

ДЕГРАДАЦИЯ,
ВОССТАНОВЛЕНИЕ И ОХРАНА ПОЧВ

УДК 631.485

ИЗМЕНЕНИЯ ТЕМПОВ СМЫВА ПОЧВЫ В РЕЧНЫХ БАССЕЙНАХ
ЮЖНОГО МЕГАСКЛОНА ЕВРОПЕЙСКОЙ ЧАСТИ РОССИИ
ЗА ПОСЛЕДНИЕ 30 ЛЕТ

© 2019 г. К. А. Мальцев^{1, *}, М. А. Иванов¹, А. Г. Шарифуллин¹, В. Н. Голосов^{1, 2, 3}

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

²МГУ им. М.В. Ломоносова, Россия, 119991, Москва, Ленинские горы, 1

³Институт географии РАН, Россия, 119017, Москва, Старомонетный пер., 29

*e-mail: mlcvkirill@mail.ru

Поступила в редакцию 06.06.2018 г.

После доработки 02.11.2018 г.

Принята к публикации 28.11.2018 г.

На основе использования моделей USLE и Государственного гидрологического института проведена оценка темпов смыва пахотных почв для четырех речных бассейнов, расположенных в лесной, лесостепной и степной зонах европейской территории России за два интервала времени (1960–1985 и 1986–2015 гг.). Полученные результаты свидетельствуют о разнонаправленных тенденциях изменения среднесуточных значений темпов смыва в различных ландшафтных зонах: сокращение на юге лесной и востоке степной зон, незначительный рост – в южных степях. Причиной уменьшения темпов смыва является сокращение поверхностного талого стока. К росту темпов смыва почв привело увеличение эрозионного потенциала дождевых осадков, которое частично компенсировалось увеличением почвозащитного коэффициента севооборотов.

Ключевые слова: эрозия почв, бассейновый подход, эрозионные модели

DOI: 10.1134/S0032180X19060091

ВВЕДЕНИЕ

На фоне постепенного восстановления площадей пахотных земель, прежде всего, в лесостепной и степной зонах европейской территории России (ЕТР), которое наблюдается в последние годы, представляется важным оценить произошедшие изменения темпов смыва почв за последние десятилетия. Этот период характеризовался значительными климатическими изменениями [4, 27] и изменениями землепользования [17], которые могут быть оценены на среднемасштабном уровне, а именно на уровне малого речного бассейна. Бассейновый подход позволяет с достаточной детализацией оценить пространственные различия в темпах смыва и их изменения во времени. Кроме того, следует учитывать, что потери плодородия почв, обусловленные развитием процессов водной эрозии на пахотных землях, негативно сказываются и на качестве поверхностных вод [10, 20]. В этой связи оценка темпов эрозии почв, проводимая для речного бассейна, позволяет выявлять территории с максимальным смывом, для которых с целью разработки эффективных почвозащитных мероприятий следует выполнить детальные крупномасштабные исследования.

Количественные оценки смыва почв проводятся с использованием различных методов [9]. Среди них применение эрозионных моделей позволяет получить представление о пространственном распределении многолетнего смыва почв внутри водосборов. В настоящий момент наиболее широко используемыми в мире моделями эрозии почв являются: RUSLE, SWAT, WEPP, LISEM [28–32, 35–38]. Модели эрозии почв можно разделить на две большие группы: эмпирические (RUSLE, MUSLE и их модификации) и физически обоснованные или гидромеханические (LISEM, WEPP, SWAT, MMF, WATER/SEDEM, EUROSEM и др.). Кроме этого, их можно разделить по разной степени временной детализации, которые оценивают среднегодовые потери почвы (RUSLE, MMF, WATER/SEDEM) и потери почв от каждого эрозионного события (LISEM, MUSLE, WEPP, SWAT, EUROSEM). Также они различаются по пространственному масштабу: модели LISEM, MUSLE, SWAT, WATER/SEDEM [28, 29, 36, 38] оценивают смыв на склоновом водосборе, а RUSLE, MMF [32, 37] – смыв в каждой конкретной точке склона. Модели WEPP и EUROSEM [30, 32, 35] могут работать в разных

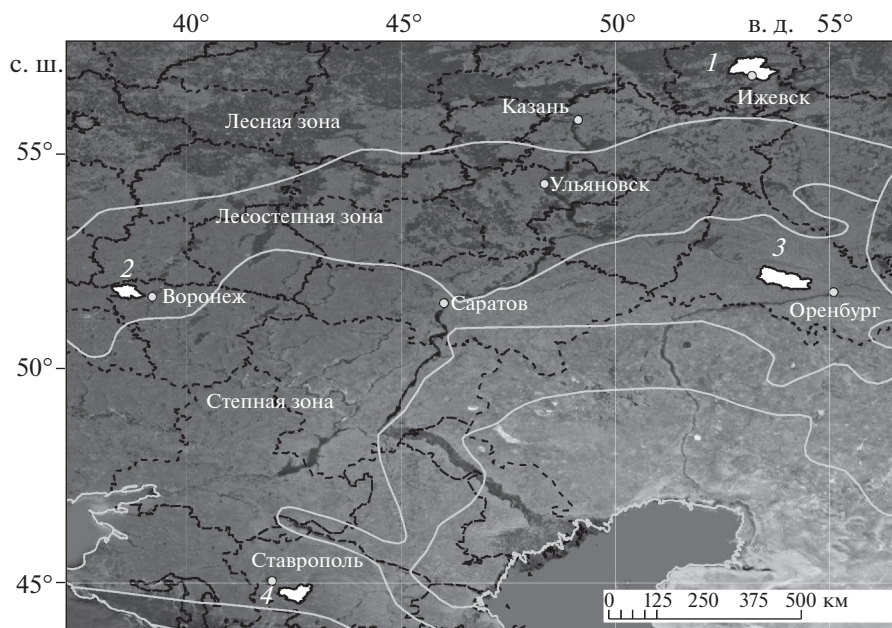


Рис. 1. Положение речных бассейнов в пределах ЕТР: 1 – Иж; 2 – Ведуга; 3 – Самара; 4 – Калаус.

пространственных масштабах. Из вышесказанного видно, что физически обоснованных моделей гораздо больше, чем эмпирических. Большинство из них призвано рассчитывать смыв почвы от конкретного стокового события на водосборе или на отдельном поле. Однако моделей, которые позволяют оценить среднееголетние значения смыва почв в каждой конкретной точке водосбора не так много. В основном это модели, базирующиеся на универсальном уравнении эрозии почв, которое используется также в данной работе.

Цель исследования состоит в оценке пространственно-временных изменений смыва почв на наиболее распаханной южной части лесной, лесостепной и степной зонах ЕТР, произошедшие за последние 30 лет. Исследования по оценке изменений смыва почв за последние несколько десятилетий были проведены ранее [12, 25]. Однако эти исследования были выполнены в мелком масштабе, в связи с чем в них не могли быть учтены фактические изменения площади пашни в пределах конкретных территорий. В настоящем исследовании проводится оценка изменений темпов смыва с учетом изменений климата, набора сельскохозяйственных культур и площади пашни на примере четырех малых речных бассейнов, расположенных в разных природных зонах, за два интервала времени (1960–1985 и 1985–2015 гг.). Это позволило дать оценку долговременного изменения потенциальных потерь почв от водной эрозии, произошедших в конце XX-го в начале XXI-го веков на изучаемой территории.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Для количественной оценки темпов смыва за два временных интервала выбрано 4 речных бассейна, расположенных в различных ландшафтных зонах ЕТР (рис. 1). Каждый из речных бассейнов является типичным по характеру и площади распашки, набору сельскохозяйственных культур, агрометеорологическим условиям для обширной территории в пределах соответствующей ландшафтной зоны. Почвенный покров пахотных земель также является типичным для данной части каждой из ландшафтных зон и значительно отличается по противозерозионной устойчивости, которая заметно уменьшается в бассейне р. Иж (табл. 1). Все речные бассейны располагаются в пределах возвышенностей, что предполагает более высокие темпы смыва.

Средние углы наклона поверхности речных бассейнов изменяются в относительно небольшом диапазоне, тогда как средние длины склонов изменяются довольно сильно в исследованных бассейнах (табл. 2).

Более существенны различия между бассейнами по климатическим характеристикам (табл. 3). Отличия в среднегодовой температуре воздуха на территории исследуемых бассейнов достаточно большие: от 2.8 (р. Иж) до 9.5°C (р. Калаус). Температурные различия определяют вероятность промерзания почв и ее глубину, которая зависит от температуры воздуха на период начала формирования устойчивого снежного покрова и его мощности.

Таблица 1. Преобладающие в речных бассейнах типы пахотных почв и их смываемость

Бассейн реки	Тип почв	Название в системе WRB, 2015	Смываемость, т/га на ед. ЭПО* [10]
Иж	Дерново-подзолистые преимущественно мелко- и неглубокоподзолистые	Eutric Albic Retisols (Abruptic, Loamic, Aric, Ochric)	3.2
	Дерново-подзолистые иллювиально-железистые	Glossic Albic Podzols (Abruptic, Epiarenic, Aric)	3.6
	Серые лесные	Luvic Retic Greyzemic Phaeozems (Loamic, Aric)	3.3
Ведуга	Черноземы выщелоченные	Luvic Chernozems (Loamic, Aric, Pachic)	0.8
	Черноземы типичные	Haplic Chernozems (Loamic, Aric, Pachic)	1.4
Самара	Черноземы южные	Haplic Chernozems (Loamic, Aric)	2.4
	Черноземы глубоковскипающие и бескарбонатные на легких породах	Eutric Arenosols (Aric, Humic)	1.3
	Черноземы остаточно-карбонатные	Skeletal Leptic Phaeozems (Loamic)	1.5
	Черноземы обыкновенные	Haplic Chernozems (Loamic, Aric, Pachic)	1.4
Калаус	Черноземы солонцеватые	Luvic Chernozems (Loamic, Aric, Protosodic)	1.5
	Солонцы (автоморфные)	Haplic Solonetz (Albic, Cutanic, Differentic)	2.0
	Черноземы неполноразвитые	Eutric Mollic Leptosols (Loamic)	0.8
	Черноземы глубокие карбонатные	Haplic Chernozems (Loamic, Aric, Pachic)	1.5

* ЭПО – эрозионный потенциал дождевых осадков.

Среднегодовалые температуры января, так же как и среднегодовалые годовые значения температуры воздуха, увеличиваются с севера на юг. Исключение составляет бассейн р. Самара, где из-за увеличения континентальности климата наблюдаются суровые зимы. Следует отметить, что в бассейне р. Калаус и частично р. Ведуга осадки холодного времени года формируются за счет жидкой фазы, а постоянный снежный покров образуется в бассейне р. Ведуга на непродолжительное время в связи с большим количеством оттепелей зимой, а в бассейне р. Калаус – эпизодически, что приводит к снижению высоты снежного покрова и почти отсутствию поверхностного стока при таянии снега. Напротив, в бассейнах рек Иж и Самара ежегодно снег сохраняется до начала марта.

Для оценки темпов смыва в речных бассейнах использовали модифицированное для условий России универсальное уравнение потери почвы (USLE) и эмпирическую модель Государственного гидрологического института (ГГИ), объединенные в единую модель научно-исследовательской лабораторией эрозии почв и русловых процессов (НИЛЭПиРП) МГУ им. М.В. Ломоносова [9, 10].

Подготовка данных. Для создания базы данных для каждого речного бассейна подготовлено несколько растровых пространственных моделей: уклонов, длины склонов, смываемости почв, зем-

лепользования [13]. Для каждого временного среза показатели эрозионного потенциала осадков (ЭПО), запасов воды в снеге, внутригодового перераспределения дождевых осадков и почвозащитные коэффициенты севооборотов для периодов талого и ливневого смыва были представлены в виде константы для всей площади каждого бассейна [6, 17].

Во всех растровых моделях использовали равноплощадную коническую проекцию Альберса со следующими параметрами: сдвиг на восток – 850000; сдвиг на север – 0 м; центральный меридиан – 45°; стандартная параллель 1 – 64°; стандартная параллель 2 – 52°; исходная широта – 0°; эллипсоид – WGS84.

Морфометрические показатели рельефа пахотных склонов. Растровые модели морфометриче-

Таблица 2. Морфометрические параметры рельефа исследуемых территорий

Бассейн реки	Средний уклон поверхности бассейна, градус	Средняя длина склонов, м
Иж	2.64	102
Ведуга	2.31	101
Самара	2.05	134
Калаус	2.54	120

Таблица 3. Основные климатические характеристики*

Бассейн, метеорологическая станция	Среднегодовая температура воздуха, °С		Осадки периода года, мм		Высота снежного покрова на 1 декаду марта, см
	за год	в январе	теплого	холодного	
Иж, Ижевск	2.8 ± 0.3	-13.6 ± 0.9	346.7 ± 20.5	175.6 ± 13.5	60
Ведуга, Воронеж	6.1 ± 0.8	-7.8 ± 1.0	411 ± 23	148 ± 13	21
Самара, Сорочинск	4.6 ± 0.3	-12.9 ± 1.0	251 ± 15.6	124 ± 9.1	24
Калаус, Ставрополь	9.5 ± 1.2	-2.9 ± 0.7	437 ± 27.5	125 ± 19.3	6

* Значения климатических параметров даны за период 1950–2015 гг.

ских характеристик рассчитывали на основе глобальной цифровой модели рельефа, полученной в ходе выполнения миссии “SRTM”, по данным съемки радара C-SIR, имеющего пространственное разрешение одна угловая секунда. Цифровая модель рельефа “SRTM” отражает фактический рельеф поверхности Земли в 2000 г. Однако мы исходим из предположения, что в целом для склонов за период 1985–2015 гг. он оставался неизменным.

Длину и крутизну склонов рассчитывали с использованием ArcGIS. Для расчета уклонов применяли формулу (1) [23]:

$$S = \frac{180}{\pi} \arctg \left(\sqrt{\left(\frac{\partial z}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial z}{\partial y}\right)^2} \right), \quad (1)$$

где $\partial z/\partial x$ и $\partial z/\partial y$ – частные производные вдоль координатных осей, которые рассчитываются по формулам (2) и (3):

$$\frac{\partial z}{\partial x} = \frac{(z_3 + 2z_6 + z_9) - (z_1 + 2z_4 + z_7)}{8\Delta x}, \quad (2)$$

$$\frac{\partial z}{\partial y} = \frac{(z_7 + 2z_8 + z_9) - (z_1 + 2z_2 + z_3)}{8\Delta y}, \quad (3)$$

где z_1, z_2, \dots, z_9 – значения цифровой модели рельефа в узлах регулярной сетки, Δx – шаг сетки по X , Δy – шаг сетки по Y .

Климатические параметры. Для расчета потенциальных потерь почвы были подготовлены данные по таким климатическим параметрам, как ЭПО максимальной 30-минутной интенсивности, запасы воды в снеге, информация о внутригодо-

вом распределении ЭПО. Все эти параметры по состоянию на 1985 г. брали с карт, представленных в изданиях сотрудников НИЛ ЭПиРП [9, 10].

Так как за последние 30 лет (с 1985 г.) произошло увеличение как годовых сумм осадков в летне-осенний период [27], так и количества ливневых событий (со слоем более 10 мм), способных вызвать смыв почвы [4, 19], то было необходимо рассчитать новые значения ЭПО для каждого речного бассейна. Для этого использовали регрессионную зависимость между количеством выпадающих осадков в теплый период года и ЭПО, предложенную сотрудниками НИЛЭПиРП [7]. Кроме этого, мы исходим из того, что внутригодовое перераспределение жидких осадков осталось приблизительно неизменным. Используемые в дальнейших расчетах значения ЭПО для каждого бассейна представлены в табл. 4. Наибольший прирост ЭПО наблюдается в бассейне р. Калаус, расположенный на Ставропольской возвышенности в Предкавказье.

В зимний период, согласно одним исследованиям, произошло увеличение количества твердых осадков [20], что, несомненно, должно было привести к увеличению запасов воды в снеге. Согласно данным сайта ВНИГМИ МЦД, изменения запасов воды в снеге носят разнонаправленный характер в рассматриваемых бассейнах (табл. 5). Кроме того, во всех рассматриваемых бассейнах глубина промерзания почв сократилась почти в два раза, поэтому на большей части рассматриваемой территории наблюдается значительное сокращение весеннего склонового стока [11, 16, 34]. В результате в настоящее время отмечается незначительный смыв почвы или практически полное его отсутствие в весенний период, что было учтено при расчетах потенциальных потерь почвы.

Землепользование. В качестве исходных данных для создания моделей землепользования использовали космические снимки Landsat: level-1 standard data products Landsat 5 (Thematic Mapper – TM) и Landsat 8 (Operational Land Imager – OLI) [33]. За основу была взята методика дешифрирования, используемая в проекте CORINE Land Cover 2000 (CLC2000) [22, 24], скорректирован-

Таблица 4. Значения ЭПО в пределах исследуемых бассейнов за два интервала времени

Бассейна реки	ЭПО ₁₉₈₅	ЭПО ₂₀₁₅
Иж	5.0	6.9
Ведуга	8.0	10.5
Самара	4.6	5.7
Калаус	15.5	23.25

Таблица 5. Запасы воды в снеге и температура почвы в зимний период в речных бассейнах за два интервала времени

Бассейн реки	Запасы воды в снеге, мм		Глубина промерзания, см	
	1950–1985	1986–2015	1977–1985	1986–2011
Иж	144	173	129	74
Ведуга	56	44	70	32
Самара	35	56	78	34
Калаус	22	16	0	0

ная с учетом региональных особенностей и целей данного исследования. При картографировании использовали метод визуального дешифрирования и последующей ручной оцифровки.

На первом этапе была проведена ручная оцифровка границ пахотных угодий по снимкам 1980-х годов. Оцифровывали общие границы используемых пахотных угодий. Полученные границы накладывали на снимки второго временного периода (2015 г.). Определяли заброшенные пашни и соответственно корректировали границы. Таким образом, было получено два векторных слоя (за 1985 и 2015 г.) используемых пахотных угодий (рис. 2). Путем наложения полученных слоев получили данные о сокращении или приросте площади пашни за рассматриваемый период.

Характеристики почвы. Для подготовки данных о свойствах почвы использовали Единый государственный реестр почвенных ресурсов России [5, 6, 15]. Пространственная детальность данных источников информации, к сожалению, не соответствует масштабу исследования. Так, созданная электронная векторная карта типов почв имеет масштаб 1 : 2500000, но более детальных данных в открытом доступе для исследуемых бассейнов обнаружить не удалось.

Почвозащитная роль севооборотов. Для оценки почвозащитных коэффициентов севооборотов использовали данные о посевных площадях за два интервала времени (1960–1980 и 1993–2015 гг.), доступные в целом для каждого административного региона, в котором располагается речной бассейн. Восстановить фактические севообороты даже на уровне районов не представляется возможным. Для периода 1960–1980 гг. использовали опубликованные данные [10]. Расчет для периода 1993–2015 гг. выполнен на основе данных, представленных на сайте Федеральной службы государственной статистики [17]. Результаты расчетов, представленные в табл. 6, свидетельствуют о понижении почвозащитного коэффициента севооборотов к 2015 г. во всех бассейнах, а соответственно об усилении влияния севооборотов на сокращение смыва почв.

Расчет смыва в речных бассейнах. Для каждого из речных бассейнов оценки темпов смыва на

пашне проведены для двух интервалов времени 1960–1985 и 1985–2015 гг. для пара и фактических севооборотов. Расчет для пара выполнен для того, чтобы оценить различия в темпах смыва с пашни только с учетом различий в природных факторах эрозии почв. Вычисления с учетом севооборотов отражают фактические изменения во времени среднегодовых величин смыва в пределах речных бассейнов.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Во всех рассмотренных бассейнах произошло сокращение площади пашни на 9–37% (табл. 7). Для оценки изменения эрозионного потенциала рельефа (ЭПР) на пахотных землях было вычислено среднее значение величины *LS* для пахотных земель на периоды 1984–1989 и 2013–2015 гг. Результаты представлены в табл. 8, из которой видно сокращение величины *LS* и ЭПР соответственно пахотных земель во всех анализируемых бассейнах.

Среднегодовой смыв на пашне с учетом севооборотов немного сократился в бассейнах рек Ижа и Самары, остался неизменным в бассейне р. Ведуги и несколько возрос на юге степной зоны в бассейне р. Калаус (табл. 9). Различия, выявленные для речных бассейнов, обусловлены разными сочетаниями изменившихся за 30-летний период факторов. Так, снижение смыва в бассейнах рек Ижа и Самары обусловлено в первую очередь изменением структуры землепользования, что привело к росту доли пашни с более низким ЭПР и уменьшением значения поч-

Таблица 6. Почвозащитные коэффициенты севооборотов в речных бассейнах за два интервала времени

Бассейн реки	С _{сливневой}		С _{стальной}	
	1980 г.	2015 г.	1980 г.	2015 г.
Иж	0.24	0.19	0.60	0.57
Ведуга	0.47	0.40	0.85	0.83
Самара	0.40	0.31	0.89	0.81
Калаус	0.47	0.40	0.71	0.68

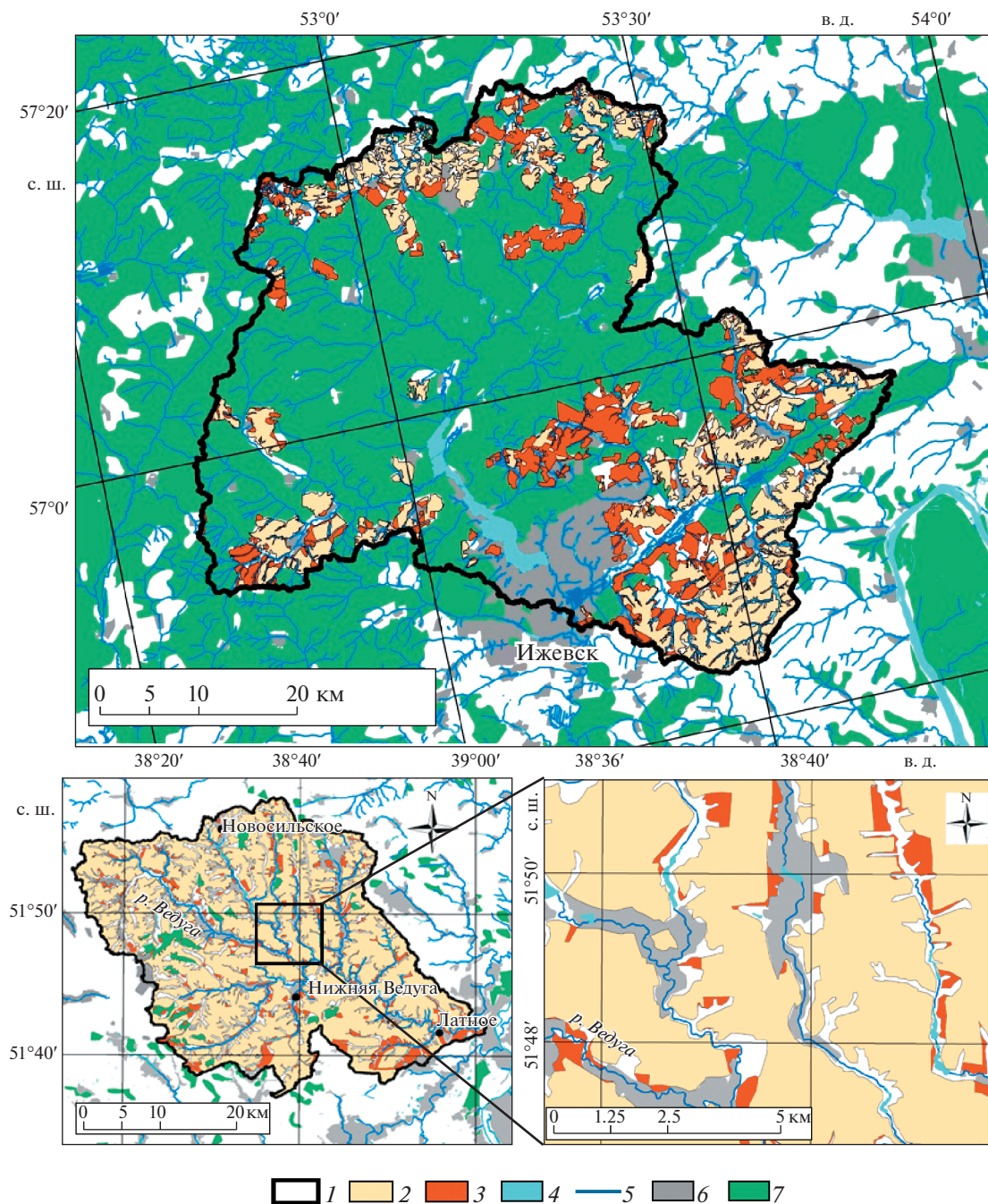


Рис. 2. Карта землепользования бассейна р. Иж на 2015 г.: 1 – граница бассейна реки; 2 – пахотные земли; 3 – заброшенные пахотные земли; 4 – водоемы; 5 – реки; 6 – населенные пункты; 7 – лесные массивы.

возащитного коэффициента севооборотов. В бассейне р. Ведуги произошло увеличение числа эрозионно-опасных ливневых событий, снижение смыва в период снеготаяния и уменьшение почвозащитных коэффициентов севооборотов, а также некоторое сокращение фактора LS . Напротив, в бассейне р. Калаус наблюдается существенный рост эрозионно-опасных ливней, который во многом компенсировался снижением значений

почвозащитного коэффициента севооборота. Таким образом, разнонаправленные изменения факторов смыва в большинстве случаев практически компенсировали друг друга.

Несколько иная картина выявляется при сопоставлении темпов смыва, рассчитанных на пар. В этом случае во всех бассейнах отмечен рост смыва, наиболее существенный в бассейне р. Калаус (табл. 9). Например, изменения темпов смыва по

Таблица 7. Площади пахотных угодий ключевых бассейнов в 1980-х и 2013–2015 гг.

Бассейн реки	Площадь бассейна, га	Площадь пашни, га		Изменение площади пашни, %
		1980-х гг.	2013–2015 гг.	
Иж	250819	64228	40229	37
Ведуга	119347	84068	76610	9
Самара	287416	167817	144412	14
Калаус	176887	81544	70763	13

Таблица 8. Средний эрозионный потенциал рельефа территорий, использующихся под пашни в речных бассейнах на 1985 и 2015 гг.

Бассейн реки	Ландшафтная зона	LS_{1985}	LS_{2015}
Иж	Юг лесной	1.50	1.47
Ведуга	Запад лесостепной	1.34	1.27
Самара	Восток степной	1.19	1.12
Калаус	Юг степной	1.48	1.38

Таблица 9. Среднегодовые темпы смыва почв при расчете на пар и фактический севооборот в 1985 и 2015 гг., т/га в год

Бассейн реки, ландшафтная зона, субъект федерации	Среднегодовые темпы смыва для ландшафтной зоны/субъекта федерации*	Среднегодовые значения смыва**	
		на пару	с учетом севооборотов
Иж, юг лесной зоны, Республика Удмуртия	11.4/6.7	<u>23.34</u> 19.12	<u>4.43</u> 4.59
Ведуга, лесостепная зона, Воронежская область	2.7/4.6	<u>13.88</u> 11.82	<u>5.55</u> 5.55
Самара, степная равнинная зона, Оренбургская область	2.2/2.2	<u>7.43</u> 6.84	<u>2.30</u> 2.74
Калаус, степная возвышенная, Ставропольский край	7.8/6.5	<u>38.81</u> 27.99	<u>15.52</u> 13.16

* Значения темпов смыва почв для ландшафтных зон и субъектов федерации взяты из работы Литвина [10].

** Над чертой дано значение за 2015 г., под чертой – за 1985 г.

площади достаточно наглядно прослеживаются на картах смыва (рис. 3) в бассейне р. Самары.

Увеличение расчетных величин смыва для чистого пара произошло за счет значительного увеличения эрозионного потенциала дождевых осадков, которое не компенсируется сокращением площади пашни с высоким ЭПР и практически отсутствием поверхностного стока в период весеннего снеготаяния в бассейне р. Ведуги.

В целом во всех исследуемых речных бассейнах за два интервала времени (1960–1985 и 1985–2015 гг.) фиксируются пахотные склоны с примерно одинаковым распределением интенсивности смыва почв (рис. 4), однако существуют и небольшие территориальные различия. Так, для бассейна

р. Ижа характерно сокращение на 5.7% площадей пахотных земель с темпами смыва до 15 т/га в год после 1985 г. (рис. 4, А). В бассейне р. Ведуги, наблюдается сокращение площадей распаханых склонов на 3.8%, со значениями темпов смыва почв до 5 т/га в год (рис. 4, Б). Для бассейна р. Самара фиксируется сокращение площади распаханых земель на 3.5% на землях с темпами смыва до 3 т/га в год (рис. 4, В). В бассейне р. Калаус уменьшилось количество площадей пашни со значениями смыва до 25 т/га в год на 5.9% (рис. 4, Г). Единственным устойчивым трендом во всех четырех бассейнах является увеличение доли пахотных земель, на которых смыв превышает 50 т/га в год.

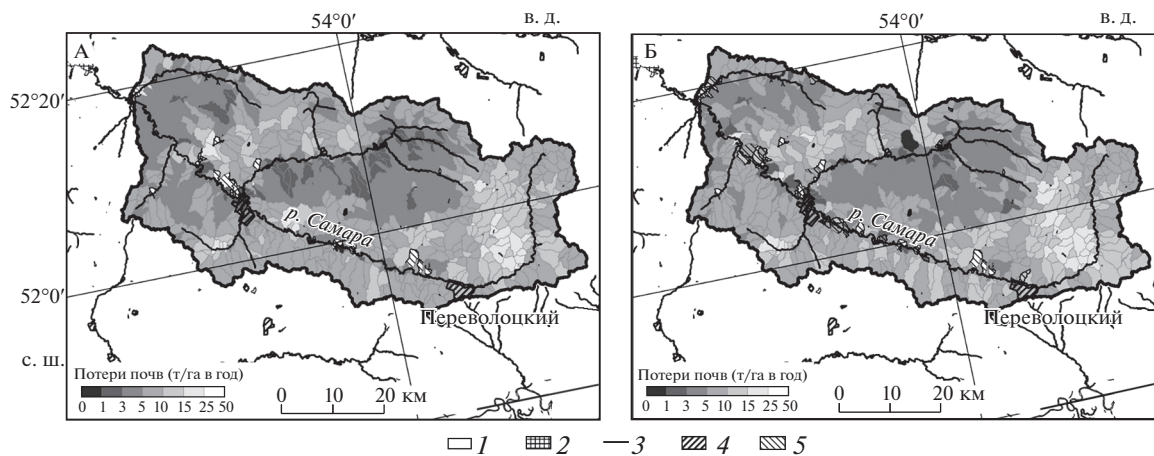


Рис. 3. Потенциальные потери почв с пара в бассейне р. Самара в 1985 (А) и 2015 гг. (Б): 1 – граница бассейна; 2 – водоемы; 3 – реки; 4 – населенные пункты; 5 – элементарные водосборы без пашни.

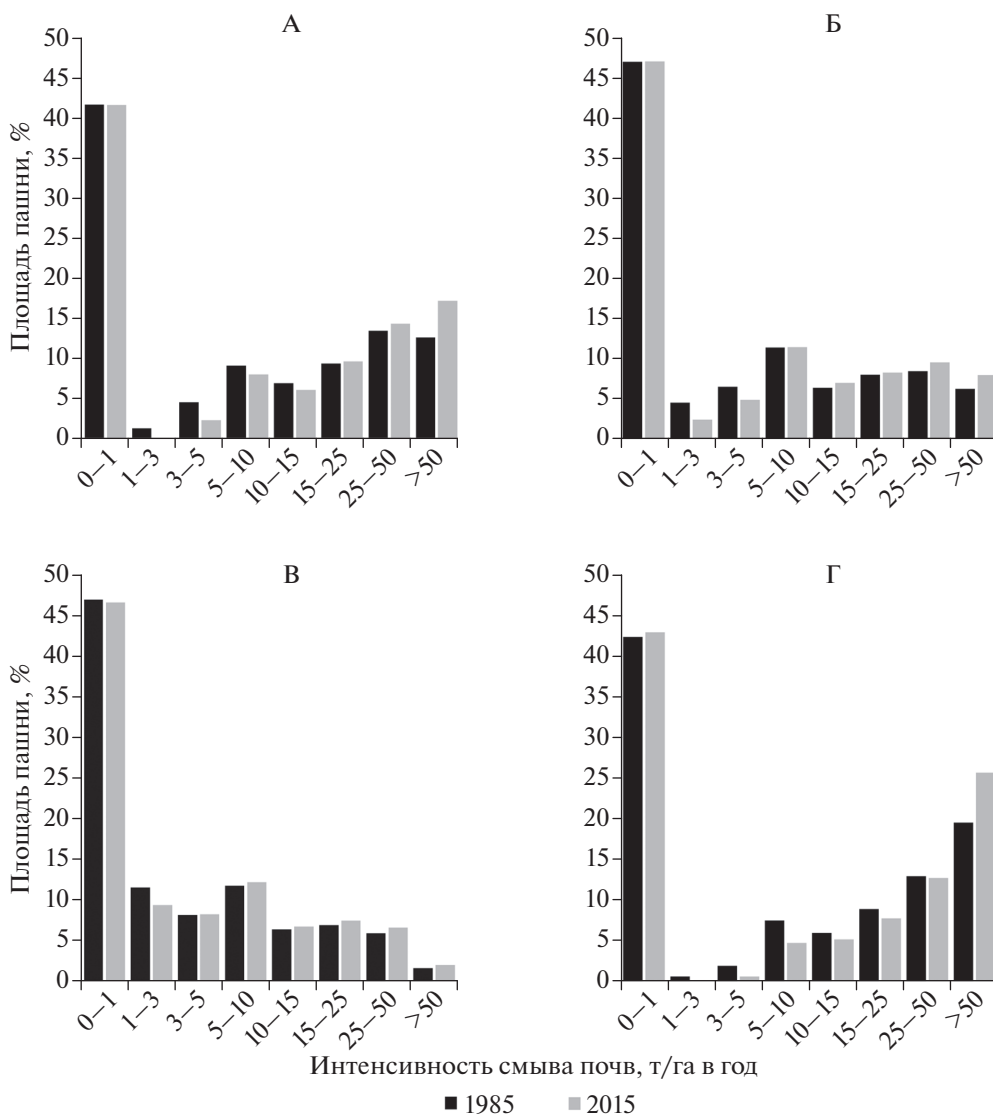


Рис. 4. Гистограмма распределения площадей пашни по интенсивности смыва на 1985 и 2015 гг. в бассейнах рек Иж (А), Ведуга (Б), Самара (В) и Калауз (Г), % от общей площади.

Таблица 10. Среднемноголетние темпы аккумуляции наносов в днищах долин первого порядка, расположенных в пределах исследуемых речных бассейнов, за два временных интервала

Водосбор	Бассейн реки	Темпы аккумуляции, см/год		Источник литературы
		1963–1985	1986–2015	
“Ведуга”	Ведуга	2.62	1.21	[1]
“Курегово”	Иж	2.65	0.66	[2]
“Погромка”	Самара	1.47	0.57	[3]

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Полученные количественные данные о потенциальных потерях почвы на пашне в пределах исследованных речных бассейнов ЕТР в целом близки по величине с темпами смыва для территории Европейского Союза (ЕС), рассчитанные на основе использования аналогичного подхода, которые составили 2.46 т/га в год в пределах всех типов землепользования [33]. В то же время эрозия на пахотных землях в пределах разных стран ЕС колеблется от 9.8–18.72 т/га в год в Италии и на Мальте до 0.64–0.68 т/га в год в Финляндии и Дании. Средние для стран значения потенциальных потерь почвы, составившие 2.51 и 2.78 т/га в год, получены для Германия и Франция соответственно. Близкие к этим значениям получены в работе Боско и др. [21].

Если говорить о временной динамике изменения темпов эрозии, то в среднем для ЕС за последние десятилетия потенциальные потери снизились на 9.5%, в первую очередь за счет внедрения почвозащитных технологий [27]. Для исследованных в данной работе речных бассейнов уменьшение среднегодового смыва почв во многом обусловлено сокращением поверхностного стока в период весеннего снеготаяния и уменьшением почвозащитного коэффициента севооборотов в связи с ростом доли многолетних трав. Последнее сильно сказалось в бассейне р. Ижа, расположенном на юге лесной зоны.

При сопоставлении полученных современных величин смыва на пашне с ранее опубликованными данными [10] для отдельных регионов ЕТР и ландшафтных зон в целом четко прослеживаются как определенные различия, так и сходства (табл. 9). Большинство различий обусловлено масштабом исследований и различиями в площадном охвате. Например, интенсивность смыва, полученная на 1985 г. по бассейну р. Иж, несколько занижена по сравнению со всей лесной зоной и занижена более чем в два раза по сравнению со всей Удмуртской республикой. Это связано с тем, что верхнее течение бассейна р. Иж, для которого проводились оценки, располагается на слаборасчлененной территории, тяготеющей к главному водоразделу между бассейнами рек Камы и Вятки, тогда как наибольшие

уклоны пашни в пределах Удмуртии приурочены к долинам рек Камы, Чепцы и ее притоков. Напротив, изученный бассейн р. Ведуги располагается в западной части Воронежской области в пределах Среднерусской возвышенности, тогда как большая часть области занимает южную часть Окско-Донской низменности. Аналогичны различия рельефа бассейна р. Калаус и в целом Ставропольского края.

Уменьшение интенсивности смыва почв хорошо согласуется с результатами длительного мониторинга овражной эрозии, проводимыми в Удмуртской Республике [16], которые свидетельствуют о сокращении темпов прироста вершин оврагов после 1997 г.

Также необходимо отметить, что установленная тенденция уменьшения темпов смыва в последние 30 лет (1985–2015) имеет противоположную направленность тренду 1950–1980-х гг., когда по данным наблюдений на многих стационарах ЕТР (Придеснянском, института им. Докучаева, Курском, Нижнедевицком, станции “Каменная степь”) наблюдалось увеличение смыва в период снеготаяния [8, 14, 18].

Тенденция сокращения современных темпов эрозии почв отчетливо подтверждается сокращением темпов аккумуляции наносов в днищах сухих долин первого порядка за последние 30 лет в бассейнах рек Иж, Ведуга и Самара по сравнению с предшествующим 23-летним периодом. Эти данные были получены на основе датирования аккумулятивных толщ с использованием радиоцезиевого метода (табл. 10) [1–3, 26].

В то же время сокращения темпов аккумуляции почвы после 1986 г. в днищах малых долин выше, чем изменения потерь почвы, рассчитанные по эрозионным моделям для речных бассейнов. Это может быть связано с рядом причин, а именно: индивидуальными особенностями малых водосборов; ошибками в оценке абсолютных величин смыва на основе эрозионных моделей, прежде всего, в части определения темпов смыва в период снеготаяния; масштабом исследования, который влияет на степень осреднения темпов смыва. Можно предположить, что модель расчета темпов смыва во время снеготаяния (модель ГГИ) за период 1960–1985 гг., несколько занижала фак-

тический смыв, так как не учитывали вклад размыва днищ распахиваемых ложбин. Тогда как согласно данным многолетних полевых наблюдений на пахотных склонах темпы выноса почвы с водосборов распахиваемых ложбин на порядок превышают смыв со склонов не расчлененных ложбинами [11].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Оценка темпов смыва почв с пахотных склонов за два интервала времени, выполненная на основе расчетов по эрозионным моделям для четырех малых речных бассейнов южной половины ЕТР позволила выявить разнонаправленные тенденции изменений среднемноголетних потерь почвы, которые в целом согласуются с ранее проведенными оценками эрозии почв в различных ландшафтных зонах ЕТР [1–3, 12, 18, 26]. Снижение расчетных величин интенсивности смыва с 4.6 и 2.7 т/га в год до 4.4 и 2.3 т/га в год за периоды 1960–1985 и 1986–2015 гг. выявлено соответственно для бассейнов рек Иж (юг лесной зоны) и Самара (восток степной зоны). Практически не изменился (5.5 т/га в год) смыв в бассейне р. Ведуги (запад лесостепной зоны) и несколько выросли (с 13.1 до 15.5 т/га в год) среднемноголетние значения смыва почвы в бассейне р. Калаус (юго-запад степной зоны). Фактором усиления смыва явилось увеличение эрозионного индекса ливневых осадков, которое отмечено для всех речных бассейнов. В то же время для всех бассейнов потенциальное усиление смыва отчасти компенсировалось снижением коэффициентов почвозащитной роли севооборотов и уменьшением фактора рельефа, которое произошло за счет забрасывания пашни на наиболее эрозионно-опасных склонах. Существенное уменьшение глубины промерзания почв максимально сократило поверхностный сток и смыв со склонов в период снеготаяния. Последний фактор не повлиял на изменения смыва в бассейне р. Калаус, так как здесь талый сток со склонов по существу отсутствует с 1960-х годов.

Выявленные тренды согласуются с данными полевых наблюдений, которые также фиксируют тренд на снижение эрозии почв на юге лесной, в лесостепной и на большей части степной зон. В то же время полевые данные об изменении темпов аккумуляции наносов в днищах долин первого порядка, расположенных в пределах исследованных речных бассейнов, свидетельствуют о более существенном снижении потерь почвы с пашни, нежели результаты расчетов по эрозионным моделям. На наш взгляд, это может быть связано с рядом причин, главными из которых являются вероятное увеличение темпов аккумуляции наносов внутри пашни и на границе пашня–не-распахиваемый склон; различиями в масштабах

оценок смыва (речной бассейн и малых водосбор первого порядка); занижением значений потерь почвы в период снеготаяния моделью ГГИ на распахиваемых ложбинных водосборах.

ФИНАНСИРОВАНИЕ РАБОТЫ

Исследование выполнено благодаря финансовой поддержке РФФ проект № 15-17-20006 и в рамках темы госзадания 0148-2019-0005 (Институт географии РАН).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Голосов В.Н., Иванова Н.Н., Гусаров А.В., Шарифуллин А.Г.* Оценка тренда деградации пахотных почв на основе изучения темпов формирования стратоземов с использованием ^{137}Cs в качестве хрономаркера // Почвоведение. 2017. № 10. С. 1238–1252. doi 10.1134/S106422931710003910.7868/S0032180X17100033
2. *Голосов В.Н., Рысин И.И., Гусаров А.В., Григорьев И.И., Шарифуллин А.Г., Гафуров А.М.* Темпы эрозионно-аккумулятивных процессов в пределах водосбора балки “Курегово” (бассейн р. Агрызка, республика Удмуртия) // Эволюция эрозионно-русловых систем, ее хозяйственно-экономические и экологические последствия, прогнозные оценки и учет: Доклады и сообщения Всерос. науч.-пр. конф. и XXXII межвузовского координационного совещания. Уфа: Аэтерна, 2017. С. 117–119.
3. *Гусаров А.В., Голосов В.Н., Шарифуллин А.Г., Гафуров А.М.* Современный тренд эрозии пахотных черноземов южных на западе Оренбургской области // Почвоведение. 2018. № 5. С. 601–616. doi 10.7868/S0032180X1805009X
4. *Золина О.Г.* Изменение длительности синоптических дождевых периодов в Европе с 1950 по 2008 годы и их связь с экстремальными осадками // Доклады Академии наук. 2011. С. 690–695.
5. Единый государственный реестр почвенных ресурсов России. Интернет-ресурс официальной поддержки ЕГРПР (<http://atlas.mcx.ru/materials/egrpr/content/1sem.html>; дата обращения 10.04.2018).
6. Единый государственный реестр почвенных ресурсов России. Версия 1.0 / Под ред. А.Л. Иванова, С.А. Шобы. М.: Почв. ин-т им. В.В. Докучаева, 2014. 768 с.
7. *Канатьева Н.П., Краснов С.Ф., Литвин Л.Ф.* Современные изменения климатических факторов эрозии в Северном Приволжье // Эрозия почв и русловые процессы. 2010. № 17. С. 14–28.
8. *Комиссаров М.А., Габбасова И.М.* Эрозия почв при снеготаянии на пологих склонах в южном Предуралье // Почвоведение. 2014. № 6. С. 734. doi 10.7868/S0032180X1406005
9. *Ларионов Г.А.* Эрозия и дефляция почв. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1993. 200 с.
10. *Литвин Л.Ф.* География эрозии почв сельскохозяйственных земель России. М.: Академкнига, 2002. 256 с.
11. *Литвин Л.Ф., Голосов В.Н., Добровольская Н.Г., Иванова Н.Н., Кирюхина З.П., Краснов С.Ф.* Стационарные исследования эрозии почв при снеготаянии в центральном Нечерноземье // Эрозия почв и

- русловые процессы. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1998. № 11. С. 57–76.
12. Литвин Л.Ф., Кирюхина З.П., Краснов С.Ф., Добровольская Н.Г. География динамики земледельческой эрозии почв на европейской территории России // Почвоведение. 2017. № 11. С. 1390–1400.
 13. Мальцев К.А., Шарифуллин А.Г. Морфологическая классификация малых водосборов в речных бассейнах освоенных равнин // Геоморфология. 2017. № 3. С. 76–87.
 14. 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.
 15. Рухович Д.И., Королева П.В., Калинина Н.В., Вильчевская Е.В., Симакова М.С., Долинина Е.А., Рухович С.В. Государственная почвенная карта-версия ArcInfo // Почвоведение. 2013. № 3. С. 251–267.
 16. Рысин И.И., Голосов В.Н., Григорьев И.И., Зайцева М.Ю. Влияние изменений климата на динамику темпов роста оврагов Вятско-Камского междуречья // Геоморфология. 2017. № 1. С. 90–103. doi 10.15356/0435-4281-2017-1-90-103
 17. Федеральная служба государственной статистики. Площади пахотных земель (<http://www.gks.ru>, дата обращения 10.04.2018).
 18. Чернышев Е.П., Иванова Н.Б. Потери органических и минеральных веществ почвами центра и юга Русской равнины при снеготаянии // Почвоведение. 1993. № 2. С. 73–83.
 19. Чижикова Н.А. Пространственно-временной анализ трендов изменений ливневых осадков на Европейской территории России как фактора изменения темпов эрозионных процессов за период 1960–2015 // Сб. статей по материалам XI семинара молодых ученых вузов, объединяемых Межвузовским научно-координационным советом по проблеме эрозионных, русловых и устьевых процессов. Нижний Новгород: Изд-во Мининский ун-т, 2016. С. 251–258.
 20. Шикломанов И.А., Георгиевский В.Ю. Влияние антропогенных изменений климата на гидрологический режим и водные ресурсы // Изменения климата и их последствия. СПб.: Наука, 2002. С. 152–164.
 21. Bosco C., de Rigo D., Dewitte O., Poesen J., Panagos P. Modelling soil erosion at European scale: towards harmonization and reproducibility // Natural Hazards and Earth System Sciences. 2015. V. 15. № 2. P. 225–245. doi 10.5194/nhess-15-225-2015
 22. Bossard M., Feranec J., Otahel J. CORINE land cover technical guide: Addendum 2000 // Technical Report. 2000. № 40.
 23. Burrough P.A., McDonnell R.A., Lloyd C.D. Principles of geographical information systems. Oxford: Oxford University Press, 2015. 190 p.
 24. Büttner G., Feranec J., Jaffrain G., Mari L., Maucha G., Soukup T. The CORINE land cover 2000 project // EARSeLProceedings. 2004. V. 3. № 3. P. 331–346.
 25. Golosov V., Yermolaev O., Litvin L., Chizhikova N., Kiryukhina Z., Safina G. Influence of climate and land use changes on recent trends of soil erosion rates within the Russian Plain // Land Degradation and Development, 2018. № 29(8). P. 2658–2667. <https://doi.org/10.1002/ldr.3061>
 26. Golosov V.N., Walling D.E., Konoplev A.V., Ivanov M.M., Sharifullin A.G. Application of bomb-and Chernobyl-derived radiocaesium for reconstructing changes in erosion rates and sediment fluxes from croplands in areas of European Russia with different levels of Chernobyl fallout // J. Environ. Radioactivity. 2018. № 186. P. 78–89. <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2017.06.019>
 27. Groisman P.Y., Knight R.W., Easterling D.R., Karl T.R., Hegerl G.C., Razuvaev V.N. Trends in intense precipitation in the climate record // J. Climate. 2005. V. 18. № 9. P. 1326–1350.
 28. Grum B., Woldearegay K., Hessel R., Baartman J.E.M., Abdulkadir M., Yazew E., Kessler A., Ritsema C.J., Geissen V. Assessing the effect of water harvesting techniques on event-based hydrological responses and sediment yield at a catchment scale in northern Ethiopia using the Limburg Soil Erosion Model (LISEM) // Catena. 2017. № 159. P. 20–34. doi 10.1016/j.catena.2017.07.018
 29. Kumar P.S., Praveen T.V., Prasad M.A. Simulation of sediment yield over un-gauged stations using MUSLE and fuzzy model // Aquatic Procedia. 2015. № 4. P. 1291–1298. doi 10.1016/j.aqpro.2015.02.168
 30. Laflen J.M., Elliot W.J., Flanagan D.C., Meyer C.R., Nearing M.A. WEPP-predicting water erosion using a process-based model // J. Soil and Water Conservation. 1997. V. 52. № 2. P. 96–102.
 31. Morgan R.P.C., Morgan D.D.V., Finney H.J. A predictive model for the assessment of soil erosion risk // J. Agricultural Engineering Research. 1984. № 30. P. 245–253.
 32. Morgan R.P.C., Quinton J.N., Smith R.E., Govers G., Poesen J.W.A., Auerswald K., Chisci G., Torri D., Styczen M.E., Folley A.J.V. The European Soil Erosion Model (EUROSEM): Documentation and User Guide. Silsoe College, Cranfield University, Silsoe, Bedford, 1998.
 33. Panagos P., Borrelli P., Poesen J., Ballabio C., Lugato E., Meusburger K., Montanarella L., Alewell C. The new assessment of soil loss by water erosion in Europe // Environ. Sci. Policy. 2015. № 54. P. 438–447. doi 10.1016/j.envsci.2015.08.012
 34. Petelko A.I., Golosov V.N., Belyaev V.R. Experience of design of system of counter-erosion measures // Proceedings of the 10th International Symposium on River Sedimentation. 2007. V. 1. P. 311–316.
 35. Pieri L., Bittelli M., Wu J.Q., Dun Sh., Flanagan D.C., Pisa P.R., Ventura F., Salvatorelli F. Using the Water Erosion Prediction Project (WEPP) model to simulate field-observed runoff and erosion in the Apennines mountain range, Italy // J. Hydrology. 2007. V. 336. № 1–2. P. 84–97. doi 10.1016/j.jhydrol.2006.12.014
 36. Quijano L., Beguería S., Gaspar L., Navas A. Estimating erosion rates using ¹³⁷Cs measurements and WATEM/SEDEM in a Mediterranean cultivated field // Catena. 2016. № 138. P. 38–51.
 37. Renard K.G., Foster G.R., Weesies G.A., McCool D.K., Yoder D.C. Predicting soil erosion by water: a guide to conservation planning with the revised universal soil loss equation (RUSLE). Agricultural Handbook 703. US Department of Agriculture, 1997.
 38. Vigiak O., Malagó A., Bouraoui F., Vanmaercke M., Poesen J. Adapting SWAT hillslope erosion model to predict sediment concentrations and yields in large Basins // Sci. Total Environ. 2015. № 538. P. 855–875.

Changes in the Rate of Soil Loss in River Basins within the Southern Part of European Russia

K. A. Mal'cev^{a, *}, M. A. Ivanov^a, A. G. Sharifullin^a, and V. N. Golosov^{a, b, c}

^a*Kazan Federal University, Kazan, 420008 Russian*

^b*Institute of Geography, Russian Academy of Sciences, Moscow, 119017 Russia*

^c*Lomonosov Moscow State University, Moscow, 119991 Russia*

**e-mail: mlcvkirill@mail.ru*

Four river basins located in the forest, forest-steppe, and steppe zones of European Russia were evaluated for two time intervals (1960–1985 and 1986–2015) based on the use of the Universal Soil Loss Equation (USLE) and State Hydrological Institute (SHI) models. The obtained results attest to multidirectional tendencies in the mean annual rates of erosion rates in different landscape zones. The rates of soil erosion have decreased in the forest and eastern steppe zones and have slightly increased in the southern steppe zone. The reduction of surface snowmelt runoff is one of the main reasons for the decrease in soil erosion in the investigated river basins. An increase in the rates of soil erosion is related to the growth of rainstorm erosion index (R-factor), has been partially offset by an increase in the soil-protective coefficient of crops (C-factor).

Keywords: soil erosion, basin approach, erosion models