

МЕЛИОРАЦИЯ, ВОДНОЕ ХОЗЯЙСТВО И АГРОФИЗИКА

Научная статья

УДК 631.4:556

doi: 10.31774/2712-9357-2024-14-3-80-99

Аккумуляция наносов мелкозема гидротехническим сооружением канава-вал в условиях Ростовской области

Георгий Трифионович Балакай¹, Евгений Валерьянович Полуэктов²

¹Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, Новочеркасск, Российская Федерация

²Новочеркасский инженерно-мелиоративный институт имени А. К. Кортунова – филиал Донского государственного аграрного университета, Новочеркасск, Российская Федерация

¹rosniipm@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8021-6853>

²geo@ngma.su

Аннотация. Цель: исследование способности гидротехнического сооружения канава-вал в сочетании с мелиоративными защитными лесными насаждениями аккумулялировать наносы мелкозема, влекомого поверхностным стоком талых и дождевых вод, на черноземах Ростовской области. **Материалы и методы.** Объектом исследований является гидротехническое сооружение канава-вал в комплексе с мелиоративным защитным лесным насаждением у поселка Степной Аксайского района Ростовской области, заложенное в 1982 г. под руководством профессора Е. В. Полуэктова. Схема опыта состояла из трех вариантов: 1) измерение стока на стационарной стоковой площадке (контроль); 2) канава-вал в мелиоративном защитном лесном насаждении, уклон поверхности 2–3°; 3) канава-вал в мелиоративном защитном лесном насаждении, уклон поверхности 5–6°. 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 1-й и 2-й периоды и данные проведенных в 2023 г. исследований. Установлено, что простейшее противозрозионное гидротехническое сооружение канава-вал в междурядье мелиоративных защитных лесных насаждений способно снизить эрозию почвы и аккумулялировать наносы в канаве и перед валом в объеме 0,84 т/пог. м при уклоне 2–3° и до 1,74 т/пог. м при уклоне 5–6°. **Выводы.** Установлено, что если на варианте при уклоне 2–3° имеется еще запас объема для аккумуляляции наносов перед валом, достаточный при таких темпах заполнения еще на период 40–50 лет, то при уклоне 5–6° запасы емкости канавы и пространства перед валом за период 1982–2023 гг. заполнены на 96 %, поэтому необходимо предусмотреть мероприятия по увеличению объема для аккумуляляции наносов.

Ключевые слова: эрозия, поверхностный сток, сток наносов, противозрозионное гидротехническое сооружение канава-вал, лесные насаждения

Для цитирования: Балакай Г. Т., Полуэктов Е. В. Аккумуляция наносов мелкозема гидротехническим сооружением канава-вал в условиях Ростовской области // Мелиорация и гидротехника. 2024. Т. 14, № 3. С. 80–99. <https://doi.org/10.31774/2712-9357-2024-14-3-80-99>.

LAND RECLAMATION, WATER MANAGEMENT AND AGROPHYSICS

Original article

Accumulation of the silt sediments by ditch-bank hydraulic engineering construction under the conditions of Rostov region

Georgiy T. Balakay¹, Evgeniy V. Poluektov²

¹Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems, Novocherkassk, Russian Federation

²Novocherkassk Engineering and Land Reclamation Institute – branch of the Don State Agrarian University, Novocherkassk, Russian Federation

¹rosniipm@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8021-6853>

²geo@ngma.su

Abstract. Purpose: to study the ability of the ditch-bank hydraulic structure in combination with reclamation protective forest plantings to accumulate silt sediments, carried by the surface melt and rainwater runoff, on the chernozems of Rostov region. **Materials and methods.** The object of research is the ditch-bank hydraulic structure in combination with a reclamation protective forest plantation near Stepnoy village, Aksay district, Rostov region, founded in 1982 under the leadership of Professor E. V. Poluektov. The experimental design consisted of three options: 1) measuring runoff at a stationary runoff site (control); 2) a ditch-bank in a reclamation protective forest plantation, surface slope 2–3°; 3) a ditch-bank in a reclamation protective forest plantation, surface slope 5–6°. The generally accepted research methods of 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 for three periods: 1982–1995, 1996–2004 and 2004–2023. Archival observations of Professor E. V. Poluektov for the 1st and 2nd periods and data from studies conducted in 2023 were used. It has been determined that the simplest ditch-bank protective hydraulic structure, in the inter-row spacing of reclamation protective forest plantations, is capable of reducing soil erosion and accumulating sediment in the ditch and in front of the bank in a volume of 0.84 t/linear m with a slope of 2–3° and up to 1.74 t/linear m with a slope of 5–6°. **Conclusions.** It has been determined that if in the option with a slope of 2–3° there is still a overcapacity for the sediment accumulation in front of the bank, sufficient for another 40–50 years at such filling rates, then with a slope of 5–6° the ditch capacity reserves and space in front of the bank for the period 1982–2023 are filled to 96 %, therefore it is necessary to provide measures to increase the capacity for sediment accumulation.

Keywords: erosion, surface runoff, sediment runoff, erosion-protective hydraulic structure, forest plantations

For citation: Balakay G. T., Poluektov E. V. Accumulation of the silt sediments by ditch-bank hydraulic engineering construction under the conditions of Rostov region. *Land Reclamation and Hydraulic Engineering*. 2024;14(3):80–99. (In Russ.). <https://doi.org/10.31774/2712-9357-2024-14-3-80-99>.

Введение. Ростовская область относится к регионам со сложным рельефом и особенностями природно-климатических условий, которые обуславливают развитие эрозионных и дефляционных процессов практически на всех сельскохозяйственных угодьях [1]. Анализ причин, вызывающих

деградацию почв в европейской части России, показывает, что именно эрозия и дефляция являются самыми разрушительными природными факторами, которые в наибольшей степени и интенсивности способствуют деградации за счет смыва и сдувания мелкозема [2–4]. В Ростовской области 34,9 % сельхозугодий подвержены водной эрозии и 78,3 % являются дефляционно опасными [5].

Многолетние исследования процессов формирования поверхностного стока в Российском научно-исследовательском институте проблем мелиорации (РосНИИПМ) позволили определить особенности стока талых и дождевых вод и установить закономерности показателей эрозии и смыва мелкозема при различных уклонах поверхности, проективном покрытии почвы различными видами культур и разных способах обработки почвы [6], это дало возможность разработать компенсационные почвозащитные мероприятия и рекомендовать для применения в агроландшафтных системах земледелия [7]. Проблема борьбы с эрозией почвы актуальна как в России [8, 9], так и за рубежом [10–13].

Наши исследования также подтверждают, что применение комплекса почвозащитных мероприятий, включающих: контурное и полосное земледелие, посев многолетних трав на склонах выше 5°, мероприятия агролесо- и фитомелиорации, простейшие гидротехнические сооружения для задержания поверхностного стока талых и дождевых вод, является эффективным в системе защиты почвы от эрозии и дефляции.

Цель исследований – установить закономерности аккумуляции наносов мелкозема простейшим гидротехническим сооружением канава-вал в комплексе с мелиоративными защитными лесными насаждениями (МЗЛН).

Материалы и методы. Объектом наших исследований является гидротехническое сооружение канава-вал в комплексе с МЗЛН у поселка Степной Аксайского района Ростовской области, заложенное в 1982 г. под руководством профессора Е. В. Полуэктова. Схема опыта состояла

из трех вариантов: 1) измерение стока на стационарной стоковой площадке (контроль); 2) канава-вал в МЗЛН, уклон поверхности 2–3°; 3) канава-вал в МЗЛН, уклон поверхности 5–6°. Длина канавы-вала составляла 300 м.

Сток наносов учитывался по результатам измерения слоя наносов в канаве-валу и перед валом путем измерения в динамике (в 1995, 2004 и 2023 гг.) высоты наносов и степени заполнения канавы, объема и массы наносов (с учетом гумифицированного опада листьев и веток с деревьев) при уклонах поверхности 2–3 и 5–6°. Использовались архивные данные измерений профессора Е. В. Полуэктова за 1995 и 2004 гг., и проводились измерения в 2023 г. с участием студентов магистратуры Новочеркасского инженерно-мелиоративного института имени А. К. Кортунова – филиала Донского государственного аграрного университета (НИМИ Донского ГАУ).

При оценке степени деградации пахотных земель была использована площадная оценка территории, потенциально затронутой эрозийным процессом, по методике Г. В. Добровольского [14, 15]. Изучение негативных процессов на различных типах агроландшафтов и путей их устранения проводилось по методике РосНИИПМ [16] и методике М. Т. Устинова и М. В. Глистина [17]. Также использовались нормативные документы по обследованию и выявлению деградированных земель^{1, 2}. В литературных источниках мало информации об эффективности аккумуляции жидкого стока и наносов защитными насаждениями. Встречаются такие исследования и методы исследования только у В. М. Иволина [18].

Результаты и обсуждение. Исследования показали, что одним из эффективных способов защиты агроландшафтов от водной эрозии из-за

¹Общесоюзная инструкция по почвенным обследованиям и составлению крупномасштабных карт землепользования: утв. Минсельхозом СССР 23.06.72. М.: Колос, 1973. 93 с.

²Методические 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.

действия стока талых и дождевых вод являются МЗЛН в сочетании с гидротехническими почвозащитными сооружениями канава-вал. Канаву-вал строят, если при разработке проекта создания МЗЛН выясняется, что насаждения не смогут обеспечить сдерживание поверхностных стоков. В таких случаях дополнительно с МЗЛН предусматривают строительство гидротехнических сооружений. Таким простейшим гидротехническим сооружением является устройство в междурядьях защитных насаждений сооружения в виде канавы-вала для аккумуляции мелкозема.

В наших исследованиях в динамике учитывалось изменение параметров сооружения канава-вал с момента закладки насаждений и возведения в 1982 г., проводились промежуточные наблюдения (использовались архивы профессора Е. В. Полуэктова за 1995, 2004 гг.) и наблюдения в 2023 г. Опытные участки закладывались на земельных участках с уклонами 2–3 и 5–6°. Схема общего вида насаждений и канавы-вала приводится на рисунке 1.

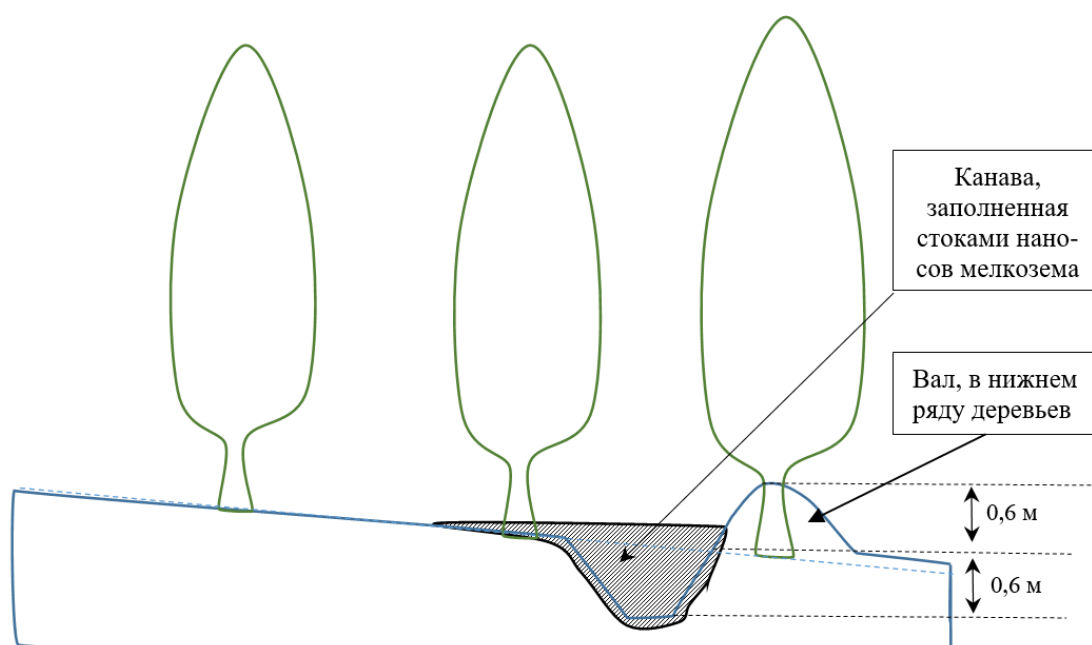


Рисунок 1 – Общий вид мелиоративного защитного лесного насаждения с устройством простейшего гидротехнического сооружения канава-вал

Figure 1 – General view of reclamation protective forest planting with the construction of a simple ditch-bank hydraulic structure

Поперечный профиль сооружения канава-вал в МЗЛН с проектными параметрами приведен на рисунке 2.

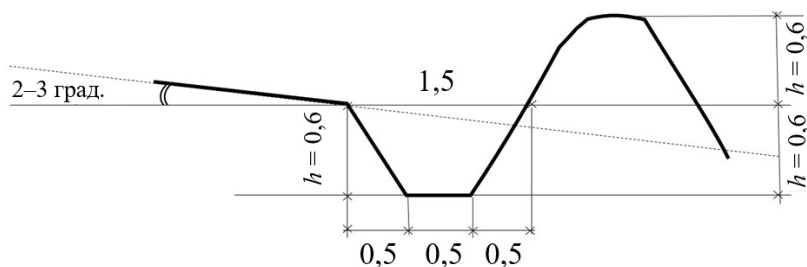


Рисунок 2 – Поперечное сечение противозрозионного сооружения канава-вал

Figure 2 – Cross section of erosion-protective ditch-bank structures

Проектные параметры простейшего гидротехнического сооружения канава-вал, которые использовались при расчете объема и массы наносов, составляют: глубина канавы 0,6 м, ширина канавы по верху 1,5 м, по дну 0,5 м, коэффициент заложения откосов около 1:1, высота вала по гребню 0,6 м, водоемкость самой канавы около 0,5 м³/пог. м плюс вала с учетом затопления перед валом – 1,5 м³/пог. м, всего объем составляет около 2 м³/пог. м. Мелиоративное защитное лесное насаждение длиной 100 м может задержать разовый поверхностный жидкий сток со стоком наносов объемом до 200 м³.

Для определения эффективности задержания стоков канавой-валом исследования проводились периодически с момента постройки сооружения, последние измерения – в 2023 г. Измерения выполнены в девяти повторениях по длине канавы-вала с интервалом 2 м. Полученные из архива профессора Е. В. Полуэктова (1995 и 2004 гг.) данные и параметры, измеренные в 2023 г. с участием авторов, приведены в таблице 1.

Данные таблицы 1 и обобщающего рисунка 3 показывают, что при уклоне поверхности земельного участка 2–3° увеличение слоя наносов проходило постепенно, начиная с 1982 г., к 1995 г. слой наносов составил 0,31 м, к 2004 г. – 0,41 м и к 2023 г. – 0,55 м, т. е. с 1982 по 2023 г. общий слой наносов за годы наблюдений составил 0,84 м.

Таблица 1 – Динамика слоя, объема и массы наносов при уклоне поверхности земельного участка 2–3°

Table 1 – Dynamics of the sediment layer, volume and mass with a surface slope of the land plot of 2–3°

Год	Слой наносов в канаве, м (по повторениям)	Объем наносов, м ³ /пог. м	Масса наносов, т/пог. м
1	2	3	4
1982	0	0	0
1995	0,30	0,38	0,46
	0,31	0,39	0,47
	0,27	0,34	0,41
	0,34	0,43	0,51
	0,31	0,39	0,47
	0,29	0,36	0,44
	0,34	0,43	0,52
	0,31	0,39	0,47
Среднее	0,31	0,39	0,47
2004	0,41	0,51	0,63
	0,43	0,54	0,67
	0,39	0,49	0,60
	0,45	0,56	0,69
	0,40	0,50	0,62
	0,41	0,51	0,63
	0,37	0,46	0,56
	0,38	0,51	0,62
Среднее	0,41	0,51	0,63
2023	0,57	0,71	0,87
	0,55	0,69	0,83
	0,53	0,66	0,81
	0,53	0,66	0,81
	0,52	0,65	0,79
	0,54	0,68	0,82
	0,55	0,69	0,84
	0,58	0,73	0,88
Среднее	0,55	0,69	0,84
НСР ₀₅	0,04	0,03	0,05

Общий вид канавы-вала с нижней стороны (а) и в междурядьях (b) приведен на рисунке 4 (по состоянию на август 2023 г.).

Для специалистов сельхозпредприятий важно знать не только слой наносов, но и объем и массу наносов в случае необходимости очистки канавы от мелкозема. Для установления закономерностей и возможности

прогноза накопления наносов в канаве нами проведена математическая обработка данных и получены зависимости, приведенные на рисунке 5.

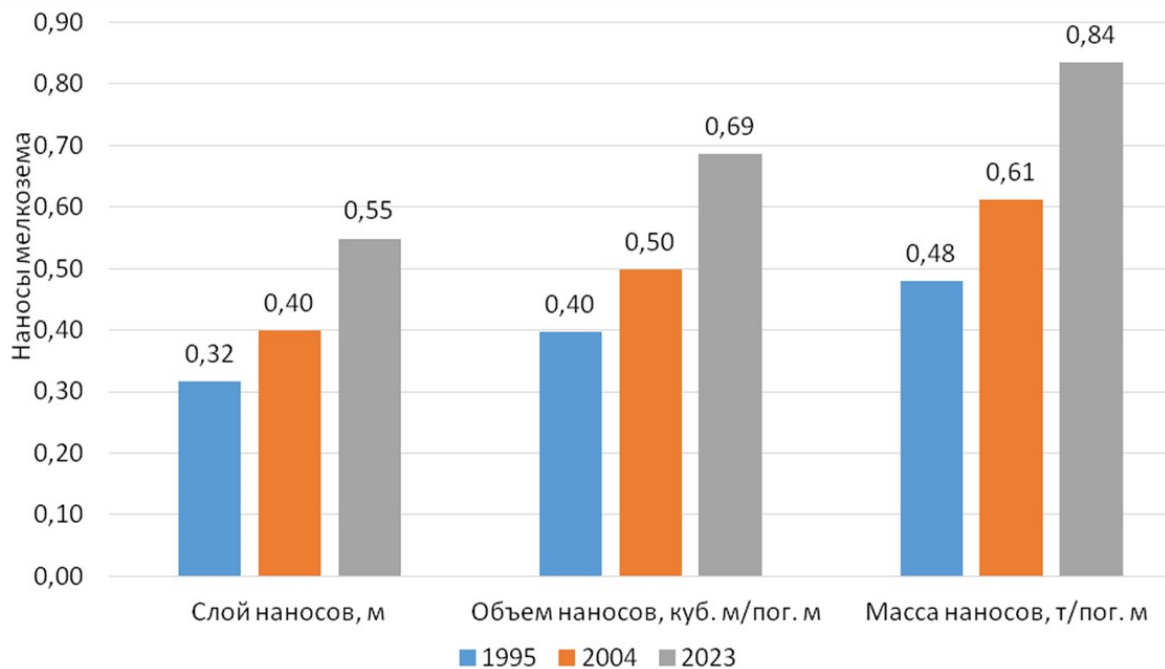


Рисунок 3 – Динамика показателей высоты слоя, объема и массы наносов за 1982–2023 гг. по периодам учета в 1995, 2004, 2023 гг., уклон 2–3°

Figure 3 – Dynamics of sediment layer height, volume and mass for 1982–2023 by accounting periods in 1995, 2004, 2023, slope 2–3°



a) вид с нижней стороны
a) view from the bottom



b) междурядье мелиоративного защитного лесного насаждения
b) inter-row spacing of reclamation protective forest planting

Рисунок 4 – Общий вид канавы-вала, 2023 г. (автор фото Г. Т. Балакай)
Figure 4 – General view of the ditch-bank, 2023 (photo by G. T. Balakay)

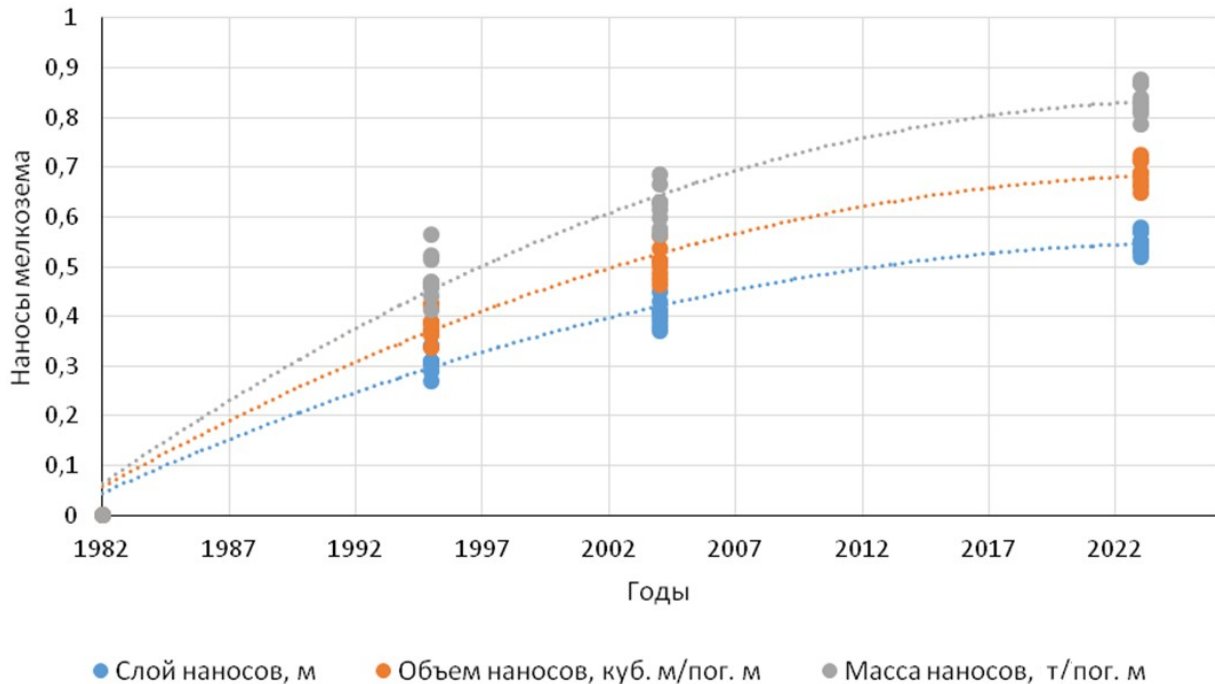


Рисунок 5 – Динамика накопления наносов в канаве в абсолютных величинах, уклон 2–3°
Figure 5 – Dynamics of sediment accumulation in a ditch in absolute values, slope 2–3°

Полученные результаты позволили рассчитать в динамике общий прирост объема и массы наносов в среднем, он характеризуется кривыми нарастания слоя, объема и массы наносов, выраженными уравнениями полинома второй степени вида:

- по слою (глубине) наносов:

$$Y_{\text{глубина}} = -0,0004 \cdot x^2 + 1,7575 \cdot x - 1780,1,$$

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

- по объему наносов:

$$Y_{\text{объем}} = -0,0003 \cdot x^2 + 1,4158 \cdot x - 1434,3,$$

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

- по массе наносов:

$$Y_{\text{масса}} = -0,0003 \cdot x^2 + 1,1327 \cdot x - 1147,4,$$

при коэффициенте аппроксимации $R^2 = 0,99$.

Расчет темпов заполнения канавы показал, что наиболее интенсивным

оно было в первый период 1982–1995 гг., слой наносов в 1995 г. составлял в среднем 0,32 м/год, в 2004 г. – 0,08 м и в 2023 г. – 0,15 м (рисунок 6).

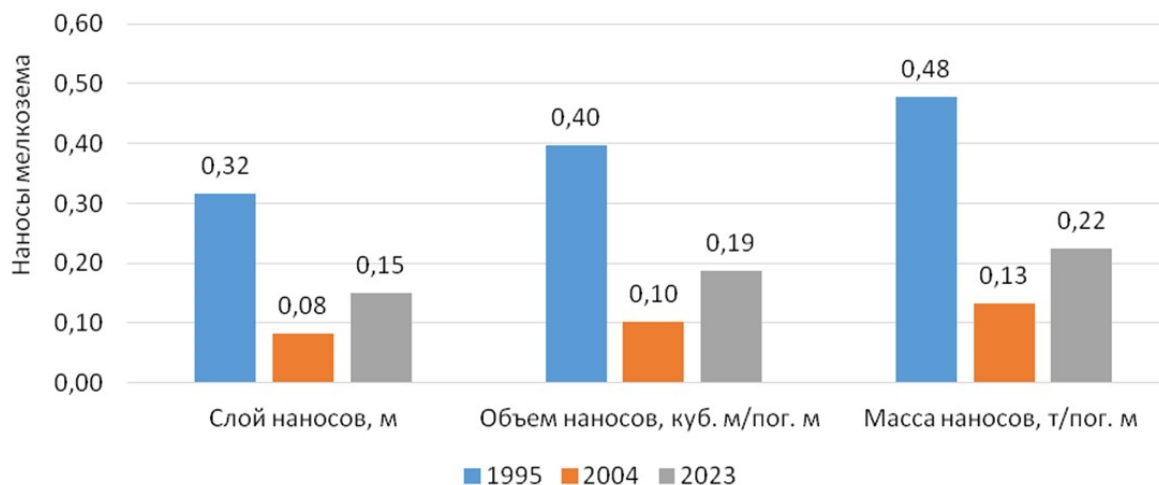


Рисунок 6 – Темпы изменения показателей наносов в среднем за 1 год по периодам учета в 1995, 2004 и 2023 гг., уклон 2–3°

Figure 6 – Average rate of change in sediment indicators for 1 year for accounting periods in 1995, 2004 and 2023, slope 2–3°

В такой же закономерности изменялись и объем наносов (соответственно 0,40; 0,10 и 0,19 м³/пог. м) и масса: 0,48; 0,13 и 0,22 т на 1 пог. м длины канавы.

Представляет большой интерес изменение стока талых дождевых вод, и соответственно наносов, при изменении уклона поверхности земельного участка, поэтому в самом начале исследований в 1982 г. были заложены участки МЗЛН с простейшими гидротехническими сооружениями канава-вал на участке с уклоном 2–3° и второй вариант 5–6°. Первый вариант мы уже рассмотрели выше, теперь рассмотрим данные и результаты анализов по второму варианту с уклоном 5–6°. Исследования изменения параметров накопления наносов велись в те же сроки, что и в первом варианте.

Данные таблицы 2 показывают, что при увеличении уклона поверхности земельного участка с 2–3 до 5–6° повышаются все показатели аккумуляции наносов в канаве и перед валом. Так, при увеличении уклона с 2–3 до 5–6° слой наносов с 1982 г. вырос к 1995 г. с 0,31 до 0,47 м, к 2004 г. с 0,41 до 0,81 м и к 2023 г. с 0,55 до 1,15 м.

Таблица 2 – Динамика слоя, объема и массы наносов при уклоне поверхности земельного участка 5–6°, 1982–2023 гг.
Table 2 – Dynamics of the sediment layer, volume and mass with a slope of the surface of the land plot of 5–6°, 1982–2023

Год	Слой наносов в канаве, м	Объем наносов, м ³ /пог. м	Масса наносов, т/пог. м
1982	0,00	0,00	0,00
1995	0,48	0,60	0,73
	0,46	0,58	0,70
	0,47	0,59	0,72
	0,45	0,56	0,68
	0,44	0,55	0,66
	0,45	0,56	0,69
	0,48	0,60	0,74
	0,43	0,54	0,65
	0,47	0,59	0,72
Среднее, 1982–1995 гг.	0,46	0,57	0,70
2004	0,87	1,09	1,34
	0,84	1,05	1,30
	0,79	0,99	1,21
	0,64	0,80	0,98
	0,71	0,89	1,09
	0,68	0,85	1,05
	0,78	0,98	1,19
	0,77	0,96	1,16
	0,81	1,01	1,25
Среднее, 1996–2004 гг.	0,77	0,96	1,17
2023	1,15	1,44	1,75
	1,18	1,48	1,78
	1,17	1,46	1,78
	1,14	1,43	1,75
	1,13	1,41	1,71
	1,12	1,40	1,71
	1,11	1,39	1,69
	1,14	1,43	1,72
	1,17	1,46	1,78
Среднее, 2005–2023 гг.	1,15	1,43	1,74
НСР ₀₅	0,8	0,11	0,13

Через 41 год после строительства канавы-вала была заполнена полностью канава на 100 % и наносы приблизились по высоте к уровню верушки гребня, проектная высота которого была равна 1,2 м от дна канавы, или слой аккумуляции составил 96 % возможного объема. При сравнении можно установить, что если в первом варианте при уклоне 2–3° имеется

еще запас объема для аккумуляции наносов перед валом, достаточный при таких темпах заполнения еще на период 40–50 лет, то при уклоне 5–6° (вариант 2) запасы высоты и емкости канавы и пространства перед валом заняты на 96 %.

Закономерности аккумуляции объема и массы наносов установлены при проведении математической обработки данных (рисунок 7).

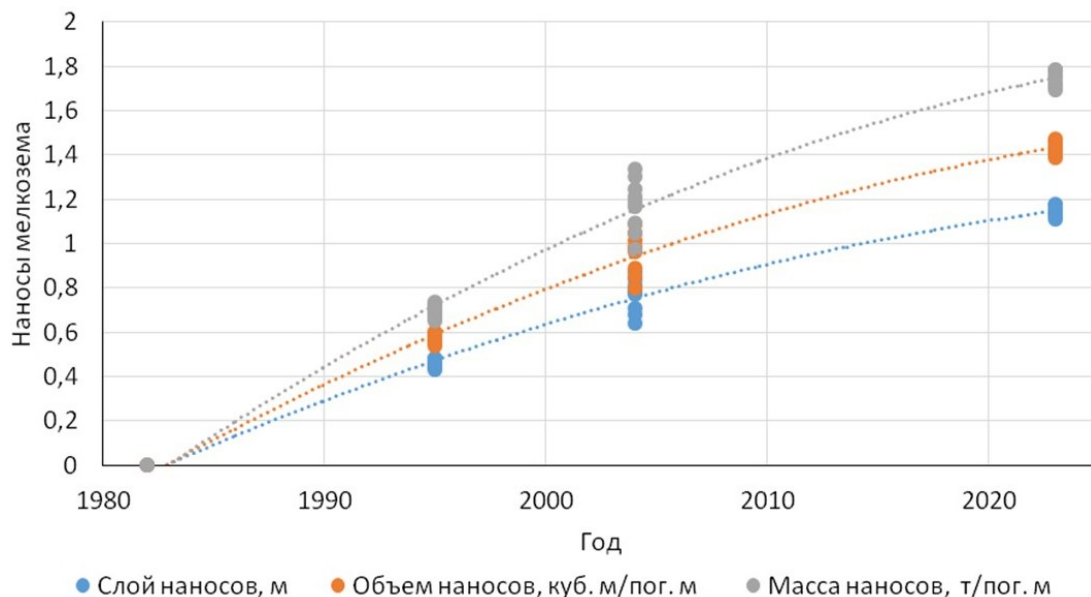


Рисунок 7 – Динамика накопления наносов в канаве-валу в абсолютных величинах, уклон 5–6°

Figure 7 – Dynamics of sediment accumulation in the ditch-bank in absolute values, slope 5–6°

Полученные результаты позволили рассчитать в динамике общий прирост объема и массы наносов за 1982–2023 гг. при уклоне 5–6°, он характеризуется кривыми нарастания слоя, объема и массы наносов, выраженными уравнениями полинома второй степени вида:

- по слою (глубине) наносов:

$$Y_{\text{слой}} = -0,0004 \cdot x^2 + 1,5038 \cdot x - 1533,9,$$

при коэффициенте аппроксимации $R^2 = 0,97$;

- по объему наносов:

$$Y_{\text{объем}} = -0,0005 \cdot x^2 + 1,8798 \cdot x - 1917,4,$$

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

- по массе наносов:

$$Y_{\text{масса}} = -0,0006 \cdot x^2 + 2,3806 \cdot x - 2426,8,$$

при коэффициенте аппроксимации $R^2 = 0,97$.

Расчет заполнения канавы показал, что, по сравнению с уклоном 2–3°, при уклоне 5–6° более интенсивно идет заполнение наносами, в т. ч. слой наносов в 1995 г. составлял в среднем 0,32 м/год при уклоне 2–3° и 0,46 м при уклоне 5–6°, в 2004 г. соответственно 0,40 и 0,77 м и в 2023 г. 0,48 и 1,15 м (рисунок 8).

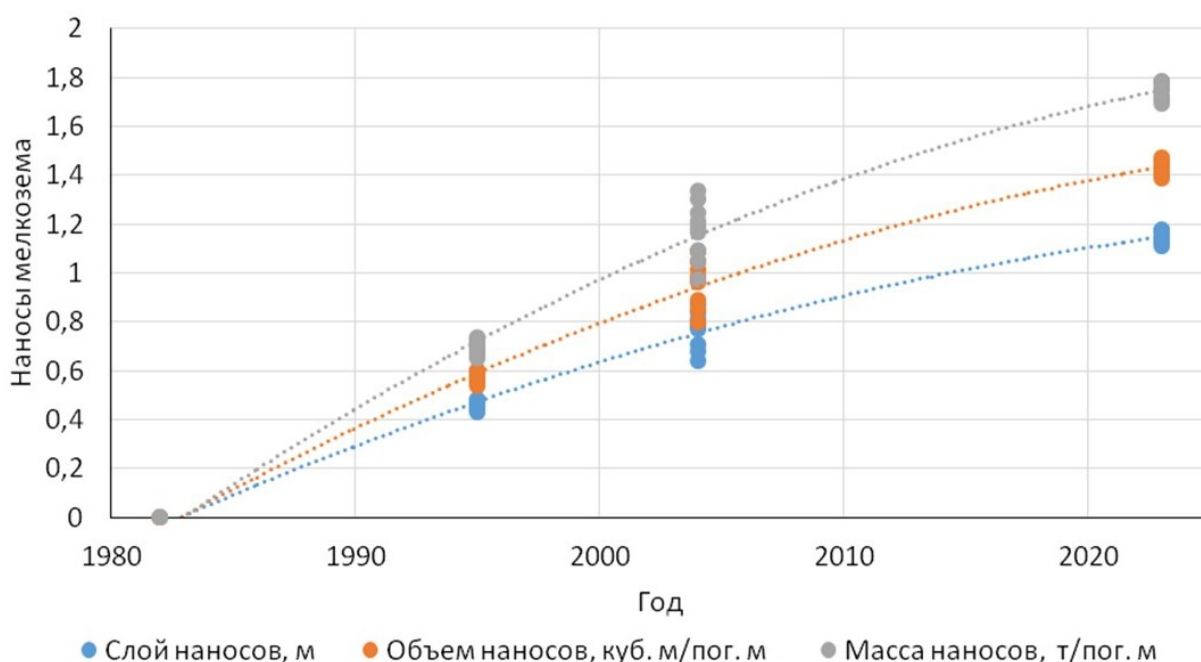


Рисунок 8 – Динамика показателей высоты слоя, объема и массы наносов за 1982–2023 гг. по периодам учета в 1995, 2004, 2023 гг., уклон 5–6°

Figure 8 – Dynamics of indicators of sediment layer height, volume and mass for 1982–2023 by accounting periods in 1995, 2004, 2023, slope 5–6°

В такой же закономерности изменялись и объем наносов (соответственно 0,08 и 0,57 м³/пог. м, 0,10 и 0,96 и 1,43 м³/пог. м) и масса (соответственно 0,15 и 0,70; 0,19 и 1,17 и 0,22 и 1,74 т на 1 пог. м длины канавы-вала). Изменение величин показателей аккумуляции наносов видно на рисунке 9.

Как видно из данных рисунка 9, слой (глубина) наносов при уклоне 5–6° вдвое превышает слой наносов при уклоне 2–3°.

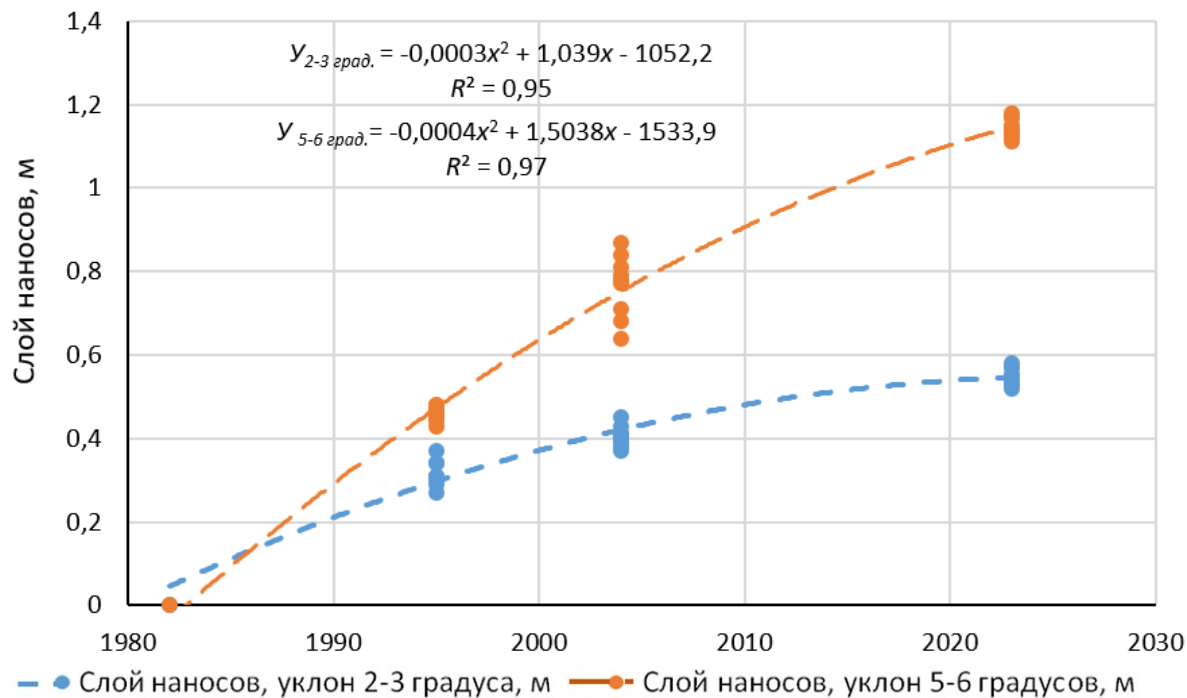


Рисунок 9 – Динамика слоя наносов в канаве-валу за период с 1982 по 2023 г.

Figure 9 – Dynamics of the sediment layer in the ditch-bank for the period from 1982 to 2023

Показательны данные сравнения изменения темпов нарастания слоя и массы наносов по периодам исследований при разных уклонах (рисунок 10).

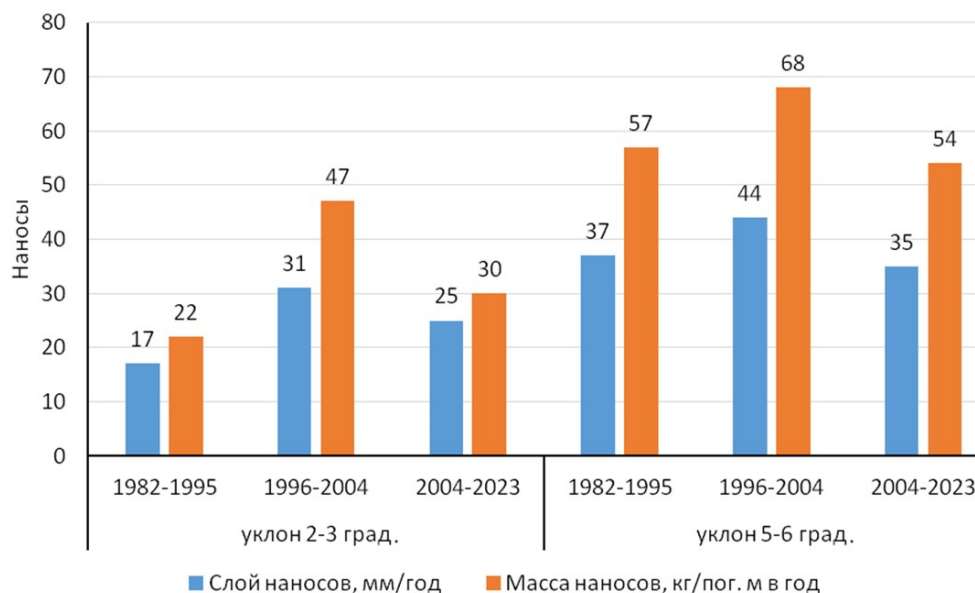


Рисунок 10 – Динамика темпов нарастания слоя и массы наносов по периодам исследований при уклонах поверхности 2–3 и 5–6°

Figure 10 – Dynamics of the growth rate of the sediment layer and mass over the periods of research at surface slopes of 2–3 and 5–6°

Более высокие показатели глубины накопленного слоя и массы наносов в варианте с уклоном 5–6° начинаются уже в первый период, при росте уклона от 2–3 до 5–6° высота слоя наносов изменилась с 17 до 37 мм/год в первом периоде (1982–1995 гг.), с 31 до 44 мм/год во втором периоде и с 25 до 35 мм/год в третьем периоде (2004–2023 гг.). Соответственно изменялась и масса наносов, достигнув максимума 68 кг/год на 1 пог. м в период 1996–2004 гг.

Сравнительный анализ суммарного стока наносов мелкозема в опыте при измерении стока на стационарной стоковой площадке (контроль, вариант 1, стоковая площадка, водосбор 1,8 га) и их аккумуляции в канаве-валу (вариант 2, водосбор 1,05 га, и вариант 3, водосбор 1,2 га, длина канавы-вала 30 пог. м) по периодам наблюдений 1982–2023 гг. приведен в таблице 3.

Таблица 3 – Сток массы наносов мелкозема на стационарной стоковой площадке и их аккумуляция в канаве-валу при уклоне 2–3 и 5–6° за период 1982–2023 гг.

Table 3 – Silt sediment mass flow on a stationary runoff site and its accumulation in a ditch-bank with a slope of 2–3 and 5–6° for the period 1982–2023

Период наблюдений, годы	Сток поверхностный, стационарная площадка, площадь водосбора 1,8 га, вариант 1		Сток наносов в среднем на 1 га водосбора, т/га		
	Всего, мм	В т. ч. наносы, т	Вариант 1, водосбор 1,8 га	Вариант 2, водосбор 1,05 га	Вариант 3, водосбор 1,2 га
1982–1995	338,4	26,0	14,4	14,4	34,5
1996–2004	136,1	15,12	8,4	18,3	42,9
2005–2023	95,3	5,01	2,78	25,2	52,2
Суммарный сток	569,8	46,1	25,6	57,9	129,6

За весь период наблюдений 1982–2023 гг. поверхностный сток талых и дождевых вод на стационарной стоковой площадке составил 569,8 мм, в т. ч. 46,1 т сток наносов мелкозема. Сток наносов по вариантам в пересчете на 1 га водосбора за весь период наблюдений составил:

- вариант 1: сток на стационарной стоковой площадке (контроль, уклон 2–3°) составил 25,6 т/га;

- вариант 2: аккумуляровано в канаве-валу 57,9 т/га;

- вариант 3: аккумуляровано в канаве-валу 129,6 т/га.

В вариантах 2 и 3 масса аккумулярованного мелкозема больше, чем на стационарной площадке, что, видимо, связано с прибавкой к стоку наносов массы гумифицированного ежегодного опада листьев и веток с деревьев.

Выводы

1 Исследования созданного комплекса из простейших противоэрозионных гидротехнических сооружений канава-вал в междурядье мелиоративных защитных лесных насаждений показали, что они способны снизить эрозию почвы и аккумуляровать наносы в канаве и перед валом в объеме 0,84 т/пог. м при уклоне 2–3° и до 1,74 т/пог. м при уклонах 5–6°.

2 Установлено, что если во втором варианте при уклоне 2–3° имеется еще запас объема для аккумуляции наносов перед валом, достаточный при таких темпах заполнения еще на длительный период, то при уклоне 5–6° (вариант 3) запасы емкости канавы и пространства перед валом за период 1982–2023 гг. заполнены на 96 %. Поэтому необходимо предусмотреть мероприятия по увеличению объема для аккумуляции наносов (например, строительство при закладке мелиоративных защитных лесных насаждений канавы-вала в каждом междурядье насаждений) или разработку мероприятий по снижению эрозии почвы и смыва мелкозема выше по склону от канавы-вала (например, посев выше по уклону от насаждений полосы многолетних трав шириной 30–50 м), почвозащитную обработку почвы (чизельная глубокая обработка на 0,45 м, щелевание на 0,5–0,6 м) и другие мероприятия.

Список источников

1. Сухомлинова Н. Б. Состояние почвенного плодородия Северо-Западной природно-сельскохозяйственной зоны Ростовской области: эколого-экономические аспекты // Вестник Южно-Российского государственного технического университета (НПИ). Серия: Социально-экономические науки. 2016. № 6. С. 44–48. DOI: 10.17213/2075-2067-2016-6-44-48. EDN: XVNAHF.

2. 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.

3. 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: <https://rosniipm-sm.ru/article?n=1337> (дата обращения: 15.02.2024). DOI: 10.31774/2712-9357-2023-13-1-1-18. EDN: CSYGMP.

4. Полуэктов Е. В., Балакай Г. Т. Потери почвы от дефляции в Ростовской области // Мелиорация и гидротехника [Электронный ресурс]. 2023. Т. 13, № 4. С. 97–113. URL: <https://rosniipm-sm.ru/article?n=1400> (дата обращения: 15.02.2024). DOI: 10.31774/2712-9357-2023-13-4-97-113. EDN: BKXRFQ.

5. Сухомлинова Н. Б. Особенности организации территории сельскохозяйственных угодий в современных условиях (на примере Ростовской области) // Международный научно-исследовательский журнал. 2019. № 11(89), ч. 2. С. 67–73. <https://doi.org/10.23670/IRJ.2019.89.11.047>. EDN: XFANYB.

6. 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.

7. Зональные системы земледелия Ростовской области на 2022–2026 годы: монография / А. И. Клименко [и др.]. Ростов н/Д.: Альтаир, 2022. 763 с. EDN: GHQGS.

8. 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.

9. 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.

10. 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>.

11. 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>.

12. Soil erosion: A review of models and applications / P. U. Igwe, A. A. Onuigbo, O. C. Chinedu, I. I. Ezeaku, M. M. Muoneke // International Journal of Advanced Engineering Research and Science (IJAERS). 2017, Dec. Vol. 4, iss. 12. P. 138–150. <https://dx.doi.org/10.22161/ijaers.4.12.22>.

13. Aliyev Z. H. Soil erosion as a function of natural and anthropogenic factors and its environmental consequences // International Journal of Research – Granthaalayah. 2019. Vol. 7, iss. 5. P. 186–192. <https://doi.org/10.5281/zenodo.3238381>.

14. 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.

15. Добровольский Г. В. Избранные труды по почвоведению. Т. 1. Общие вопросы теории и развития почвоведения. М.: Изд-во МГУ, 2005. 525 с. EDN: QKXHT.

16. Принципы и методы организации орошаемых земель на агроландшафтной основе / А. В. Колганов, В. Н. Щедрин, Е. В. Полуэктов, Г. Т. Балакай, А. М. Олейник, А. А. Бурдун, В. А. Козин, Н. И. Балакай, И. Н. Ильинская; под ред. А. В. Колганова, В. Н. Щедрина. М.: Эдель-М, 2001. 107 с. EDN: WZEJZJ.

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

18. Ивонин В. М. Лесные насаждения и аккумулятивные процессы в балках // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации [Электронный ресурс]. 2017. № 1(25). С. 117–130. URL: <https://rosniipm-sm.ru/article?n=301> (дата обращения: 15.02.2024). EDN: XWNOST.

References

1. Sukhomlinova N.B., 2016. *Sostoyanie pochvennogo plodorodiya Severo-Zapadnoy prirodno-sel'skokhozyaystvennoy zony Rostovskoy oblasti: ekologo-ekonomicheskie aspekty* [The status of soil fertility in North-Western natural-agricultural zones of Rostov region: ecological and economic aspects]. *Vestnik Yuzhno-Rossiyskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta (NPI). Seriya: Sotsial'no-ekonomicheskie nauki* [Bulletin of the South Russian State Technical University (NPI). Series: Socio-Economic Sciences], no. 6, pp. 44-48, DOI: 10.17213/2075-2067-2016-6-44-48, EDN: XVNAHF. (In Russian).

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

3. Poluektov E.V., Balakay G.T., 2023. [Erosion processes during the meltwater runoff in the south of the European part of Russia]. *Melioratsiya i gidrotekhnika*, vol. 13, no. 1, pp. 1-18, available: <https://rosniipm-sm.ru/article?n=1337> [accessed 15.02.2024], DOI: 10.31774/2712-9357-2023-13-1-1-18, EDN: CSYGMP. (In Russian).

4. Poluektov E.V., Balakay G.T., 2023. [Soil loss from deflation in Rostov region]. *Melioratsiya i gidrotekhnika*, vol. 13, no. 4, pp. 97-113, available: <https://rosniipm-sm.ru/article?n=1400> [accessed 15.02.2024], DOI: 10.31774/2712-9357-2023-13-4-97-113, EDN: BKXRFQ. (In Russian).

5. Sukhomlinova N.B., 2019. *Osobennosti organizatsii territorii sel'skokhozyaystvennykh ugodiy v sovremennykh usloviyakh (na primere Rostovskoy oblasti)* [Features of agricultural territory organization under modern conditions (on the example of Rostov region)]. *Mezhdunarodnyy nauchno-issledovatel'skiy zhurnal* [International Scientific Research Journal], no. 11(89), pt. 2, pp. 67-73, <https://doi.org/10.23670/IRJ.2019.89.11.047>, EDN: XFANYB. (In Russian).

6. 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. A Forecast of Damage Caused. Compensatory Reclamation Measures]. Novocheerkassk, RosNIIPM, 450 p., EDN: DFPRCD. (In Russian).

7. Klimenko A.I. [et al.], 2022. *Zonal'nye sistemy zemledeliya Rostovskoy oblasti na 2022–2026 gody: monografiya* [Zonal Farming Systems of Rostov Region for 2022–2026: monograph]. Rostov-on-Don, Altair Publ., 763 p., EDN: GHQGWS. (In Russian).

8. Akperova U.Z., 2020. *Eroziya pochvy vodoy i mery bor'by s ney* [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).

9. Dzharullaev A.Sh., Mardanov I.I., Ismailova A.A., Eldarov N.Sh., 2018. *Eroziyonnaya opasnost pochv pastbish Bolshogo Kavkaza i Dzhejranchel-Adzhitnoura* [Erosion hazard of soils in pastures of the Greater Caucasus and Jeyranchel-Adjitnour]. *Geograficheskiy vestnik* [Geographical Bulletin], no. 3(46), pp. 75-82, DOI: 10.17072/2079-7877-2018-3-75-82, EDN: VBFNRM. (In Russian).

10. 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>.

11. 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>.

12. Igwe P.U., Onuigbo A.A., Chinedu O.C., Ezeaku I.I., Muoneke M.M., 2017. Soil erosion: A review of models and applications. *International Journal of Advanced Engineering Research and Science (IJAERS)*, Dec., vol. 4, iss. 12, pp. 138-150, <https://dx.doi.org/10.22161/ijaers.4.12.22>.

13. Aliyev Z.H., 2019. Soil erosion as a function of natural and anthropogenic factors and its environmental consequences. *International Journal of Research – Granthaalayah*, vol. 7, iss. 5, pp. 186-192, <https://doi.org/10.5281/zenodo.3238381>.

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

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

16. Kolganov A.V., Shchedrin V.N., Poluektov E.V., Balakay G.T., Oleynik A.M., Burdun A.A., Kozin V.A., Balakay N.I., Ilyinskaya I.N., 2001. *Printsipy i metody organizatsii oroshaemykh zemel' na agrolandshaftnoy osnove* [Principles and Methods of Organizing Irrigated Lands on the Agrolandscape Basis]. Moscow, Edel-M Publ., 107 p., EDN: WZEJZJ. (In Russian).

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

18. Ivonin V.M., 2017. [Forest plantations and accumulative processes in ravines]. *Nauchnyy zhurnal Rossiyskogo NII problem melioratsii*, no. 1(25), pp. 117-130, available: <https://rosniipm-sm.ru/article?n=301> [accessed 15.02.2024], EDN: XWNOST. (In Russian).

Информация об авторах

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: 0000-0001-8021-6853;

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.

Information about the authors

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

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

*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 01.04.2024; одобрена после рецензирования 14.06.2024;
принята к публикации 01.07.2024.
The article was submitted 01.04.2024; approved after reviewing 14.06.2024; accepted for
publication 01.07.2024.*