



УДК 631.459.2
DOI 10.52575/2712-7443-2023-47-1-101-115

Эрозионная опасность пахотных земель Белгородской области

Буряк Ж.А., Нарожняя А.Г., Маринина О.А.

Белгородский государственный национальный исследовательский университет,
Россия, 308015, г. Белгород, ул. Победы, 85
E-mail: buryak@bsu.edu.ru

Аннотация. В статье приведены результаты оценки эрозионного риска от ливневой эрозии для пахотных земель Белгородской области. Потенциальные почвенные потери рассчитаны по адаптированной для условий России эрозионной модели USLE; входные расчетные эрозионные факторы получены с использованием технологий пространственного анализа в геоинформационной среде, а структура посевных площадей была проанализирована с использованием актуальных спутниковых снимков. Среднегодовые потенциальные почвенные потери с пашни за последние 10 лет составили 3,5 т/га. На основе модели смыва с чистого пара создана база геоданных территорий с повышенным риском эрозионной деградации, которая включает 14 тысяч ареалов на пашне. Это позволило оценить пространственную дифференциацию эрозионного риска обрабатываемых почв области и определить территории адресного внедрения противоэрозионных и почвенно-реабилитационных мероприятий.

Ключевые слова: водная эрозия почв, поверхностный смыв, USLE, моделирование, почвенные потери

Благодарности: Исследование выполнено при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках Государственного задания № FZWG-2023-0011.

Для цитирования: Буряк Ж.А., Нарожняя А.Г., Маринина О.А. 2023. Эрозионная опасность пахотных земель Белгородской области. Региональные геосистемы, 47(1): 101–115. DOI: 10.52575/2712-7443-2023-47-1-101-115

Erosion Risk of Arable Land in the Belgorod Oblast

Zhanna A. Buryak, Anastasia G. Narozhnyaya, Olga A. Marinina

Belgorod State National Research University,
85 Pobeda St, Belgorod 308015, Russia
E-mail: buryak@bsu.edu.ru

Abstract. The purpose of the work was to use geoinformation technologies to assess the soil erosion risk from rainfall under conditions of intensive agricultural load at the regional level (on the example of the Belgorod Oblast). Potential soil losses were calculated for arable land using the USLE erosion model adapted for Russian conditions. The input calculated erosion factors were obtained using the technologies of spatial analysis of the digital elevation model, and the structure of sown areas was analyzed using up-to-date satellite images MODIS. The average annual potential soil losses from arable land over the past 10 years amounted to 3.5 t ha⁻¹. Based on the model of erosion from bare (clean) fallow, a geodatabase of territories with an increased risk of erosion degradation was created, which includes 14 thousand areas on arable land. This made it possible to assess the spatial differentiation of the erosion risk of cultivated soils in the region and determine the areas for the precision implementation of anti-erosion and soil rehabilitation measures. The developed geodatabase corresponds to the priorities of the State Program for the effective involvement of agricultural land in the turnover. Namely, it can serve as information support for identifying areas where, when expanding the area of crops, it is necessary to apply a set of soil protection measures.

Keywords: water erosion, soil, surface runoff, USLE, modeling, soil losses



Acknowledgements: This research was funded by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within the framework of State Assignment No. FZWG-2023-0011.

For citation: Buryak Zh.A., Narozhnyaya A.G., Marinina O.A. 2023. Erosion Risk of Arable Land in the Belgorod Oblast. *Regional Geosystems*, 47(1): 101–115. DOI: 10.52575/2712-7443-2023-47-1-101-115

Введение

Водная эрозия почв – одна из наиболее значимых проблем в сельском хозяйстве западной части Восточно-Европейской равнины. Она наносит существенный вред земельным ресурсам и сельскохозяйственному производству страны: ежегодный ущерб от эрозии оценивается примерно в 10 % дохода, произведенного сельским хозяйством [Ли-сецкий и др., 2012].

Значительное сокращение площади обрабатываемых почв Европейской части России [Prishchepov et al., 2017] с сопутствующими климатическими изменениями во всех ландшафтных зонах после 1991 года – главная причина сокращения эрозионных потерь на 46 % за 20 лет [Golosov et al., 2018]. Преобразования в сельскохозяйственном производстве России повлияли в итоге на почвозащитную способность агроценозов, причем в различных природных зонах она имеет разную направленность [Литвин и др., 2017]: поверхностный смыв почвы сократился в лесной и лесостепной зонах, но вырос в степной зоне за счет увеличения доли пропашных культур.

С 2021 года вступила в силу Государственная программа эффективного вовлечения в оборот земель сельскохозяйственного назначения и развития мелиоративного комплекса РФ [О Государственной программе..., 2023], цель которой состоит в масштабном расширении посевных площадей за счет вовлечения в оборот залежных земель. При этом крайне важно на уровне субъектов и органов местного самоуправления превентивно обозначить территории, повторная распашка которых нецелесообразна, либо требует применения комплекса почвозащитных мероприятий от доминирующих процессов деградации, в т. ч. от водной эрозии почв. Установлено [Иванов и др., 2017], что значительная часть заброшенной в 1990-е гг. пашни имеет высокий эрозионный потенциал рельефа, что несет определенные риски при ее неизбирательном возврате в обработку.

Поэтому оценка эрозионного потенциала агроландшафтов и выявление территорий с повышенным эрозионным риском – актуальная задача для системных решений противоэрозионного контроля на региональном уровне. Для ее решения в масштабе субъекта страны наиболее перспективно использование моделирования эрозионного процесса в геоинформационной среде, подкрепленное результатами наземных почвенно-эрозионных обследований [Жидкин и др., 2021; Maltsev et al., 2022]. Автоматизированные геоинформационные системы (ГИС), дополненные актуальными данными дистанционного зондирования Земли, позволяют получать наиболее оперативную и достоверную информацию о состоянии различных экосистем на любой территории [Евдокимов, Штефурык, 2022], в том числе и для контроля состояния почвенных ресурсов. Использование ГИС и баз геоданных позволяет свести оценку почвенных потерь до конкретного участка, причем модель может быть расширена элементами мониторинга состава посевов [Терехин, 2019] и, таким образом, приобрести динамичный расчетный характер вплоть до оценки ежемесячных почвенных потерь [Efthimiou, 2023].

Цель работы состояла в использовании геоинформационных технологий и результатов моделирования для оценки эрозионного риска в условиях интенсивной земледельческой нагрузки на региональном уровне (на примере Белгородской области).

Объекты и методы исследования

Белгородская область – один из субъектов Европейской части России, расположена на юго-западе Среднерусской возвышенности (рис. 1). Это один из самых аграрно развитых субъектов страны: распаханность территории составляет 61 %. Занимая в стране 67-е место по площади (27,1 тыс. км²), Белгородская область находится на 12-м месте по валовому сбору зерна (в 2021 году – 3 млн т). Почвы региона обладают высоким естественным плодородием: черноземные почвы занимают около 80 % всей площади и примерно 90 % от площади пашни. При этом территория Белгородской области является наиболее эродированной в Центрально-Черноземном районе и подвержена поверхностному смыву и линейному размыву почв больше соседних областей. Склоновый тип ландшафтов представлен на 72 % площади области. Территория характеризуется высокой расчлененностью рельефа (до 1,5 км/км²), суммарная длина овражно-балочной сети достигает порядка 18,5 тыс. км. Пахотные земли в подавляющем большинстве (76 %) расположены на склонах более 1°. По современным оценкам доля эродированных почв на пашне составляет 56 % от ее общей площади.

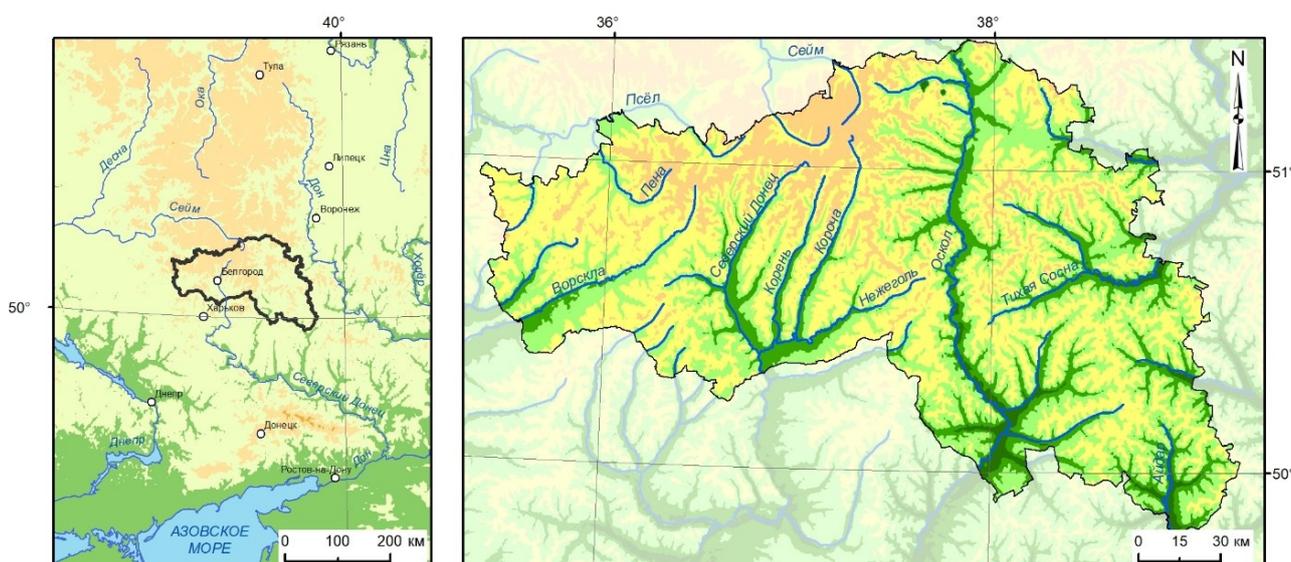


Рис. 1. Расположение Белгородской области
Fig. 1. Location of the study area (Belgorod Oblast)

Продолжительная история сельскохозяйственного освоения территории области привела к деградации всех компонентов геосистем [Чендев и др., 2008], в первую очередь почвенного покрова. По данным крупномасштабного почвенного обследования 80-х гг. прошлого века доля эродированной пашни составляет 49,9 %. Причем эродированные площади увеличиваются: за последние 30 лет до 2010 года на 6 % [Либецкий, Марциневская, 2009]. По обобщенным оценкам литературных источников среднегодовые темпы смыва в Белгородской области с пашни составляют 5–6 т/га [Жидкин, Чендев, 2014]. Смытые почвы Белгородской области потеряли около 130 млн т гумуса, из-за чего наблюдается снижение их продуктивности – ежегодный недобор продукции в пересчете на зерно составляет 1,22 млн т [Лукин и др., 2008].

Для определения на пашне ареалов с повышенной эрозионной опасностью применяли методы математического моделирования эрозионных процессов, используя средства пространственного анализа в ГИС.

Суммарные эрозионные потери почвы складываются из потерь от ливневой эрозии и эрозии в период весеннего снеготаяния. Климатические изменения последнего тридцатиле-



тия привели к снижению доли эрозии от снеготаяния в лесостепной зоне в 12,6 раз по сравнению с ливневым смывом [Maltsev, Yermolaev, 2020]. В последнее время по оценкам среднегодовых темпов эрозии в лесостепной зоне доминирует ливневый смыв, а слой талого стока настолько мал, что не приводит к существенным эрозионным потерям при весеннем снеготаянии. Поэтому в данной работе мы рассматривали только ливневую эрозию почв.

Среднегодовые темпы ливневой эрозии почвы на пашне были рассчитаны по эмпирической модели *USLE* [Wischsmeier, Smith, 1978], адаптированной для условий Европейской России [Ларионов, 1993; Краснов и др., 2001]:

$$W = R \times K \times LS \times C \times P, \quad (1)$$

где W – среднегодовые почвенные потери от ливневых осадков (т/га в год); R – эрозионный потенциал ливневых осадков максимальной 30-минутной интенсивности (усл. ед.); K – фактор эродированности почв (т/га на единицу эрозионного потенциала осадков.); LS – фактор рельефа (усл. ед.); C – эрозионный индекс культуры или севооборота (усл. ед.); P – коэффициент почвозащитной эффективности противоэрозионной меры (усл. ед.).

Эрозионный потенциал осадков R представляет собой произведение кинетической энергии дождевых капель, выпавших за дождь на площади в один гектар, на 30-минутную максимальную интенсивность этого дождя. Эти данные были впервые обобщены для территории России к середине 80-х гг. XX в. [Ларионов, 1993] и актуализированы по статистической *GAM*-модели согласно последним климатическим данным до 2021 года [Савельев и др., 2022]. Распределение R -фактора по малым речным бассейнам представлено в векторном формате на открытом геопортале «Речные бассейны Европейской части России» [Геопортал ..., 2023] и было использовано для моделирования в данной работе.

Фактор эродированности почв K зависит от гранулометрического состава почвы, содержания гумуса, структуры, водопроницаемости и каменистости почвы. K -фактор был рассчитан по формуле (2), которая была адаптирована для условий России [Ларионов, 1993]:

$$K = \{16,67 \times 10^{-6} \times [m_s \times (100 - m_c)]^{1,14} \times (12 - a) + 0,25 \times (b - 2) + 0,193(4 - c)\} \times z, \quad (2)$$

где m_s – содержание фракций 0,1–0,001 мм, %; m_c – содержание фракций < 0,001 мм, %; a – содержание гумуса, %; b – класс структуры почвы; c – класс водопроницаемости почвы; z – коэффициент каменистости и щебнистости.

Источником данных о почвенном покрове служила векторная почвенная карта Белгородской области масштаба 1:200 000, составленная на основе почвенных обследований 1965–1980 гг. Карта насчитывает 28 почвенных комбинаций, для каждой был рассчитан K -фактор на основе параметров основных типов почв Белгородской области [Соловиченко, Тютюнов, 2013]. Расчетные данные были присвоены 3,7 тыс. контурам почвенной карты. Для расчетов картограмма была конвертирована в растровый формат.

Фактор рельефа LS рассчитывали по формуле (3) [Ларионов и др., 1998], учитывающей не только длину и уклон, но и форму склона, а также поправку на эродированность почв:

$$LS = 22,1^{-p} \times L^p \frac{18,62 \times \sin(\arctan(S \times 10^{-2}))}{1 + 10^{0,53 - 0,015 \times L \times S \times 10^{-2}}} \times F^p + 0,065, \quad (3)$$

где L – длина склона, м; S – уклон, %; F – коэффициент поперечного профиля склона; p – показатель степени при длине склона, рассчитывается по формуле (4):

$$p = 0,2 + 2,067 \times (p_0 - 0,2) \times L^{-0,15} \times K^{-0,45}, \quad (4)$$

где p_0 – показатель степени, равный 0,2; 0,3; 0,4 и 0,5 при уклонах < 1; 1–3; 3–5 и > 5 % соответственно; K – коэффициент эродированности почв, определяется по формуле (2).

Как правило, именно формат входных данных о рельефе определяют пространственное разрешение будущей рабочей модели оценки эрозионных потерь. Для расчета

LS-фактора использовали ранее полученную [Нарожняя, Буряк, 2016] гидрологически корректную цифровую модель рельефа (ЦМР) разрешением 30×30 м. Для получения растровых моделей параметров рельефа для расчета по формуле (3) использовали наборы инструментов *Spatial Analyst* и *Hydrology* программы *ArcGIS* 10.5, в частности утилиты геообработки *Slope*, *Curvature* и *Flow Length*. Остальные растры параметров эрозионной модели (1) были пространственно сопоставлены и приведены к разрешению ЦМР 30×30 м, что позволило получить модель смыва регионального уровня с достаточно высокой детализацией.

Фактор *C* (агрофона) рассчитан по результатам дешифрирования посевных площадей с использованием среднегодовых значений вегетационного индекса *NDVI*. Исходными данными служили снимки среднего пространственного разрешения *MODIS* и производные композитные изображения *MOD13Q1 (Vegetation Indices)*, показывающие значения нормализованного вегетационного индекса *NDVI* за 16 дней. Нами были отобраны снимки за период с 2012 по 2021 г. для месяцев, в которых отсутствует снежный покров (апрель – октябрь). Для каждого месяца были созданы мозаики среднегодовых значений. Для генерации коэффициента *C* от значений *NDVI* использована следующая формула [Van der Knijff et al., 1999]:

$$C = \exp^{-\alpha \frac{NDVI}{\beta - NDVI}}, \quad (5)$$

где α и β – безразмерные параметры, детерминирующие форму кривой *NDVI* по отношению к коэффициенту *C*, со значениями 2 и 1 соответственно. Для снимков по каждому месяцу проведен расчет фактора растительности на пашне по формуле (5) за месяц. По ним усреднены значения *C* за каждый год, а затем определено среднее за 5 лет.

Для калибровки *C*-фактора под местные условия была проанализирована структура посевных площадей Белгородской области за аналогичный период [Территориальный орган..., 2023]. По общему соотношению культур был получен средневзвешенный *C*, равный 0,342. При этом среднегодовой *C*-фактор Белгородской области, рассчитанный по формуле (5), показывает заниженное значение – 0,158. Для корректировки фактора агрофона по *MODIS* по среднему региональному значению был добавлен к фактору *C* множитель 2,16.

Модель потенциальных почвенных потерь для чистого пара легла в основу региональной базы геоданных пашни с высокой эрозионной опасностью. Отметим, что для Белгородской области ранее было проведено сходное исследование [Малышев, Голеусов, 2019], где критерием выделения эрозионно опасных земель выступало обоснованное критическое значение рельефной функции *LS*, но без учета прочих факторов водной эрозии. В данном исследовании предельную величину смыва почвы с пара определяли, исходя из допустимых норм эрозии в зависимости от выращиваемых культур. По обобщенным оценкам для сельскохозяйственных угодий Белгородской области допустимая норма эрозия составляет 4,5–5,6 т/га в год [Марциневская, 2011; Спесивый, Лисецкий, 2014]. Эти цифры применимы к сложившемуся составу обрабатываемых в регионе культур, который может быть пересчитан на условия чистого пара с использованием повышающего коэффициента. Худший сценарий, при котором на эрозионно опасных землях могут возделываться пропашные культуры, предполагает величину *C*-фактора 0,23 (для зерно-травяно-пропашного севооборота). Это в 4,4 раза ниже по сравнению с чистым паром ($C = 1$). Таким образом, за граничное значение повышенного эрозионного риска для чистого пара можно принять среднюю допустимую норму эрозии для почв Белгородской области, увеличенную в 4,4 раза, что будет составлять ~ 20 т/га в год.

Для определения местоположения таких участков пашни растровая модель эрозионных потерь с пара была классифицирована, переведена в векторный формат, после чего выполнили ее генерализацию. Обособленные мелкие ареалы были удалены путем их агрегации, используя критерий расстояния менее 100 м, кроме того ареалы площадью менее 2 га были исключены из выборки.

Результаты и их обсуждение

Результатом исследования является количественная оценка потенциальных эрозионных потерь почвы от ливневой эрозии с пахотных земель Белгородской области с учетом фактического состава посевных площадей за последние 10 лет (рис. 2).

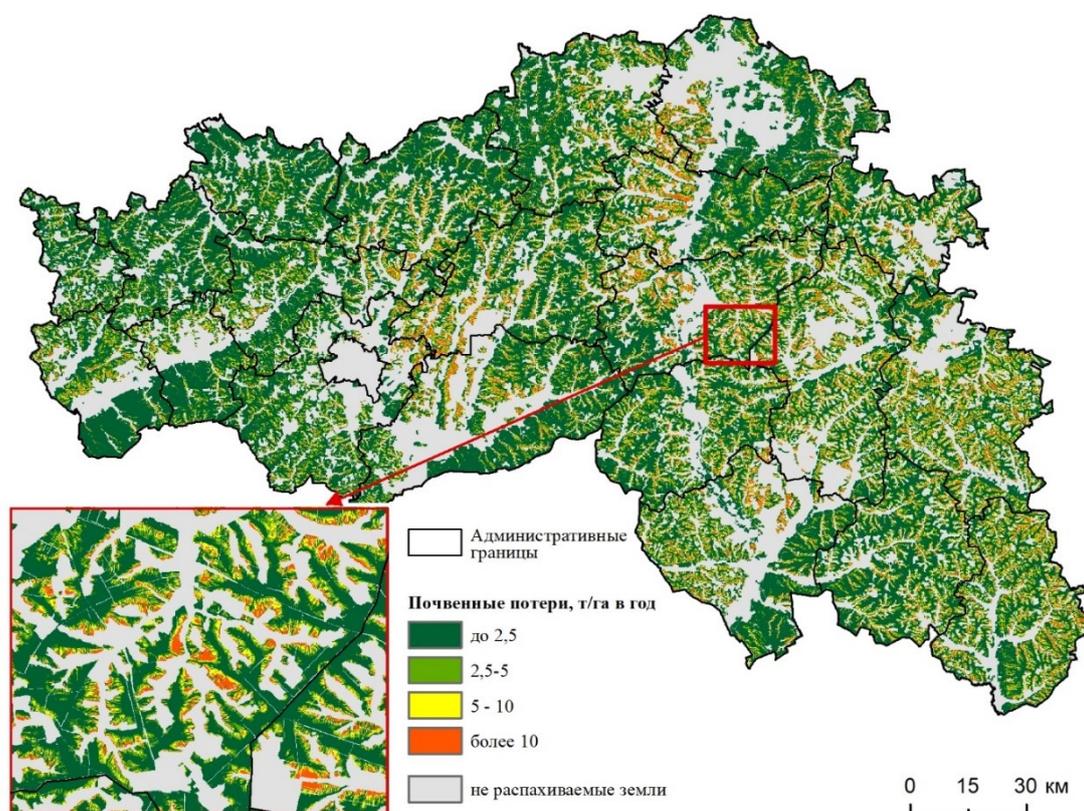


Рис. 2. Потенциальные эрозионные потери почвы от ливневой эрозии на пахотных землях Белгородской области

Fig. 2. Potential rainfall erosion-induced soil losses on cropland in Belgorod Oblast

Величина потенциальной эрозии на пахотных землях варьирует в широких пределах и изменяется по территории неравномерно. Среднегодовая расчетная величина потенциальных почвенных потерь составила $3,5 \pm 0,3$ т/га. Для условий Белгородской области за счет фактора агрофона среднегодовой модуль смыва с пашни снижается более чем в три раза по сравнению с результатами расчета для условий чистого пара. Высокая эрозионная опасность характерна прежде всего для склонов крутизной более 5° . Средняя величина почвенных потерь на таких землях составляет 13 т/га в год. Это связано прежде всего с размещением пропашных культур на эрозионно опасных участках пашни.

Распределение почвенных потерь по административным единицам Белгородской области (районам и городским округам) в табл. 1 и рис. 3. С учетом сформировавшейся структуры площадей самыми эрозионно опасными районами являются Алексеевский, Красногвардейский и Ровеньский, где доля пашни с потенциальным смывом более 2,5 т/га приближается к 40 %. Это обусловлено общими закономерностями почвенно-геоморфологических условий – расчлененным рельефом с крутыми склонами, распространением почв с низкой противоэрозионной устойчивостью. Однако даже в районах с более благоприятными условиями рельефа, доля пашни со смывом более 10 т/га составляет 8–9 % – Корочанский, Красненский, Новооскольский, Чернянский.

Таблица 1
Table 1

Условия рельефа и потенциальные почвенные потери на пашне
для муниципальных образований Белгородской области
Relief conditions and potential soil losses on arable land for the municipalities of the Belgorod Oblast

Муниципальное образование	Распаханность, %	Распределение пашни по уклонам, %				Смыв, т/га в год*	Распределение пашни по эрозионным потерям (т/га в год), %				
		0–3°	3–5°	5–7°	>7°		0**	> 2,5	2,5–5	5–10	>10
Алексеевский	57,1	61	27	8	4	4,6	16	45	17	13	10
Белгородский	51,5	69	21	5	5	2,9	25	52	13	7	3
Борисовский	57,3	82	13	3	1	2,4	18	61	12	6	3
Валуйский	50,7	69	23	6	2	3,2	25	50	13	8	5
Вейделевский	64,0	69	24	5	2	3,1	16	56	14	9	5
Волоконовский	61,2	72	21	5	2	3,2	16	55	15	9	5
Грайворонский	58,2	85	11	2	2	2,4	18	61	11	6	3
Губкинский	57,7	77	15	5	3	3,6	22	51	13	8	6
Ивнянский	62,5	86	9	3	2	1,9	19	66	8	4	2
Корочанский	57,7	77	17	5	2	4,1	16	52	15	9	8
Красненский	53,9	69	19	8	4	4,0	18	50	14	9	8
Красногвардейский	47,0	62	28	7	3	4,4	16	46	17	12	9
Краснояржский	56,2	73	17	6	4	2,2	24	58	11	5	2
Новооскольский	55,1	71	21	6	3	4,4	17	51	14	9	8
Прохоровский	64,0	84	12	3	2	2,6	18	62	11	6	4
Ракитянский	62,9	84	10	3	2	2,1	20	64	10	4	2
Ровеньский	62,7	62	29	7	2	4,2	15	46	18	13	8
Старооскольский	46,7	84	11	3	2	4,7	35	47	8	5	5
Чернянский	60,3	78	16	4	1	4,6	16	49	16	10	9
Шебекинский	51,9	77	17	4	2	3,4	17	57	13	7	5
Яковлевский	57,2	80	15	3	2	3,0	20	56	13	7	4
Всего по области	61,1	68	26	4	2	3,5	19,4	53,2	13,1	8,3	6,0

*с учетом структуры посевных площадей за последние 10 лет; **плакоры и микродоразделы склонов

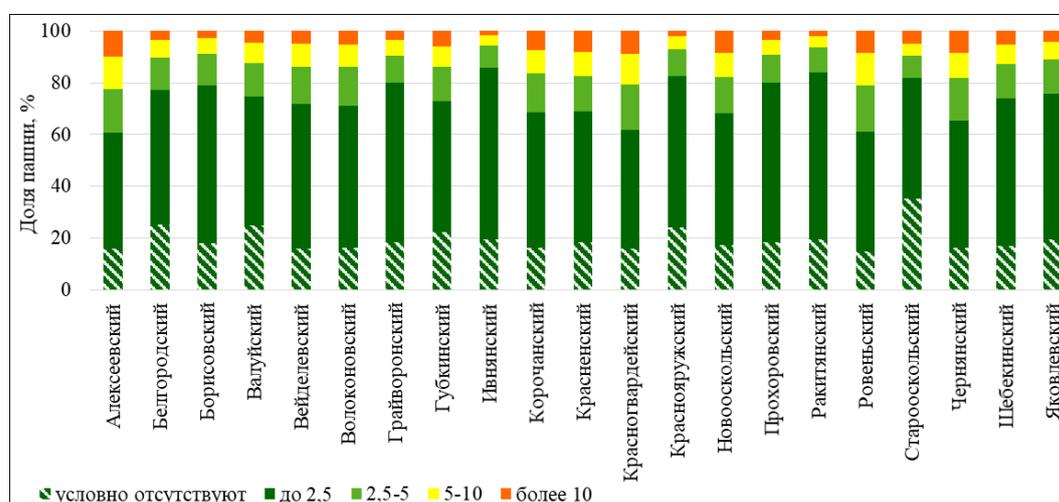


Рис. 3. Почвенные потери с пашни (т/га в год) муниципальных образований Белгородской области
Fig. 3. Soil losses from arable land (t/ha per year) of municipalities of the Belgorod Oblast

Стоит отметить, что 90 % территории Белгородской области обеспечено проектами бассейнового природопользования, на основе которых разработаны рекомендации по адаптивно-ландшафтному земледелию, предусматривающие в необходимых случаях контурную организацию посевных площадей, залужение ложбин, консервацию деградированной пашни, проведение лесомелиоративных мероприятий и др. Ожидается, что при их комплексном внедрении эрозионные потери могут быть сокращены на 40 %.

Сравнение величин темпов водной эрозии по результатам представленной работы с данными предыдущих исследований достаточно затруднительно: они рассчитаны по различным методикам и могут включать оценки по другим видам угодий. По обобщенным оценкам литературных источников средние темпы смыва в Белгородской области с пашни составляют 5–6 т/га в год [Жидкин, Чендев, 2014].

Недавнее исследование потенциальных потерь почв на пахотных землях для Европейской части России по адаптированной модели RUSLE [Мальцев, Ермолаев, 2019] методически наиболее близко к нашей работе. Однако его результаты дают сильно завышенные величины: смыв с пара оценивается в 25 т/га в год, а с учетом агроценозов – в 11 т/га в год (в сравнении с полученными нами 11,3 и 3,5 т/га в год соответственно). Такое расхождение при использовании аналогичной методики расчета объясняется разными масштабами оценок (глобальная против региональной) и, следовательно, разными источниками данных и способами их получения и обработки (масштаб, разрешение, уровень обобщения и т. п.).

Приведенные выше данные отражают потенциальные почвенные потери с учетом осредненного по фактическим данным за десять лет фактора агрофона. Однако чтобы отразить максимальный эрозионный риск для пашни можно исключить из моделирования противоэрозионный фактор растительности и выполнить оценку для условий чистого пара (фактор агрофона равен 1). Имея представление о пространственном распределении участков повышенного эрозионного риска (рис. 4), можно определить «прицельные» противоэрозионные мероприятия, при которых состав культур в севообороте может выступать инструментом сдерживания эрозии, причем даже в самых неблагоприятных почвенно-климатических и геоморфологических условиях. Ранее авторами [Buryak, Marinina, 2020] была выполнена оценка эрозионного риска в агроландшафтах Белгородской области по вышеописанной методике: было выявлено 14 тыс. ареалов повышенной эрозионной опасности на пашне площадью от 2 до 700 га. Доля таких территорий составляет 11,5 % от площади пахотных земель области.

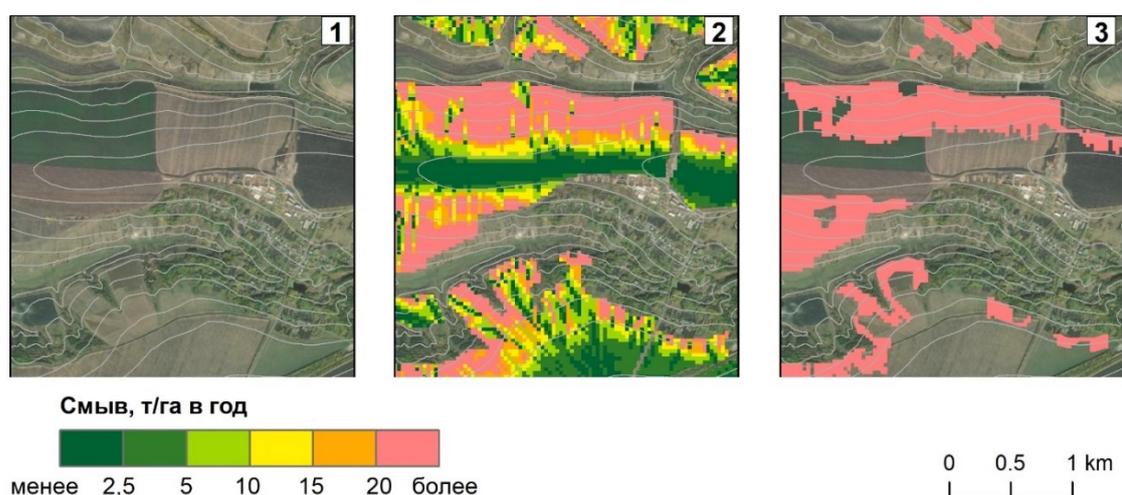


Рис. 4. Пример выделения ареалов повышенной эрозионной опасности в ГИС:

- 1 – результаты моделирования почвенных потерь от водной эрозии с пара;
- 2 – космический снимок территории; 3 – выделение ареалов максимального эрозионного риска

Fig. 4. An example of the allocation of areas of increased erosion risk with GIS:

- 1 – results of modeling soil losses from water erosion from fallow;
- 2 – satellite image of the territory; 3 – allocation of maximum erosion risk areas

На основе ранее полученных результатов была создана база геоданных «Территории повышенного эрозионного риска на пашне Белгородской области» с точной локализацией каждого участка. База зарегистрирована как объект интеллектуальной собственности (RU2022623075) [Буряк, Бабушкин, 2022]. Модель базы данных представлена на рис. 5 и содержит тематические блоки «Эрозионные участки», «Эрозионные факторы», «Административные границы» и др.

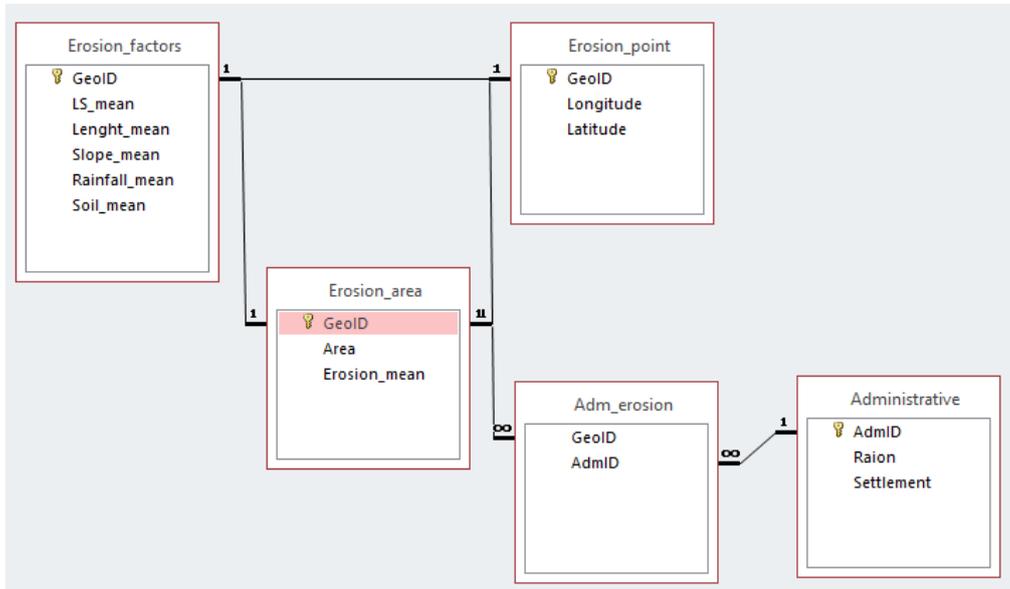


Рис. 5. ER-модель структуры БД
«Территории повышенного эрозионного риска на пашне Белгородской области»
Fig. 5. ER-model of the structure of the database
"Territories of increased erosion risk on the arable land of the Belgorod Oblast"

В структуре базы данных имеются сведения о координатах и принадлежности каждого эрозионного контура к конкретному сельскому поселению и муниципальному образованию, что дает возможность ее практического применения при территориальном планировании и землеустроительном проектировании, а также позволяет проводить сравнительные оценки эффективности мер по поддержанию почвенного плодородия. Распределение площадей повышенного эрозионного риска пашни по районам Белгородской области приведено на рис. 6.

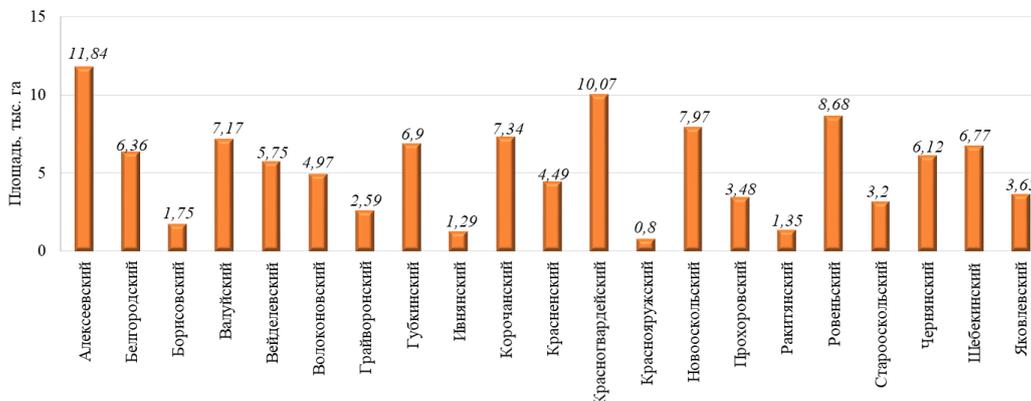


Рис. 6. Площади участков пашни с высокой эрозионной опасностью (более 20 т/га с пара) в разрезе муниципальных образований Белгородской области
Fig. 6. Areas of arable land with high erosion risk (more than 20 t/ha per fallow) in the context of municipalities of the Belgorod Oblast

По полученным данным была построена картограмма плотности распределения ареалов эрозионной опасности (с весовым коэффициентом по площади ареала) (рис. 7).

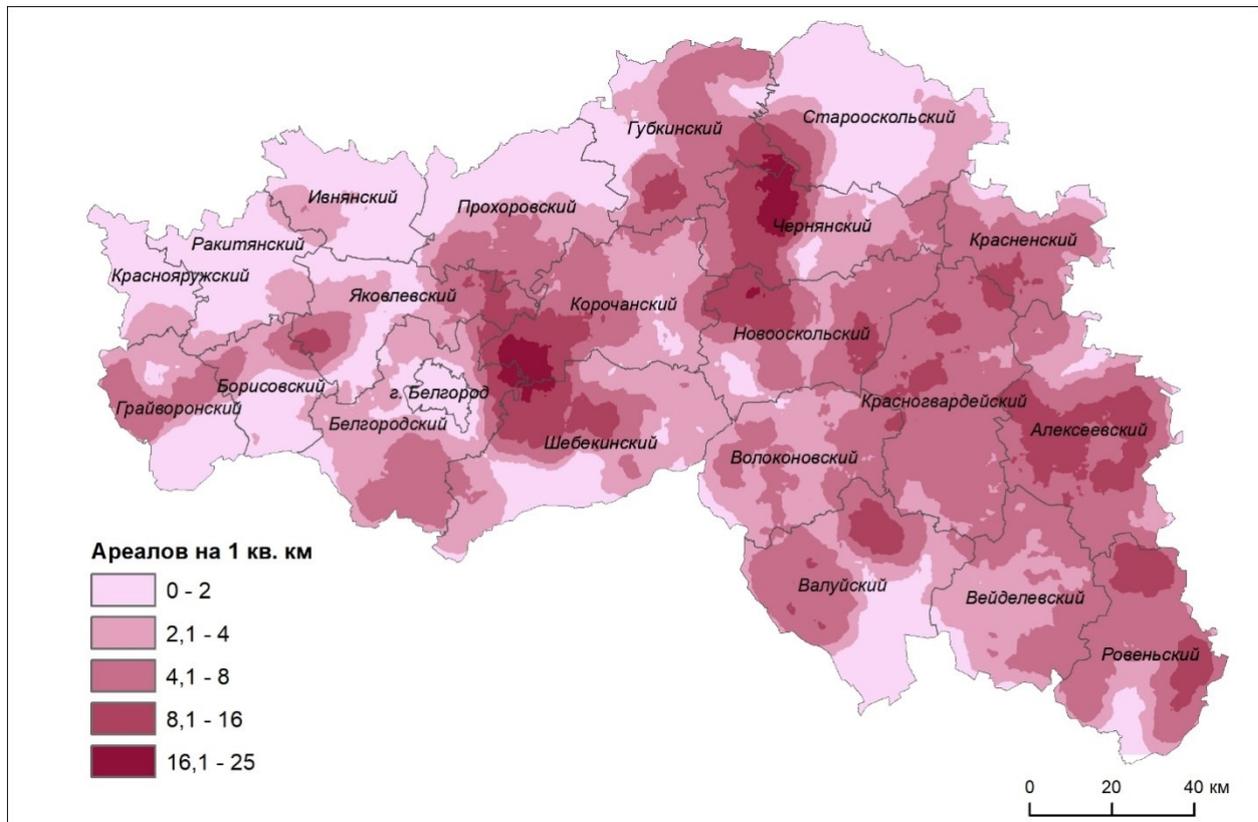


Рис. 7. Плотность ареалов (ед. на км²) повышенной эрозионной опасности в Белгородской области
Fig. 7. Density of areas (units per km²) with increased erosion risk in the Belgorod Oblast

Результаты, представленные на рис. 7, показывают неравномерное распределение эрозионного риска: он нарастает с запада на восток, причем в центральной части области проявляется в виде двух обширных ареалов. Наложение сетки муниципальных образований на модель дает предварительную картину того, в каких из них должен быть сделан упор на усиление мер по противоэрозионному обустройству агроландшафтов и на модернизацию используемых практик землеустройства и землепользования.

Заключение

Для территории Белгородской области впервые проведена оценка потенциальных почвенных потерь с пашни от ливневой эрозии с помощью пространственного моделирования в ГИС-среде. Установлено, что при сложившейся за последнее десятилетие структуре посевных площадей потенциальный среднегодовой смыл почвы можно оценить величиной 3,5 т/га. На основе полученной модели потенциальных почвенных потерь выполнена оценка повышенного эрозионного риска на пашне (для условий чистого пара) для районов Белгородской области. Лидируют по доле эрозионно опасной пашни (где потенциальный смыл почвы превышает 2,5 т/га в год) Алексеевский, Красногвардейский и Ровеньский районы, где их доля превышает 40 %. Для агроландшафтов Белгородской области создана база геоданных земель с повышенным риском эрозионной деградации, которая включает 14 тыс. ареалов, и может быть использована для адресного внедрения противоэрозионных и почвенно-реабилитационных мероприятий. Полученная пространственно распределенная эрозионная модель органично вписывается во внедряемую в регионе концепцию бассейнового

природопользования. Она позволяет комплексно оценить последствия водно-эрозионных процессов: начиная от смыва с отдельно взятого склона и заканчивая риском заиления водных объектов от поступающих с водосбора наносов.

Разработанная база геоданных территорий повышенного эрозионного риска соответствует приоритетам Государственной программы эффективного вовлечения в оборот земель сельскохозяйственного назначения и развития мелиоративного комплекса. Она может служить информационным обеспечением для выявления территорий, на которых при расширении площади посевов необходимо применять комплекс почвозащитных мероприятий. Эрозионные модели не заменят данные полевого почвенно-эрозионного обследования, но могут стать инструментом для планирования рационального землепользования, позволяя определить участки пашни, требующие прицельного мониторинга. Результаты работы по оценке эрозионного потенциала агроландшафтов и выявлению территорий с повышенным эрозионным риском могут быть тиражированы в других регионах при создании проектов территориального планирования с фокусом на доминирующий процесс почвенной деградации – водную эрозию почв.

Список источников

- Буряк Ж.А., Бабушкин К.С. 2022. Территории повышенного эрозионного риска на пашне Белгородской области. Свидетельство о государственной регистрации базы данных, охраняемой авторскими правами, № 2022623075. Дата регистрации 24.11.2022. Программы для ЭВМ. Базы данных. Топологии интегральных микросхем, 12. Электронный ресурс: <https://new.fips.ru/publication-web/publications/document?type=doc&tab=PrEVM&id=8C4D329B-797F-4EC9-BCC2-6E81F4745188>
- Геопортал «Речные бассейны Европейской России». Электронный ресурс. URL: <https://bassepr.kpfu.ru/> (дата обращения: 02 марта 2023).
- О Государственной программе эффективного вовлечения в оборот земель сельскохозяйственного назначения и развития мелиоративного комплекса Российской Федерации: Постановление Правительства РФ от 14 мая 2021 г. № 731 (ред. от 18.01.2023). Электронный ресурс. URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_384213/ (дата обращения: 02 марта 2023).
- Территориальный орган Федеральной службы государственной статистики по Белгородской области (Белгородстат). База данных показателей муниципальных образований. Электронный ресурс. URL: https://belg.gks.ru/belg_db (дата обращения: 02 марта 2023).

Список литературы

- Евдокимов С.И., Штефуряк А.В. 2022. Использование ГИС-технологий в мониторинге природных и антропогенных объектов. Вестник Псковского государственного университета. Серия: Естественные и физико-математические науки, 15(1): 70–93.
- Жидкин А.П., Смирнова М.А., Геннадиев А.Н., Лукин С.В., Заздравных Е.А., Лозбенев Н.И. 2021. Цифровое моделирование строения и степени эродированности почвенного покрова (Прохоровский район Белгородской области). Почвоведение, 1: 17–30. DOI: 10.31857/S0032180X21010159
- Жидкин А.П., Чендев Ю.Г. 2014. Обзор существующих представлений об эрозии почв в Белгородской области. Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия Естественные науки, 23(194): 147–155.
- Иванов М.А., Прищепов А.Б., Голосов В.Н., Залялиев Р.Р., Ефимов К.В., Кондратьев А.А., Киняшова А.Д., Ионова Ю.К. 2017. Изменения площади пахотных угодий в бассейнах рек Европейской территории России за период 1985–2015 гг. как фактор динамики эрозии почв. Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса, 14(6): 149–157. DOI: 10.21046/2070-7401-2017-14-6-149-157
- Краснов С.Ф., Добровольская Н.Г., Литвин Л.Ф. 2001. Пространственно-временные аспекты оценки эрозионного потенциала дождевых осадков. В кн.: Эрозия почв и русловые процессы. Москва, Издательство Московского университета: 8–18.



- Ларионов Г.А. 1993. Эрозия и дефляция почв: основные закономерности и количественные оценки. Москва, Издательство МГУ, 200 с.
- Ларионов Г.А., Добровольская Н.Г., Краснов С.Ф., Лю Б.Ю., Неринг М.А. 1998. Теоретико-эмпирическое уравнение фактора рельефа для статистических моделей водной (дождевой) эрозии. В кн.: Эрозия почв и русловые процессы. Москва, Макс-Пресс Москва: 25–44.
- Лисецкий Ф.Н., Марциневская Л.В. 2009. Оценка развития линейной эрозии и эродированности почв по результатам аэрофотосъемки. Землеустройство, кадастр и мониторинг земель, 10(58): 39–43.
- Лисецкий Ф.Н., Светличный А.А., Черный С.Г. 2012. Современные проблемы эрозиоведения. Белгород, Константа, 455 с. DOI: 10.13140/2.1.1029.9682
- Литвин Л.Ф., Кирюхина З.П., Краснов С.Ф., Добровольская Н.Г. 2017. География динамики земледельческой эрозии почв на европейской территории России. Почвоведение, 11: 1390–1400. DOI: 10.7868/S0032180X17110089
- Лукин С.В., Верютина О.С., Корнейко Н.И., Малыгин А.В. 2008. Влияние водной эрозии почв на основные агрохимические свойства пахотных почв Белгородской области. Достижения науки и техники АПК, 9: 7–8.
- Мальшев А.В., Голосов П.В. 2019. Критическое значение фактора рельефа и эрозионная опасность агроландшафтов Белгородской области. Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Естественные науки, 43(1): 63–75. DOI: 10.18413/2075-4671-2019-43-1-63-75
- Мальцев К.А., Ермолаев О.П. 2019. Потенциальные эрозионные потери почвы на пахотных землях европейской части России. Почвоведение, 12: 1502–1512. DOI: 10.1134/S0032180X19120104
- Марциневская Л.В. 2011. Определение допустимых эрозионных потерь почвы для уровня административных районов. Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований, 10(1): 10–13.
- Нарожняя А.Г., Буряк Ж.А. 2016. Морфометрический анализ цифровых моделей рельефа Белгородской области разной степени генерализации. Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Естественные науки, 25(246): 169–178.
- Савельев А.А., Мухарамова С.С., Ермолаев О.П. 2022. Подходы к оценке эрозионного потенциала дождевых осадков. В кн.: Тридцать седьмого пленарного межвузовского координационного совещания по проблеме эрозионных, русловых и устьевых процессов. Доклады и сообщения, Рязань, 3–7 октября 2022. Рязань, МГУ Москва: 146–148.
- Соловиченко В.Д., Тютюнов С.И. 2013. Почвенный покров Белгородской области и его рациональное использование. Белгород, Отчий край, 371 с.
- Спесивый О.В., Лисецкий Ф.Н. 2014. Оценка интенсивности и нормирование эрозионных потерь почвы в Центрально-Черноземном районе на основе бассейнового подхода и современных геоинформационных технологий. Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия Естественные науки, 10(181): 125–132.
- Терехин Э. А. 2019. Сезонная динамика проективного покрытия растительности агроэкосистем на основе спектральной спутниковой информации. Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса, 16(4): 111–123. DOI: 10.21046/2070-7401-2019-16-4-111-123
- Чендев Ю.Г., Петин А.Н., Серикова Е.В., Крамчанинов Н.Н. 2008. Деградация геосистем Белгородской области в результате хозяйственной деятельности. География и природные ресурсы, 4: 69–75.
- Buryak Zh., Marinina O. 2020. Using GIS Technology for Identification of Agricultural Land with an Increased Risk of Erosion. In: From Inertia to Develop: Research and Innovation Support to Agriculture. International Scientific and Practical Conference, Yekaterinburg, 22 June 2020. Yekaterinburg, Vol. 176: 1–5. DOI: 10.1051/e3sconf/202017604007
- Efthimiou N. 2023. Object-Oriented Soil Erosion Modelling: A Non-Stationary Approach Towards a Realistic Calculation of Soil Loss at Parcel Level. Catena, 222: 106816. DOI: 10.1016/j.catena.2022.106816
- Goloso V., Yermolaev O., Litvin L., Chizhikova N., Kiryukhina Z., Safina G. 2018. Influence of Climate and Land Use Changes on Recent Trends of Soil Erosion Rates within the Russian Plain. Land Degradation and Development, 29(8): 2658–2667. DOI: 10.1002/ldr.3061
- Maltsev K., Goloso V., Yermolaev O., Ivanov M., Chizhikova N. 2022. Assessment of Net Erosion and Suspended Sediments Yield within River Basins of the Agricultural Belt of Russia. Water, 14: 2781. DOI: 10.3390/w14182781

- Maltsev K., Yermolaev O. 2020. Assessment of Soil Loss by Water Erosion in Small River Basins in Russia. *Catena*, 195: 104726. DOI: 10.1016/j.catena.2020.104726
- Prishchepov A.V., Müller D., Baumann M., Kuemmerle T., Alcantara C., Radeloff V.C. 2017. Underlying Drivers and Spatial Determinants of Post-Soviet Agricultural Land Abandonment in Temperate Eastern Europe. In: *Land-Cover and Land-Use Changes in Eastern Europe after the Collapse of the Soviet Union in 1991*. Switzerland, Springer Cham: 91–117. DOI: 10.1007/978-3-319-42638-9_5
- Van der Knijff J.M., Jones R.J.A., Montanarella L. 1999. *Soil Erosion Risk in Italy*. Luxembourg, Office for Official Publications of the European Communities, 54 p.
- Wischmeier W.H., Smith D.D. 1978. Predicting rainfall erosion losses: A guide to conservation planning. United States, Dept. of Agriculture. *Agriculture handbook*, 58 p. DOI: 10.1029/TR039i002p00285

References

- Evdokimov S.I., Shtefuryak A.V. 2022. Use of GIS Technologies in Monitoring Natural and Anthropogenic Objects. *Bulletin of the Pskov State University. Series “Natural and physical and mathematical sciences*, 15(1): 70–93 (in Russian).
- Zhidkin A.P., Smirnova M.A., Lozbenev N.I., Gennadiev A.N., Lukin S.V., Zazdravnykh Y.A. 2021. Digital Mapping of Soil Associations and Eroded Soils (Prokhorovskii District, Belgorod Oblast). *Eurasian Soil Science*, 54(1): 13–24 (in Russian). DOI: 10.1134/S1064229321010154
- Zhidkin A.P., Chendev Yu.G. 2014. Soil Erosion in Belgorod Region of Russia. *Belgorod State University Scientific Bulletin. Natural Sciences Series*, 23(194): 147–155 (in Russian).
- Ivanov M.A., Prishchepov A.V., Golosov V.N., Zalyaliev R.R., Efimov K.V., Kondrat'ev A.A., Kinyashova A.D., Ionova Yu.K. 2017. Changes of Cropland Area in the River Basins of the European Part of Russia for the Period 1985–2015, as a Factor of Soil Erosion Dynamics. *Current Problems in Remote Sensing of the Earth from Space*, 14(6): 149–157 (in Russian). DOI: 10.21046/2070-7401-2017-14-6-149-157
- Krasnov S.F., Dobrovolskaya N.G., Litvin L.F. 2001. Prostranstvenno-vremennyye aspekty otsenki erozionnogo potentsiala dozhdevykh osadkov [Spatial and Temporal Aspects of the Rainfall Erosivity Evaluation]. In: *Eroziya pochv i ruslovyye protsessy [Soil Erosion and Channel Processes]*. Moscow, Publ. Moskovskogo universiteta: 8–18.
- Larionov G.A. 1993. *Eroziya i deflyatsiya pochv: osnovnyye zakonomernosti i kolichestvennyye otsenki [Water and Wind Erosion: Main Features and Quantitative Assessment]*. Moscow, Publ. MSU, 200 p.
- Larionov G.A., Dobrovolskaya N.G., Krasnov S.F., Liu B.Y., Nearing M.A. 1998. Teoretiko-empiricheskoye uravneniye faktora relyefa dlya statisticheskikh modeley vodnoy (dozhdevoy) erozii [Theoretical-Empirical Equation of Topography Factor for a Statistical Model of Soil Erosion by Water]. In: *Eroziya pochv i ruslovyye protsessy [Soil Erosion and Channel Processes]*. Moscow, Publ. Maks-Press Moskva: 25–44.
- Lisetski F.N., Marcinevskaya L.V. 2009. Assessment of Development of Linear Erosion and Soil Erosion as a Result of Aerial Photo Shooting. *Land Management, Monitoring and Cadastre*, 10(58): 39–43 (in Russian).
- Lisetskii F.N., Svetlichnyi A.A., Chernyi S.G. 2012. Recent Developments in Erosion Science. Belgorod, Publ. Konstanta, 455 p. (in Russian). DOI: 10.13140/2.1.1029.9682
- Litvin L.F., Kiryukhina Z.P., Krasnov S.F., Dobrovolskaya N.G. 2017. Dynamics of Agricultural Soil Erosion in European Russia. *Eurasian Soil Science*, 50(11): 1344–1353 (in Russian). DOI: 10.1134/S1064229317110084
- Lukin S.V., Veryutina O.S., Kornejko N.I., Malygin A.V. 2008. Influence of Ablation on the Basic Agrochemical Properties of the Arable Soils in Belgorod Region. *Achievements of Science and Technology of AIC*, 9: 7–8 (in Russian).
- Malyshev A.V., Goleusov P.V. 2019. Landscape Features Distribution Critical Values of the Relief Factor on the Territory of Belgorod Region. *Belgorod State University Scientific Bulletin. Natural Sciences Series*, 43(1): 63–75 (in Russian). DOI: 10.18413/2075-4671-2019-43-1-63-75
- Maltsev K.A., Yermolaev O.P. 2019. Potential Soil Loss from Erosion on Arable Lands in the European Part of Russia. *Eurasian Soil Science*, 52(12): 1588–1597 (in Russian). DOI: 10.1134/S106422931912010X
- Martsinevskaya L.V. 2011. Determination of Soil Loss Tolerance for the Level of Administrative Districts. *International Journal of Applied and Fundamental Research*, 10(1): 10–13 (in Russian).



- Narozhnyaya A.G., Buryak Zh.A. 2016. Morphometric Analysis of Digital Elevation Models of the Belgorod Region at Different Degrees of Generalization. *Belgorod State University Scientific Bulletin. Natural Sciences Series*, 25(246): 169–178 (in Russian).
- Savelyev A.A., Mukharamova S.S., Ermolaev O.P. 2022. Podkhody k otsenke erozionnogo potentsiala dozhdevykh osadkov [Approaches to Assessing the Erosion Potential of Rainfall]. In: *Tridtsat sedmogo plenarnogo mezhvuzovskogo koordinatsionnogo soveshchaniya po probleme erozionnykh, ruslovykh i ustyevykh protsessov* [Thirty-seventh plenary interuniversity coordination meeting on the problem of erosion, channel and estuarine processes]. Reports and messages, Ryazan, 3–7 October 2022. Ryazan, Publ. MGU Moskva: 146–148.
- Solovichenko V.D., Tyutyunov S.I. 2013. *Pochvennyy pokrov Belgorodskoy oblasti i ego ratsionalnoye ispolzovaniye* [Soil Cover of the Belgorod Oblast and Its Rational Use]. Belgorod, Publ. Otchiy Kray, 371 p.
- Spesivy O.V., Lisetskii F.N. 2014. Estimate of the Intensity and Regulation of Erosion Soil Losses in Central Chernozem Region Based on the Basin Approach. *Belgorod State University Scientific Bulletin. Natural Sciences Series*, 10(181): 125–132 (in Russian).
- Terekhin E.A. 2019. Seasonal Dynamics of the Agroecosystems Green Vegetation Fraction Derived from Satellite Data. *Current Problems in Remote Sensing of the Earth from Space*, 16(4): 111–123 (in Russian). DOI: 10.21046/2070-7401-2019-16-4-111-123
- Chendev Yu.G., Petin A.N., Serikova E.V., Kramchaninov N.N. 2008. Degradation of Geosystems in the Belgorod Region as a Result of the Economic Activities. *Geography and Natural Resources*, 29(4): 348–353 (in Russian). DOI: 10.1016/j.gnr.2008.10.010
- Buryak Zh., Marinina O. 2020. Using GIS Technology for Identification of Agricultural Land with an Increased Risk of Erosion. In: *From Inertia to Develop: Research and Innovation Support to Agriculture. International Scientific and Practical Conference, Yekaterinburg, 22 June 2020. Yekaterinburg, Vol. 176: 1–5*. DOI: 10.1051/e3sconf/202017604007
- Efthimiou N. 2023. Object-Oriented Soil Erosion Modelling: A Non-Stationary Approach Towards a Realistic Calculation of Soil Loss at Parcel Level. *Catena*, 222: 106816. DOI: 10.1016/j.catena.2022.106816
- Goloso V., Yermolaev O., Litvin L., Chizhikova N., Kiryukhina Z., Safina G. 2018. Influence of Climate and Land Use Changes on Recent Trends of Soil Erosion Rates within the Russian Plain. *Land Degradation and Development*, 29(8): 2658–2667. DOI: 10.1002/ldr.3061
- Maltsev K., Goloso V., Yermolaev O., Ivanov M., Chizhikova N. 2022. Assessment of Net Erosion and Suspended Sediments Yield within River Basins of the Agricultural Belt of Russia. *Water*, 14: 2781. DOI: 10.3390/w1418278
- Maltsev K., Yermolaev O. 2020. Assessment of Soil Loss by Water Erosion in Small River Basins in Russia. *Catena*, 195: 104726. DOI: 10.1016/j.catena.2020.104726
- Prishchepov A.V., Müller D., Baumann M., Kuemmerle T., Alcantara C., Radeloff V.C. 2017. Underlying Drivers and Spatial Determinants of Post-Soviet Agricultural Land Abandonment in Temperate Eastern Europe. In: *Land-Cover and Land-Use Changes in Eastern Europe after the Collapse of the Soviet Union in 1991*. Switzerland, Springer Cham: 91–117. DOI: 10.1007/978-3-319-42638-9_5
- Van der Knijff J.M., Jones R.J.A.; Montanarella L. 1999. *Soil Erosion Risk in Italy*. Luxembourg, Office for Official Publications of the European Communities, 54 p.
- Wischmeier W.H., Smith D.D. 1978. Predicting rainfall erosion losses: A guide to conservation planning. United States, Dept. of Agriculture. *Agriculture handbook*, 58 p. DOI: 10.1029/TR039i002p00285

*Поступила в редакцию 14.01.2023;
поступила после рецензирования 28.02.2023;
принята к публикации 03.03.2023*

*Received January 14, 2023;
Revised February 28, 2023;
Accepted March 03, 2023*

Конфликт интересов: о потенциальном конфликте интересов не сообщалось.
Conflict of interest: no potential conflict of interest related to this article was reported.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Буряк Жанна Аркадьевна, кандидат географических наук, старший научный сотрудник Федерально-регионального центра аэрокосмического и наземного мониторинга объектов и природных ресурсов, Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород, Россия

Нарожняя Анастасия Григорьевна, кандидат географических наук, доцент кафедры природопользования и земельного кадастра, Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород, Россия

Маринина Ольга Андреевна, кандидат географических наук, старший научный сотрудник Федерально-регионального центра аэрокосмического и наземного мониторинга объектов и природных ресурсов, Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород, Россия

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Zhanna A. Buryak, Candidate of Geographical Sciences, Senior Researcher of the Federal-regional centre of aerospace and surface monitoring of the objects and natural resources of the Belgorod National Research University, Belgorod, Russia

Anastasia G. Narozhnyaya, Candidate of Geographical Sciences, associate professor of the Department of Environmental Management and Land Cadastre of the Belgorod National Research University, Belgorod, Russia

Olga A. Marinina, Candidate of Geography Sciences, senior researcher of the Federal-regional centre of aerospace and surface monitoring of the objects and natural resources of the Belgorod National Research University, Belgorod, Russia