

МЕЛИОРАЦИЯ, ВОДНОЕ ХОЗЯЙСТВО И АГРОФИЗИКА

Научная статья

УДК 631.459.2

doi: 10.31774/2712-9357-2023-13-3-48-68

Особенности проявления эрозии в пределах овражно-балочного водосбора

Евгений Валерьянович Полуэктов¹, Георгий Трифонович Балакай²

¹Новочеркасский инженерно-мелиоративный институт имени А. К. Кортунова – филиал Донского государственного аграрного университета, Новочеркасск, Российская Федерация

²Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, Новочеркасск, Российская Федерация

¹rekngma@magnet.ru

²balakaygt@rambler.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8021-6853>

Аннотация. Цель: установить закономерности образования элементов гидрографической сети в зависимости от стока талых и дождевых вод и смыва почвы. **Материалы и методы.** Исследования проводились в верховье балочной системы Большой лог, входящей в состав землепользования опытного хозяйства «Полевой» Федерального Ростовского аграрного научного центра, площадью 2070 га, из которых более 70 % приходится на пашню. Почвы представлены черноземом обыкновенным различной степени эродированности. Использовались общепринятые методы исследований на стоковых площадках и метод шпилек. **Результаты.** В пределах водосбора на величину стока и гидравлические показатели водных потоков оказывают большое влияние агрофон и состояние поверхности почвы, с которой стекает талая вода, а на интенсивность эрозионных процессов оказывают влияние глубина промерзания почвы, влажность верхнего слоя, запасы воды в снеге, интенсивность снеготаяния. Струи воды концентрируются по потяжинам, на которых со временем смывается почва, и они переходят в категорию ложбины, далее в овраги и балки, формируя гидрографическую сеть на овражно-балочном водосборе. Наиболее интенсивный сток талых вод наблюдался по годам: в 1988 г. – 33,8 мм, 2003 г. – 63,9 мм, 2006 г. – 24,6 мм, 2014 г. – 14,3 мм, 2017 г. – 19,3 мм, 2023 г. – 10–14 мм. В вариантах с мелиоративными защитными лесными насаждениями и гидросооружениями сток был на 5–12 мм меньше, чем на контроле, и задерживался в лесной полосе. Математический анализ данных позволил установить взаимосвязь величины стока и смыва почвы на овражно-балочном водосборе в зависимости от удаленности от водораздела. **Выводы.** На овражно-балочном водосборе плоскостной смыв плавно переходит в линейный и образует ложбины, лощины. Конечным звеном водосбора являются овраги и балки. В пиковые периоды стока талых вод скорость водных потоков на ровных участках склона составляет 0,33–0,46 м/с, а по ложбинам – 0,57–0,83 м/с.

Ключевые слова: эрозия, ложбины, балки, поверхностный сток, талые и дождевые воды, смыв почвы, состояние почвы

Для цитирования: Полуэктов Е. В., Балакай Г. Т. Особенности проявления эрозии в пределах овражно-балочного водосбора // Мелиорация и гидротехника. 2023. Т. 13, № 3. С. 48–68. <https://doi.org/10.31774/2712-9357-2023-13-3-48-68>.

LAND RECLAMATION, WATER MANAGEMENT AND AGROPHYSICS

Original article

Erosion signs features within gully-ravine catchment

Evgeniy V. Poluektov¹, Georgiy T. Balakay²

¹Novocherkassk Engineering and Land Reclamation Institute – branch of the Don State Agrarian University, Novocherkassk, Russian Federation

²Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems, Novocherkassk, Russian Federation

¹rekngma@magnet.ru

²balakaygt@rambler.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8021-6853>

Abstract. Purpose: to determine patterns of formation of hydrographic network elements depending on the melt- and rainwater runoff and soil losses. **Materials and methods.** The studies were carried out in the upper reaches of the Bolshoy Log gully system, which is a part of the land use of the experimental farm “Polevoy” of the Federal Rostov Agrarian Research Center, with an area of 2070 hectares, of which more than 70 % is arable land. Soils are ordinary chernozems of varying degrees of erosion. The standard methods of research and the method of pins were used on runoff plots. **Results.** Within the catchment area, the amount of runoff and hydraulic indicators of water courses are greatly influenced by the agricultural background and the soil surface condition from which meltwater flows, and the intensity of erosion processes is influenced by the depth of soil freezing, the moisture content of topsoil, water storage in snow, snowmelt intensity. The water sprays are concentrated along the gullies, where the soil is washed out over time, and they pass into the category of hollows, then into ravines and gullies, forming a hydrographic network in the gully-ravine catchment area. The most intensive meltwater runoff was observed over the years: in 1988 – 33.8 mm, 2003 – 63.9 mm, 2006 – 24.6 mm, 2014 – 14.3 mm, 2017 – 19.3 mm, 2023 – 10–14 mm. In the variants with reclamation protective forest plantations and hydraulic structures, the runoff was 5–12 mm less than in the control and it retained in the forest belt. The mathematical data analysis made it possible to determine the relationship between the runoff rate and soil loss in the gully-ravine catchment, depending on the distance from the watershed. **Conclusions.** On the gully-ravine catchment, the sheet wash smoothly turns into a linear one and forms hollows and valleys. The final link of the catchment area are ravines and gullies. During the peak periods of meltwaters, the water flow velocity on flat sections of the slope is 0.33–0.46 m/s, and along the hollows – 0.57–0.83 m/s.

Keywords: erosion, hollows, ravines, surface runoff, melt- and rain water, soil loss, soil condition

For citation: Poluektov E. V., Balakay G. T. Erosion signs features within gully-ravine catchment. *Land Reclamation and Hydraulic Engineering*. 2023;13(3):48–68. (In Russ.). <https://doi.org/10.31774/2712-9357-2023-13-3-48-68>.

Введение. Вопросами эрозии почвы занимались многие отечественные [1–5] и зарубежные [5–9] ученые. Накоплены данные исследований в различных регионах России [10–13]. Для снижения процессов эрозии широко применяют адаптивно-ландшафтные системы земледелия [14–17], усовершенствуют технику и технологии, уменьшающие эрозию почвы [17, 18],

применяют для контроля эрозионных процессов современные методы [19, 20] и ГИС-технологии [21, 22]. Наши исследования [1, 3, 4] показали, что основной территориальной единицей, в пределах которой необходимо изучать эрозионно-гидрологические процессы, а следовательно, и проектировать систему почвозащитных мероприятий, является овражно-балочный водосбор. В современной научной терминологии понятие «водосбор» определяется как территория, тяготеющая к определенному гидрографическому объекту (ложбина, лощина, суходол, овраг, балка, озеро, река и др.), ограниченная линией, проходящей по наиболее высоким отметкам водораздела. На водосборах формируется поверхностный и грунтовый сток атмосферных осадков, сток наносов (почвогрунтов) и загрязнений – геосток, что является следствием эрозионных процессов. Основными элементами водосбора являются водоразделы, склоны и гидрографическая сеть. Формирование поверхностного стока начинается со склоновых участков, ограниченных водоразделами. С течением времени поверхностный сток вырабатывает совокупность постоянных и временных водотоков, т. е. гидрографическую сеть водосбора.

На гидрографической сети самое верхнее звено водосбора, начинающееся на его вершине, – это ложбина, представляющая собой небольшую впадину с симметричными пологими склонами, которая ниже по склону переходит в лощину с покатыми склонами, еще ниже возможно образование оврага, который со временем превращается в балку. Примерные параметры суходольной гидрографической сети приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Примерные размеры суходольной гидрографической сети степной зоны России (по В. М. Ивонину, 2018) [23]

Table 1 – Approximate dimensions of the upland hydrographic network of the steppe zone of Russia (according to V. M. Ivonin, 2018) [23]

Звено	Водосбор, га	Средний размер, м		Крутизна склонов, градус	Использование
		ширина	глубина		
Ложбина	10–50	20–50	1–2	2–6	Пашня
Лощина	50–300	50–150	2–10	6–20	Луг, лес
Балка	> 250	60–200	6–20	6–35	Луг, лес

Сток талых и дождевых вод происходит по ложбинам и лощинам, которые переходят в овраги и балки, а последние – в долины рек и другие водные объекты. Поэтому в водосборную площадь балки включают водосборную площадь ложбин и лощин, с площади которых происходит сток поверхностных вод. Водосборная площадь каждой балки ограничена водораздельной линией (границей) с водосбором соседней балки (рисунок 1).

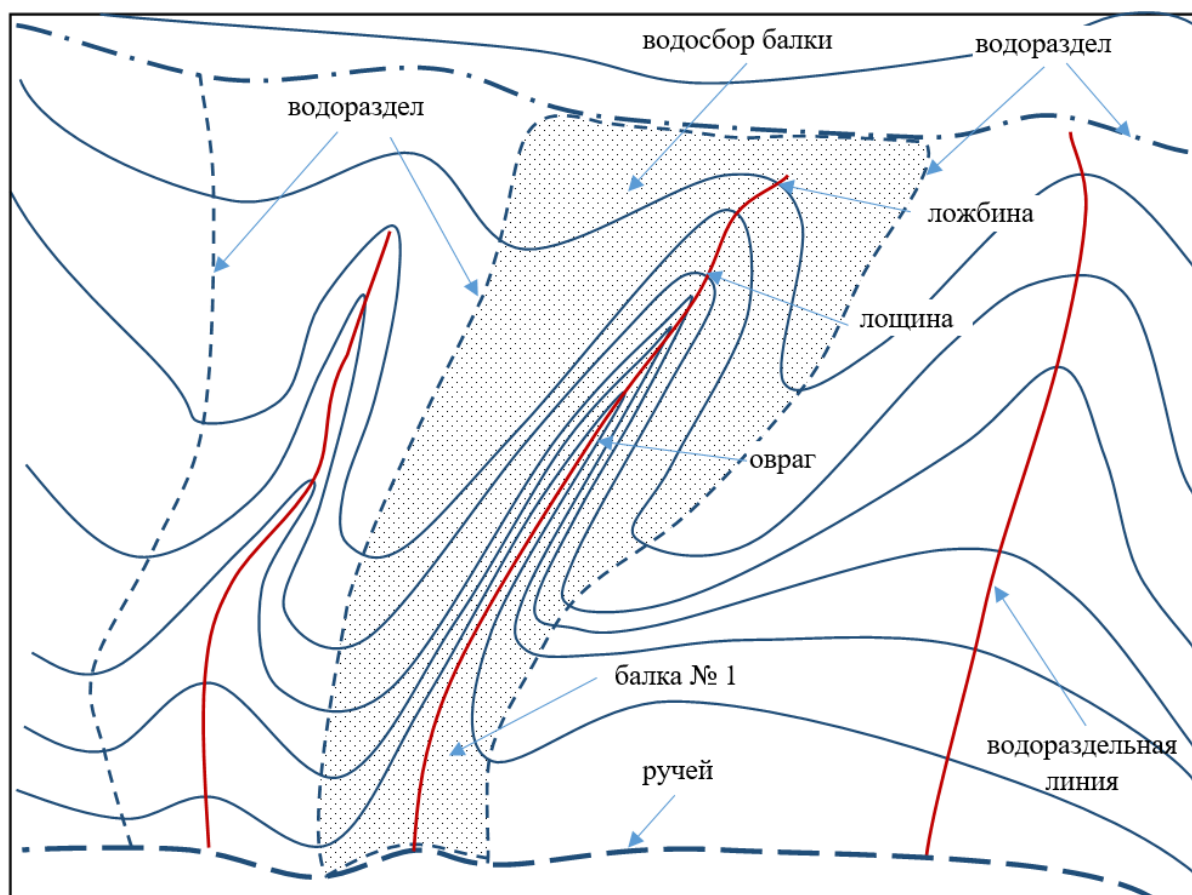


Рисунок 1 – Схема водосборной площади балки № 1
Figure 1 – Scheme of the watershed area of hollow no. 1

Данное сочетание элементов гидрографической сети можно сравнить с принципом «матрешки», когда меньшее по размеру звено входит в состав более крупного. Естественно, что при данном сочетании изменяются гидравлические показатели временных водных потоков стока, что влечет за собой изменения в объемах и величине смытой почвы на разных этапах прохождения стока талых и дождевых вод.

Цель исследований – установить закономерности образования элементов гидрографической сети в зависимости от стока талых и дождевых вод и смыва почвы в ложбинах и лощинах в составе овражно-балочного водосбора.

Материалы и методы. Объектом наших исследований является верховье балочной системы Большой лог, входящей в состав землепользования ОПХ «Полевой» Федерального Ростовского аграрного научного центра (в прошлом ДЗНИИСХ), площадью 2070 га, из которых более 70 % приходится на пашню. Почвы представлены черноземом обыкновенным различной степени эродированности. Использовались общепринятые методы исследований на стоковых площадках и метод шпилек.

Результаты и обсуждение. Как показали наши многолетние исследования, эрозионные процессы возникают при снеготаянии в холодные периоды года и ливневых дождях теплого периода [1, 3, 4]. В период снеготаяния на интенсивность эрозионных процессов оказывают влияние глубина промерзания почвы, влажность верхнего слоя, запасы воды в снеге, интенсивность снеготаяния.

В пределах водосбора на величину стока и гидравлические показатели водных потоков оказывают большое влияние агрофон и состояние поверхности почвы, с которой стекает талая вода. При ровной поверхности поля поверхностный сток практически равномерно стекает со всей площади. Вместе с тем, согласно законам термодинамики, потоки воды стараются обеспечить себе наименьший смоченный периметр, концентрируясь в струи, при этом существенно увеличивается скорость водных потоков, которые уже обладают повышенной размывающей способностью и смывают почву, оставляя после стока водороины, последние позволяют рассчитать объемы смытой почвы. Наши исследования показали, что в пиковые периоды стока талых вод скорость водных потоков на ровных участках склона составляет 0,33–0,46 м/с, а по ложбинам – 0,57–0,83 м/с. Струи

воды концентрируются по потяжинам, которые со временем смывают почву, превращаются в ложбины и т. д. В качестве примера приведем данные многолетних наблюдений за смывом почвы на ровных склонах и в ложбинах (таблица 2) и зависимость смыва массы почвы от среднего поперечного сечения водороев (рисунки 2 и 3).

Таблица 2 – Смыв почвы по ложбинам и со склонов крутизной 2,5–5,5° на черноземе обыкновенном

Table 2 – Soil washout along hollows and from slopes with 2.5–5.5° gradients on ordinary chernozem

Культура или агрофон	Год исследования	Ложбина					Склон				
		Смыв почвы, т/га	Характеристика водороев, см				Смыв почвы, т/га	Характеристика водороев, см			
			ширина		глубина			ширина		глубина	
			min	max	min	max		min	max	min	max
Зябь	1995	15,5	21,5	33,0	11,2	14,0	20,3	6,0	17,1	4,2	6
Озимая пшеница	1995	3,2	15,1	22,4	4,6	5,3	4,7	4,3	15,0	1,5	3,0
Зябь	1998	13,7	20,8	47,2	18,9	25,6	22,3	10,6	19,3	4,7	7,8
Озимая пшеница	1998	6,4	11,3	20,6	7,3	20,5	12,6	5,8	17,4	3,8	9,2
Зябь	2003	26,8	85,0	95,0	19,0	39,3	39,8	11,0	45,0	6,0	19
Озимая пшеница	2003	14,5	37,2	43,4	9,2	17,1	17,4	6,0	23,0	2,0	6,0
Зябь	2006	9,7	22,5	45,3	13,7	27,8	18,5	7,7	17,2	4,1	9,1
Озимая пшеница	2006	2,9	14,1	31,4	7,4	13,3	16,9	5,6	11,3	2,9	14,3
Зябь	2017	29,8	45,5	88,4	19,3	24,8	32,0	16,0	33,0	11,3	22,4
Озимая пшеница	2017	15,8	21,03	77,4	11,1	19,6	19,3	9,3	24,5	4,2	7,9

Согласно полученным натурным данным, морфологические показатели водороев (ширина и глубина) по ложбинам значительно превосходили параметры водороев на ровных участках склонов. На склонах поперечное сечение водороев в устье водотока в 4–5 раз меньше, чем в ложбинах.

Особенно глубокие водороевы формировались на участках с отвальной зябью, которые характеризовались рыхлым сложением пахотного горизонта. Величина объемной массы в слое 0–30 см в среднем составляла 1,08–1,19 г/см³. На посевах озимой пшеницы более высокая плотность

сложения пахотного слоя (1,13–1,26 г/см³) и хорошо развившаяся в осенний период корневая система препятствовали размыванию дна ложбин. В соответствии с этим смыв почвы, а следовательно, и дальнейшее увеличение параметров ложбин были здесь гораздо меньше, чем на зяби.

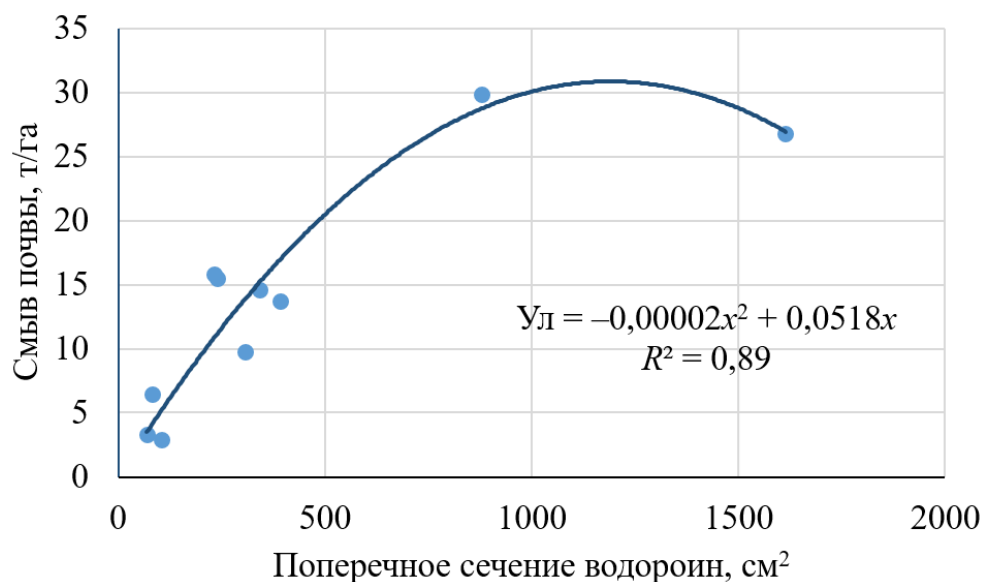


Рисунок 2 – Зависимость смыва почвы от площади поперечного сечения водороин в ложбинах
Figure 2 – Dependence of soil washout on the area of cross section of gullies in hollows

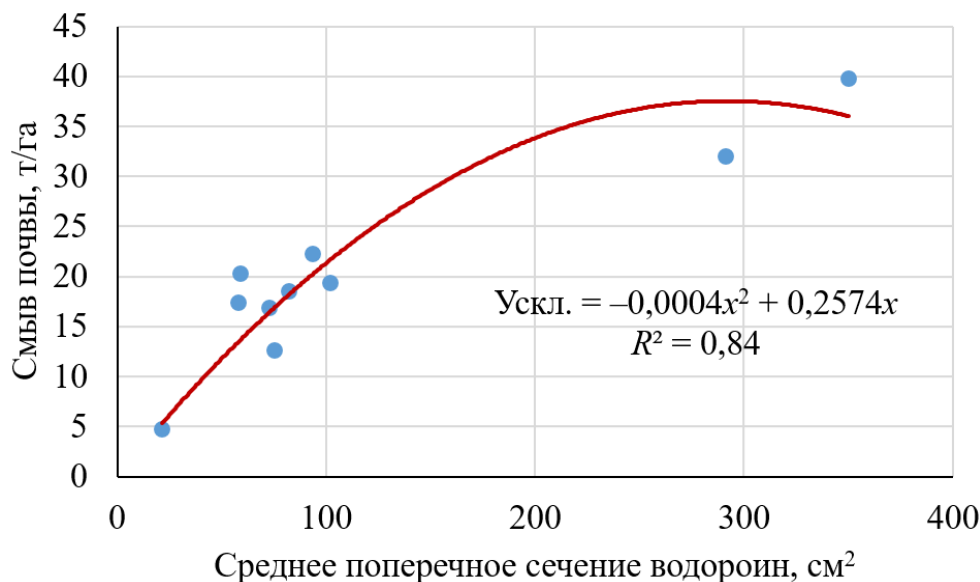


Рисунок 3 – Зависимость смыва почвы от площади поперечного сечения водороин на склонах
Figure 3 – Dependence of soil washout on the area of cross section of gullies on slopes

На ровных участках склона смыв почвы достигал больших размеров по отношению к ложбинам, что связано с небольшим количеством последних в пределах водосбора. Если взять в целом весь склон, то в годы с интенсивным проявлением эрозионных процессов на ложбины приходилось до 40 % от общих потерь почвы.

Следующей ступенью гидрографической сети на пути эрозионных потоков является лощина. Они располагаются в нижней части склона и впадают в овраг или балку. Объектами наблюдений служили лощины на склонах западной и северо-восточной экспозиций.

На склоне западной экспозиции в прибалочной лесной полосе посадки 1967 г., которую пересекали несколько лощин, был заложен в 1978 г. опыт с гидросооружениями (вал, совмещенный с канавой, заполняемой соломой). Наблюдения с 1978 г. по настоящее время показали, что в первоначальный период (1978–1981 гг.) глубина промоин на контроле (без гидросооружений) по руслу лощины под пологом деревьев составляла 15–19 см, ширина 30–46 см. В вариантах лесной полосы, совмещенной с гидросооружениями, глубина водороин не превышала 8 см, а ширина 12–17 см, и то только при входе в лесную полосу. Через 3–4 м водороина исчезала за счет подпора талых вод земляным валом на нижней опушке насаждений. После пыльных бурь зимой и весной 1984 г. лощина была занесена слоем мелкозема и снега мощностью от 40 до 140 см. После весеннего снеготаяния мощность наносов уменьшилась на 30–100 см. На контроле мощность наносов, отложившихся в лесной полосе, составила 45–50 см.

Прошедшие в конце мая два ливня с общей суммой осадков 44,8 мм и интенсивностью в пределах 1,48 мм/мин вызвали интенсивный смыв почвы на поле перед лесной полосой, занятой кукурузой, до 31–52 т/га. При входе в лесную полосу ширина водороины составляла 397 см, а глубина 11,0 см. Уже в конце третьего междурядья лесной полосы она рассредоточилась, так как поток воды, встречая на своем пути подпор в виде наносов и водоудер-

живающего вала, резко гасил скорость и вся почва, поступающая с потоком воды, оседала в лесной полосе. В контрольном варианте ливневые потоки промыли русло через всю лесную полосу шириной 100 см и глубиной 55 см. Вместе с тем размывов на склоне балки не наблюдалось.

Эрозионные процессы, сопровождающиеся стоком талых и дождевых вод, были зафиксированы в контрольном варианте в 1991, 1994, 1995, 1997, 1998, 2003, 2006, 2014, 2017 и 2023 гг. Наиболее интенсивный сток талых вод наблюдался в 1988 г. – 33,8 мм, 2003 г. – 63,9 мм, 2006 г. – 24,6 мм, 2014 г. – 14,3 мм, 2017 г. – 19,3 мм, 2023 г. – 10–14 мм. В вариантах с гидросооружениями сток был на 5–12 мм меньше, чем на контроле, и задерживался в лесной полосе (рисунок 4).



Рисунок 4 – Линейная (в верхней части фото) и плоскостная эрозия при стоке талых вод в 2023 г. (фото Е. В. Полуэктова)

Figure 4 – Linear (in the upper part of the photo) and sheet erosion during the snowmelt runoff in 2023 (photo by E. V. Poluektov)

Обследование вариантов опыта в лесной полосе в 2018 и 2022 гг. позволило установить следующее. На контроле при входе в лесную полосу четко прослеживается водоток шириной 130 см и глубиной до 21 см. Он проходит через всю лесную полосу с параметрами на выходе: ширина 132 см, глубина 50 см. Сразу за лесной полосой сформировался линейный размыв в виде склонового оврага, который имел следующие параметры: при выходе

из лесной полосы ширина 285 см, глубина 218 см; длина склонового оврага от лесной полосы до временного водотока (дна балки) составила 16 м.

В вариантах с водоудерживающими гидросооружениями изначальные размывы имели место только лишь при входе водоройны по водотоку лощины в лесную полосу (шириной 50–75 см и глубиной не более 6 см) (рисунок 5).



Рисунок 5 – Мелиоративное защитное лесное насаждение с гидротехническим сооружением канава-вал в период стока 2023 г. (фото Е. В. Полуэктова)

Figure 5 – Reclamation protective forest plantation with a waterworks ditch-dike during runoff in 2023 (photo by E. V. Poluektov)

В связи с тем, что гидросооружения в виде вала были практически полностью заилены мелкоземом, принесенным с поля, в отдельных местах имелись небольшие промоины на самом валу, но их глубина не превышала 3–4 см. Линейных размывов за гидросооружениями, поросшими многолетними травами, не наблюдалось.

На склоне северо-восточной экспозиции замеры размыва по дну лощины, проведенные в 2006 г., когда на поле были посеы озимой пшеницы, а слой стока был равен 25,9 мм, показали глубину 8–17 см при ширине

водороин 31–57 см. Масса смытой почвы была около 15 т/га. Несколько в ином плане развивались процессы эрозии в феврале 2017 г., когда снеготаяние сопровождалось выпадением дождя слоем 13,6 мм. Потоки воды в лощине достигали скорости 0,87–1,01 м/с, что намного увеличило кинетическую силу потока и размыв почвы. Глубина размыва достигала 63 см, а ширина 108 см. Смыв почвы составил 34,9 т/га (таблица 3).

Таблица 3 – Смыв почвы по лощинам на склонах крутизной 8–10°

Table 3 – Soil washout along hollows on slopes with a 8–10° gradient

Культура или агрофон	Год исследований	Ширина водороины (размыва), см	Глубина водороины (размыва), см	Смыв почвы, т/га
Озимая пшеница	2006	31–57	8–17	14,9
Зябрь	2017	68–108	44–63	34,9

Каждый овражно-балочный водосбор – это не только сформированная в течение длительного времени гидрографическая сеть, но и склоны различной крутизны, экспозиции, а также различные типы водосбора (прямые, собирающие, рассеивающие), каждый из которых характеризуется своей особенностью протекания эрозионных процессов. Согласно проведенным исследованиям, на прямых склонах формирование поверхностного стока и смыв почвы на пашне начинают проявляться с уклона 0,4–0,6°, что не оказывает заметного влияния на плодородие почвы. С увеличением крутизны склона растет степень эродированности почвы и снижается плодородие. На слабопологих склонах до 2,5–3° образуются слабоэродированные почвы, потерявшие до 10–15 см гумусового слоя. На склонах до 4–4,5° формируются почвы среднеэродированные, и на склонах 4,5–5,0° и более формируются почвы сильноэродированные. На интенсивность смыва почвы и степень эродированности оказывают влияние множество факторов, но наиболее существенны экспозиция, форма склона, уклоны, удаленность от водораздела, условия увлажнения и др.

В качестве примера приведем усредненные данные о влиянии крутизны и длины выпуклого склона с уклонами от 0,4 до 6,0° на интенсив-

ность эрозионных процессов и смыв почвы на чистом пару и отвальной зяби при выпадении ливней за период с 1973 по 2021 г. (таблица 4).

Таблица 4 – Смыв почвы на прямых склонах

Table 4 – Soil washout on plain slopes

Крутизна склона, градус	Расстояние от водораздела, м	Смыв почвы на чистом пару от ливневых дождей, т/га	Смыв почв на зяби во время снеготаяния, т/га
0,4	50	1,9	0,5
0,8	100	4,5	2,1
1,2	150	7,7	5,3
2,6	200	15,1	7,0
3,0	250	19,1	10,6
3,5	300	26,9	14,3
3,8	350	30,1	16,8
4,1	400	32,7	13,7
4,8	450	35,9	19,4
5,2	500	44,9	21,4
5,5	550	68,2	30,7
6,0	600	69,7	39,6

Величина смытой почвы во время ливней учитывалась при интенсивности дождя 1,6–2,2 мм/мин, а во время снеготаяния при слое стока от 15 до 65 мм. Если условно разделить склон, используемый под пашню, от водораздельной линии до бровки балки на несколько участков, то величина смыва почвы от ливневых дождей на чистом пару и от стока талых вод на отвальной зяби имеет следующую тенденцию (рисунок 6).

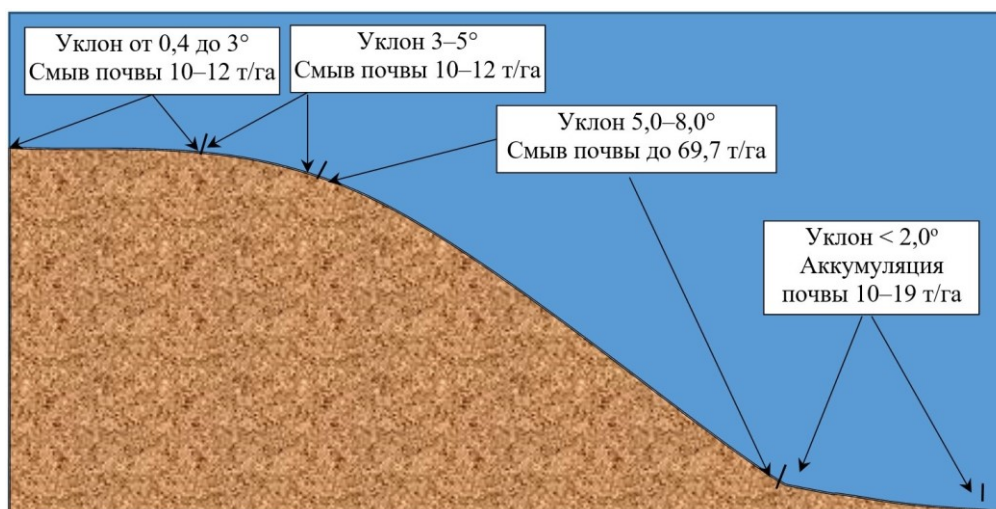


Рисунок 6 – Схема смыва почвы на склоне
Figure 6 – Scheme of soil washout on the slope

В верхней трети склона с уклонами от 0,4 до 3° расположены неэродированные и слабоэродированные почвы, величина смыва почвы не превышает 10–12 т/га. В средней части выпуклого склона крутизной от 3 до 5° почвы слабо- и среднеэродированы, смыв почвы составляет 14–19 т/га. В нижней части склона с уклонами более 5° почвы средне- и сильноэродированы, смыв почвы достигает на чистом пару 69,7 т/га. В этой части склона плоскостной смыв плавно переходит в линейный по ложбинам и лощинам, о чем было сказано выше. Овраги и балки являются конечным звеном водосбора. Их берега в зависимости от стадии развития эрозионных процессов чаще всего представлены обнажением почвообразующих и подстилающих пород или примитивными слаборазвитыми почвами. Процессы эрозии могут достигать значительных размеров – до 60–80 т/га и более. Вместе с тем днища балок аккумулируют принесенную с водосбора смытую почву, при этом здесь формируются дерново-намытые почвы со значительной мощностью гумусового горизонта. Зависимость смыва массы почвы от удаленности от водозабора по агрофону пар и зябь приводится на рисунке 7.

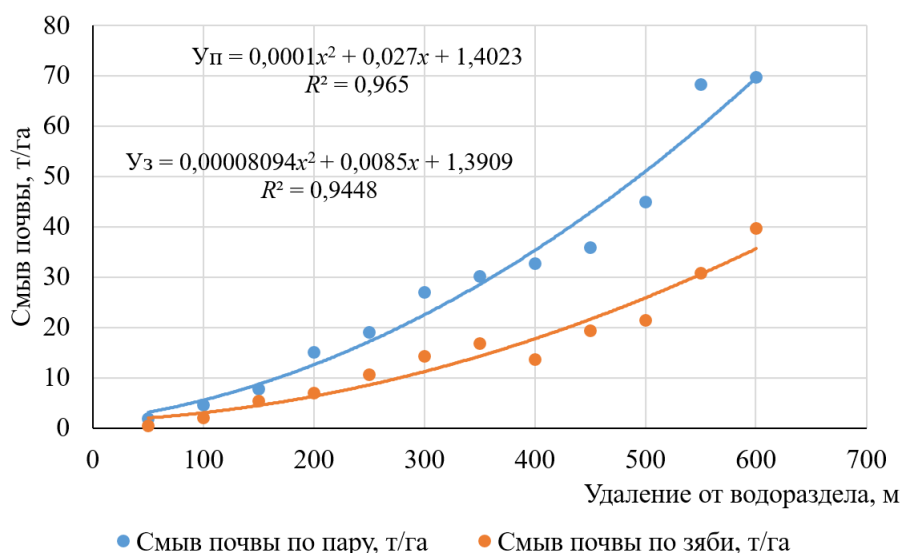


Рисунок 7 – Взаимосвязь смыва массы почвы и удаленности от водораздела по пару и зяби

Figure 7 – Relationship between the soil mass washout and the distance from the watershed in fallow and fall-plowed

Более высокие показатели смыва почвы наблюдаются по пару – до 70 т/га, по зяби с наличием остатков стерни.

Несколько в ином плане развиваются эрозионные процессы на собирающем и рассеивающем типах водосборов. В первом случае происходит концентрация потоков воды и их сосредоточение по потяжинам, ложбинам, лощинам, вызывая значительный смыв почвы в целом с водосбора, который за 50-летний период наблюдений (1973–2023 гг.) составил 18,4 т/га. На рассеивающем типе водосбора смыв почвы за этот период был в 5,1 раза меньше – 3,6 т/га.

Если проанализировать интенсивность развития эрозионных процессов на водосборах в зависимости от агрофона (степени уплотненности пашни: зябь и уплотненная пашня), то из взятого для наблюдений количества лет (1973–2023 гг.), когда на водосборах была зябь, стока не наблюдалось 11 лет, а с уплотненной пашни (многолетние травы, озимая пшеница) – 7 лет. Смыв почвы с собирающего типа водосбора на фоне зяби в среднем за 8 лет составил 18,4 т/га, а с рассеивающего в 1,5 раза меньше (12,3 т/га). В том случае, когда водосборы были заняты посевами озимых культур и многолетних трав, смыв почвы был существенно ниже: на собирающем – 4,5 т/га, рассеивающем – 2,7 т/га. Как видно, пропорции в соотношении величины смыва сохраняются.

На смыв почвы во время снеготаяния большое влияние оказывает экспозиция склона. Склоны световых экспозиций (южные, юго-западные и юго-восточные) получают достаточное количество тепла. В зимний период приход радиации в ясные солнечные дни, количество которых в среднем не превышает 4–6 дней, может составлять 16–20 ккал/см². В результате этого снег, мощность которого к началу снеготаяния не превышает в среднем 10–22 см, испаряется непосредственно в воздух. На поверхности почвы формируются прогалины, ослабляющие в дальнейшем слой стока талых вод. Подобные явления имели место в 1982, 1987, 1994, 2006, 2023 гг.

Так, в 1987 г. устойчивый снежный покров начал формироваться с середины декабря и к концу января достиг мощности 32–63 см, а к концу марта 69–83 см. Короткие, но частые оттепели способствовали формированию на поверхности снежного покрова ледяной корки, которая прикрывалась сверху слоем снега после очередного снегопада. Вся толща снега насчитывала шесть слоев ледяной корки толщиной от 1,5 до 4,0 см с плотностью снега 0,35–0,60 г/см³, что способствовало созданию рекордных запасов воды в снеге 300–600 мм. Модуль стока достигал 33,7 л/(с·га) при среднем модуле за период стока 3–12 л/(с·га).

Интересные наблюдения получены в период снеготаяния 2023 г., которое проходило 26 и 27 февраля. Глубина промерзания почвы составила 32–35 см, а на ее поверхности (посевы озимой пшеницы) в результате оттепелей сформировалась фрагментарная ледяная корка. К моменту стока талых вод при температуре воздуха плюс 15 – плюс 16 °С мощность снежного покрова составляла 5–9 см, хотя за три дня до этого она была на 4–5 см больше. Причиной резкого уменьшения мощности снежного покрова были ясные солнечные дни с 23 по 25 февраля, когда снег испарился под влиянием прямых солнечных лучей. В результате очаги снега остались только на теневых склонах, по ложбинам и под защитой лесных полос. Возник очаговый сток талых вод слоем 8–10 мм на ровных склонах и 10–14 мм по ложбинам теневых экспозиций. Смыв почвы не превышал 3–5 т/га. Таким образом, в пределах водосбора интенсивность смыва почвы в годы с солярным типом снеготаяния на склонах теневых экспозиций в 4–6 раз выше, чем на световых.

Выводы

1 В пределах водосбора на величину стока и гидравлические показатели водных потоков оказывают большое влияние агрофон и состояние поверхности почвы, с которой стекает талая вода, а на интенсивность эро-

зионных процессов оказывают влияние глубина промерзания почвы, влажность верхнего слоя, запасы воды в снеге, интенсивность снеготаяния.

2 В верхней трети склона с уклонами от 0,4 до 3° расположены неэродированные и слабоэродированные почвы, величина смыва почвы не превышает 10–12 т/га. В средней части выпуклого склона крутизной от 3 до 5° почвы слабо- и среднеэродированы, смыв почвы составляет 14–19 т/га. В нижней части склона с уклонами более 5° почвы средне- и сильноэродированы, смыв почвы достигает на чистом пару 69,7 т/га, плоскостной смыв плавно переходит в линейный и образует лощины и овраги. В нижней части склона уклон уменьшается и происходит аккумуляция почвы, смыв почвы снижается до 10–19 т/га. Овраги и балки являются конечным звеном водосбора.

3 Исследования показали, что в пиковые периоды стока талых вод скорость водных потоков на ровных участках склона составляет 0,33–0,46 м/с, а по ложбинам – 0,57–0,83 м/с. Струи воды концентрируются по потяжинам, которые со временем смывают почву и превращаются в ложбины.

4 Наиболее интенсивный сток талых вод наблюдался по годам: в 1988 г. – 33,8 мм, 2003 г. – 63,9 мм, 2006 г. – 24,6 мм, 2014 г. – 14,3 мм, 2017 г. – 19,3 мм, 2023 г. – 10–14 мм. В вариантах с гидросооружениями и мелиоративными защитными лесными насаждениями сток был на 15–55 мм меньше, чем на контроле, и задерживался в лесной полосе.

5 Исследования показали, что на величину стока и смыв почвы влияет экспозиция склона. Так, в 2006 г. на склоне северо-восточной экспозиции, когда на поле были посеы озимой пшеницы, замеры размыва по дну лощины показали, что слой стока составил 25,9 мм, глубина 8–17 см, ширина водороев 31–57 см, масса смытой почвы 15 т/га. В феврале 2017 г. снеготаяние сопровождалось выпадением дождя слоем 13,6 мм и потоки воды в лощине достигали скорости 0,87–1,01 м/с, что увеличило кинетиче-

скую силу потока, размыв почвы возрос: глубина размыва достигала 63 см, ширина 108 см, смыв почвы составил 34,9 т/га.

Список источников

1. Условия формирования поверхностного стока. Прогноз причиняемого ущерба. Компенсационные мелиоративные мероприятия / В. Н. Щедрин, Г. Т. Балакай, Е. В. Полуэктов, Н. И. Балакай. Новочеркасск: РосНИИПМ, 2016. 450 с.
2. Извеков А. С. Защита почв от эрозии и воспроизводство плодородия в южных и лесостепных районах России // Бюллетень Почвенного института им. В. В. Докучаева. 2012. № 70. С. 79–95.
3. Полуэктов Е. В., Балакай Г. Т., Тищенко А. П. Ливневая эрозия на обыкновенных черноземах // Мелиорация и гидротехника [Электронный ресурс]. 2022. Т. 12, № 3. С. 29–43. URL: <http://www.rosniipm-sm.ru/article?n=1291> (дата обращения: 22.03.2023). <https://doi.org/10.31774/2712-9357-2022-12-3-29-43>.
4. Полуэктов Е. В., Балакай Г. Т. Эрозионные процессы при стоке талых вод на юге европейской части России // Мелиорация и гидротехника [Электронный ресурс]. 2023. Т. 13, № 1. С. 1–18. URL: <http://www.rosniipm-sm.ru/article?n=1337> (дата обращения: 22.03.2023). <https://doi.org/10.31774/2712-9357-2023-13-1-1-18>.
5. Акперова У. З. Эрозия почвы водой и меры борьбы с ней // Евразийский союз ученых. 2020. № 8(77). С. 45–51. DOI: 10.31618/ESU.2413-9335.2020.5.77.986.
6. Эрозионная опасность почв пастбищ Большого Кавказа и Джейранчель-Аджиноура / А. Ш. Джаруллаев, И. И. Марданов, А. А. Исмаилова, Н. Ш. Эльдаров // Географический вестник. 2018. № 3(46). С. 75–82. DOI: 10.17072/2079-7877-2018-3-75-82.
7. Pimentel D., Burgess M. Soil erosion threatens food production // Agriculture. 2013. 3(3). P. 443–463. <https://doi.org/10.3390/agriculture3030443>.
8. Nguyen X. H., Pham A. H. Assessing soil erosion by agricultural and forestry production and proposing solutions to mitigate: A case study in Son La province, Vietnam // Applied and Environmental Soil Science. 2018. Vol. 2018. 2397265. <https://doi.org/10.1155/2018/2397265>.
9. Pham G., Degener J., Kappas M. Integrated universal soil loss equation (USLE) and Geographical Information System (GIS) for soil erosion estimation in A Sap basin: Central Vietnam // International Soil and Water Conservation Research. 2018. Vol. 6, iss. 2. P. 99–110. <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2018.01.001>.
10. Шевченко Д. А., Сивоконь Ю. В. Влияние стока талых вод на водную эрозию почвы [Электронный ресурс] // Международный научно-исследовательский журнал. 2015. № 7(38). URL: <https://research-journal.org/archive/7-38-2015-august/vliyanie-stokatalyx-vod-na-vodnuyu-eroziyu-rochvy> (дата обращения: 22.03.2023).
11. Мальцев К. А., Ермолаев О. П. Потенциальные эрозионные потери почвы на пахотных землях европейской части России // Почвоведение. 2019. № 12. С. 1502–1512. DOI: 10.1134/S0032180X19120104.
12. Эрозия почвы и борьба с ней: библиогр. указ. лит. за 1977–2022 гг. / сост.: Н. Б. Налетова. М., 2022. 105 с.
13. Солдат И. Е. Снижение негативного влияния эрозии почв в Белгородской области внедрением адаптивно-ландшафтной системы земледелия // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство. 2020. Т. 15, № 2. С. 182–190. DOI: 10.22363/2312-797X-2020-15-2-182-190.
14. Комиссаров М. А., Клик А. Влияние нулевой, минимальной и классической обработок на эрозию и свойства почв в Нижней Австрии // Почвоведение. 2020. № 4. С. 473–482. DOI: 10.31857/S0032180X20040073.

15. Цыбулько Н. Н. Адаптивное использование эродированных почв Беларуси // Актуальные проблемы устойчивого развития агроэкосистем (почвенные, экологические, биоценоотические аспекты): материалы Всерос. с междунар. участием науч. конф., посвящ. 60-летию лаб. агроэкологии Никит. ботан. сада, 7–11 окт. 2019 г. / Никит. ботан. сад – Нац. науч. центр РАН. Симферополь: Ариал, 2019. С. 295–299.

16. Устинов М. Т., Глистин М. В. Адаптивно-ландшафтная диагностика и оценка состояния структуры почвенного покрова мелиорируемых территорий методом трансект-катенирования // Мелиорация и водное хозяйство. 2020. № 6. С. 24–27.

17. Исследование технологии защиты почвы от эрозии / Г. Я. Гурбанов, М. Г. Гасанов, Р. М. Мустафаев, З. В. Мамедов // Аграрный научный журнал. 2022. № 6. С. 88–90. DOI: 10.28983/asj.y2022i6pp88-90.

18. Мударисов С. Г., Рахимов З. С. Влияние технических средств и технологий на механическую эрозию почвы на склонах // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2020. Т. 14, № 2. С. 17–22. <https://doi.org/10.22314/2073-7599-2020-14-2-17-22>.

19. Гулюк Г. Г., Балакай Г. Т., Бабичев А. Н. К вопросу разработки нового экспресс-метода определения объема и массы почвы, смытой в результате водной эрозии // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации [Электронный ресурс]. 2018. № 4(32). С. 20–37. URL: <http://www.rosniipm-sm.ru/article?n=951> (дата обращения: 22.03.2023). DOI: 10.31774/2222-1816-2018-4-20-37.

20. Самофалова И. А. Диагностика эродированности почв с использованием современных подходов к интерпретации параметров гранулометрического состава // Земледелие. 2020. № 1. С. 14–19. DOI: 10.24411/0044-3913-2020-10104.

21. Самохвалова Е. В., Зудилин С. Н. Геопространственный анализ и оценка деградации сельскохозяйственных угодий Самарской области под действием эрозионных процессов // Международный сельскохозяйственный журнал. 2020. № 4. С. 8–13. DOI: 10.24411/2587-6740-2020-14062.

22. Костин И. Г., Малышева Е. С. Мониторинг основных параметров плодородия почв с применением геоинформационных систем // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2020. № 2(58). С. 96–101. DOI: 10.12737/2073-0462-2020-96-101.

23. Ивонин В. М. Лесомелиорация ландшафтов: учебник. Новочеркасск: Лик, 2018. 206 с.

References

1. Shchedrin V.N., Balakay G.T., Poluektov E.V., Balakay N.I., 2016. *Usloviya formirovaniya poverkhnostnogo stoka. Prognoz prichinyaemogo ushcherba. Kompensatsionnye meliorativnye meropriyatiya* [The Conditions of Formation of Surface Runoff. The Forecast of the Damage Caused. Compensatory Reclamation Measures]. Novocherkassk, RosNIIPM, 450 p. (In Russian).

2. Izvekov A.S., 2012. *Zashchita pochv ot erozii i vosproizvodstvo plodorodiya v yuzhnykh i lesostepnykh rayonakh Rossii* [Protection of eroded soils and the fertility recovery within the dry-steppe and forest-steppe zones of Russia]. *Byulleten' Pochvennogo instituta im. V. V. Dokuchaeva* [Dokuchaev Soil Bulletin], no. 70, pp. 79-95. (In Russian).

3. Poluektov E.V., Balakai G.T., Tishchenko A.P., 2022. [Storm erosion on ordinary chernozem]. *Melioratsiya i gidrotekhnika*, vol. 12, no. 3, pp. 29-43, available: <http://www.rosniipm-sm.ru/article?n=1291> [accessed 22.03.2023], <https://doi.org/10.31774/2712-9357-2022-12-3-29-43>. (In Russian).

4. Poluektov E.V., Balakay G.T., 2023. [Erosion processes during the melt water runoff in the south of the European part of Russia]. *Melioratsiya i gidrotekhnika*, vol. 13, no. 1, pp. 1-18, available: <http://www.rosniipm-sm.ru/article?n=1337> [accessed 22.03.2023], <https://doi.org/10.31774/2712-9357-2023-13-1-1-18>. (In Russian).

5. Akperova U.Z., 2020. *Eroziya pochvy vodoy i mery borby s ney* [Water erosion and struggle measures against it]. *Evraziyskiy soyuz uchenykh* [Eurasian Union of Scientists], no. 8(77), pp. 45-51, DOI: 10.31618/ESU.2413-9335.2020.5.77.986. (In Russian).

6. Dzharullaev A.Sh., Mardanov I.I., Ismailova A.A., Eldarov N.Sh., 2018. *Erozionnaya opasnost pochv pastbishch Bolshogo Kavkaza i Dzheyranchel-Adzhinoura* [The soil erosion risk of the Greater Caucasus and Dzheyranchel-Adzhinour Pastures]. *Geograficheskiy vestnik* [Geographical Bulletin], no. 3(46), pp. 75-82, DOI: 10.17072/2079-7877-2018-3-75-82. (In Russian).

7. Pimentel D., Burgess M., 2013. Soil erosion threatens food production. *Agriculture*, 3(3), pp. 443-463, <https://doi.org/10.3390/agriculture3030443>.

8. Nguyen X.H., Pham A.H., 2018. Assessing soil erosion by agricultural and forestry production and proposing solutions to mitigate: A case study in Son La province, Vietnam. *Applied and Environmental Soil Science*, vol. 2018, 2397265, <https://doi.org/10.1155/2018/2397265>.

9. Pham G., Degener J., Kappas M., 2018. Integrated universal soil loss equation (USLE) and Geographical Information System (GIS) for soil erosion estimation in A Sap basin: Central Vietnam. *International Soil and Water Conservation Research*, vol. 6, iss. 2, pp. 99-110, <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2018.01.001>.

10. Shevchenko D.A., Sivokon Yu.V., 2015. *Vliyanie stoka talykh vod na vodnuyu eroziyu pochvy* [Influence of melt water runoff on water erosion]. *Mezhdunarodnyy nauchno-issledovatel'skiy zhurnal* [International Scientific Research Journal], no. 7(38), available: <https://research-journal.org/archive/7-38-2015-august/vliyanie-stoka-talyx-vod-na-vodnuyu-eroziyu-pochvy> [accessed 22.03.2023]. (In Russian).

11. Maltsev K.A., Ermolaev O.P., 2019. *Potentsial'nye erozionnye poteri pochvy na pakhotnykh zemlyakh evropeyskoy chasti Rossii* [Potential soil loss from erosion on arable lands in the European part of Russia]. *Pochvovedenie* [Soil Science], no. 12, pp. 1502-1512, DOI: 10.1134/S0032180X19120104. (In Russian).

12. Naletov N.B. (comp.), 2022. *Eroziya pochvy i bor'ba s ney: bibliogr. ukaz. lit. za 1977–2022 gg.* [Soil Erosion and Its Control: bibliography for 1977–2022]. Moscow, 105 p. (In Russian).

13. Soldat I.E., 2020. *Snizhenie negativnogo vliyaniya erozii pochv v Belgorodskoy oblasti vnedreniem adaptivno-landshaftnoy sistemy zemledeliya* [Reducing the negative impact of soil erosion in the Belgorod region through adaptive-landscape farming system]. *Vestnik Rossiyskogo universiteta druzhby narodov. Seriya: Agronomiya i zhivotnovodstvo* [RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries], vol. 15, no. 2, pp. 182-190, DOI: 10.22363/2312-797X-2020-15-2-182-190. (In Russian).

14. Komissarov M.A., Klik A., 2020. *Vliyanie nulevoy, minimal'noy i klassicheskoy obrabotok na eroziyu i svoystva pochv v Nizhney Avstrii* [The impact of no-till, conservation, and conventional tillage systems on erosion and soil properties in Lower Austria]. *Pochvovedenie* [Soil Science], no. 4, pp. 473-482, DOI: 10.31857/S0032180X20040073. (In Russian).

15. Tsybulko N.N., 2019. *Adaptivnoe ispol'zovanie erodirovannykh pochv Belarusi* [Adaptive use of eroded soils of Belarus]. *Aktual'nye problemy ustoychivogo razvitiya agroekosistem (pochvennye, ekologicheskie, biotsenoticheskie aspekty): materialy Vserossiyskoy s mezhdunar. uchastiem nauchnoy konferentsii, posvyashchennoy 60-letiyu lab. agroekologii Nikitskogo botanicheskogo sada* [Actual Problems of Sustainable Development of Agroecosystems (Soil, Ecological, Biocenotic Aspects): Proc. of All-Russian Scientific Conference with international participation, dedicated to the 60th anniversary of Laboratory of agroecology of Nikitskiy Botany Garden]. National scientific center of the Russian Academy of Sciences, Simferopol, Arial Publ., pp. 295-299. (In Russian).

16. Ustinov M.T., Glistin M.V., 2020. *Adaptivno-landshaftnaya diagnostika i otsenka sostoyaniya struktury pochvennogo pokrova melioriruemyykh territoriy metodom transekt-katenirovaniya* [Adaptive landscape diagnostics and assessment of the state of the soil cover structure of reclaimed territories by transect catenation method]. *Melioratsiya i vodnoe khozyaystvo* [Land Reclamation and Water Management], no. 6, pp. 24-27. (In Russian).

17. Gurbanov G.Ya., Gasanov M.G., Mustafaev R.M., Mamedov Z.V., 2022. *Issledovanie tekhnologii zashchity pochvy ot erozii* [Research of soil protection technology from erosion]. *Agrarnyy nauchnyy zhurnal* [The Agrarian Scientific Journal], no. 6, pp. 88-90, DOI: 10.28983/asj.y2022i6pp88-90. (In Russian).

18. Mudarisov S.G., Rakhimov Z.S., 2020. *Vliyanie tekhnicheskikh sredstv i tekhnologiy na mekhanicheskuyu eroziyu pochvy na sklonakh* [Impact of the influence of technical means and technologies on mechanical soil erosion on slopes]. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii* [Agricultural Machinery and Technologies], vol. 14, no. 2, pp. 17-22, <https://doi.org/10.22314/2073-7599-2020-14-2-17-22>. (In Russian).

19. Gulyuk G.G., Balakay G.T., Babichev A.N., 2018. [To the problem of developing a new express method for determining the volume and mass of soil washed away as a result of water erosion]. *Nauchnyy zhurnal Rossiyskogo NII problem melioratsii*, no. 4(32), pp. 20-37, available: <http://www.rosniipm-sm.ru/article?n=951> [accessed 22.03.2023], DOI: 10.31774/2222-1816-2018-4-20-37. (In Russian).

20. Samofalova I.A., 2020. *Diagnostika erodirovannosti pochv s ispol'zovaniem sovremennykh podkhodov k interpretatsii parametrov granulometricheskogo sostava* [Diagnosis of soil erosion index using modern approaches to the interpretation of data on the granulometric composition]. *Zemledelie* [Farming], no. 1, pp. 14-19, DOI: 10.24411/0044-3913-2020-10104. (In Russian).

21. Samokhvalova E.V., Zudilin S.N., 2020. *Geoprostranstvennyy analiz i otsenka degradatsii sel'skokhozyaystvennykh ugodiy Samarskoy oblasti pod deystviem erozionnykh protsessov* [Geospatial analysis and assessment of agricultural land degradation degree in Samara region as a result of erosion processes]. *Mezhdunarodnyy sel'skokhozyaystvennyy zhurnal* [International Agricultural Journal], no. 4, pp. 8-13, DOI: 10.24411/2587-6740-2020-14062. (In Russian).

22. Kostin I.G., Malysheva E.S., 2020. *Monitoring osnovnykh parametrov plodorodiya pochv s primeneniem geoinformatsionnykh sistem* [Monitoring of basic parameters of soil fertility using geoinformation systems]. *Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [Bulletin of Kazan State Agrarian University], no. 2(58), pp. 96-101, DOI: 10.12737/2073-0462-2020-96-101. (In Russian).

23. Ivonin V.M., 2018. *Lesomelioratsiya landshaftov: uchebnik* [Forest Landscapes Reclamation: textbook]. Novocherkassk, Lik Publ., 206 p. (In Russian).

Информация об авторах

Е. В. Полуэктов – заведующий кафедрой почвоведения, орошаемого земледелия и геодезии, доктор сельскохозяйственных наук, профессор;

Г. Т. Балакай – главный научный сотрудник, доктор сельскохозяйственных наук, профессор.

Information about the authors

E. V. Poluektov – Head of the Chair of Soil Science, Irrigated Agriculture and Geodesy, Doctor of Agricultural Sciences, Professor;

G. T. Balakay – Chief Researcher, Doctor of Agricultural Sciences, Professor.

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Все авторы в равной степени несут ответственность при обнаружении плагиата, самоплагиата и других нарушений в сфере этики научных публикаций.

*Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.
All authors are equally responsible for detecting plagiarism, self-plagiarism and other ethical violations in scientific publications.*

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare no conflicts of interests.

*Статья поступила в редакцию 27.03.2023; одобрена после рецензирования 01.06.2023;
принята к публикации 05.07.2023.*

*The article was submitted 27.03.2023; approved after reviewing 01.06.2023; accepted for
publication 05.07.2023.*