

ДЕГРАДАЦИЯ,  
ВОССТАНОВЛЕНИЕ И ОХРАНА ПОЧВ

УДК 631.485

ОЦЕНКА ТРЕНДА ДЕГРАДАЦИИ ПАХОТНЫХ ПОЧВ  
НА ОСНОВЕ ИЗУЧЕНИЯ ТЕМПОВ ФОРМИРОВАНИЯ СТРАТОЗЕМОВ  
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ  $^{137}\text{Cs}$  В КАЧЕСТВЕ ХРОНОМАРКЕРА

© 2017 г. В. Н. Голосов<sup>1,2, \*</sup>, Н. Н. Иванова<sup>2</sup>, А. В. Гусаров<sup>1</sup>, А. Г. Шарифуллин<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Институт экологии и природопользования, Казанский (Приволжский) федеральный университет,  
Россия, 420008, Казань, ул. Кремлевская, 18

<sup>2</sup>МГУ им. М.В. Ломоносова, Россия, 119991, Москва, Ленинские горы, 1

\*e-mail: gollossov@gmail.com

Поступила в редакцию 13.07.2016 г.

Предложен новый подход к определению тренда изменений темпов деградации пахотных почв, который основан на оценке объемов накопления смытого материала в днищах долин первого порядка за два временных интервала (1954(1963)–1986 гг. и 1986–2015 гг.). Для датировки накапливающегося в днище смытого со склонов почвенного материала используется  $^{137}\text{Cs}$  глобального и чернобыльского происхождения. Данный подход, в сочетании с детальной оценкой морфометрических характеристик самого днища, анализом путей доставки наносов с пашни, строения и состава отложений, накопившихся в днище, позволяет достоверно оценить объемы выноса почвенного материала с обрабатываемых склонов. Рубежи 1963 и 1986 г. связаны с максимумами выпадения  $^{137}\text{Cs}$  в период проведения ядерных взрывов в открытой атмосфере и сразу после аварии на Чернобыльской АЭС. Применение подхода показано на примере изучения темпов формирования стратоземов в границах водосбора первого порядка в бассейне р. Ведуга (Воронежская обл.). Полученные результаты свидетельствуют, что в период 1986–2015 гг. темпы смыва почв с пашни на водосборе уменьшились как минимум вдвое по сравнению с предшествующим периодом, который в данном случае датируется началом глобальных выпадений (1954 г.).

*Ключевые слова:* деградация почв, стратоземы (Stratozems), аккумуляция, наносы, хрономаркер  $^{137}\text{Cs}$ , водосбор первого порядка, Воронежская область

DOI: 10.7868/S0032180X17100033

ВВЕДЕНИЕ

Водная эрозия и аккумуляция на пахотных землях – ведущие процессы трансформации почвенного покрова в пределах равнинной части европейской территории России (ЕТР). Характер их проявлений весьма чувствителен к гидролого-климатическим изменениям, в том числе современным процессам глобального потепления климата, которые проявляют себя в этом регионе планеты особенно заметно в последние десятилетия [19]. С середины 1990-х гг. отмечается заметное уменьшение половодного стока рек ЕТР, связанное с более теплыми и малоснежными зимами по сравнению с предшествующими десятилетиями [24]. В равной мере экономические условия, сложившиеся после распада Советского Союза, привели к изменениям в землепользовании, которые выразились в существенном сокращении площади пашни (особенно в период 1991–2005 гг.) [15]. Они в большей мере затронули лесную зону ЕТР, но произошли также в лесостепной и степной зонах. В последние годы в степи и лесостепи

постепенно восстанавливаются площади пашни, но они еще не достигли уровня 1980-х гг. Изменения климата и землепользования должны были отразиться и на интенсивности эрозии почв на обрабатываемых склонах, которая во многом определяет степень их деградации. Однако прямые наблюдения за темпами склонового смыва с пашни в последние десятилетия на ЕТР не проводились. Сейчас не осуществляются проводимые ранее на регулярной основе почвенно-эрозионные съемки. В результате отсутствует возможность количественно оценить результаты воздействия климатических и хозяйственных изменений в регионе на темпы деградации почв, обусловленные проявлениями эрозионных процессов.

Цель работы – разработать новый подход к количественной оценке тренда деградации почвенного покрова на пахотных землях малых водосборов, основанный на использовании цезиевых маркеров для датировки аккумулятивных толщ, накопившихся в днищах долин первых порядков (непосредственно граничащих с распаханной)

**Таблица 1.** Обобщенные данные о переотложении наносов внутри пашни на склонах различной конфигурации, установленные различными методами [6], % от суммарного смыва

Типы склонов и склоновых водосборов	Метод водоройн	Радиоизотопный метод, глобальный $^{137}\text{Cs}$	Почвенно-морфологический метод	Среднее
Ложбинные, пологие	34–39	40–45	25–63	41
Ложбинные, крутосклонные	–	20–40	15	22.5
Вогнутые	50–60	80	–	68
Прямые	35–45	25–65	13	29
Выпуклые крутые	10	20	10.5	13.5
Выпуклые средней крутизны	15–45	–	–	(30)
Выпуклые пологие или с высокой напашью у подножия	55–70	75	–	69
Итого	39	49	(20)	39

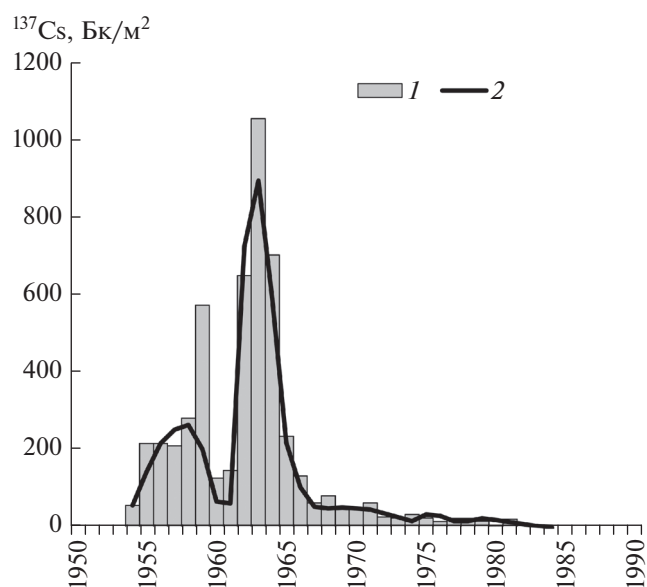
склонами междуречий), где формируются стратоземы (Stratozems) – слоистые почвы с хорошо выраженной намытой частью профиля.

### ОБЩИЕ ПРИНЦИПЫ МЕТОДИЧЕСКОГО ПОДХОДА

В процессе смыва почвенного материала с пахотных угодий часть наносов переоткладывается внутри пашни с максимумом на участках выполаживания склонов и у нижней границы пашни. В зонах переотложения наносов формируются ареалы намытых и смыто-намытых почв. Данные зоны стабильны во времени, хотя при высокой интенсивности смыва они могут существенно расширяться и, в итоге, даже изменить конфигурацию склонов. По существу оценкам доля внутрисклоновой аккумуляции составляет 10–40% от общего объема перемещенного почвенного материала (табл. 1). Морфология пахотных склонов, преобладающих на ЕТР, определяет переотложение внутри пашни не более 10–15% наносов [6]. Таким образом, значительная часть смытого почвенного материала выносится за пределы пахотных угодий и накапливается в днищах долин первых порядков.

Темпы накопления сносимых со склонов почвенных частиц в днищах, примыкающих к склонам малых долин, определяются на основе использования  $^{137}\text{Cs}$  в качестве хрономаркера. Этот долгоживущий изотоп искусственного происхождения появился в окружающей среде с началом проведения ядерных взрывов в открытой атмосфере в 1954 г. Динамика проведения испытаний в северном полушарии Земли характеризовалась двумя максимумами: 1958 и 1962 гг., после которых, с задержкой вплоть до года [13], отмечались пиковые выпадения изотопа цезия на земную поверхность (рис. 1). В 1963 г. подписано соглашение о запрещении проведения взрывов в открытой атмосфере, и в последующие годы выпадение  $^{137}\text{Cs}$  постоянно сокращалось. Из

нижней атмосферы  $^{137}\text{Cs}$  выводился при формировании кучево-дождевых облаков и выпадении дождей. Попадая на поверхность почвы,  $^{137}\text{Cs}$  быстро и прочно фиксировался почвенными частицами и в дальнейшем перемещался только совместно с ними [31]. Выпадения  $^{137}\text{Cs}$  в 1954–1980-х гг., обусловленные проведением ядерных испытаний, получили название глобальных (или “бомбовых”). Локальные и региональные выпадения изотопа  $^{137}\text{Cs}$ , связанные с авариями на промышленных и энергетических объектах, из которых наиболее известны инциденты на Чернобыльской АЭС (1986 г.) и АЭС “Фукусима” в Японии (2011 г.), получали названия по месту их совершения. Поскольку выпадения  $^{137}\text{Cs}$  чернобыльского происхождения затронули большую часть терри-



**Рис. 1.** Динамика выпадения  $^{137}\text{Cs}$  глобального (“бомбового”) происхождения в северном полушарии Земли (1) по обобщенным данным [35] по сравнению с наблюдениями по Ленинградской обл. бывшего СССР (2, по [20]).

тории Европы, то наряду с  $^{137}\text{Cs}$  глобального происхождения он используется в качестве надежного хрономаркера для реконструкции современных процессов аккумуляции продуктов смыва почв [3, 27, 28]. Однако удельная активность (концентрация изотопа) чернобыльского  $^{137}\text{Cs}$  в почвах ЕТР характеризуется значительно большей вариабельностью по сравнению с глобальными выпадениями, что связано с высокой пространственной неравномерностью поступления радионуклидов с атмосферными осадками после чернобыльской аварии. На большей части ЕТР в почвах необрабатываемых участков в пределах аккумулятивных позиций ландшафта с постоянным накоплением почвенных частиц (днищах сухих долин, поймах рек, пролювиальных конусов выноса и шлейфах), в эпюрах вертикального распределения  $^{137}\text{Cs}$  четко идентифицируются пики максимальной концентрации изотопа 1963 и 1986 гг. [6, 16, 18]. Они маркируют с достаточной ( $\pm 1-2$  см) точностью положение поверхности почвы на момент выпадения  $^{137}\text{Cs}$  в эти годы. В пределах ненарушенных распашкой или другими видами антропогенного воздействия участков автономных позиций ландшафта, на которых не проявляются процессы смыва и аккумуляции, профиль вертикального распределения изотопа  $^{137}\text{Cs}$  в почве характеризуется расположением пика в верхних 2–3 см с последующим резким уменьшением концентрации до глубины 10–12 см [30]. Важно также отметить, что накопление почвенного материала в зонах аккумуляции в 1954–1986 гг. происходило в основном при относительно стабильных климатических условиях (до 1976 г.) и захватило только начальный этап глобального потепления (после 1976 г.). Период 1986–2016 гг. характеризовался не только более выраженными климатическими изменениями, но и совпал с этапом значительных изменений в землепользовании, который начался с распадом СССР в 1991 г.

Радиоизотопный метод широко использовался для изучения темпов эрозионно-аккумулятивных процессов на территории ЕТР [7, 9, 11, 16, 23, 25, 26, 29, 32, 34], однако ранее он не применялся для выявления тренда деградации пахотных почв.

## ПОЧВЕННО-КЛИМАТИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ РЕГИОНА ИССЛЕДОВАНИЯ

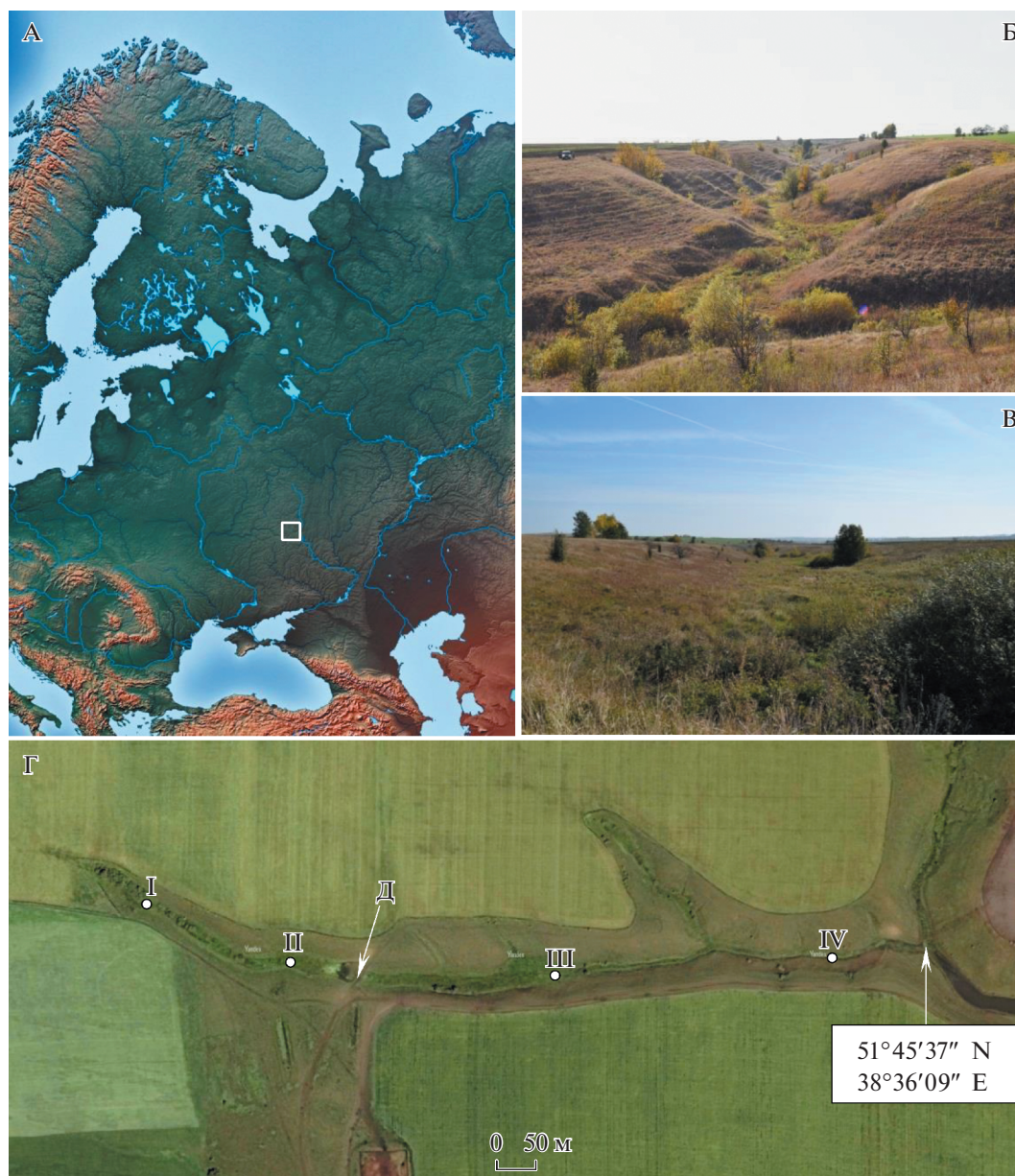
Исследуемая территория расположена в пределах восточного мегасклона центральной части Среднерусской возвышенности (рис. 2). Рельеф региона характеризуется сравнительно большой глубиной (70–130 м) и густотой (0.8–0.9 км/км<sup>2</sup>) расчленения. Густота овражной сети в бассейне р. Ведуга в конце 1990-х гг. составляла 0.5 км/км<sup>2</sup> [9, 17], а на наиболее сильно заовраженных участках – до 1.1 км/км<sup>2</sup>. Территория сложена мощны-

ми пластами верхнемеловых отложений сеноманского и туронского ярусов (пески, мергели, опоковидные песчаники, писчий мел) и отложениями палеогена и неогена, представленными разнозернистыми кварц-глауконитовыми или кварцевыми песками с небольшими горизонтами глин [10], местами вскрывающимися по бортам долин и в руслах рек.

К основным характеристикам климата, определяющим формирование поверхностного стока и развитие процессов эрозии почв, относятся осадки холодного и теплого сезонов года, а также глубина промерзания почв, являющаяся лимитирующей характеристикой формирования поверхностного стока в период весеннего снеготаяния [22]. Среднее годовое количество осадков (за 1950–2013 гг. по метеостанции г. Воронеж) составляет  $559 \pm 27$  мм, в том числе за теплое время (апрель–ноябрь) в среднем выпадает  $411 \pm 23$  мм (73.5%), за холодное (декабрь–март) –  $148 \pm 13$  мм (26.5%). Максимум осадков приходится на июль, минимум – на февраль. Устойчивый снежный покров устанавливается в декабре, но бывают годы, когда снег ложится в январе и даже в феврале. Весной снежный покров сходит к концу марта. В последние десятилетия в регионе отмечается рост среднегодовой температуры (преимущественно за счет повышения температуры воздуха в зимний период) и слоя атмосферных осадков (табл. 2).

Основные почвообразующие породы для почв междуречных пространств в бассейне р. Ведуга – покровные и делювиальные лессовидные суглинки, а также глины. Зональные почвы междуречных склонов представлены черноземами типичными и выщелоченными (Haplic Chernozems (Pachic) (WRB)). В условиях близкого залегания элювия мела они сменяются черноземами карбонатными (Calcic Phaeozems) [2]. На крутых участках бортов долин отмечены выходы мела туронского яруса.

Гранулометрический состав почв на склонах исследуемого водосбора преимущественно глинистый. Структура почвенного покрова распахиваемой (склоны междуречья) части водосбора представлена на рис. 3. Почвенный покров пологих бортов балки в ее верхнем течении представлен теми же почвами, что и примыкающие к ним склоны межбалочной водораздельной поверхности. Крутые склоны исследуемой балки в ее среднем и нижнем течении представлены слабо развитыми первичными почвами (Eutric Regosols Siltic Protocalcic), формирующимися на этапе выполаживания и закрепления травянистой растительностью осыпных бортов оврагов. В днище балки, в условиях регулярного поступления наносов, формируются стратоземы или лугово-черноземные (Stagnic Phaeozems (Colluvic, Pachic)) аллювиально-делювиально-пролювиальные почвы [8].



**Рис. 2.** Расположение изученной долины первого порядка на европейской территории России (А), общий вид долины в ее средней (Б) и верхней (В) частях, расположение почвенных разрезов (I, II, III и IV) по длине долины (Г), Д – земляная дамба.

Следует отметить, что классификация почвенного покрова днищ овражно-балочных комплексов разработана только в России. Согласно “Классификации и диагностике почв России” [14], почвы днищ балок, граничащих с распаханными склонами, относятся к стратоземам темногумусовым на погребенной почве (Stagnic Phaeozems (Colluvic, Pachic) (WRB)). М.А. Глазовской [4, 5] для регулярно пополняемых поступающими с водосбора наносами аккумулятивных толщ балочных днищ предложен термин “педолитоседимент”.

В районе исследования наиболее распространен полевой 10-польный севооборот со следующим чередованием культур: пар–озимые–сахарная свекла, корнеплоды–ячмень–кукуруза–горох–озимые–сахарная свекла, кукуруза–яровые–подсолнечник.

#### ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

В качестве объекта исследования выбран типичный по своим морфометрическим и почвенным характеристикам для Центрально-чер-

**Таблица 2.** Изменения среднегодовой температуры и атмосферных осадков по метеостанции г. Воронеж за 1950–2013 гг.

Характеристика	Период наблюдений	Средняя величина за период наблюдения	$C_v^*$
Температура, °С			
Холодный период (декабрь–март)	1950–1964	$-7.0 \pm 1.4^{**}$	0.39
	1965–1983	$-6.1 \pm 1.0$	0.37
	1984–2013	$-4.7 \pm 0.9$	0.51
Теплый период (апрель–ноябрь)	1950–1979	$12.3 \pm 0.4$	0.08
	1980–2013	$13.1 \pm 0.4$	0.09
Количество осадков, мм			
Годовое	1950–1979	$534.2 \pm 25.5$	0.13
	1980–2013	$595.2 \pm 37.5$	0.19
Холодный период (декабрь–март)	1950–1964	$122.3 \pm 17.9$	0.29
	1965–1983	$166.6 \pm 27.3$	0.37
	1984–2013	$152.9 \pm 15.4$	0.28
Теплый период (апрель–ноябрь)	1950–1979	$389.2 \pm 19.4$	0.15
	1980–2013	$440.8 \pm 34.7$	0.23

\* Коэффициент межгодовой вариации.

\*\* Доверительные интервалы установлены при 95%-ном уровне надежности.

ноземной зоны водосбор первого порядка, расположенный в пределах бассейна р. Ведуга (правобережный приток р. Дон,  $F = 1570 \text{ км}^2$ ) (рис. 2, А).

Длина малой долины (балки), являющейся частью более крупной балочной системы, составляет 1183 м (с ложбиной – 1463 м), площадь водосбора –  $1.15 \text{ км}^2$ , площадь самой балочной формы –  $0.11 \text{ км}^2$ , площадь ее днища –  $0.02 \text{ км}^2$ , средний его уклон – 0.04. Средние абсолютные отметки поверхности балочного водосбора составляют 177 м, амплитуда высот – 43 м. Склоны бассейна полностью распахиваются в течение последних как минимум 70 лет. Пашня доходит до бровок долины, а залуженные борта и днище используются для выпаса скота (рис. 2, Б). При этом нагрузка на пастбище существенно сократилась после 1991 г. в связи с сокращением численности скота. В верхней трети балочного днища имеется земляная дамба (рис. 2, Г), сооруженная, вероятно, в 1970-е годы (она показана на топографической карте 1988 г.) и перехватывавшая наносы, поступающие с верхней части водосбора. Наносы поступают в днище балки как по ложбине, которая подходит по пашне к вершине балки (рис. 2, В), так и с ее бортов. В период проведения полевых работ летом 2015 г. в тальвеге ложбины эрозионного вреза не отмечалось, перед границей с задернованным днищем балки в днище ложбины выделялся хорошо выраженный в рельефе внутренний конус выноса, на котором сформированы намытые почвы. По склонам балки на границе пашня–здернованный борт имеется хорошо вы-

раженная напашь высотой до 0.5 м. Однако ее емкость уже исчерпана, и смытый с пашни почвенный материал попадает напрямую в днище балки. Кроме того, с левого борта поступление наносов происходит по двум коротким притокам, днища которых в настоящее время являются участками накопления материала, и по приустьевым задернованным участкам двух ложбин, в которых начали формироваться вторичные овражные врезы, в настоящее время занимающие только среднюю часть борта балки. Пашня, расположенная над правым бортом долины, занимает более короткой и пологие склоны, на которых не происходит концентрации стока, что позволяет предположить достаточно низкие темпы смыва в этой части водосбора.

Основная задача полевых исследований состояла в изучении источников поступления почвенного материала, смытого с пашни в днище долины, выявления участков днища с различным характером переотложения наносов и исследовании аккумулятивных почв, формирующихся в пределах различных участков днища долины.

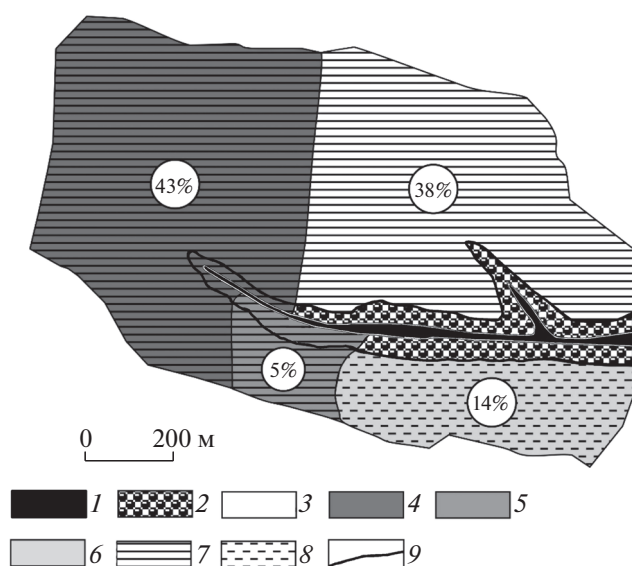
На начальном этапе проведено детальное обследование балки с целью определения границ ее днища, бровок склонов, положения истоков и устьев притоков-отвершков балки, расположенных на ее левом борту, а также характера растительности с целью использования метода фитоиндикации для определения путей транспорта и аккумуляции наносов. По всей длине балки с помощью электронного дальномера на участках из-

менения ширины днища и уклонов бортов изменены морфометрические показатели (крутизна, длина склонов и ширина днища). По результатам тахеометрической съемки с использованием электронного цифрового тахеометра Leica Smart Station TPS 1200 и детального обследования днища и бортов балки составлена морфодинамическая карта-схема с выделением различных элементов рельефа, основных путей поступления наносов со склонов в днище балки и участков днища с различным соотношением аккумуляции и транзита наносов. В последнем случае важным критерием являлся уклон днища и наличие выраженного в рельефе руслового понижения.

В результате выбраны места заложения четырех почвенных разрезов, характеризующие различные по степени транзитности участки днища (рис. 2, Г). Каждый из заложённых разрезов имел глубину более 1.0 м (кроме третьего разреза, где из-за близкого залегания грунтовых вод удалось достигнуть лишь глубины 0.6 м). После подробного описания морфологии почвенного профиля из каждого разреза послойно с фиксированной площадью (до глубины 0.5 м – 15 × 15 см, более 0.5 м – 10 × 10 см) были отобраны образцы почв для определения удельной активности  $^{137}\text{Cs}$ : до глубины 0.2 м через 2 см, для глубин 0.2–0.5 м – через 3 см, для глубин свыше 0.5 м – через 5 см. Разр. IV располагался на приустьевом участке днища балки, где аккумулятивная толща имеет достаточно большую мощность, поэтому в нем образцы отбирались через 3 см до глубины 0.6 м (площадью 15 × 15 см) и через 5 см (10 × 10 см) для глубин свыше 0.6 м.

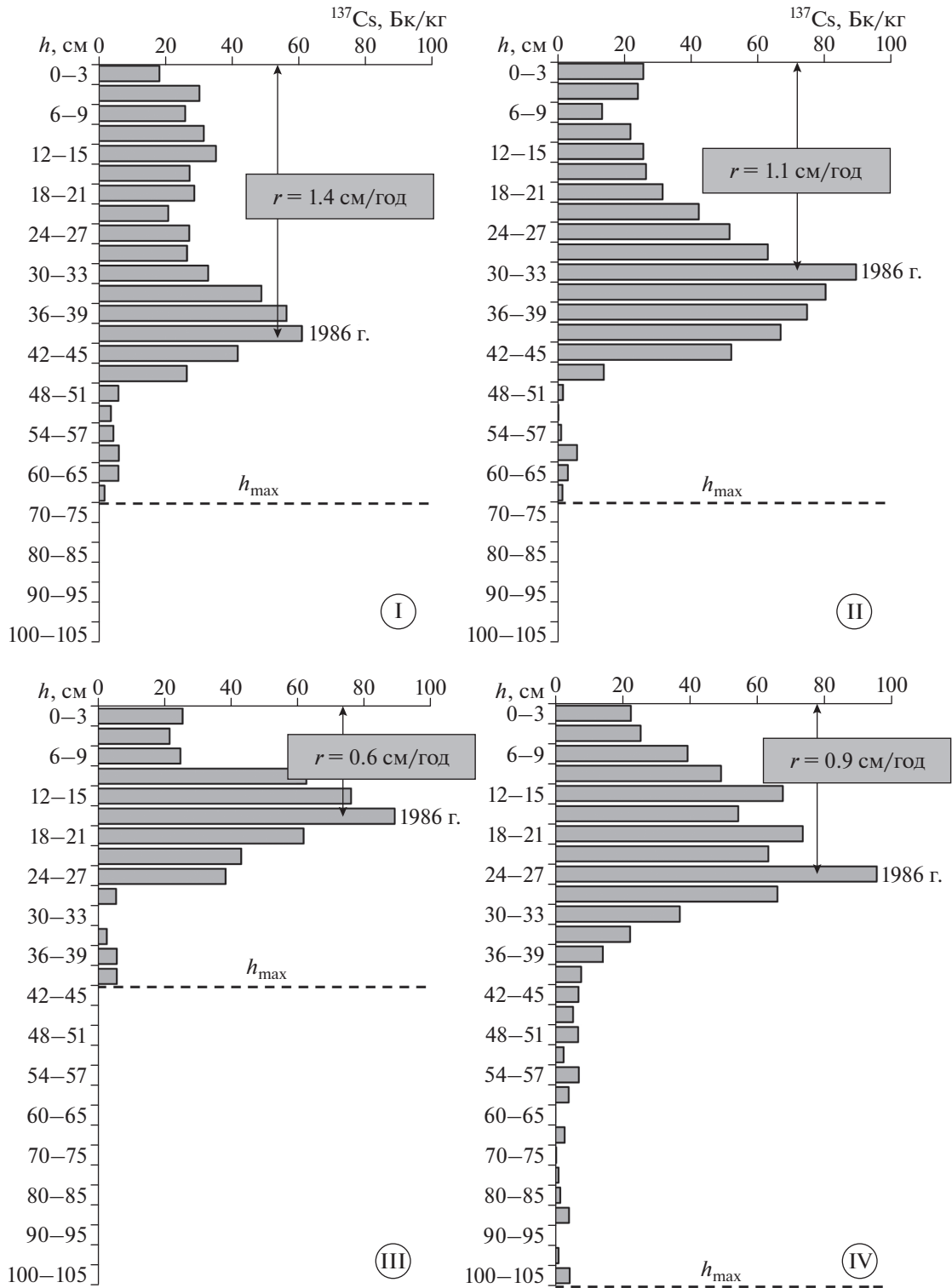
В лабораторных условиях определяли удельную активность  $^{137}\text{Cs}$  в почвенных образцах. Образцы почв высушивали при температуре 105°C, затем размалывали и просеивали через сито с диаметром отверстий 1 мм. В подготовленных для анализа пробах удельную активность  $^{137}\text{Cs}$  измеряли на коаксиальном германиевом  $\gamma$ -спектрометре с относительной погрешностью определения 5–10%. Подготовку (просушку, гомогенизацию) и  $\gamma$ -спектрометрический анализ проб почвы проводили в Лабораторно-аналитическом центре географического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова. По результатам проведения аналитических работ построены эпюры вертикального распределения  $^{137}\text{Cs}$  в почвенном профиле, по которым в каждом из разрезов выделен пик удельной активности  $^{137}\text{Cs}$  чернобыльского происхождения, характеризующий положение дневной поверхности почвы в 1986 г.

По результатам морфометрических измерений параметров днища и бортов долины совместно с эпюрами вертикального распределения  $^{137}\text{Cs}$  (рис. 4) во всех разрезах определены объемы почвенного материала, накопившегося в днище за



**Рис. 3.** Структура почвенного покрова водосбора излученной долины (по [2] с дополнениями): 1 – стратоземы или лугово-черноземные почвы (Stagnic Phaeozems (Colluvic, Pachic)), 2 – слаборазвитые первичные почвы (Eutric Regosols Siltic Protocalcic) крутых склонов долины, 3 – чернозем выщелоченный (Luvic Chernozems) среднегумусный среднемошный, 4 – чернозем типичный (Haplic Chernozems (Aric, Pachic)) среднегумусный мощный, 5 – чернозем типичный (Haplic Chernozems (Aric, Pachic)) малогумусный среднемошный (?), 6 – чернозем типичный (Haplic Chernozems (Aric)) малогумусный слабосмытый; гранулометрический состав: 7 – глинистый, 8 – тяжелоуглинистый, 9 – бровка долины.

два интервала времени: 1954–1986 и 1986–2015 гг. Определение объемов накопленного материала осуществляли путем вычисления площадей фигур (трапеций) на участках, где были построены поперечные профили и определены расстояния между ними. Основаниями верхней трапеции (слоя 1986–2015 гг.) служили ширина днища балки на поверхности (верхнее основание) и ширина на глубине максимального содержания цезия 1986 г. (нижнее основание). Во всех разрезах четко идентифицируются пики содержания  $^{137}\text{Cs}$  чернобыльского происхождения. С учетом того, что вертикальная миграция  $^{137}\text{Cs}$ , исходя из оценок на ненарушенных опорных участках в почвах лесостепной зоны, составляет 12–15 см [13, 18, 29, 32], а заглупление пика  $^{137}\text{Cs}$  составляет не более 1–2 см, запасы  $^{137}\text{Cs}$  в слое с максимальным содержанием и нижележащих 12–15 см соответствуют его начальному выпадению в апреле и мае 1986 г. В результате пересчета полученных значений запасов радиоцезия с учетом полураспада изотопа за период, прошедший до момента отбора проб, плотность загрязнения на май 1986 г. в точках расположения разр. I, II, III и IV составила, соответственно, 13.4–17.8, 14.6–21.4, 17.8–21.0 и 15.2–



**Рис. 4.** Вертикальное распределение удельной активности  $^{137}\text{Cs}$  в почвенных разрезах дна изученной долины (балки) первого порядка (здесь и на рис. 5): I, II, III и IV – номера разрезов,  $h$  – глубина ( $h_{\text{max}}$  – максимальная глубина) отбора образцов на содержание  $^{137}\text{Cs}$ ,  $r$  – средние темпы аккумуляции наносов после 1986 г.

20.6 кБк/м<sup>2</sup>, что полностью совпадает с плотностью радиоактивного загрязнения данной части Воронежской обл., показанной в Атласе радиоактивного загрязнения ЕТР, Белоруссии и Украины [3]. Основаниями нижней трапеции (слоя 1954–1986 гг.) послужили ширина долины на глубине максимального содержания <sup>137</sup>Cs 1986 г. (верхнее основание) и ширина долины на уровне нижнего слоя, в котором проводился отбор проб для определения содержания <sup>137</sup>Cs и который условно принимался как слой 1954 г. — начало глобальных выпадений <sup>137</sup>Cs (нижнее основание трапеции). Ни в одном из разрезов четко не выделяются пики 1963 г. глобальных выпадений, а также не были достигнуты горизонты с устойчивым отсутствием <sup>137</sup>Cs. Поэтому, в данном случае, невозможно точно определить суммарный слой отложенных наносов за период 1954–1986 гг. В целом, в связи с вертикальной миграцией <sup>137</sup>Cs положение границы 1954 г. можно установить с точностью не более ±5–6 см. Тем не менее, наличие <sup>137</sup>Cs в нижних из отобранных горизонтов в достаточно высокой концентрации (3–6 Бк/кг) позволяет оценить минимальный слой аккумуляции за данный период с точностью определения по глубине ±5–6 см. Это возможно сделать, если принимать максимальную глубину, на которой фиксировался <sup>137</sup>Cs глобального происхождения, за положение поверхности почвы на момент начала выпадений <sup>137</sup>Cs в 1954 г., и одновременно учитывать вертикальную миграцию изотопа <sup>137</sup>Cs глобального происхождения на 10–12 см. Данное допущение снижает точность оценок темпов аккумуляции и объемов отложений за период 1954–1986 гг.

Стороны трапеции определяли в соответствии с уклонами бортов долины на поперечном профиле, в пределах которого располагался конкретный почвенный разрез. Расстояние между фигурами (поперечными сечениями) определяли по продольному профилю дна долины. Полученные объемы пересчитывали в весовые величины путем перемножения их на среднюю плотность почвенных образцов.

Собраны и проанализированы данные наблюдений (за 1950–2013 гг.) по двум метеорологическим станциям, расположенным в городах Воронеж и Старый Оскол (материалы свободного электронного доступа Всероссийского НИИ гидрометеорологической информации — Мировой центр данных, ВНИИГМИ-МЦД).

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

При условии высокой контрастности окраски и значимых различий в гранулометрическом составе генетических горизонтов распахиваемых почв, разрезы, вскрывающие строение аккумулятивных толщ дна долины, сформиро-

ванных в основном за счет переотложения почвенного материала, обладают высокой информативностью. Анализ их описаний позволяет достоверно атрибутировать принадлежность переотложенного материала к определенному генетическому горизонту склоновых почв, и, следовательно, определить тип эрозионного процесса и перемещение в днище балки. Во всех четырех разрезах четко выделяется хорошо выраженная слоистость отложений, характеризующая единичные события переотложения почвенного материала, которая позволяет разделить толщу на отдельные пачки, отличающиеся окраской, плотностью, текстурой и в ряде случаев наличием новообразований и включений антропогенного происхождения. Мощность одновременно отложенных пачек колеблется от 1–2 до 12–15 см. Положение этих пачек наносов в датированных при помощи хрономаркера толщах отложений различных участков днища долины позволило сделать выводы о пространственно-временной динамике процессов деградации почвенного покрова исследуемого водосбора. Последовательно рассмотрим особенности почвенных профилей сверху вниз по течению.

Разр. I располагается в верхней части днища балки. Видимая в разрезе слоистость определяется чередованием пачек гумусированного материала разной мощности, прослоев и линз алевролита и контрастно выделяющихся по цвету прослоев с включениями ярко-бурого тяжелого суглинка (материал гор. В склоновых почв). Инверсия окраски гумусированного материала по глубине разреза (в верхних 50–60 см гумусированные прослойки серые с сильным бурым оттенком, ниже — темно-серые, почти черные) доказывает, что в течение всего периода формирования вскрытых толщ степень смытости распаханных почв между речей неуклонно увеличивалась. Непрочная порочистая структура верхних 20 см свидетельствует об относительно недавнем времени отложения материала. Ниже по разрезу вскрываются более старые, переработанные почвенным процессом наносы с прочной зернисто-комковатой структурой. Специфическая структура с очень острыми ребрами отдельностей в слое 22–54 см свидетельствует о многократной смене режима увлажнения, то есть в этой части балочного днища периодически скапливалась вода на достаточно длительный срок. На глубине 54(57)–90(91) и 90(91)–94 см отмечены многочисленные прерывистые прослойки включений ярко-бурого тяжелого суглинка, что позволяет предположить, что материал поступал сюда из крупных промоин на пашне, врезавшихся до иллювиального горизонта. Возможно, что это почвенный материал, который сформировался за счет размыва днища склоновой ложбины, которая подходит к вершине



балки. Угловатый характер “обломков” материала, сформировавшегося за счет размыва гор. В, свидетельствует о том, что они переносились на небольшое расстояние. Анализ удельной активности  $^{137}\text{Cs}$  в образцах наносов показал резкое уменьшение концентраций в слое 65–70 см по сравнению с вышележащими (с 6 до 1.9 Бк/кг), что подтверждает отложение здесь продуктов линейных размывов, поставляющих материал, который не был до этого экспонирован на дневную поверхность и вовлечен в распашку. Чернобыльский пик с удельной активностью около 60 Бк/кг в первом разрезе отмечается в слое 39–42 см. Анализ строения аккумулятивной толщи позволяет сделать вывод, что с 1986 г. в верхней части водосбора выше по течению от разр. I не происходило формирование глубоких промоин. В послечернобыльский период днище балки в верховье является ареной преимущественной аккумуляции наносов.

Разр. II расположен в верхней части заполненного наносами пересохшего пруда. Аккумулятивное тело (глубина разреза 107 см при предполагаемой мощности прудовых отложений у плотины не более 1.5 м) сложено наносами из материала верхних горизонтов почв. Включения крошки мела в слое 2–43 см вероятнее всего могут быть следствием работы мезофауны (заносы по ходам червей), редкие обломки мела (диаметр до 0.5 см) в слое 43–83 см свидетельствуют об интенсивном размыве, располагавшемся выше по течению от данного разреза. Инверсия окраски (верхние слои отложений темно-серые с явственным буроватым оттенком, в основании разреза окраска наносов насыщено темно-серая, почти черная) свидетельствует о последовательном увеличении степени смытости почв межбалочных склонов за время существования пруда. Чернобыльский пик с удельной активностью изотопа цезия около 90 Бк/кг выделяется в слое 30–33 см. Нижележащая толща накопилась преимущественно в период 1954–1986 гг. Отсутствие проб, отобранных для проведения радиоизотопного анализа из горизонтов глубже 70 см, не позволяет с полной уверенностью утверждать, что к данному периоду относится вся почвенная толща, вскрытая до глубины 80 см.

Разр. III расположен на участке днища основной балки ниже по течению от дамбы пруда и впадения верхнего левого отвершка. Днище плоское с выраженным вторичным врезом, скорее даже обводненным руслом, где в бочагах стоит вода; течения нет. В разрезе с глубины 32 см стенки сочатся водой, с глубины 58 см – пошла вода. Вскрытая аккумулятивная толща сложена гумусированными отложениями, в верхних 10–12 см отмечены волнистые прослой алеврита. Мощность аккумуляции за послечернобыльский период (по глубине погребения чернобыльского пика с удельной активностью около 90 Бк/кг)

составила 15 см, отложения этого возраста представлены материалом гумусовых горизонтов склоновых почв. В нижележащей толще на глубине 33 см прослеживается горизонтальный прерывистый прослой включений ярко-бурого тяжелого суглинка (материал иллювиального горизонта), что подтверждается близкой к нулевой концентрацией изотопа цезия в слое 30–33 см. Таким образом, на этом участке, как и в верховьях балки, зафиксировано отложение продуктов линейных размывов на водосборе в период между 1954 и 1986 гг. Незначительная мощность аккумулятивной толщи и рельеф днища позволяют считать участок, характеризующийся разр. III, преимущественно транзитным.

Разр. IV расположен в центральной части днища основной балки ниже впадения второго сверху левого отвершка. Днище имеет плоско-выпуклый поперечный профиль, тальвег не выражен, вторичных врезом нет. Поверхность днища покрыта густыми зарослями рудеральной растительности с незначительным участием разнотравья и редкими кустами ивы. В момент отбора проб в сентябре 2015 г. здесь отмечены следы недавнего прохождения значительного стока воды: ориентированные вдоль оси днища сухие стебли бурьяна и кукурузы, а также их скопления перед препятствиями (кусты ивы). В разрезе с поверхности зафиксирована пачка относительно свежих отложений мощностью около 10 см с фрагментами погребенной дернины в основании (рис. 5). Ниже вскрывается толща наносов, неоднородная по структуре и составу и сложенная как материалом верхних почвенных горизонтов, так и продуктами овражных выносов и линейных размывов. Сравнение эпюры вертикального распределения удельной активности цезия и строения аккумулятивной толщи позволяет утверждать, что и в этой части балочного днища в период после 1986 г. накапливались наносы, образовавшиеся в результате плоскостного смыва верхних гумусовых горизонтов водосборных почв (чернобыльский пик зафиксирован на глубине 24–27 см). В более глубоких слоях разреза в пачках с обильными включениями фрагментов ярко-бурого суглинка, обломков выветренного песчаника, крошки мела и прослоев разнозернистого кварцевого песка отмечена очень низкая или даже нулевая концентрация изотопа цезия, что позволяет интерпретировать их как отложения, образовавшиеся при формировании овражных врезом. В частности, слой 90–95 см, где зафиксировано отсутствие изотопа цезия, состоит из ярко-бурого вскипающего от HCl тяжелого суглинка, обогащенного крошкой мела. При этом такие прослой чередуются вплоть до подошвы разреза (105 см) со слоями, содержащими  $^{137}\text{Cs}$ , что позволяет утверждать, что в период 1954–1986 гг. отложилось не менее 81 см наносов. Наиболее вероятно,

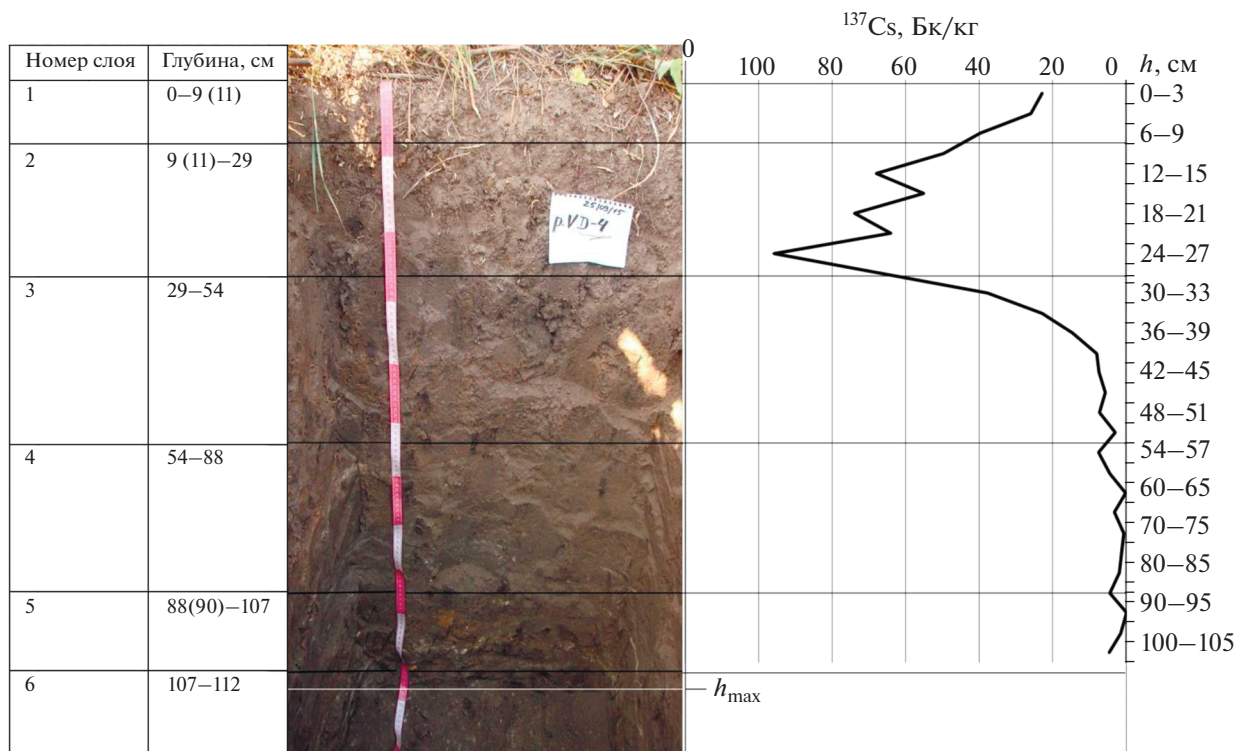


Рис. 5. Профиль почвы разр. IV с вертикальным распределением удельной активности  $^{137}\text{Cs}$  по глубине.

что пик 1963 г. в данном разрезе был размыв, и существующая аккумулятивная толща сформировалась уже после 1963 г.

Совместный анализ эпюр вертикального распределения  $^{137}\text{Cs}$  и строения аккумулятивных толщ по всем разрезам позволяет сделать выводы о направленной динамике эрозионно-аккумулятивных процессов на водосборе и в днище долины первого порядка. Так, во всех разрезах хорошо идентифицируются пики повышенной концентрации  $^{137}\text{Cs}$ , позволяющие определить положение поверхности днища на момент выпадения из атмосферы  $^{137}\text{Cs}$  чернобыльского происхождения в апреле–мае 1986 г. (рис. 4). От первого разреза к третьему отмечается общая тенденция уменьшения мощности наносов (от 39–42 до 15–18 см), отложенных после 1986 г., хотя в разр. IV их мощность снова возрастает.

Все опробованные аккумулятивные толщи (мощностью от 40 до 105 см для разных участков днища) содержат значимые концентрации  $^{137}\text{Cs}$ . На всех исследованных участках днища балки отложения, залегающие выше слоев с повышенной удельной активностью  $^{137}\text{Cs}$  и маркирующие положение дневной поверхности на момент чернобыльских выпадений, представляют собой продукты плоскостного смыва гумусовых горизонтов. Из этого следует, что после 1986 г. на водосборе балки практически не было активных

проявлений линейной эрозии даже в виде глубоких струйчатых размывов или промоин. В наносах, залегающих ниже чернобыльского цезиевого пика, фиксируются прослой с включениями ярко-бурого суглинка (иллювиальный горизонт склоновых почв), в которых отмечена очень низкая, практически нулевая концентрация изотопа  $^{137}\text{Cs}$ , что дает возможность интерпретировать их как продукты линейных размывов на водосборе, а также на бортах балки, и, вероятно, в ее днище. Материал из почвенных горизонтов на пашне и бортах долины, залегающих на глубине свыше 30–35 см, не мог содержать  $^{137}\text{Cs}$ , поскольку при вспашке почвы, благодаря частичному вмыванию илестых частиц, а также процессам биотурбации,  $^{137}\text{Cs}$  может мигрировать не более, чем на 10–12 см глубже подошвы пахотного горизонта. При формировании овражных врезов на бортах балки размывались и коренные породы, о чем свидетельствуют прослой с обломками мела, обнаруженные в разр. II и IV.

К сожалению, пики максимальных уровней активности  $^{137}\text{Cs}$  глобального происхождения выявить не удалось, так как они были размывты или, как в случаях с разр. I и II, расположенных в верхней половине днища, возможно, отбор проб был проведен на недостаточную глубину. Это позволяет утверждать, что в 1960-е годы в днище балки на всем ее протяжении или, по крайней мере, в ее

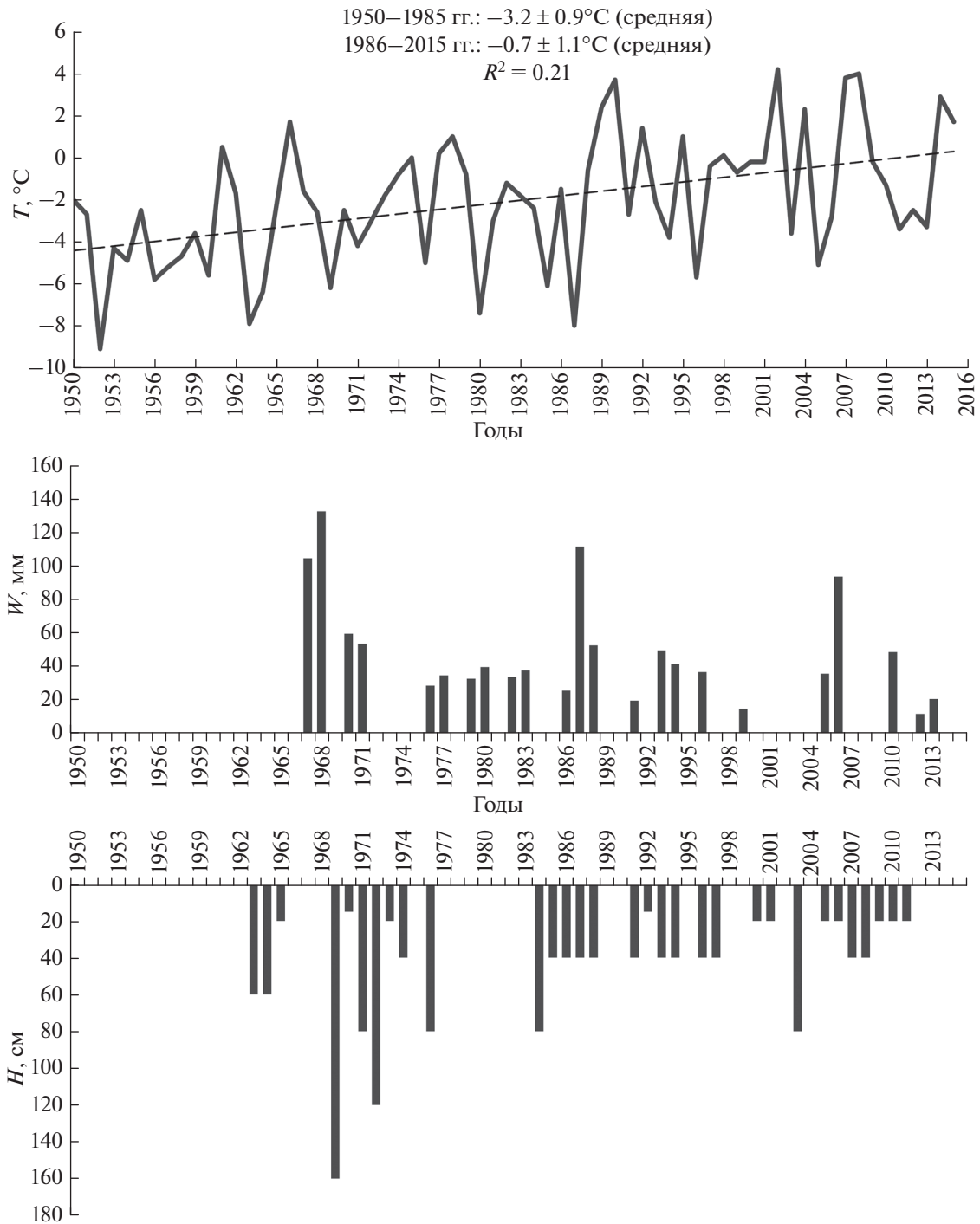
нижней половине процессы размыва преобладали над процессами аккумуляции, то есть по сути это был действующий овраг. В дальнейшем по мере заполнения наносами днища принимающей долины (в которую открывается устье изученной балки), процесс преобладания эрозии сменился аккумуляцией. Но даже с учетом выноса за пределы водосбора значительного объема почвенного материала общий объем аккумуляции за период 1954–1986 гг. составляет не менее 8.0 тыс. т, или 259 т/год, тогда как за период 1986–2015 гг. отложилось порядка 3.6 тыс. т, или 120 т/год. Учитывая, что с 1986 г. доминирующим процессом в днище балки было накопление почвенного материала, можно сделать общий вывод о том, что темпы смыва почв с пашни на водосборе в период после 1986 г. уменьшились как минимум вдвое. Фактически снижение темпов смыва и, следовательно, деградации почв на склонах междуречья могло быть и больше, так как размыв пика  $^{137}\text{Cs}$  1963 г. во всех разрезах, или как минимум в разрезах нижней части днища балки, указывает на то, что, по крайней мере, в период с 1954 г. до середины 1960-х годов вынос почвенного материала из днища долины преобладал над его аккумуляцией.

В средней части днища долины в 1970-е годы построена земляная дамба, которая с момента постройки задерживает большую часть наносов, поступающих с пашни. Выше по течению от этой дамбы накопилось 3.14 тыс. т смытой с водосбора почвы. Достоверно можно установить, что в период 1986–2015 гг., когда выше плотины аккумуляровался по существу весь почвенный материал, смытый с вышележащей распаханной части водосбора, отложилось 1.22 тыс. т. То есть смыв с пашни составил 0.91 т/га в год, что согласуется с величинами смыва, установленными для других территорий юго-западного сектора лесостепной зоны ЕТР для этого временного интервала [7]. В период 1954–1986 гг. выше створа дамбы отложилось как минимум 1.91 тыс. т (1.38 т/га в год), но при этом следует учитывать, что до постройки плотины значительная часть почвенного материала выносилась вниз по течению.

Основная часть наносов, накопленных в балочном днище, поступает с пашни за счет развития плоскостного и ручейкового смыва. Дополнительным источником наносов являлся материал, образовавшийся за счет поступления материала из оврагов, формировавшихся на бортах (левом) балки, преимущественно в период до 1986 г., если исходить из анализа состава отложений, накопившихся в днище долины. Кроме того, часть наносов формировалась за счет подмыва крутых бортов балки в нижней ее части также в период до 1986 г. В настоящее время вклад овражной эрозии минимален.

Основной причиной отмеченных различий в темпах эрозионно-аккумулятивных процессов является, на наш взгляд, изменение гидрометеорологических условий в регионе. За последние более чем полвека здесь выявлена устойчивая тенденция повышения температуры атмосферного воздуха в зимнее время и происходит смещение сроков снеготаяния во времени. Очевидно, что общее потепление климата, прежде всего, в зимние месяцы, привело к сокращению запасов воды в снеге на период начала снеготаяния и, что более важно для формирования поверхностного стока в период снеготаяния, глубины промерзания почв (рис. 6). В результате совокупного проявления этих тенденций талый сток и, соответственно, смыв почв, игравшие существенную роль в поступлении почвенного материала со склонов водосбора в днище балки, а также способствовавшие подмыву бортов ее нижней части, после 1986 г. стали проявляться слабее и крайне эпизодически. Отмеченная климатическая тенденция не является локальной, а носит региональный характер [33]. Согласно выводам [1], сток рек соседней Курской обл. сократился в среднем на 15–25%, а уменьшение слоя стока весеннего половодья, вызванное сокращением поверхностного стока в период снеготаяния, составило около 4–10%. Но особенно существенно снизились максимальные расходы весеннего половодья. Уменьшение коэффициентов поверхностного стока с пахотных склонов подтверждается и результатами многолетних наблюдений (1959–2005) на стоковых площадках Новосильской зональной агролесомелиоративной опытной станции (ЗАГЛОС), расположенной примерно в 150 км к северу от исследуемого объекта [20]. Следствием уменьшения темпов смыва со склонов междуречий явилось и снижение темпов аккумуляции наносов на поймах рек региона [16].

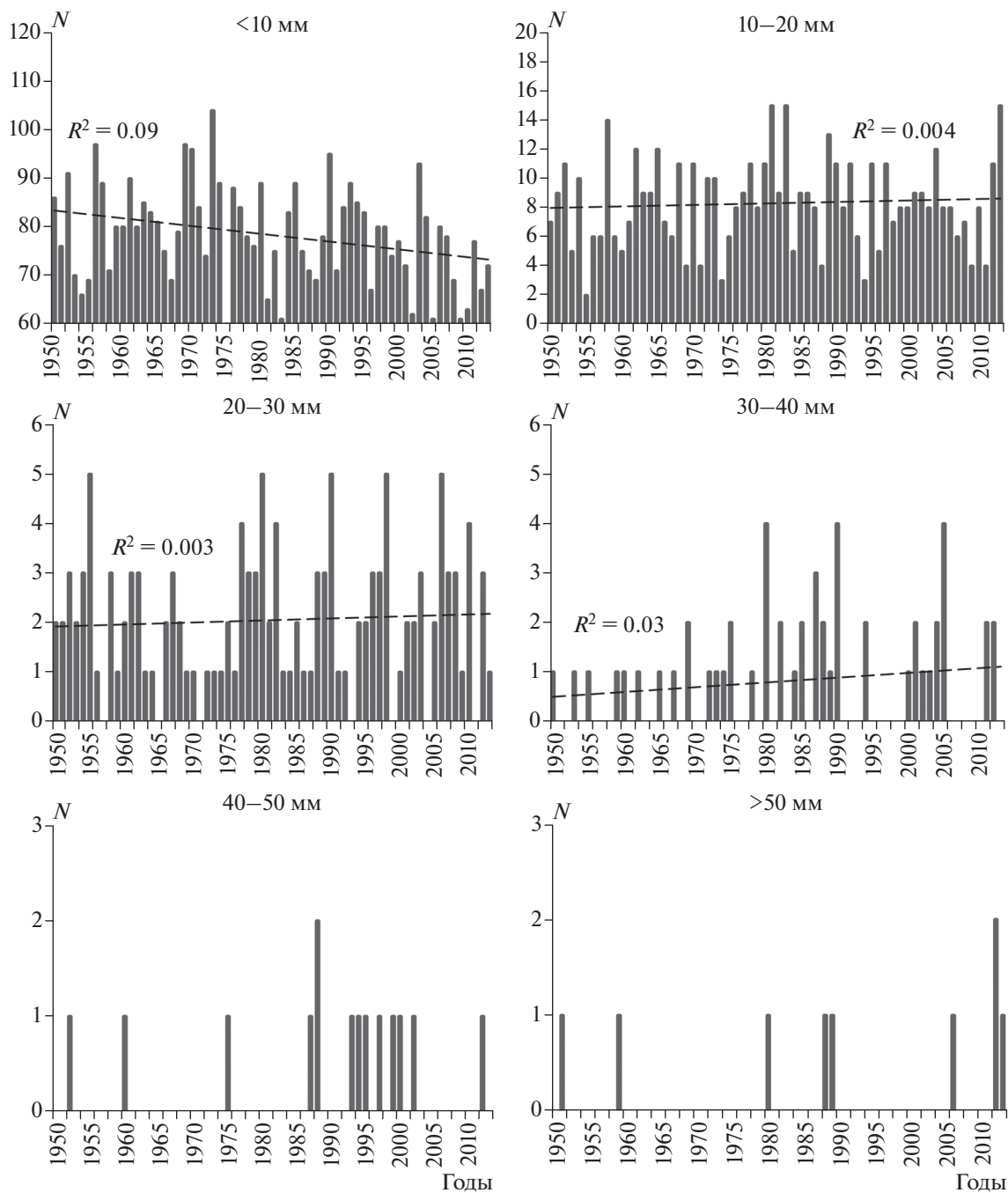
В теплое время года также произошли некоторые изменения повторяемости выпадения сильных ливней. С одной стороны, по дождевым осадкам со слоем менее 30 мм за период 1963–2015 гг. не отмечается сколь либо выраженной тенденции (рис. 7). В то же время для осадков со слоем более 30 мм, имеющих наибольший эрозионный потенциал, отмечается слабовыраженная тенденция роста, начиная с 1980-х гг. Так, за период 1986–2013 гг., по материалам наблюдений метеостанции г. Воронеж, отмечалось 11 ливней со слоем 40–50 мм, что почти в 3.5 раза больше, чем за 1950–1975 гг. Также прирост отмечен для ливней со слоем 30–40 и >50 мм (рис. 7). Следует учитывать, что наиболее интенсивные дождевые осадки в регионе приходятся на летние месяцы года (суммарно около 64% всех дождей слоем 40–50 мм, и около 89% – для дождей слоем >50 мм), когда почвозащитный коэффициент сельскохозяйственных культур ( $C$ ) выше ( $C = 0.29–0.45$ ),



**Рис. 6.** Изменения среднемесячных температур атмосферного воздуха в марте ( $T$ ) (по метеостанции г. Воронеж), запасов воды в снеге ( $W$ , на 15 марта) и глубин промерзания почв ( $H$ , средняя за первую половину марта) (по метеостанции г. Старый Оскол) за период 1950–2016 гг.; нулевые показатели по запасам воды в снеге и промерзанию почв связаны с отсутствием информации за эти годы.

чем весной ( $C = 0.66–0.67$ ). В период стока талых вод в марте  $C = 0.88$ , то есть почва в эти периоды года наименее защищена от смыва и размыва. Следовательно, можно предположить, что влияние возросшего числа летних осадков (со слоем

более 30 мм) на темпы смыва на склонах водосбора с 1986 г. было несущественным. Также в период проведения полевых работ легко идентифицировались зоны аккумуляции почвенного материала в днище основной долины и ее притоков,



**Рис. 7.** Изменения количества ( $N$ , ед.) дней с разным слоем осадков за теплый период года (апрель–ноябрь) по метеостанции г. Воронеж за 1950–2013 гг.; количество дней с разным слоем выпадения по периодам, ед./год:

Слой осадков, мм	1950–1979 гг.	1980–2013 гг.
<10	81.5	75.8
10–20	7.9	8.7
20–30	1.9	2.2
30–40	0.5	1.1
40–50	0.1	0.3
>50	0.1	0.2

сформированные вследствие ливневого смыва, произошедшего в год, предшествующий году обследования данной балки. Они отчетливо фиксировались методом фитоиндикации: в днище балки и ее притоков хорошо читались участки с ярко-зеленым травяным покровом с обилием рудеральных видов и всходами культурных растений (в сентябре 2015 г. — зацветающего подсолнечника), семена которых были принесены при смыве с распаханых склонов.

Принципиальных изменений в севообороте, способствующих сокращению темпов смыва на водосборе после 1986 г., не отмечено, как и нет изменений в площади самой пашни.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложен новый подход к количественной оценке изменения темпов деградации пахотных почв на основе изучения скоростей накопления смытого материала в примыкающих к пашне днищах долин первого порядка (темпов формирования стратоземов). Данный подход применим на малых водосборах с высокой долей распашки склонов в пределах равнинных территорий с умеренным и слабыми уровнями радиоактивного загрязнения территории после аварии на Чернобыльской АЭС.

Подход апробирован на типичном малом водосборе на западе Воронежской обл. в бассейне р. Ведуга. На основе изучения темпов формирования стратоземов в днище исследуемой малой долины установлено, что в период 1986–2015 гг. произошло заметное (минимум вдвое) уменьшение темпов смыва почв с пахотной части водосбора по сравнению с периодом 1954–1986 гг., что предопределяет соответствующее сокращение скорости деградации почв на пашне.

Причиной существенного снижения темпов смыва почв явилось сокращение поверхностного стока со склонов в период снеготаяния, вызванное общим потеплением климата, которое привело к увеличению температур воздуха в зимние и весенние месяцы, сокращению глубины промерзания почв и запасов воды в снеге на начало снеготаяния. Вместе с тем, благодаря относительно более высокому по сравнению с весенним периодом проективному покрытию поверхности почв посевными культурами, в летний период не происходит ожидаемого увеличения интенсивности смыва с поверхности пашни, несмотря на некоторый рост количества дождей слоем >30 мм в последние 25 лет.

Несущественные изменения в севооборотах при практически неизменной с середины 1950-х годов площади пашни не оказали значимого влияния на выявленный тренд сокращения темпов деградации почв. Учитывая доминирующую роль

климата в формировании данного тренда, полученные выводы могут быть распространены на весь юго-западный сектор лесостепной зоны ЕТР.

**Благодарность.** Работа выполнена при финансовой поддержке РФФ, проект 15-17-20006.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Анухтин А.В., Кумани М.В., Сысенко В.И.* Современные изменения условий формирования слоя стока весеннего половодья рек Курской области // Ученые записки: электронный научный журнал Курского гос. ун-та. 2012. № 1. С. 23–38.
2. Атлас земель сельскохозяйственного назначения. Министерство сельского хозяйства Российской Федерации [Электронный ресурс]: <http://atlas.mcx.ru/> (дата обращения: 22.06.2016).
3. Атлас радиоактивного загрязнения Европейской части России, Белоруссии и Украины // Под ред. Ю.А. Израэля. М.: ИГКЭ Росгидромета. Роскартография, 1998. 144 с.
4. *Глазовская М.А.* Денудационно-аккумулятивные структуры почвенного покрова как формы проявления педолитогеоза // Почвоведение. 2000. № 2. С. 134–147.
5. *Глазовская М.А.* Педолитогеоз и континентальные циклы углерода. М.: Либроком, 2009. 336 с.
6. *Голосов В.Н.* Эрозионно-аккумулятивные процессы в речных бассейнах освоенных равнин. М.: ГЕОС, 2006. 296 с.
7. *Голосов В.Н., Геннадиев А.Н., Олсон К.Р., Маркелов М.В., Жидкин А.П., Чендев Ю.Г., Ковач Р.Г.* Пространственно-временные особенности развития почвенно-эрозионных процессов в лесостепной зоне Восточно-Европейской равнины // Почвоведение. 2011. № 7. С. 861–869.
8. *Девятова Т.А., Божко С.Н.* Изменение почвенного покрова и свойств почв по элементам рельефа балочных водосборов Воронежской области // Вестник ВГУ. Сер. Химия, биология, фармацевтика. 2012. № 1. С. 77–83.
9. *Долгополов А.Я., Смольянинов В.М., Овчинникова Т.В.* Комплексная оценка состояния загрязнения земель в районах с интенсивным антропогенным воздействием на природную среду. Воронеж: Изд-во Воронежского аграр. ун-та, 1997. 126 с.
10. Донское Белогорье / Под ред. Ф.Н. Милькова. Воронеж: Изд-во ВГУ, 1976. 160 с.
11. *Жидкин А.П., Голосов В.Н., Светличный А.А., Пяткова А.В.* Количественная оценка перераспределения наносов на пахотных склонах на основе использования полевых методов и математических моделей // Геоморфология. 2015. № 2. С. 41–53.
12. *Иванов В.Д., Божко С.Н.* Почвенный покров и свойства почв балочных водосборов Центрально-черноземного региона // Почвоведение. 2000. № 6. С. 671–682.
13. *Израэль Ю.А.* Радиоактивные выпадения после ядерных взрывов и аварий. СПб.: Прогресс-Погода, 1996. 355 с.

14. Классификация и диагностика почв России. М.: Ойкумена, 2004. 341 с.
15. *Люри Д.И., Горячкин С.В., Караваева Н.А., Денисенко Е.А., Нефедова Т.Г.* Динамика сельскохозяйственных земель России в XX веке и постагрогенное восстановление растительности и почв. М.: ГЕОС, 2010. 416 с.
16. *Маркелов М.В., Голосов В.Н., Беляев В.Р.* Изменение скорости аккумуляции наносов на поймах малых рек в центре Русской равнины // Вестник Моск. ун-та. Сер. 5, география. 2012. № 5. С. 70–76.
17. *Мишон В.М.* Пруды Центрального Черноземья. Воронеж: Изд-во ВГУ, 2003. 90 с.
18. *Пегов А.Н., Фридман Ш.Д.* О вертикальных профилях цезия-137 в почвах // Почвоведение. 1978. № 10. С. 468–472.
19. *Переведенцев Ю.П.* Теория климата. Казань: Казанский ун-т, 2009. 504 с.
20. *Петелько А.И., Богачева О.В.* Влияние агрофона на сток талых вод // XXIV пленарное межвузовское координационное совещание по проблеме эрозионных, русловых и устьевых процессов. Барнаул: Изд-во Алтайского гос. ун-та, 2009. С. 166–169.
21. *Силантьев А.Н., Шкуратова И.Г.* Обнаружение промышленных загрязнений почвы и атмосферных выпадений на фоне глобального загрязнения. Л.: Гидрометеиздат, 1983. 136 с.
22. *Сурмач Г.П.* Рельефообразование, формирование лесостепи, современная эрозия и противоэрозионные мероприятия. Волгоград: ВНИАЛМИ, 1992. 175 с.
23. *Тишкина Э.В., Беляев В.Р., Голосов В.Н., Гурарий Е.М.* Трансформация почвенного покрова малого водосбора за 300 лет земледельческого освоения (Тверская обл.) // Почвоведение. 2006. № 8. С. 990–1004.
24. *Фролова Н.Л., Киреева М.Б., Агафонова С.А., Евстигнеев В.М., Ефремова Н.А., Павлишников Е.С.* Внутригодовое распределение стока равнинных рек Европейской территории и его изменение // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. 2015. № 4. С. 4–20.
25. *Шамшурина Е.Н., Парамонова Т.А., Голосов В.Н.* Влияние эрозионно-аккумулятивных процессов на радиационную обстановку агроландшафтов Курской области // География и природные ресурсы. 2011. № 4. С. 40–45.
26. *Ivanova N.N., Golosov V.N., Zhokhova A.V., Tishkina E.V.* Agrogenic transformation of the soil cover within a small catchment area (by the example of the forest-steppe part of the Oka-Don plain) // Eurasian Soil Science. 1998. V. 31. № 2. P. 197–204.
27. *Golosov V.N.* Application of Chernobyl derived <sup>137</sup>Cs for assessment of soil redistribution within cultivated field // Soil Tillage Res. 2003. V. 69(1–2). P. 85–98.
28. *Golosov V.N., Belyaev V.R., Markelov M.V.* Application of Chernobyl-derived <sup>137</sup>Cs fallout for sediment redistribution studies: lessons from European Russia // Hydrological Processes. 2013. V. 27. № 6. P. 781–794.
29. *Golosov V.N., Zhang X., Qiang T., Zhou P., He X.* Quantitative assessment of sediment redistribution in the Sichuan hilly basin and the Central Russian upland during the past 60 years // Geography, Environment, Sustainability. 2014. V. 7. № 3. P. 39–64.
30. *He Q., Walling D.E.* The distribution of fallout <sup>137</sup>Cs and <sup>210</sup>Pb in undisturbed and cultivated soils // Appl. Radiat. Isotopes. 1997. № 48. P. 677–690.
31. *Owens Ph.N., Walling D.E., He Q.* The behavior of bomb-derived cesium-137 fallout in catchment soils // J. Environ. Radioactivity. 1996. V. 32(3). P. 169–191
32. *Panin A.V., Walling D.E., Golosov V.N.* The role of soil erosion and fluvial processes in the post-fallout redistribution of chernobyl-derived caesium-137: a case study of the Lapki catchment, Central Russia // Geomorphology. 2001. V. 40(3–4). P. 185–204.
33. *Park H., Sherstiukov A.B., Fedorov A.N., Polyakov I. V., Walsh J. E.* An observation-based assessment of the influences of air temperature and snow depth on soil temperature in Russia // Environ. Res. Lett. 2014. V. 9. P. 064026. doi 10.1088/1748-9326/9/6/064026
34. *Yermolaev O.P., Golosov V.N., Dvinskikh A.P., Litvin L.F., Kumani M.V., Rysin I.I.* Recent changes in sediment redistribution in the upper parts of the fluvial system of European Russia: regional aspects // IAHS–AISH proceedings and reports “Sediment dynamics from the summit to the sea”. Wallingford: IAHS Press, 2014. P. 333–339.
35. *Zapata F.* Handbook for the Assessment of Soil Erosion and Sedimentation Using Environment Radionuclides. The Netherlands, Kluwer Academic Publishers, 2002. 219 p.