначения с использованием Гис-технологий //Интерэкспо Гео-Сибирь. – 2008. – Т. 2. – №. 1. – С. 132-136.
12. Герасимова М. И., Караваева Н. А., Таргульян В. О. Деградация почв: методология и возможности картографирования //Почвоведение. – 2000. – №. 3. – С. 358-365.

13. Гнеденко В. В., Обущенко С. В. Динамика изменения плодородия почв Самарской области //Успехи современного естествознания. – 2013. – №. 9. – С. 148-151.
14. ГОСТ 26640-85 (СТ СЭВ 4472-84). Государственный стандарт Союза ССР. Земли. Термины и определения. (утв. и введен в действие Постановлением Госстандарта СССР от 28.10.1985 N 3453). – 1985. – 6 с.
15. Департамент Росгидромета по Приволжскому федеральному округу. — URL: <http://www.pfo.meteorf.ru> (дата обращения: 30.05.2023). – Текст : электронный.
16. Добровольский Г. В. Деграция и охрана почв/под ред. //Г.В. Добровольского. М.: МГУ. – 2002. – С. 33-60.
17. Добровольский Г. В., Орлов Д. С., Гришина Л. А. Принципы и задачи почвенного мониторинга //Почвоведение. – 1983. – №. 11. – С. 8-16.
18. Доклад об экологической ситуации в Самарской области за 2018 год. Выпуск 29. - Самара, 2019 - 222 с.
19. Закон города Москвы от 4 июля 2007 г. №31 «О городских почвах»
20. Захаров А. С., Горелов М. С. Зеленая книга Поволжья: Охраняемые природные территории Самарской области //Самара: Кн. изд-во. – 1995.
21. Зонн И. С., Куст Г. С., Андреева О. В. Парадигма опустынивания: 40 лет развития и глобальных действий //Аридные экосистемы. – 2017. – Т. 23. – №. 3 (72). – С. 3-16.
22. Зудилин С. Н., Зудилин А. С. Мониторинг плодородия черноземов Самарской области //Проблемы развития АПК региона. – 2016. – Т. 1. – №. 1-1. – С. 38.
23. Ибрагимова С. А., Казанцев И. В. Характеристика эрозионных процессов на территории Самарской области // Известия Самарского научного центра РАН. – 2014. – № 1–1. – С. 243-246.
24. Иванов, А. Л., Куст, Г. С., Козлов, Д. Н., Андреева, О. В., Андронов, Е. Е., Бардин, М. Ю., ... Якушев, В. П. Глобальный климат и почвенный покров России: оценка рисков и эколого-экономических последствий деградации земель. Адаптивные системы и технологии рационального природопользования (сельское и лесное хозяйство). – 2018. – 357 с.
25. Иванов, А. Л., Ушачев, И. Г., Лачуга, Ю. Ф., Завалин, А. А., Захаренко, В. А., Ключах, В. А., ... Попов, В. Д. Проблемы деградации и восстановления продуктивности земель сельскохозяйственного назначения в России. – 2008.
26. Казанцев И. В., Ибрагимова С. А. Экологическая характеристика почв Самарской области //Таврический научный обозреватель. – 2016. – №. 4 (9). – С. 260-263.
27. Казанцев И. В., Яицкий А. С. Экологический аспект дегумификации почв Самарской области //Новая наука: Современное состояние и пути развития. – 2016. – №. 7-2. – С. 9-12.

28. Карманов И. И., Булгаков Д. С. Деградация почв: предложения по совершенствованию терминов и определений // Антропогенная деградация почвенного покрова и меры её предупреждения. – 1998. – С. 5-6.
29. Каюков А.Н. Мониторинг использования и состояния земельного фонда // Проблемы современной аграрной науки. Красноярск: Красноярский государственный аграрный университет, 2020. – С. 24-28.
30. Кирюшин В. И. Агроэкологический мониторинг земель, новые требования и методология // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2007. – Т. 3. – №. 15-1. – С. 9-11.
31. Конвенция Организации Объединенных Наций по борьбе с опустыниванием в тех странах, которые испытывают серьезную засуху и/или опустынивание. 1994. UN General Assembly. A/AC.241/27. 12 September 1994. – URL: <http://www.unccd.int/convention/text/pdf/conv-rus.pdf>. (дата обращения: 10.04.2023). – Текст : электронный.
32. Крючков Н.Р. Анализ деградации почв и земель сельскохозяйственного назначения субъекта Российской Федерации методами эколого-экономической оценки и моделирования эрозионных процессов (на примере Волгоградской области) : дис. ... канд. биол. наук : 03.02.08, 03.02.13 / Крючков Никита Романович. – М., 2022. – 284 с.
33. Куделин В.Н. Эколого-экономическая оценка последствий от деградации почв и изменения климата для сельского хозяйства региона Черноземья (на примере Липецкой области) : дис. ... канд. биол. наук : 1.5.15 / Куделин Владислав Николаевич. – М., 2024. – 154 с.
34. Куст Г. С. Опыт применения концепции нейтрального баланса деградации земель для оценки состояния земель России // Степи Северной Евразии: материалы X международного симпозиума. – 2024. – №. X. – С. 683-692.
35. Куст, Г. С., Кудерина, Т. М., Андреева, О. В., Суслова, С. Б., Лобковский, В. А., Мандыч, А. Ф., ... Суховеева, О. Э. Деградация земель и опустынивание в России: Новейшие подходы к анализу проблемы и поиску путей решения. – 2019.
36. Куст, Г. С., Глазовский, Н. Ф., Андреева, О. В., Шевченко, Б. П., Добрынин, Д. В. Основные результаты по оценке и картографированию опустынивания в Российской Федерации // Аридные экосистемы. – 2002. – Т. 8. – №. 16. – С. 7-27.
37. Куст Г. С. Опустынивание и эволюция почв засушливых территорий. дисс... док. биол. наук. 03.02.13 / Г.С. Куст. М. – 1996.
38. Куст Г. С., Андреева О. В., Лобковский В. А. Нейтральный баланс деградации земель—новейший подход для принятия решений в области землепользования и земельной политики // Проблемы постсоветского пространства. – 2018. – Т. 5. – №. 4. – С. 369-389.
39. Куст Г. С., Андреева О. В., Лобковский В. А. Нейтральный баланс деградации земель – современный подход к исследованию засушливых регионов на национальном уровне // Аридные экосистемы. – 2020. – Т. 26. – №. 2 (83). – С. 3-9.

40. Лобковский, В. А., Куст, Г. С., Андреева, О. В., Лобковская, Л. Г. Пути выбора индикаторов для оценки нейтрального баланса деградации земель с учетом локальных и региональных особенностей России //Экология урбанизированных территорий. – 2020. – №. 3. – С. 75-82.
41. Лобковский В. А., Куст Г. С., Андреева О. В. Методические подходы к установлению базовой линии для мониторинга индикаторов нейтрального баланса деградации земель в России //Проблемы региональной экологии. – 2019. – №. 4. – С. 30-36.
42. Лобковский В. А., Куст Г. С., Андреева О. В. Нейтральный баланс деградации земель: возможности интеграции глобальных и национальных индикаторов //Экология урбанизированных территорий. – 2018. – №. 3. – С. 45-53.
43. Лобковский В.А., Андреева О.В., Куст Г.С. Интеграция международной и национальной систем мониторинга и оценки деградации земель в России. //Известия Российской академии наук. Серия географическая. – 2022. – Т. 86. – №1 – С. 9-27.
44. Макаров О. А., Абдулханова, Д. Р., Карпова, Д. В., Красильникова, В. С., Марахова, Н. А., Крючков, Н. Р., Чекин М. Р. Оценка ущерба от деградации почв и земель на трех иерархических уровнях административно-хозяйственного устройства Российской Федерации: субъектов, муниципальных образований и агрохозяйств // Вестник Московского университета. Серия 17: Почвоведение. — 2023. — Т. 78, № 2. — С. 86–93.
45. Макаров О. А., Цветнов Е. В., Ермияев Я. Р. Эколого-экономическая оценка земель: методология и перспективы развития //Использование и охрана природных ресурсов в России. – 2016. – №. 4. – С. 19-28.
46. Макаров О.А., Кузнецов М.С., Цветнов Е.В., Бондаренко Е.В., Абдулханова Д.Р. Основные направления развития эколого-экономической оценки земель в российской федерации //Вестник Московского университета. Серия 17. Почвоведение. – 2023. – №. 3. – С. 3-15.
47. Макаров О.А., Строков А.С., Цветнов Е.В., Чекин М.Р., Абдулханова Д.Р., Кубарев Е.Н., Марахова Н.А. Совмещенная оценка нейтрального баланса деградации земель и их эколого-экономического ущерба (на примере агрохозяйств Пензенской области) // Проблемы агрохимии и экологии. — 2021. — № 3-4. — С. 79–86.
48. Макаров, О. А., Красильникова, В. С., Кубарев, Е. Н., Строков, А. С., Абдулханова, Д. Р. Опыт оценки деградации дерново-подзолистых почв при помощи микробиологических показателей (на примере агрохозяйства Калининградской области) //Агрохимический вестник. – 2021. – №. 1. – С. 13-18.
49. Макаров, О. А., Красильникова, В. С., Марахова, Н. А., Цветнов, Е. В. Особенности оценки достижения нейтрального баланса деградации земель на уровне хозяйства Калининградской области //Достижения науки и техники АПК. – 2021. – Т. 35. – №. 7. – С. 64-68.

50. Макаров, О. А., Крючков, Н. Р., Строков, А. С., Цветнов, Е. В., Кубарев, Е., Абдулханова, Д. Р. Оценка ущерба от деградации почв и земель муниципального образования (на примере Калачёвского муниципального района Волгоградской области) // Проблемы агрохимии и экологии. – 2021. – №. 1. – С. 43-48.
51. Макаров, О. А., Марахова, Н. А., Красильникова, В. С., Крючков, Н. Р., Чекин, М. Р., Абдулханова, Д. Р. Опыт оценки ущерба от деградации почв и земель муниципальных образований Российской Федерации // Земледелие. – 2022. – №. 4. – С. 3-7.
52. Макаров, О. А., Строков, А. С., Цветнов, Е. В., Абдулханова, Д. Р., Красильникова, В. С., Щербакова, Л. С. Оценка ущерба от деградации почв и земель субъектов Российской Федерации // Земледелие. – 2020. – №. 6. – С. 3-6.
53. Макаров, О. А., Строков, А. С., Цветнов, Е. В., Абдулханова, Д. Р., Кубарев, Е. Н. Применимость методологии экономики деградации земель на уровне регионов Российской Федерации // Агрохимический вестник. – 2020. – №. 4. – С. 77-82.
54. Макаров, О. А., Яковлев, А. С., Строков, А. С., Цветнов, Е. В., Ермияев, Я. Р. Методология эколого-экономической оценки деградации земель на различных иерархических уровнях административнохозяйственного устройства России // Использование и охрана природных ресурсов в России. – 2017. – № 3(151). – С. 29-36.
55. Макаров, О.А., Строков, А.С., Кузнецов, М.С., Абдулханова, Д.Р., Беляева, М.В. Пути усовершенствования методологии экономики деградации земель // Использование и охрана природных ресурсов в России. – 2023. - №2. – С. 74-79.
56. Методика исчисления размера вреда, причиненного почвам как объекту охраны окружающей среды: (методика: зарегистрировано в Министерстве юстиции РФ 7 сент. 2010 г.: по состоянию на 25 апр. 2014 г.). – URL: <http://docs.cntd.ru/document/902227668> (дата обращения: 27.10.2022). – Текст : электронный.
57. Методика исчисления размера вреда, причиненного почвам как объекту охраны окружающей среды: [методика: зарегистрировано в Министерстве юстиции РФ 7 сент. 2010 г.: по состоянию на 25 апр. 2014 г.]. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/902227668> (дата обращения: 27.10.2022). – Текст : электронный.
58. Методика определения размеров ущерба от деградации почв и земель: [методика: утверждена Минприроды России и Роскомземом в июле 1994 г]. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/9014048> (дата обращения: 27.10.2022). – Текст : электронный.
59. Методика оценки размера вреда, причиненного окружающей среде в результате загрязнения, захламления, нарушения (в том числе запечатывания) и иного ухудшения качества городских почв:

- [Постановление Правительства Москвы от 22 июля 2008 г.]. М. – 2008. – 46 с.
60. Молчанов, Э. Н., Савин, И. Ю., Яковлев, А. С., Булгаков, Д. С., Макаров, О. А. Отечественные подходы к оценке степени деградации почв и земель //Почвоведение. – 2015. – №. 11. – С. 1394-1394.
 61. Национальный доклад «Глобальный климат и почвенный покров России: опустынивание и деградация земель, институциональные, инфраструктурные, технологические меры адаптации (сельское и лесное хозяйство)» / под ред. Р.С.-Х. Эдельгериева. Том 2. М.: ООО «Издательство МБА», 2019. – 476 с.
 62. Обущенко С. В., Гнеденко В. В. Анализ плодородия почв Самарской области //Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2015. – №. 4-1. – С. 90-94.
 63. Переведенцев, Ю. П., Парубова, Е. М., Шанталинский, К. М., Мягков, М. А., Шерстюков, Б. Г. Изменчивость основных климатических показателей на территории Приволжского федерального округа в период 1966-2018 гг. //Вестник Удмуртского университета. Серия «Биология. Науки о Земле». – 2021. – Т. 31. – №. 1. – С. 65-75.
 64. Порядок определения размеров ущерба от загрязнения земель химическими веществами. – Утвержден Минприроды России и Роскомземом от 27 декабря 1993 г., 1993. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/9033369> (дата обращения: 10.02.2023). – Текст : электронный.
 65. Постановление губернатора Самарской области от 19.02.2019 № 17 «Об утверждении Лесного плана Самарской области (с изменениями на 1 октября 2021 года) – Самара, 2019. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/553152367> (дата обращения: 15.03.2023). – Текст : электронный.
 66. Приказ министерства имущественных отношений Самарской области от 25.11.2022 № 2181 «Об утверждении результатов определения кадастровой стоимости всех учтенных в Едином государственном реестре недвижимости земельных участков, расположенных на территории Самарской области и среднего уровня кадастровой стоимости по муниципальным районам и городским округам Самарской области». – Самара, 2022. – URL: <https://mio.samregion.ru/wp-content/uploads/sites/6/2022/11/prikaz-2181-1.pdf> (дата обращения: 15.12.2022). – Текст : электронный.
 67. Подколзин О. А., Перов А. Ю., Сидоренко М. В. Современные проблемы мониторинга земель и пути их решения (на примере Краснодарского края) //Вестник Адыгейского государственного университета. Серия 5: Экономика. – 2018. – №. 3 (225). – С. 144-148.
 68. Разумов, В. В., Молчанов, Э. Н., Разумова, Н. В., Братков, В. В. К проблеме изучения воздействия деградационных и опасных природных

- процессов на сельскохозяйственные земли России // Бюллетень почвенного института им. ВВ Докучаева. – 2015. – №. 80. – С. 50-70.
69. Роде А. А. Толковый словарь по почвоведению. – 1975. – 286с.
70. Савич В. И. и др. Оценка почв // Астана. – 2003. – Т. 3003. – №. 544. – С. 23.
71. Самарский статистический ежегодник. – Стат.сб.\Самарастат., 2019. – 355с.
72. Самбуу А. Д., Оксюлюк А. О., Калдар-Оол А. Ю. Эколого-экономическая оценка деградации сельскохозяйственных земель центральной и западной зон республики Тыва // Аридные экосистемы. – 2022. – Т. 28. – №. 4 (93). – С. 132-139.
73. Семочкин, В. Н., Шаров, П., Шадманов, М. Р., & Зименкова, К. А. Проблема неиспользуемых земель в Российской Федерации и пути ее решения // Московский экономический журнал. – 2020. – №. 3. – С. 75-84.
74. Семенюк Ю. Что такое ставка дисконтирования?: Тинькофф Журнал. – URL: <https://journal.tinkoff.ru/guide/discountrate/> (дата обращения от 10 августа 2023 г.).
75. Сенатор С. А. Природное районирование Самарской области в работах различных исследователей // Самарская Лука: проблемы региональной и глобальной экологии. – 2015. – Т. 24. – №. 1. – С. 6-37.
76. Снакин В. В. Экология и охрана природы // Словарь-справочник. М.: Academia. – 2000. – Т. 384. – С. 33.
77. Соколов, В. В., Переведенцев, Ю. П., Шанталинский, К. М., Верещагин, М. А., & Наумов, Э. П. Климат и окружающая среда Приволжского федерального округа – 2013. – 300 с.
78. Соловьева В. В. Итоги инвентаризации растительного покрова долин малых рек северо-востока Самарской области // Самарский научный вестник. – 2021. – Т. 10. – №. 1. – С. 157-162.
79. Строков А. С., Красильникова В. С., Черкасова О. В. Экономическая оценка восстановления и увеличения эффективности использования сельскохозяйственных земель // Проблемы прогнозирования. – 2022. – №. 4 (193). – С. 136-146.
80. Терехин Э. А. Оценка сезонных значений вегетационного индекса (NDVI) для детектирования и анализа состояния посевов сельскохозяйственных культур // Исследование Земли из космоса. – 2015. – №. 1. – С. 23-23.
81. Троц Н. М., Орлов С.В., Герасимов Е.С., Бокова А.А. Накопление пожнивных и корневых остатков в севооборотах при применении технологии No-till в условиях лесостепной зоны Среднего Поволжья // Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. – 2023. – №. 1. – С. 25-31.
82. Федеральный закон от 16.07.1998 №101 – ФЗ (ред. от 05.04.2016) «О государственном регулировании обеспечения плодородия земель сельскохозяйственного назначения» // Собрание законодательства РФ, 16.07.1998. №29. — С. 36.

83. Федеральный закон Российской Федерации от 10 января 2002 г. №7-ФЗ «Об охране окружающей среды» // Российская газета, Федеральный выпуск №2874 от 12 января 2002 г.
84. Хвостиков С. А., Барталев С. А. Построение эталонов сезонной динамики NDVI для основных сельскохозяйственных культур // Информационные технологии в дистанционном зондировании Земли-RORSE 2018. – 2018. – С. 55-59.
85. Хитров Н. Б. Деградация почвы и почвенного покрова: понятия и подходы к получению оценок // Антропогенная деградация почвенного покрова и меры её предупреждения. – 1998. – Т. 1. – С. 20-26.
86. Цветнов, Е. В., Макаров, О. А., Яковлев, А. С., Бондаренко, Е. В. О включении экосистемных услуг в систему оценки ущерба от деградации земель // Почвоведение. – 2016. – №. 12. – С. 1534-1540.
87. Цветнов, Е. В., Макаров, О. А., Цветнова, О. Б., Крючков, Н. Р. Опыт совмещенной оценки нейтрального баланса деградации земель Волгоградской области и их эколого-экономического ущерба // Достижения науки и техники АПК. – 2021. – Т. 35. – №. 1. – С. 12-15.
88. Цветнов, Е. В., Цветнова, О. Б., Макаров, О. А., Марахова, Н. А. Проблемы оценки нейтрального баланса деградации земель на уровне региона Российской Федерации // Земледелие. – 2020. – №. 2. – С. 3-6.
89. Чекин М.Р. Эколого-экономическая оценка деградации почв и земель региона с применением различных методических подходов (на примере Пензенской области): дис. ... канд. биол. наук : 1.5.15, 1.5.11 / Чекин Михаил Романович. – М., 2024. – 192 с.
90. Шаронова И. В., Курочкин А. С. Материалы о распространении на территории Самарской области видов растений и животных, внесенных в региональную Красную книгу сообщение 2 (для Исаклинского, Камышлинского, Кинельского, Клявлинского и Красноярского районов Самарской области) // Самарская Лука: проблемы региональной и глобальной экологии. – 2015. – Т. 24. – №. 4. – С. 95-125.
91. Эколого-экономическая оценка деградации земель / А. С. Яковлев, О. А. Макаров, С. В. Киселев и др. — МАКС Пресс Москва, 2016. — 256 с.
92. Экономика деградации земель и продовольственная безопасность регионов России/Под редакцией О.А. Макарова / О. А. Макаров, Д. Р. Абдулханова, А. С. Балджиев и др. — Москва: ООО МАКС Пресс, 2022. — 320 с
93. Ягодин Г. А., Пуртова Е. Е. Устойчивое развитие: человек и биосфера. – 2013.
94. A land degradation interpretation matrix for reporting on UN SDG indicator 15.3.1 and land degradation neutrality / N. C. Sims, N. N. Barger, G. I. Metternicht, J. R. England // Environmental Science and Policy. – 2020. – Vol. 114. – № June. – P. 1-6.

95. Achard, F., DeFries, R., Eva, H., Hansen, M., Mayaux, P., Stibig, H. J. Pan-tropical monitoring of deforestation //Environmental Research Letters. – 2007. – T. 2. – №. 4. – P. 045022.
96. Anyamba A., Tucker C. J. Historical perspective of AVHRR NDVI and vegetation drought monitoring //Remote sensing of drought: innovative monitoring approaches. – 2012. – T. 23. – P. 20.
97. Bai, Z., Dent, D., Wu, Y., & de Jong, R. Land degradation and ecosystem services //Ecosystem services and carbon sequestration in the biosphere. – 2013. – P. 357-381.
98. Bajocco, S., De Angelis, A., Perini, L., Ferrara, A., Salvati, L.. The impact of land use/land cover changes on land degradation dynamics: a Mediterranean case study //Environmental management. – 2012. – T. 49. – P. 980-989.
99. Bandyopadhyay N., Saha A. K. Analysing meteorological and vegetative drought in Gujarat //Climate Change and Biodiversity: Proceedings of IGU Rohtak Conference, Vol. 1. – Springer Japan, 2014. – P. 61-71.
100. Barbier, E. B., Hacker, S. D., Kennedy, C., Koch, E. W., Stier, A. C., Silliman, B. R. The value of estuarine and coastal ecosystem services //Ecological monographs. – 2011. – T. 81. – №. 2. – P. 169-193.
101. Bradley B. A., Mustard J. F. Comparison of phenology trends by land cover class: a case study in the Great Basin, USA //Global Change Biology. – 2008. – T. 14. – №. 2. – P. 334-346.
102. Camprubi, A., Zárate, I. A., Adholeya, A., Lovato, P. E., Calvet, C. Field performance and essential oil production of mycorrhizal rosemary in restoration low-nutrient soils //Land Degradation & Development. – 2015. – T. 26. – №. 8. – P. 793-799.
103. Cerdà, A., González-Pelayo, Ó., Giménez-Morera, A., Jordán, A., Pereira, P., Novara, A., ... & Ritsema, C. J. Use of barley straw residues to avoid high erosion and runoff rates on persimmon plantations in Eastern Spain under low frequency–high magnitude simulated rainfall events //Soil Research. – 2016. – T. 54. – №. 2. – P. 154-165.
104. Chotte, J. L., Aynekulu, E., Cowie, A., Campbell, E., Vlek, P., Lal, R., ... Barger, N. Realising the Carbon Benefits of Sustainable Land Management Practices: Guidelines for estimation of soil organic carbon in the context of land degradation neutrality planning and monitoring. – 2019. – 108 p.
105. Cook B. I., Pau S. A global assessment of long-term greening and browning trends in pasture lands using the GIMMS LAI3g dataset //Remote Sensing. – 2013. – T. 5. – №. 5. – P. 2492-2512.
106. Costa J. L., Aparicio V. C., Cerda A. Soil physical quality changes under different management systems after 10 years in Argentinian Humid Pampa //Solid Earth Discuss. – 2014. – T. 6. – P. 2615-2644.
107. Dominati E., Patterson M., Mackay A. A framework for classifying and quantifying the natural capital and ecosystem services of soils //Ecological economics. – 2010. – T. 69. – №. 9. – P. 1858-1868.

108. Economics of Land Degradation: The Costs of Action versus Inaction / E. Nkonya, N. Gerber, J. von Braun et al. // IFRI Issue Briefs. – 2012a. – T. 68. – №9. – P. 1-7.
109. Economics of Land Degradation Initiative: Methods and Approach for Global and National Assessments / E. Nkonya, J. von Braun, A. Mirzabaev et al. // SSRN Electronic Journal. – 2013. – № 183.
110. Field CB, Randerson JT, Malmström CM (1995) Global net primary production: combining ecology and remote sensing. *Remote Sens Environ* 51(1):74–88
111. Foley, J. A., DeFries, R., Asner, G. P., Barford, C., Bonan, G., Carpenter, S. R., ... Snyder, P. K. Global consequences of land use //science. – 2005. – T. 309. – №. 5734. – P. 570-574.
112. Framework and Guiding Principles for a Land Degradation Indicators/ Washington, DC, – 2016.
113. UNCCD. Global Land Outlook, first edition. / UNCCD, Bonn –2017. –337 p.
114. Good Practice Guidance: SDG Indicator 15.3.1. Version 1.0 / N. C. Sims, C. Green, G. J. Newnham et al. – 2017. – № September. – P. 1-115.
115. The economics of land degradation / J. Von Braun, N. Gerber, A. Mirzabaev, E. Nkonya. – Bonn, 2013.
116. Jacquin A., Sheeren D., Lacombe J. P. Vegetation cover degradation assessment in Madagascar savanna based on trend analysis of MODIS NDVI time series //International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation. – 2010. – T. 12. – P. S3-S10.
117. Karnieli, A., Agam, N., Pinker, R. T., Anderson, M., Imhoff, M. L., Gutman, G. G., ... Goldberg, A. Use of NDVI and land surface temperature for drought assessment: Merits and limitations //Journal of climate. – 2010. – T. 23. – №. 3. – P. 618-633.
118. Khaledian, Y., Kiani, F., Ebrahimi, S., Brevik, E. C., Aitkenhead-Peterson, J. Assessment and monitoring of soil degradation during land use change using multivariate analysis //Land Degradation & Development. – 2017. – T. 28. – №. 1. – P. 128-141.
119. Kussul, N., Kolotii, A., Shelestov, A., Yailymov, B., & Lavreniuk, M. Land degradation estimation from global and national satellite based datasets within UN program //2017 9th IEEE international conference on intelligent data acquisition and advanced computing systems: technology and applications (IDAACS). – IEEE, 2017. – T. 1. – C. 383-386.
120. Kust G. S. To the treatment and interpretation of the “desertification” term in Russia //Arid ecosystems. – 2011. – T. 1. – P. 299-304.
121. Kust G., Andreeva O., Cowie A. Land Degradation Neutrality: Concept development, practical applications and assessment //Journal of environmental management. – 2017. – T. 195. – P. 16-24.
122. Levin S. A. Encyclopedia of Biodiversity. Vol. 2. – 2001.

123. Liu W. T., Juárez R. I. N. ENSO drought onset prediction in northeast Brazil using NDVI //International Journal of Remote Sensing. – 2001. – T. 22. – №. 17. – P. 3483-3501.
124. Montanarella, L., Pennock, D. J., McKenzie, N., Badraoui, M., Chude, V., Baptista, I., ... Vargas, R.. World's soils are under threat //Soil. – 2016. – T. 2. – №. 1. – P. 79-82.
125. Nkonya, E., von Braun, J., Mirzabaev, A., Le, Q. B., Kwon, H. Y., Kirui, O. Economics of land degradation initiative: Methods and approach for global and national assessments //ZEF-discussion papers on development policy. – 2013. – №. 183.
126. Olsson L., Eklundh L., Ardö J. A recent greening of the Sahel—trends, patterns and potential causes //Journal of Arid Environments. – 2005. – T. 63. – №. 3. – P. 556-566.
127. Orr, B. J., Cowie, A. L., Castillo Sanchez, V. M., Chasek, P., Crossman, N. D., Erlewein, A., ... Walter, S.. Scientific conceptual framework for land degradation neutrality //A report of the science-policy interface. United Nations Convention to Combat Desertification (UNCCD), Bonn, Germany. – 2017. – P. 1-98.
128. Peel M. C. Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification / M. C. Peel, B. L. Finlayson, T. A. McMahon // Hydrology and Earth System Sciences. – 2007. – T. 11. – № 5. – P. 1633-1644.
129. Pettorelli N., Safi K., Turner W. Satellite remote sensing, biodiversity research and conservation of the future //Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences. – 2014. – T. 369. – №. 1643.
130. Running, S. W., Nemani, R. R., Heinsch, F. A., Zhao, M., Reeves, M., Hashimoto, H. A continuous satellite-derived measure of global terrestrial primary production //Bioscience. – 2004. – T. 54. – №. 6. – P. 547-560.
131. Sternberg, T., Tsolmon, R., Middleton, N., Thomas, D. Tracking desertification on the Mongolian steppe through NDVI and field-survey data //International Journal of Digital Earth. – 2011. – T. 4. – №. 1. – P. 50-64.
132. Symeonakis E., Drake N. Monitoring desertification and land degradation over sub-Saharan Africa //International Journal of remote sensing. – 2004. – T. 25. – №. 3. – P. 573-592.
133. The economics of land degradation / J. Von Braun, N. Gerber, A. Mirzabaev, E. Nkonya. – Bonn, 2013.
134. Trends.Earth. Conservation International. 2022. URL: <http://trends.earth> (дата обращения – 21.02.2023). – Текст: электронный
135. Tsymbarovich, P., Kust, G., Kumani, M., Golosov, V., Andreeva, O.. Soil erosion: An important indicator for the assessment of land degradation neutrality in Russia // International soil and water conservation research. – 2020. – T. 8. – №. 4. – P. 418-429.
136. Tucker C. J., Nicholson S. E. Variations in the size of the Sahara Desert from 1980 to 1997 //Ambio. – 1999. – P. 587-591.

137. UN. 2019. Progress towards the Sustainable Development Goals: report of the Secretary-General. – URL: https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/24978Report_of_the_SG_on_SDG_Progress_2019.pdf (дата обращения: 24.04.2023). – Текст : электронный.
138. UN. 1977. Draft Plan of Action to Combat Desertification // UN Conference on Desertification, Nairobi. 29 August – 9 September 1977. Document A/CONF74/LS2. UN Environment Programme. Nairobi. – URL: <http://www.un-documents.net/a44r172.htm> (дата обращения: 24.04.2023). – Текст : электронный.
139. UNCCD. 2013. Refinement of the Set of Impact Indicators on Strategic Objectives 1, 2 and 3. Recommendations of the ad hoc advisory group of technical experts. ICCD/COP(11)/CST/2. Bonn: United Nations Convention to Combat Desertification. – 2013.
140. UNCCD. (2015a). Report of the Conference of the Parties on its twelfth session, held in Ankara from 12 to 23 October 2015. Part two: Actions taken by the Conference of the Parties at its twelfth session. / ICCD/ COP(12)/20/Add. Bonn: United Nations Convention to Combat Desertification. – 2015.
141. UNCCD. Achieving Land Degradation Neutrality at the country level / UNCCD. – 2016. – 32 p.
142. UNEP-FAO. Land Degradation Assessment in Drylands (LADA) // NR.: EP/GLO/502/GEF. Terminal Report. Rome. – 2011. – 39 p.
143. UNSD. Report of the Inter-agency and Expert Group on Sustainable Development Goals indicators / E/CN.3/2016/2/Rev.1. – 2016. – 62 p.
144. Wessels, K. J., Prince, S. D., Frost, P. E., & Van Zyl, D. Assessing the effects of human-induced land degradation in the former homelands of northern South Africa with a 1 km AVHRR NDVI time-series // Remote sensing of environment. – 2004. – Т. 91. – №. 1. – P. 47-67.
145. The use of the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) to assess land degradation at multiple scales: a review of the current status, future trends, and practical considerations / Yengoh, G. T., Dent, D., Olsson, L., Tengberg, A. E., Tucker, C. J. – Lund, 2014. – 80 p.
146. Zhang, Y., Peng, C., Li, W., Fang, X., Zhang, T., Zhu, Q., ... Zhao, P. Monitoring and estimating drought-induced impacts on forest structure, growth, function, and ecosystem services using remote-sensing data: recent progress and future challenges // Environmental Reviews. – 2013. – Т. 21. – №. 2. – P. 103-115.