

МЕЛИОРАЦИЯ, ВОДНОЕ ХОЗЯЙСТВО И АГРОФИЗИКА

Научная статья

УДК 631.6.02:556.164

doi: 10.31774/2712-9357-2024-14-1-105-122

Аккумуляция наносов мелкозема гидротехническим сооружением в виде запруды в условиях Ростовской области

Евгений Валерьянович Полуэктов¹, Георгий Трифонович Балакай²,
Владислав Юрьевич Ишханов³

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

³Донская Нива, Новочеркасск, Российская Федерация

¹geo@ngma.su

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

³donskaya-niva@yandex.ru

Аннотация. Цель: исследование способности аккумулировать наносы мелкозема, поступающие с поверхностным стоком талых и дождевых вод, гидротехническим сооружением в виде запруды в сочетании с мелиоративными защитными лесными насаждениями в условиях Ростовской области. **Материалы и методы.** Объектом исследований является гидротехническое сооружение в виде запруды, заложенное в 1982 г. под руководством профессора Е. В. Полуэктова на одном из ответвлений балки Большой Лог у поселка Степного Аксайского района Ростовской области. Схемой опыта были предусмотрены наблюдения за аккумуляцией объема и массы наносов в запруде и сравнение их со стоком на стационарной стоковой площадке. Уклон поверхности 2–3°. Применялись общепринятые методы исследования Г. В. Добровольского и методика Российского научно-исследовательского института проблем мелиорации. **Результаты.** Исследования проводились в 1982–2023 гг. по трем периодам: 1982–1995, 1996–2004 и 2004–2023 гг. Использованы архивные наблюдения профессора Е. В. Полуэктова за первый и второй периоды, и проведены исследования в 2023 г. Установлены показатели объема и массы мелкозема, и получены зависимости, отражающие их поступление в запруды, по периодам наблюдений 1982–1995, 1996–2004 и 2005–2023 гг., определены темпы аккумуляции наносов в запруде за периоды наблюдений. **Выводы.** Многолетние исследования показали, что простейшие гидротехнические сооружения в виде запруд являются эффективными, способны задерживать сток наносов в размере 15,59 т на 1 га водосбора, это составляет 61 % от стока наносов на стационарной стоковой площадке – 25,63 т/га, т. е. количество наносов снизилось на 39 %. Полученные зависимости планируется использовать при разработке программы для ЭВМ для расчетов поступления наносов в запруды, а результаты исследований могут быть применены при проектировании таких гидротехнических сооружений.

Ключевые слова: эрозия, поверхностный сток, сток наносов, противоэрозионное гидротехническое сооружение запруда, лесные насаждения

Для цитирования: Полуэктов Е. В., Балакай Г. Т., Ишханов В. Ю. Аккумуляция наносов мелкозема гидротехническим сооружением в виде запруды в условиях Ростовской области // Мелиорация и гидротехника. 2024. Т. 14, № 1. С. 105–122. <https://doi.org/10.31774/2712-9357-2024-14-1-105-122>.

LAND RECLAMATION, WATER MANAGEMENT AND AGROPHYSICS

Original article

Accumulation of fine earth sediments by hydraulic structure in the form of a retaining dam under the conditions of Rostov region

Evgeniy V. Poluektov¹, Georgiy T. Balakay², Vladislav Yu. Ishkhanov³

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

³Donskaya Niva, Novocherkassk, Russian Federation

¹geo@ngma.su

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

³donskaya-niva@yandex.ru

Abstract. Purpose: to study the ability to accumulate fine earth sediments delivering with surface runoff of melt and rainwater, a hydraulic structure in the form of a retaining dam in combination with reclamation protective forest planting in Rostov region. **Materials and methods.** The object of research is a hydraulic structure in the form of a retaining dam, laid in 1982 under the leadership of Professor E. V. Poluektov on one of the branches of the Bolshoi Log gully near the Stepnoy village, Aksai district, Rostov region. The experimental design included observing the accumulation of volume and mass of sediment in the retaining dam and comparing them with the runoff at a stationary runoff site. Surface slope was 2–3°. The generally accepted research methods by G. V. Dobrovolsky and the methodology of the Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems were used. **Results.** The studies were conducted in 1982–2023 over three periods: 1982–1995, 1996–2004 and 2004–2023. Archive observations by Professor E. V. Poluektov for the first and second periods were used, and research was carried out in 2023. Indicators of the volume and mass of fine earth were determined, and dependencies reflecting their delivery into the retaining dam for observation periods of 1982–1995, 1996–2004 and 2005–2023 were obtained, the sediment accumulation rate in the retaining dam over the observation periods was determined. **Conclusions.** Long-term studies have shown that the simplest hydraulic structures in the form of retaining dams are effective and are capable of retaining sediment runoff in the amount of 15.59 tons per 1 ha of watershed, which is 61 % of the sediment runoff at a stationary runoff site of 25.63 t/ha, i.e. the amount of sediment decreased by 39 %. The obtained dependencies are planned to be used in the development of a computer program for calculating the flow of sediment into the retaining dam, and the research results can be used in the design of such hydraulic structures.

Keywords: erosion, surface runoff, sediment runoff, erosion control hydraulic structure of a retaining dam, forest plantations

For citation: Poluektov E. V., Balakay G. T., Ishkhanov V. Yu. Accumulation of fine earth sediments by hydraulic structure in the form of a retaining dam under the conditions of Rostov region. *Land Reclamation and Hydraulic Engineering*. 2024;14(1):105–122. (In Russ.). <https://doi.org/10.31774/2712-9357-2024-14-1-105-122>.

Введение. Эрозия является одним из самых разрушительных факторов природной среды из-за смыва почвы стоком талых и дождевых вод со

склонов. Этот процесс приводит к снижению плодородия почвы в результате смыва самого плодородного верхнего слоя почвы и переноса его в ниже лежащие суходолы и водные объекты, тем самым нанося ощутимый ущерб земельным ресурсам и природным водным объектам [1] вследствие их заиливания и смыва токсичных веществ в водоемы [2].

Вопросами эрозии почвы занимались многие отечественные [1–3] и зарубежные ученые [4–7]. Накоплены данные исследований в различных регионах России [8–11]. Для снижения процессов эрозии широко применяют адаптивно-ландшафтные системы земледелия [12–14], усовершенствуют технику и технологии, уменьшающие эрозию почвы [15, 16], применяют для контроля эрозионных процессов современные методы [17, 18] и ГИС-технологии [19, 20]. Вопросы борьбы с эрозией являются обязательным разделом в зональных системах земледелия и рекомендациях¹ [21–23], в методических документах по вопросам борьбы с эрозией почвы [24, 25].

Цель работы – исследование способности аккумулировать наносы мелкозема, поступающие с поверхностным стоком талых и дождевых вод, гидротехническим сооружением в виде запруды в сочетании с мелиоративными защитными лесными насаждениями (МЗЛН) в условиях Ростовской области.

Материалы и методы. Объектом исследований было противоэрозионное гидротехническое сооружение – запруда. Предмет исследований – наносы мелкозема, смытого стоком талых и дождевых вод в запруду. В полевом опыте изучались закономерности аккумуляции наносов мелкозема в запруде и проводилось сравнение с показателями стока наносов на стационарной стоковой площадке по вариантам:

- вариант 1. Влияние запруд в верховьях оврагов и балок на аккумуля-

¹Ивонин В. М. Лесомелиорация ландшафтов. Лесные насаждения для улучшения функционирования, сохранения и рекультивации природно-антропогенных ландшафтов: учебник. Новочеркасск: Лик, 2018. 206 с. EDN: YPJNVN.

ляцию поверхностного стока и наносов мелкозема при уклоне $2\text{--}3^\circ$ (перед запрудой имеется МЗЛН);

- вариант 2. Поверхностный сток талых и дождевых вод и наносов мелкозема на стационарной стоковой площадке (без МЗЛН).

Исследования проводились у поселка Степного Аксайского района на земельных участках в месте заложения гидротехнического сооружения в виде запруды сотрудниками Донского зонального научно-исследовательского института сельского хозяйства (ДЗНИИСХ) в 1982 г. под руководством профессора Е. В. Полуэктова. Запруда закладывалась в верхней части оврага, граничащего с МЗЛН. Выше по склону за МЗЛН находились поле и ложбина с уклоном по тальвегу $2\text{--}3^\circ$. Водосбор ложбины составлял 1,8 га. Плотина запруды закладывалась высотой 3 м от дна тальвега (по отношению к верхней части плотины), длиной поверху 10 м и шириной по верху дамбы 3 м.

Одновременно со строительством запруды был заложен репер для дальнейшего контроля изменения высоты и других параметров запруды и объема наносов мелкозема, поступающего со стоком талых и дождевых вод. Показатели изменения запруды и степени заполнения ее верхней части мелкоземом измерялись в динамике в 1995, 2004 и 2023 гг. и сравнивались с проектными показателями при их строительстве в 1982 г. Рассчитывался объем наносов путем разбивки их профиля на элементарные геометрические фигуры и вычисления объема этих фигур, определялись также плотность сложения и масса наносов. При оценке степени деградации пахотных земель была использована площадная оценка территории, потенциально затронутой эрозионным процессом, по методике Г. В. Добровольского [24, 25]. Изучение негативных процессов на различных типах агроландшафтов и путей их устранения проводилось по методике Российского научно-исследовательского института проблем мелиорации (РосНИИПМ),

а также использовались нормативные документы по выявлению и оценке показателей эрозии² [26].

Результаты и обсуждение. Запруды предназначена для аккумуляции наносов мелкозема, приносимого с поверхностным стоком талых и дождевых вод, служит препятствием для их попадания в поверхностный водный объект Аникановский пруд и тем самым защищает этот объект от заиления. Общий вид расположения запруды приведен на снимке дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) (рисунок 1).



Рисунок 1 – Снимок запруды, полученный при дистанционном зондировании Земли, 2021 г.

Figure 1 – Image of the retaining dam obtained from remote sensing of the Earth, 2021

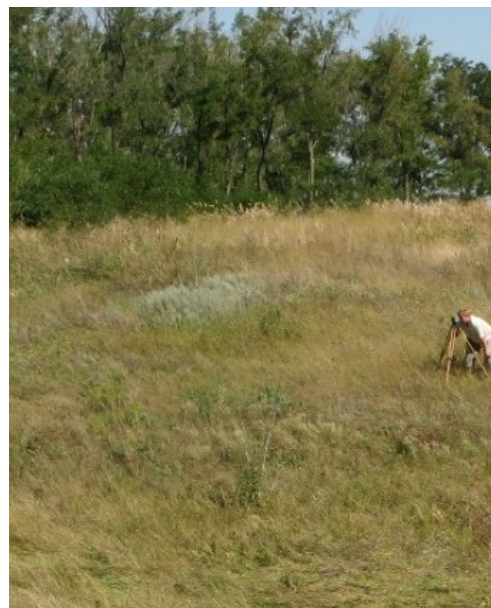
Фотографии с геодезических съемок состояния запруды и отметок уровней слоя поступивших наносов приведены на рисунках 2 и 3.

²Общесоюзная инструкция по почвенным обследованиям и составлению крупномасштабных карт землепользования: утв. Минсельхозом СССР 23.06.72. М.: Колос, 1973. 67 с.



a) измерение высоты наносов в запруде

a) measuring the sediment height
in the retaining dam



b) съемка геодезических высот в запруде

b) surveying geodetic heights
in the retaining dam

Рисунок 2 – Общий вид запруды в период геодезической съемки параметров для определения наносов мелкозема (фото Г. Т. Балакая, Е. В. Полуэктова)

Figure 2 – General view of the retaining dam during the geodetic survey of parameters to determine fine earth sediments (photo by G. T. Balakay, E. V. Poluektov)



a) измерение длины откосов запруды

a) measuring the length of the retaining
dam slopes



b) измерение высоты наносов

b) measuring sediment height

Рисунок 3 – Измерение параметров запруды (фото Г. Т. Балакая)
Figure 3 – Measuring the parameters of the retaining dam (photo by G. T. Balakay)

Схема запруды приведена на рисунке 4. На схеме показаны стрелками место расположения ложбины, наносы мелкозема, смытого стоком талых и дождевых вод, задержанного запрудой в верхней части, репер (ПК 81), заложенный при строительстве запруды (1982 г.) и используемый для определения изменений показателей в запруде в динамике за период 1982–2023 гг.

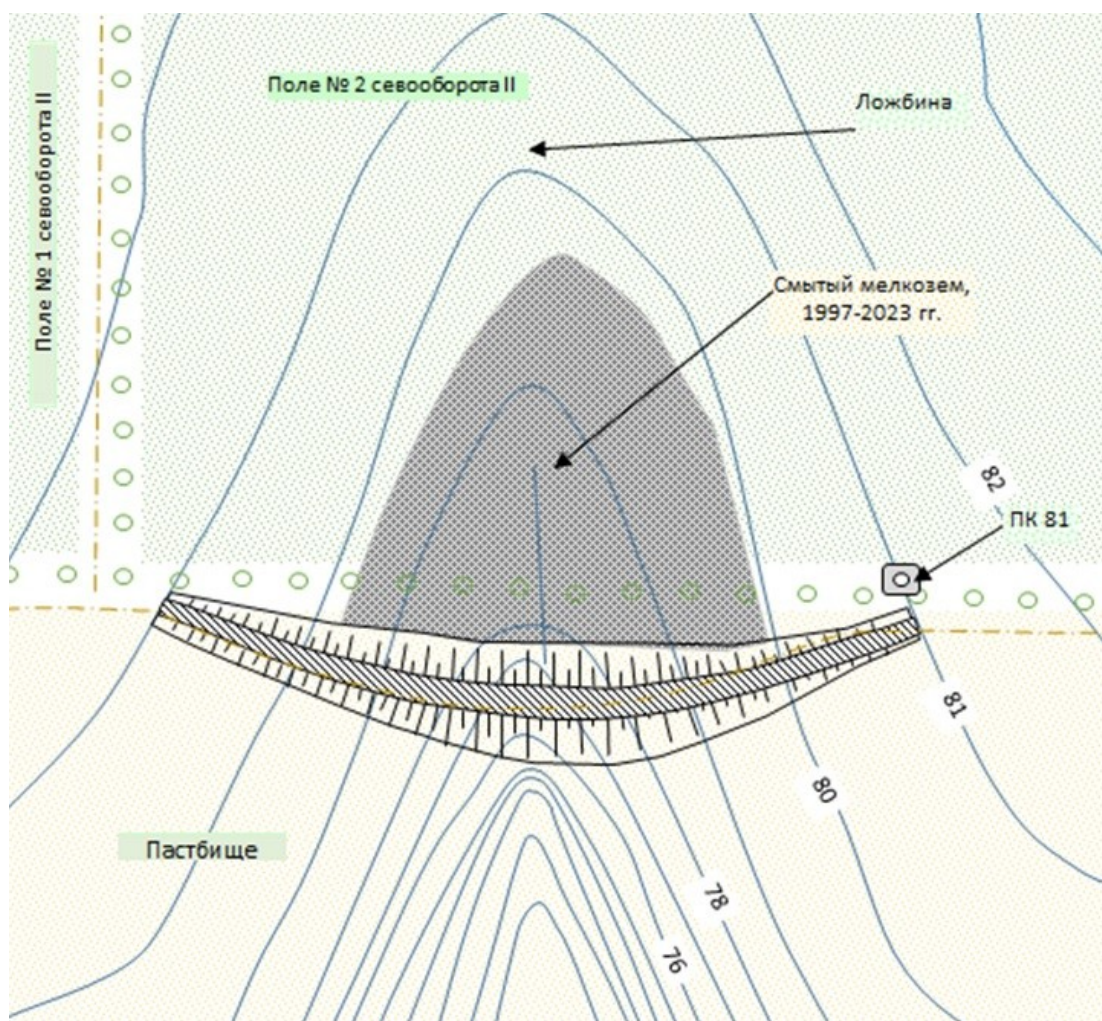


Рисунок 4 – Схема устройства запруды на местности, 1982 г.
Figure 4 – Scheme of the retaining dam construction afield, 1982

Глубина наносов относительно проектной глубины запруды измерялась при нивелировании в 1982 г. (при строительстве дамбы) и по годам: 1995, 2004 и 2023 гг., измерялась также ширина наносов в поперечнике и по длине по тальвегу ложбины. Для определения объема наносов изображена схема их поперечного сечения в запруде с размерами наносов в годы их измерения 1995, 2004 и 2023 гг. (рисунок 5, таблица 1).

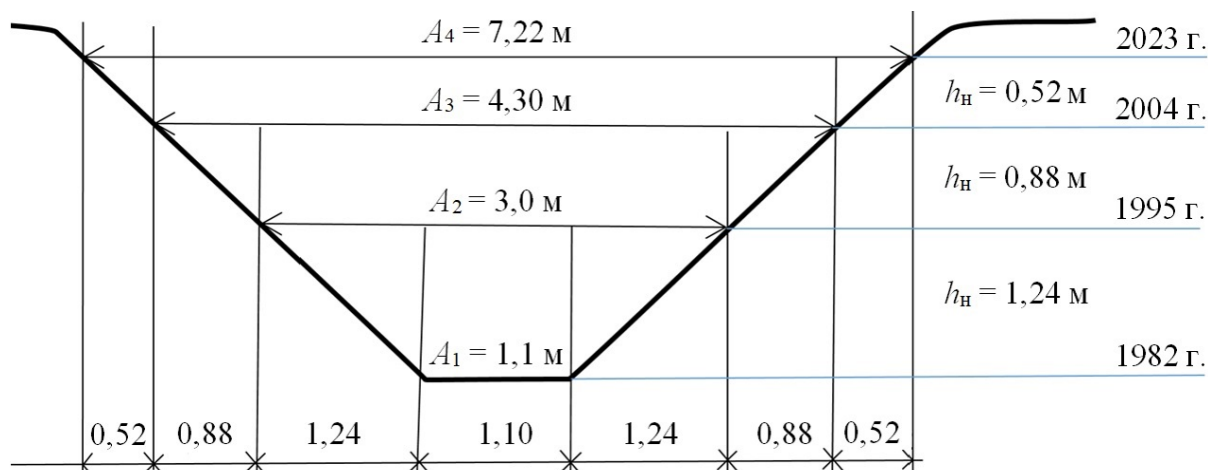


Рисунок 5 – Поперечное сечение наносов по годам с указанием ширины и глубины наносов в запруде

Figure 5 – Cross-section of sediment by year, indicating the width and depth of sediment in the retaining dam

Таблица 1 – Слой наносов в запруде, определенный в динамике

Table 1 – Sediment layer in the retaining dam, defined in dynamics

Год исследования	Повторность	Геодезическая отметка (по реперу), м	Ширина наносов по верху у откоса дамбы, м	Длина от дамбы до оголовка наносов, м	Слой наносов у основания дамбы, по центру h_n , м	Плотность сложения наносов, т/м ³
1982	0	78,00			0	0
1995	1	79,22	3,2	1,9	1,22	1,22
	2	79,24	3,2	1,9	1,24	1,22
	3	79,27	3,2	1,9	1,27	1,22
	Среднее	–	3,20	1,90	1,24	1,22
2004	1	80,12	4,3	3,2	0,90	1,28
	2	80,14	4,3	3,2	0,90	1,29
	3	80,12	4,3	3,2	0,85	1,31
	Среднее	–	4,30	3,20	0,88	1,29
2023	1	80,65	7,21	6,3	0,53	1,34
	2	80,65	7,23	6,30	0,51	1,31
	3	80,65	7,20	6,3	0,53	1,32
	Среднее	–	7,22	96,3	0,52	1,32
НСР ₀₅					0,08	–

В процессе эксплуатации мелиоративного объекта в запруды наносы стекали с поверхностным стоком талых и дождевых вод по-разному: с 1982 по 1995 г. (период длился 13 лет) слой наносов составил в среднем 1,24 м; во втором периоде, длившемся 9 лет с 1996 по 2004 г., слой наносов увеличился еще на 0,88 м; в третьем периоде с 2005 по 2023 г. (продолжи-

тельностью 19 лет) слой наносов увеличился еще на 0,52 м. Однако следует учесть, что поперечное сечение запруды имеет трапецеидальную форму и с увеличением слоя наносов объем их увеличивается не пропорционально глубине, поэтому более показательной является не величина слоя наносов, а объем и масса мелкозема, смытого поверхностным стоком талых и дождевых вод.

Объем наносов определяли путем разбивки параметров наносов на элементарные геометрические фигуры. Рассчитывали их объем и суммированием объема этих отдельных фигур получали объем наносов в целом. Их массу определяли путем умножения объема наносов на плотность их сложения (1,22–1,28 т/м³), определяемую методом колец в период измерения слоя наносов. Полученные при измерениях показатели приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Объем и масса наносов в запруде, определяемые в динамике в 1995, 2004 и 2023 гг. в сравнении с 1982 г.
Table 2 – Volume and mass of sediment in the retaining dam pond, defined in dynamics in 1995, 2004 and 2023 compared to 1982

Год исследований	Повторность	Слой наносов у основания дамбы по центру h_n , м	Объем наносов V , м ³	Масса наносов m , т
1982	0	0	0	0
1995	1	1,22	3,91	3,66
	2	1,24	3,91	4,77
	3	1,27	3,91	4,77
	Среднее	1,24	3,91	4,44
2004	1	0,90	5,05	6,47
	2	0,90	5,05	6,52
	3	0,85	4,96	6,50
	Среднее	0,88	5,02	6,50
2023	1	0,53	12,95	17,35
	2	0,51	12,95	16,96
	3	0,53	12,93	17,07
	Среднее	0,52	12,88	17,12
Суммарные объем и масса наносов мелкозема в запруде, смытых в период с 1982 по 2023 г.		2,64	21,81	28,06
НСР ₀₅		–	–	0,87

В первом периоде наблюдений (1982–1995 гг.) при слое наносов 1,24 м объем их составил в среднем $3,91 \text{ м}^3$; во втором периоде при слое наносов 0,88 м объем их увеличился на $5,02 \text{ м}^3$, в третьем периоде слой наносов вырос еще на 0,52 м с объемом $12,88 \text{ м}^3$. Суммарный объем наносов составил $21,81 \text{ м}^3$. Изменялась и масса наносов, всего было аккумуляровано 28,06 т, в т. ч. соответственно в первом периоде 4,44 т за 13 лет, во втором 6,50 т за 9 лет и в третьем периоде 17,12 т за 19 лет (рисунок 6).

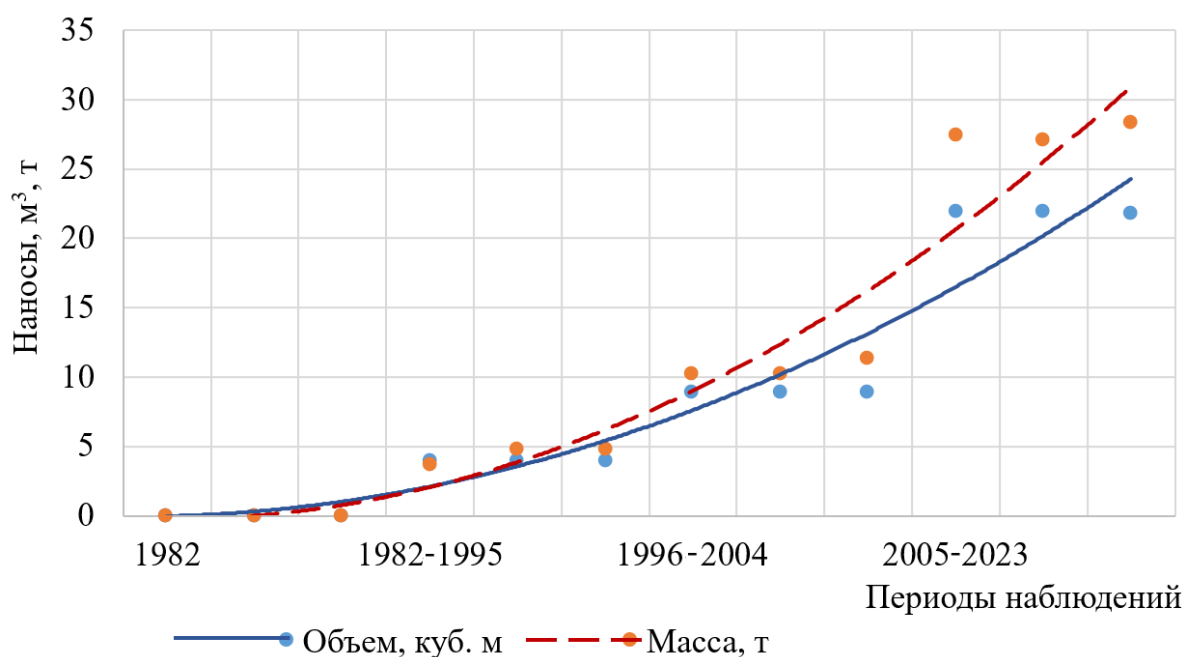


Рисунок 6 – Кривые выноса поверхностным стоком мелкозема в запруду в динамике за период с 1982 по 2023 г. нарастающим итогом, уклон 2–3°

Figure 6 – Curves of the fine earth sediment delivery into the retaining dam by surface runoff over the period from 1982 to 2023, running sum, slope of 2–3°

Полученные результаты позволили рассчитать общий прирост объема и массы наносов в среднем, построить кривые нарастания объема и массы наносов, выраженные уравнениями полинома второй степени вида:

- по объему:

$$Y_{\text{объем}} = 0,1869x^2 - 0,22x,$$

при коэффициенте аппроксимации $R^2 = 0,92$;

- по массе:

$$Y_{\text{масса}} = 0,2578x^2 - 0,5148x,$$

при коэффициенте аппроксимации $R^2 = 0,98$.

Большой интерес для специалистов сельхозпредприятий представляет возможность определения не только массы мелкозема, но и темпов поступления со стоком талых и дождевых вод по периодам исследований и темпов заполнения запруды наносами в среднем за год и за весь период с 1982 по 2023 г. По данным показателям можно прогнозировать период времени, в течение которого запруда будет заполнена, и далее следует ее очищать или проводить другие почвоохранные мероприятия. Математическая обработка данных и кривые темпов накопления приведены на рисунке 7.

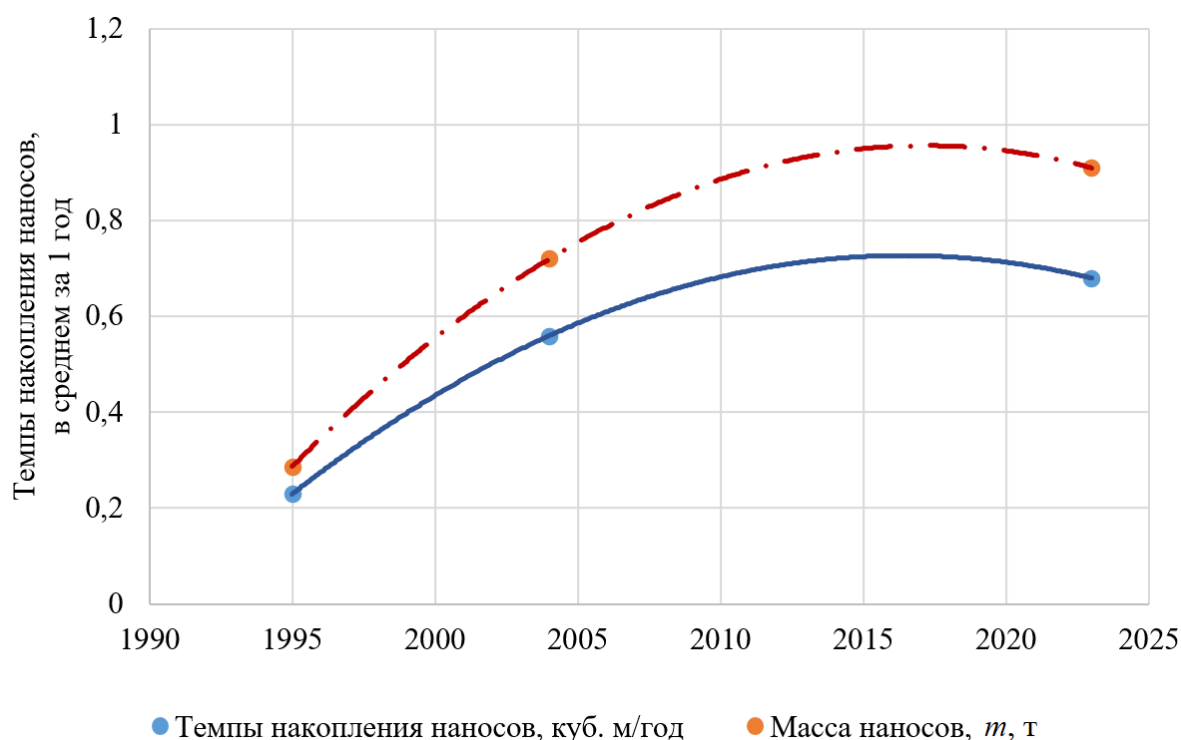


Рисунок 7 – Темпы накопления наносов в запруде за период 1982–2023 гг., уклон 2–3°, в среднем за 1 год

Figure 7 – Sediment accumulation rate in the retaining dam for the period 1982–2023, slope 2–3°, average for 1 year

Усредненные темпы накопления объема и массы наносов за весь период наблюдений 1982–2023 гг. описываются уравнениями полинома второй степени вида:

- по объему:

$$Y_{\text{объем}} = -0,0004x^2 + 1,5783x - 1597,7,$$

при коэффициенте аппроксимации $R^2 = 0,96$;

- по массе:

$$Y_{\text{масса}} = -0,0005x^2 + 1,8903x - 1915,9,$$

при коэффициенте аппроксимации $R^2 = 0,95$.

Полученные зависимости планируется в дальнейшем использовать при разработке базы данных и программы для ЭВМ для расчета объема и массы наносов за расчетный период, а также для расчетов параметров плотины запруды при разработке проектов ее строительства.

Во втором варианте, где запруда не строилась, учеты поверхностного стока проводились на стоковых площадках с уклоном поверхности почвы 2–3°. Фотографии стоковых площадок приводятся на рисунке 8.



а) стоковая площадка в нижнем ряду МЗЛН

a) a runoff site in the bottom row of the reclamation protective forest planting



б) стационарная стоковая площадка на поле в нижней части ложбины без насаждений

b) a stationary runoff site on the field in the lower part of the rill without plantings

Рисунок 8 – Общий вид стационарной стоковой площадки, устроенной:
а) в мелиоративном защитном лесном насаждении близко от запруды;
б) без мелиоративного защитного лесного насаждения в нижней части ложбины на поле (фото Е. В. Полуэктова, Г. Т. Балакая)

Figure 8 – General view of a stationary runoff site, located:
a) in a reclamation protective forest planting close to the retaining dam;
b) without reclamation protective forest planting in the lower part of the rill in the field (photo by E. V. Poluektov, G. T. Balakay)

Суммарный сток массы наносов мелкозема и их аккумуляция в запруде (вариант 1, водосбор 1,8 га) по периодам наблюдений с 1982 по 2023 г. составили:

- всего – 28,06 т;
- на 1 га водосбора – 15,59 т/га (таблица 3).

Таблица 3 – Сток массы наносов на стоковой площадке и в запруду
Table 3 – Sediment mass flow on the runoff site and into the retaining dam

Период наблюдений	Продолжительность периода, лет	Сток поверхностный общий, мм	Вариант опыта, сток наносов*	
			Вариант 1, в запруду	Вариант 2, на стоковой площадке
1982–1995 гг.	13	338,4	$\frac{17,12}{9,5}$	$\frac{26,0}{14,4}$
1996–2004 гг.	9	136,1	$\frac{6,50}{3,6}$	$\frac{15,12}{8,4}$
2005–2023 гг.	19	95,3	$\frac{4,44}{2,47}$	$\frac{5,01}{2,78}$
Сток наносов на стоковой площадке:				
- всего		569,9	28,06	46,13
- на 1 га водосбора		316,6	15,59	25,63
Примечание – * – в числителе – всего с водосбора, т; в знаменателе – с 1 га водосбора, т/га.				

Масса наносов на стоковой площадке (вариант 2, стоковая площадка, водосбор 1,05 га) составила:

- всего – 46,13 т;
- на 1 га водосбора – 25,63 т/га.

Более высокие показатели стока наносов в варианте 1 в запруду можно, видимо, объяснить наличием перед запрудой МЗЛН, которое задерживало наносы, и, судя по результатам, насаждения удержали 10,04 т/га наносов (25,63–15,59 т/га), что составляет 39 % от стока наносов на стационарной стоковой площадке.

Выводы. Многолетние исследования за период 1982–2023 гг. показали, что простейшие гидротехнические сооружения в виде запруды в комплексе с мелиоративными защитными лесными насаждениями являются эффективными сооружениями, способными задерживать сток наносов в размере 15,59 т

на 1 га водосбора, это составляет 61 % от стока наносов на стационарной стоковой площадке – 25,63 т/га, т. е. количество наносов снизилось на 39 %.

Установлены показатели объема и массы мелкозема и получены зависимости, описывающие их поступление в запруду, по периодам наблюдений 1982–1995, 1996–2004 и 2005–2023 гг., определены темпы аккумуляции наносов в запруде за периоды этих наблюдений. Зависимости планируется использовать при разработке программы расчетов поступления наносов в запруду, а результаты исследований могут быть применены при проектировании таких гидротехнических сооружений.

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. EDN: DFPRCD.
2. 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: <https://rosniipm-sm.ru/article?n=1291> (дата обращения: 21.11.2023). DOI: 10.31774/2712-9357-2022-12-3-29-43. EDN: KTHNSB.
3. 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. EDN: PVLOWB.
4. Эрозионная опасность почв пастбищ Большого Кавказа и Джейранчель-Аджитноура / 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. EDN: VBFNRM.
5. Pimentel D., Burgess M. Soil erosion threatens food production // Agriculture. 2013. 3(3). P. 443–463. <https://doi.org/10.3390/agriculture3030443>.
6. 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. Article ID: 2397265. 10 p. <https://doi.org/10.1155/2018/2397265>.
7. 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, no. 2. P. 99–110. DOI: 10.1016/j.iswcr.2018.01.001.
8. Шевченко Д. А., Сивоконь Ю. В. Влияние стока талых вод на водную эрозию почвы // Международный научно-исследовательский журнал. 2015. № 7(38). С. 133–135. EDN: SCJSZE.
9. 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. EDN: CCRHJE.
10. Эрозия почвы и борьба с ней. Библиографический указатель литературы за 1977–2022 гг. / сост.: Н. Б. Налетова. М., 2022. 105 с.

11. 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. EDN: ISFGYK.
12. 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. EDN: RTNHNJ.
13. Типы сельскохозяйственных земель Белорусской гряды как основа формирования адаптивно-ландшафтных систем земледелия / А. Ф. Черныш, Ю. П. Качков, Е. Е. Давыдик, А. М. Устинова // Почвоведение и агрохимия. 2016. № 2(57). С. 18–31. EDN: YQIKZF.
14. 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.
15. 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. EDN: BWVYVG.
16. Мударисов С. Г. Влияние технических средств и технологий на механическую эрозию почвы на склонах // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2020. Т. 14, № 2. С. 17–22. DOI: 10.22314/2073-7599-2020-14-2-17-22. EDN: DQGHND.
17. 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. EDN: IWQONB.
18. 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. EDN: KCBMDH.
19. 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. EDN: OJTJTV.
20. 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. EDN: OVZZMB.
21. Зональные системы орошаемого земледелия Ростовской области: монография / В. К. Турулев [и др.]. Ростов н/Д.: Кн. изд-во, 1987. 128 с. EDN: SCSMOZX.
22. Шевченко П. Д., Балакай Г. Т. Кормопроизводство степной зоны России: монография. Новочеркасск: Оникс+, 2007. 421 с. EDN: QKYRUR.
23. Проектирование, создание и уход за защитными лесными насаждениями на землях сельскохозяйственного назначения / Г. Т. Балакай, Н. И. Балакай, А. Н. Бабичев, С. Г. Балакай, В. А. Монастырский, В. И. Ольгаренко; ФГБНУ «РосНИИППМ». Новочеркасск, 2016. 102 с. Деп. в ВИНТИ РАН 04.05.16, № 69-B2016. EDN: WKEXMN.
24. Добровольский Г. В., Шоба С. А., Балабко П. Н. Деградация и охрана почв / под ред. Г. В. Добровольского. М.: Изд-во МГУ, 2002. 654 с. EDN: TSHOTN.
25. Добровольский Г. В. Избранные труды по почвоведению. Общие вопросы теории и развития почвоведения. М.: Изд-во МГУ, 2005. Т. 1. 525 с. EDN: QKXHP.
26. Методические рекомендации по выявлению деградированных и загрязненных земель [Электронный ресурс]: утв. Роскомземом 28.12.94, Минсельхозпродом России 26.01.95, Минприроды России 15.02.95. Доступ из ИС «Техэксперт: 6 поколение» Интранет.

References

1. Shchedrin V.N., Balakay G.T., Poluektov E.V., Balakay N.I., 2016. *Usloviya formirovaniya poverkhnostnogo stoka. Prognoz prichinyamogo ushcherba. Kompensatsionnye meliorativnye meropriyatiya* [Conditions of Formation of Surface Runoff. A Forecast of the Caused Damage. Compensatory Reclamation Measures]. Novocherkassk, RosNIIPM, 450 p., EDN: DFPRCD. (In Russian).
2. Poluektov E.V., Balakay G.T., Tishchenko A.P., 2022. [Storm erosion on ordinary chernozems]. *Melioratsiya i gidrotekhnika*, vol. 12, no. 3, pp. 29-43, available: <https://rosniipm-sm.ru/article?n=1291> [accessed 21.11.2023], DOI: 10.31774/2712-9357-2022-12-3-29-43, EDN: KTHNSB. (In Russian).
3. Izvekov A.S., 2012. *Zashchita pochv ot erozii i vosproizvodstvo plodorodiya v yuzhnykh i lesostepnykh rayonakh Rossii* [Protection of eroded soils and fertility reproduction in the southern and forest-steppe regions of Russia]. *Byulleten' Pochvennogo instituta im. V. V. Dokuchaeva* [Dokuchaev Soil Institute Bulletin], no. 70, pp. 79-95, EDN: PVLOWB. (In Russian).
4. Dzharullaev A.Sh., Mardanov I.I., Ismailova A.A., Eldarov N.Sh., 2018. *Eroziionnaya opasnost pochv pastbish Bolshogo Kavkaza i Dzhejranchel-Adzhinoura* [The soil erosion risk in the Greater Caucasus and Jeyranchel-Adjitnour pastures]. *Geograficheskiy vestnik* [Geographical Bulletin], no. 3(46), pp. 75-82, DOI: 10.17072/2079-7877-2018-3-75-82, EDN: VBFNRM. (In Russian).
5. Pimentel D., Burgess M., 2013. Soil erosion threatens food production. *Agriculture*, 3(3), pp. 443-463, <https://doi.org/10.3390/agriculture3030443>.
6. 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, article ID: 2397265, 10 p., <https://doi.org/10.1155/2018/2397265>.
7. 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, no. 2, pp. 99-110, DOI: 10.1016/j.iswcr.2018.01.001.
8. Shevchenko D.A., Sivokon Yu.V., 2015. *Vliyanie stoka talykh vod na vodnuyu eroziyu pochvy* [Impact of snowmelt runoff on water soil erosion]. *Mezhdunarodnyy nauchno-issledovatel'skiy zhurnal* [International Scientific Research Journal], no. 7(38), pp. 133-135, EDN: SCJSZE. (In Russian).
9. Maltsev K.A., Ermolaev O.P., 2019. *Potentsial'nye erozionnye poteri pochvy na pakhotnykh zemlyakh yevropeyskoy chasti Rossii* [Potential soil loss on the arable lands of the European part of Russia]. *Pochvovedenie* [Eurasian Soil Science], no. 12, pp. 1502-1512, DOI: 10.1134/S0032180X19120104, EDN: CCRHJE. (In Russian).
10. Naletova N.B. (comp.), 2022. *Eroziya pochvy i bor'ba s ney. Bibliograficheskiy ukazatel' literatury za 1977–2022 gg.* [Soil Erosion and Its Control. Collection: Bibliographic Index of Literature for 1977–2022]. Moscow, 105 p. (In Russian).
11. 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 Belgorod region through adaptive landscape farming system]. *Vestnik Rossiyskogo universiteta druzhby narodov. Seriya: Agronomiya i zhivotnovodstvo* [Bull. of the Russian Peoples' Friendship University. Series: Agronomy and Animal Husbandry], vol. 15, no. 2, pp. 182-190, DOI: 10.22363/2312-797X-2020-15-2-182-190, EDN: ISFGYK. (In Russian).
12. 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*

[Eurasian Soil Science], no. 4, pp. 473-482, DOI: 10.31857/S0032180X20040073, EDN: RTNHNJ. (In Russian).

13. Chernysh A.F., Kachkov Yu.P., Davydik E.E., Ustinova A.M., 2016. *Tipy sel'skokhozyaystvennykh zemel' Belorusskoy gryady kak osnova formirovaniya adaptivno-landshaftnykh sistem zemledeliya* [Types of agricultural lands of the Belarusian ridge as the basis for the formation of adaptive landscape farming systems]. *Pochvovedenie i agrokhimiya* [Soil Science and Agrochemistry], no. 2(57), pp. 18-31, EDN: YQIKZF. (In Russian).

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

15. 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, EDN: BWVYVG. (In Russian).

16. Mudarisov S.G., 2020. *Vliyaniye tekhnicheskikh sredstv i tekhnologiy na mekhanicheskuyu eroziyu pochvy na sklonakh* [Impact of the 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, DOI: 10.22314/2073-7599-2020-14-2-17-22, EDN: DQGHHD. (In Russian).

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

18. Akperova U.Z., 2020. *Eroziya pochvy vodoy i mery bor'by s ney* [Soil water erosion and measures to combat it]. *Yevraziyskiy soyuz uchenykh* [Eurasian Union of Scientists], no. 8(77), pp. 45-51, DOI: 10.31618/ESU.2413-9335.2020.5.77.986, EDN: KCBMDH. (In Russian).

19. 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 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, EDN: OJTJTV. (In Russian).

20. 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* [Bull. of Kazan State Agrarian University], no. 2(58), pp. 96-101, DOI: 10.12737/2073-0462-2020-96-101, EDN: OVZZMB. (In Russian).

21. Turulev V.K. [et al.], 1987. *Zonal'nye sistemy oroshaemogo zemledeliya Rostovskoy oblasti: monografiya* [Zonal Systems of Irrigated Agriculture in Rostov Region: monograph]. Rostov-on-Don, Book Publ., 128 p., EDN: SCMOZX. (In Russian).

22. Shevchenko P.D., Balakai G.T., 2007. *Kormoproizvodstvo stepnoy zony Rossii: monografiya* [Fodder Production of the Steppe Zone of Russia: monograph]. Novocheerkassk, Oniks+ Publ., 421 p., EDN: QKYRUR. (In Russian).

23. Balakay G.T., Balakay N.I., Babichev A.N., Balakay S.G., Monastyrsky V.A., Olgarenko V.I., 2016. *Proektirovaniye, sozdaniye i ukhod za zashchitnymi lesnymi nasazhdeniyami na zemlyakh sel'skokhozyaystvennogo naznacheniya* [Design, creation and care of protective forest stands on agricultural lands]. Novocheerkassk, 102 p., deposited in VINITI Russian Academy of Sciences on 04.05.2016, no. 69-B2016, EDN: WKEXMN. (In Russian).

24. Dobrovolsky G.V., Shoba S.A., Balabko P.N., 2002. *Degradatsiya i okhrana pochv* [Soil Degradation and Its Protection]. Moscow, Moscow State University Publ., 654 p., EDN: TSHOTH. (In Russian).

25. Dobrovolsky G.V., 2005. *Izbrannye trudy po pochvovedeniyu. Obshchie voprosy teorii i razvitiya pochvovedeniya* [Selected Works on Soil Science. General Issues of Theory and Development of Soil Science]. Moscow, Moscow State University Publ., vol. 1, 525 p., EDN: QKXIIT. (In Russian).

26. *Metodicheskie rekomendatsii po vyyavleniyu degradirovannykh i zagryaznennykh zemel* [Methodological Recommendations for Identifying Degraded and Contaminated Lands]. Approved by Roskomzem on 28.12.1994, by Ministry of Agriculture and Food of Russia on 26.01.1995, by Ministry of Natural Resources of Russia on 15.02.1995. (In Russian).

Информация об авторах

Е. В. Полуэктов – заведующий кафедрой почвоведения, орошаемого земледелия и геодезии, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, Новочеркасский инженерно-мелиоративный институт имени А. К. Кортунова – филиал Донского государственного аграрного университета, Новочеркасск, Российская Федерация, geo@ngma.su, AuthorID: 704329;

Г. Т. Балакай – главный научный сотрудник, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, Новочеркасск, Российская Федерация, rosniipm@yandex.ru, AuthorID: 267782, ORCID ID: 0000-0001-8021-6853;

В. Ю. Ишханов – специалист по землепользованию, Донская Нива, Новочеркасск, Российская Федерация, donsкаya-niva@yandex.ru.

Information about the authors

E. V. Poluektov – Head of the Department of Soil Science, Irrigated Agriculture and Geodesy, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Novochoerkassk Engineering and Land Reclamation Institute – branch of the Don State Agrarian University, Novochoerkassk, Russian Federation, geo@ngma.su, AuthorID: 704329;

G. T. Balakay – Chief Researcher, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems, Novochoerkassk, Russian Federation, rosniipm@yandex.ru, AuthorID: 267782, ORCID ID: 0000-0001-8021-6853;

V. Yu. Ishkhanov – Land Use Specialist, Donskaya Niva, Novochoerkassk, Russian Federation, donsкаya-niva@yandex.ru.

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Все авторы в равной степени несут ответственность за нарушения в сфере этики научных публикаций.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.

All authors are equally responsible for ethical violations in scientific publications.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 25.12.2023; одобрена после рецензирования 02.02.2024; принята к публикации 08.02.2024.

The article was submitted 25.12.2023; approved after reviewing 02.02.2024; accepted for publication 08.02.2024.