

МЕЛИОРАЦИЯ, ВОДНОЕ ХОЗЯЙСТВО И АГРОФИЗИКА

Научная статья

УДК 631.459.2:556.12

doi: 10.31774/2712-9357-2022-12-2-1-19

Эрозия почв при выпадении ливней на юге европейской части России

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: исследовать интенсивность проявления эрозионных процессов под различными сельскохозяйственными культурами и агрофонами на склонах при выпадении ливневых дождей. Методы: закладка полевых опытов на склонах с основными сельскохозяйственными культурами и чистым паром, учет смыва почвы методом замера водоройн, визуальные наблюдения за величиной проективного покрытия поверхности почвы растениями, изучение основных физических и водно-физических свойств пахотного слоя. Результаты. Проанализированы данные натурных наблюдений за период с 1973 по 2021 г. за смывом почвы при выпадении ливневых дождей под различными сельскохозяйственными культурами, чистым паром, агрофонами в зависимости от крутизны склона, величины проективного покрытия поверхности почвы растениями, способов обработки почвы. Установлено влияние механического воздействия орудий и механизмов при уходе за чистым паром на агрофизические свойства пахотного слоя и их влияние на смыв при выпадении ливней с различным количеством осадков. Смыв почвы при ливнях под различными сельскохозяйственными культурами находится в зависимости от величины проективного покрытия почвы растительным покровом. После уборки зерновых колосовых и зернобобовых культур обработка почвы даже на глубину 10–12 см существенным образом снижает эрозионные процессы от ливневых дождей. Выводы. Смыв почвы при выпадении ливней зависит от суммы осадков за один дождь, уклонов поверхности, величины проективного покрытия поверхности почвы растительным покровом, способов обработки почвы в послеуборочный период.

Ключевые слова: ливневые дожди, чистый пар, сельскохозяйственные культуры, склоны различной крутизны, смыв почвы

Для цитирования: Полуэктов Е. В., Балакай Г. Т. Эрозия почв при выпадении ливней на юге европейской части России // Мелиорация и гидротехника. 2022. Т. 12, № 2. С. 1–19. <https://doi.org/10.31774/2712-9357-2022-12-2-1-19>.

LAND RECLAMATION, WATER MANAGEMENT AND AGROPHYSICS

Original article

Soil erosion as a result of heavy rains in the south of the European part of Russia

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 investigate the intensity of manifestation of erosion processes under various crops and agricultural backgrounds on the slopes during heavy rains. **Methods:** laying field experiments on slopes with main crops and bare fallow, registering soil washout by measuring gullies, visual observations of the value of the projective cover of soil surface by plants, studying the main physical and water-physical properties of top soil. **Results.** The data of field observations for the period from 1973 to 2021 of soil washout during heavy rains under various crops, bare fallow, agrob backgrounds are analyzed depending on the steepness of the slope, the magnitude of the projective cover of soil surface by plants, and the tillage techniques. The influence of the mechanical action of tools and mechanisms during the care of bare fallow on the agrophysical properties of top soil and their influence on the washout during heavy rains with different amounts of precipitation has been established. Soil washout during heavy rains under various agricultural crops depends on the size of the projective soil cover with vegetation. After harvesting cereals and leguminous crops, soil tillage even to a depth of 10–12 cm significantly reduces erosion processes from heavy rains. **Conclusions.** Soil washout during heavy rains depends on the amount of precipitation in one rain, surface slopes, the amount of projective cover of top soil with vegetation, and tillage techniques in the post-harvest period.

Keywords: heavy rains, bare fallow, agricultural crops, slopes of various steepness, soil washout

For citation: Poluektov E. V., Balakay G. T. Soil erosion as a result of heavy rains in the south of the European part of Russia. *Land Reclamation and Hydraulic Engineering*. 2022;12(2):1–19. (In Russ.). <https://doi.org/10.31774/2712-9357-2022-12-2-1-19>.

Введение. Эрозия почвы – одна из основных восьми угроз потери ее плодородия. Поэтому специалисты и ученые ищут способы снижения эрозии. Внедрение почвозащитных мероприятий в Европейском союзе позволило за 5 лет (2011–2016 гг.) снизить скорость эрозии на 0,4 %, однако еще 25 % земель имеют эрозию выше допустимого уровня 2 т/га в год [1]. В то же время в других частях мира, например, в верхнем течении р. Бо в Центральном Вьетнаме, получены данные, что средняя степень эрозии почвы с 2000 по 2010 г. составила 92,33 т/га, максимальная потеря почвы составила 153,48 т/га, это создает значительную угрозу земельным ресурсам страны [2]. По изменению климатических показателей в последние десятилетия ученые прогнозируют будущие темпы прироста эрозии почвы

путем моделирования изменений, и к 2070 г., по их оценкам, они могут повыситься на 5 % [3, 4]. В России процессы эрозии также широко изучены в разрезе географии их распространения, причем на показатели эрозии почвы могут влиять разные факторы [5, 6], среди них выделяют такие, как изменение климата [5, 6], уклоны на агроландшафтах [7–9], водопроницаемость почвы [10–12], способы обработки почвы [13–15], мелиоративные мероприятия [15–17] и др.

По полученным данным, на юге европейской территории России, например в Ростовской области, произошло повышение температуры воздуха на 1,5–1,9 °С и увеличение годового количества осадков на 150 мм, что отразилось на сезонной динамике интенсивности проявления эрозионных процессов [15]. Анализ многолетних исследований показал, что если смыв почвы за период с 1970 по 1990 г. от стока талых вод составлял в среднем 8,9 т/га, то за период 2010–2021 гг. он уменьшился до 4,2 т/га, т. е. в 2 раза, из-за меньшего слоя промерзания почвы, вода при таянии снега успевает впитываться в почву. В то же время смыв почвы от ливневых дождей остался практически на том же уровне (7–9 т/га), а в некоторых случаях усилился. Последнее связано не столько с изменениями количества выпадающих осадков (сумма осадков, интенсивность дождей и другие показатели остались на прежнем уровне), сколько с изменениями в структуре посевных площадей, заметно увеличились площади, занятые чистым паром и пропашными культурами, прежде всего подсолнечником.

В связи с этим целью данной работы является анализ многолетних натурных исследований и установление связей и зависимостей массы смытой почвы от ливневых дождей за период с 1973 по 2021 г. под различными сельскохозяйственными культурами и агрофонами в полевых севооборотах.

Материалы и методы. Исследования проводились на черноземах обыкновенных различной степени эродированности в пределах Приазовской наклонной равнины (Ростовская область) на полях ОПХ «Рассвет»

(Донского зонального НИИ сельского хозяйства, сейчас Федеральный Ростовский аграрный научный центр) в системе полевых севооборотов. Смыв почвы учитывался по объему водоросин [16–18]. Физические и водно-физические свойства почвы (плотность сложения, количество водопрочных агрегатов, водопроницаемость, порозность) определялись общепринятыми в почвоведении и земледелии методами, описанными А. Ф. Вадюниной и С. В. Астаповым [19, 20]. Полученные данные обрабатывались с помощью компьютерных программ Statistika и Microsoft Excel.

Результаты и обсуждения. Данная территория характеризуется следующими показателями ливневых дождей: ливни со слоями осадков 10 мм выпадают до 12–14 раз за сезон, больше 20 мм 3–5 раз и более 30 мм 1 раз, раз в 8–10 лет случаются дожди со слоем осадков от 50 мм. Интенсивность ливневых дождей в среднем 0,8–1,3 мм/мин, что не исключает выпадения ливней с интенсивностью 1,8–2,2 мм/мин. Именно они представляют наибольшую опасность с точки зрения развития эрозионных процессов. На величины смыва почвы оказывает влияние и продолжительность выпадения ливней. Из общего их количества, выпадавшего в течение теплого периода, 60 % приходится на период с мая по июль включительно, 25 % на август и 15 % на сентябрь.

В качестве обобщающего примера приведем данные о смыве почвы от ливней со слоем осадков более 50 мм под различными сельскохозяйственными культурами и чистым паром на склонах различной крутизны, как представляющих наибольшую опасность в плане утраты верхнего плодородного слоя почвы (таблица 1).

Вместе с тем это еще не означает, что разовые дожди с суммой осадков более 50 мм наносят максимальный ущерб почвенному покрову. Как следует из полученных результатов исследований, наибольшие потери почвы были зафиксированы после двух ливней, выпадающих друг за другом за короткий промежуток времени.

Таблица 1 – Смыв почвы во время ливневых дождей, 1974–2021 гг.
Table 1 – Soil washout during heavy rains, 1974–2021

В т/га
 In t/ha

Дата выпадения осадков	Сумма осадков, мм	Склон крутизной до 2,5°			Склон крутизной до 3,5–5,0°		
		Чистый пар	Зерновые колосовые (стерня)	Пропашные	Чистый пар	Зерновые колосовые (стерня)	Пропашные
13.07.1974	52,0	20,2	4,9	9,6	61,4	11,5	21,3
07.09.1977	55,8	22,7	6,2	13,9	58,6	9,5	29,8
30.06.1978	51,4	13,8	4,0	7,9	62,4	8,7	42,2
15.08.1998	53,5	14,4	5,0	8,1	53,6	7,0	26,9
24.06.2004	67,0	19,8	4,6	11,3	57,9	6,7	38,8
11.08.2021	56,0	21,7	3,7	7,3	60,1	9,2	19,0
НСР _{0,05} , т	–	0,1	0,1	0,4	0,1	0,1	0,2

Остановимся более подробно на каждой сельскохозяйственной культуре в отдельности или агрофоне с точки зрения уязвимости их ливневыми дождями. Прежде всего это чистый пар, который большую часть периода выпадения ливневых дождей лишен растительного покрова.

Технология подготовки чистого пара и ухода за ним в степной зоне юга европейской территории России складывается осенью из вспашки, а в зоне проявления дефляции бесплужной обработки на глубину 25–27 см. Весной уход за парами начинается с закрытия влаги и рыхления почвы культиваторами на глубину 10–12 см одновременно с боронованием. Затем обработки пара ведут по мере отрастания сорняков на убывающую глубину: вторую на 8–10 см, последующие (а их может быть от четырех до семи) – на 6–8 см. В сухую погоду вслед за культивацией почвы проводят прикапывание кольчато-шпоровыми катками.

Таким образом, в течение весенне-летнего периода почва под чистым паром испытывает многократное механическое воздействие, что отражается на ее физических и водно-физических свойствах (таблица 2).

Изучение динамики плотности сложения пахотного слоя показало, что минимальные значения данного показателя были весной до первой культивации (1,12 г/см³). При этом увеличение плотности сложения происходит

равномерно по глубине пахотного слоя. Далее по мере увеличения нагрузки на почву после проведения двух-трех культиваций не только возрастает сам показатель плотности сложения, но и происходит заметное изменение плотности по глубине пахотного слоя. С глубины 8–10 см до глубины 20 см при культивации под воздействием стрельчатых лап формируется уплотненная прослойка, плотность сложения которой несколько выше, чем нижележащего слоя почвы. Величина плотности заметно возрастает по мере увеличения числа культиваций, достигая максимума к концу лета. Если после двух-трех культиваций чистого пара разница в величинах плотности сложения между слоями 0–10 и 10–20 см математически недоказуема, то уже перед посевом эта разница существенна ($НСР_{0,05} = 0,02 \text{ г/см}^3$). Далее после посева и прикатывания сохраняется та же тенденция по величинам плотности сложения в пахотном слое, с той лишь разницей, что она заметно увеличилась в слое 0–10 см и уменьшилась разница между слоями 10–20 и 20–30 см.

Таблица 2 – Динамика плотности сложения пахотного слоя почвы на чистом пару в летний период, 2007–2019 гг.

Table 2 – Top soil bulk density dynamics on a bare fallow in summer, 2007–2019

Слой почвы, см	Агрофон			
	Весной перед культивацией	После двух-трех культиваций	Перед посевом	После посева и прикатывания
0–10	1,08	1,07	1,10	1,13
10–20	1,11	1,19	1,22	1,22
20–30	1,16	1,18	1,19	1,20
0–30	1,12	1,15	1,17	1,18
$НСР_{0,05}, \text{ г/см}^3$	0,06	0,05	0,02	0,02

В соответствии с изменением плотности сложения пахотного горизонта в течение весенне-летнего периода меняется и водопроницаемость почвы (рисунок 1).

Наиболее высокие ее значения были весной до культивации с постепенным снижением в течение лета, достигали минимума (почти в 2 раза

меньше) осенью, после посева. Наличие уплотненной прослойки с глубины 8–10 см заметно снижает скорость просачивания воды в почву. Взаимосвязь плотности сложения почвы и водопроницаемости в среднем за 3 ч приведена на рисунке 2.

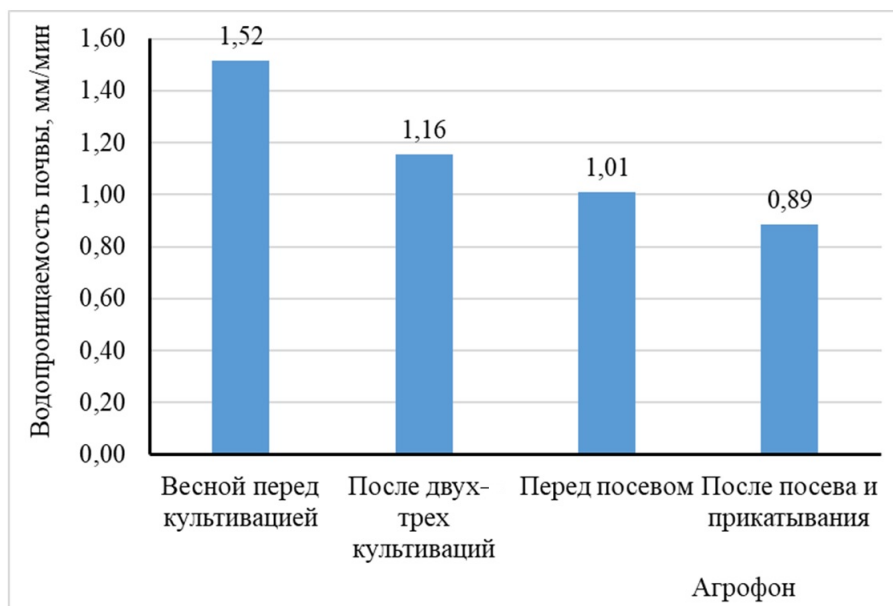


Рисунок 1 – Водопроницаемость почвы на различных агрофонах в среднем за 3 ч, 2016–2020 гг.

Picture 1 – Soil permeability at various agricultural backgrounds on average for 3 hours, 2016–2020

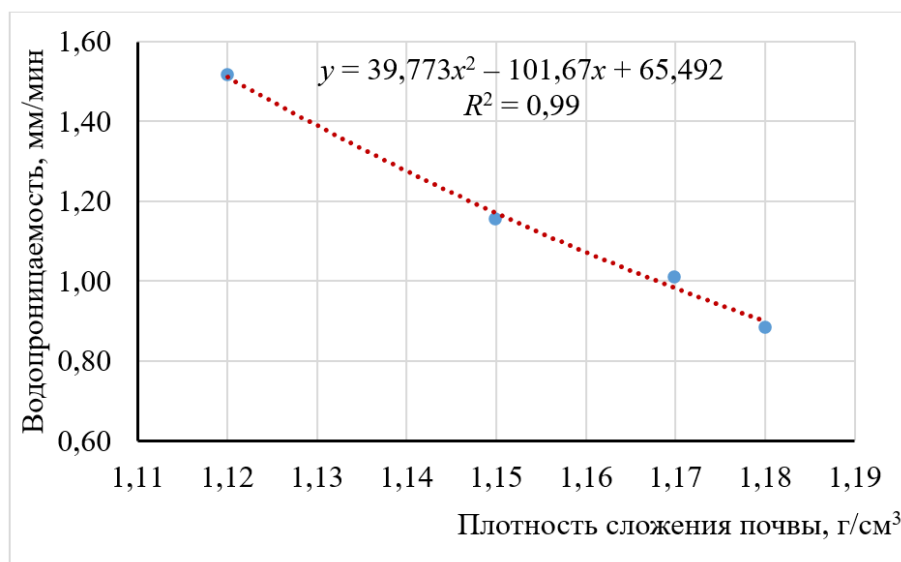


Рисунок 2 – Зависимость водопроницаемости от плотности сложения почвы, 2016–2020 гг.

Picture 2 – Dependence of water permeability on the soil bulk density, 2016–2020

Все эти изменения отразились на величине смыва почвы в период выпадения ливневых дождей. Отсутствие защитного растительного покрова и наличие «культиваторной подошвы» приводит к развитию эрозионных процессов даже при ливнях от 10 мм с интенсивностью 1,4–1,6 мм/мин. Многолетние наблюдения за процессами эрозии на чистых парах в зависимости от слоя выпавших осадков показали, что при интенсивности дождя до 1,8 мм/мин на склонах от 3,5 до 5,5° минимальными потерями почвы характеризовались дожди до 10 мм. Величина смыва здесь составила в среднем 8,2 т/га. При слое осадков от 20–30 мм количество смытой почвы немного превышает 30 т/га, и максимальные потери почвы имели место, когда за один дождь количество осадков превышало 50 мм (рисунок 3).

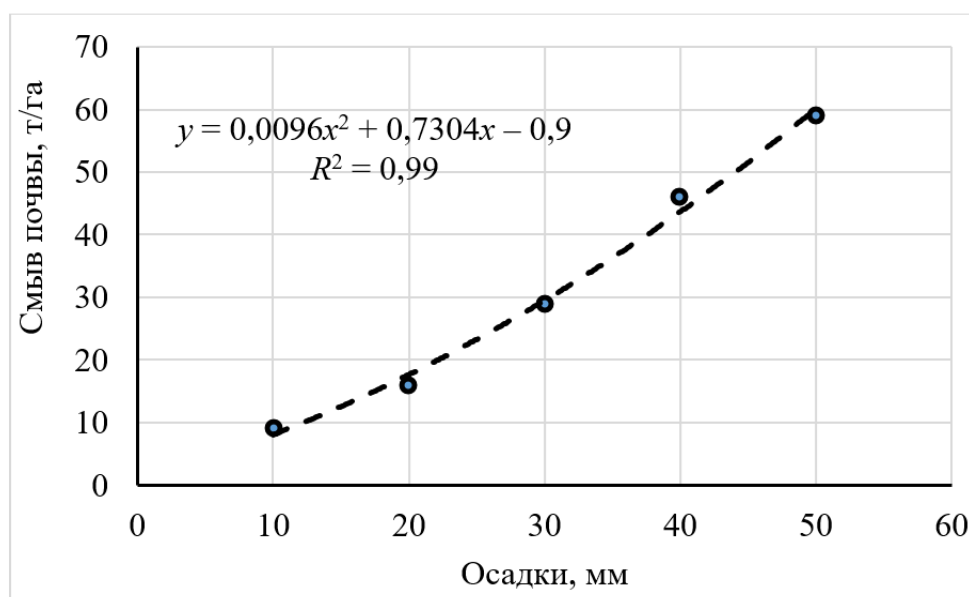


Рисунок 3 – Масса смытой почвы на чистых парах в зависимости от количества осадков за один дождь на склонах 3,5–5,0°, 1974–2021 гг.

Figure 3 – The mass of eroded soil on bare fallows depending on the amount of precipitation in one rain on slopes of 3.5–5.0°, 1974–2021

Данная зависимость описывается уравнением регрессии $y = 0,0096x^2 + 0,7304x - 0,9$ с коэффициентом аппроксимации $R^2 = 0,99$.

Вместе с тем по результатам наших наблюдений наиболее сильное разрушение почвенного покрова на чистых парах наблюдалось в ряде лет (1973, 1987 гг. и др.), когда два ливневых дождя с суммой осадков от 40

до 60 мм выпадали в одни сутки с небольшими промежутками. Общие потери почвы в этом случае составляли 80–100 т/га. Аналогичная картина по потерям почвы была в 2003, 2010 и 2018 гг. В целом смыв почвы на чистых парах за 48 лет составил на склонах крутизной 0,5–1,5° 6,8 т/га, 3,0° – 22,3 т/га, 3,5–4,5° – 41,3 т/га и более 5° – 68,8 т/га (рисунок 4).

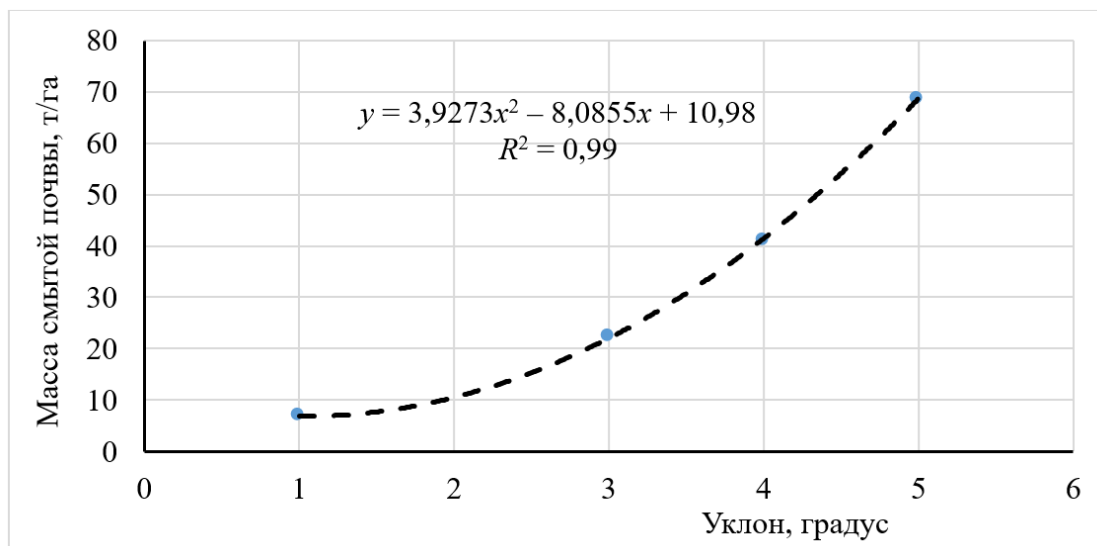


Рисунок 4 – Масса смытой почвы на чистых парах при осадках 40–60 мм в зависимости от уклонов поверхности, 1974–2021 гг.

Figure 4 – The mass of eroded soil on bare fallows during precipitation 40–60 mm depending on surface slopes, 1974–2021

Несколько в ином плане происходит развитие эрозионных процессов на посевах сельскохозяйственных культур. Влияние растительного покрова на эрозионные процессы при выпадении ливневых дождей заключается в предохранении поверхности почвы от ударов капель дождя, скреплении пахотного слоя корневыми системами, увеличении шероховатости поверхности, а следовательно, уменьшении скорости водных потоков. Чаще всего на первый план здесь выходит величина проективного покрытия поверхности почвы растительным покровом. Далее идет масса корней в пахотном слое.

Из всех сельскохозяйственных культур лучшей почвозащитной способностью обладают многолетние травы. Они покрывают почву в течение

всего года, хотя величина проективного покрытия почвы в осенний, зимний и весенний периоды несколько снижается. Немаловажен год жизни трав. Лучшие показатели по почвозащитной способности у трав 2-го и 3-го года жизни в силу мощного развития корневой системы. Масса корней к этому времени в слое почвы 0–0,3 м составляет 5–7 т/га.

Озимые зерновые уступают многолетним травам, так как покрывают почву от 8 до 10 месяцев в году с максимальной степенью покрытия в мае-июле. Яровые зерновые культуры надежно защищают почвы от смыва в течение двух летних месяцев – июнь – июль, пропашные – лишь 1,5–2,0 месяца – июль и август. Данные наших наблюдений о величине проективного покрытия разными группами сельскохозяйственных культур в течение периода выпадения ливневых дождей представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Проектное покрытие почвы разными группами сельскохозяйственных культур по месяцам, 2016–2020 гг.
Table 3 – Projective soil cover by different groups of agricultural crops by months, 2016–2020

Группа культур	Проектное покрытие почвы по месяцам				
	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь
Многолетние травы	100	100	100	100	20–30
Однолетние травы	10–30	40–60	80–100	100–70	40–50
Озимые культуры сплошного сева	40–50	80–100	100–60	20	10–20
Яровые культуры сплошного сева	20	50–60	70–90	10–20	0
Пропашные культуры (кукуруза, подсолнечник)	5–10	20–30	40–50	70–80	30–20

Из представленных данных следует, что почвозащитные свойства сельскохозяйственных культур увеличиваются по мере нарастания биомассы. Данное положение подтверждается исследованиями, проведенными методом искусственного дождевания на эродированных обыкновенных черноземах.

Исходя из полученных данных, следует отметить, что максимальный смыв почвы наблюдался на посевах пропашных культур. На посевах куку-

рузы и подсолнечника высокие показатели смыва почвы имели место в июле, когда проективное покрытие поверхности почвы не превышало 40 %. Потери почвы от ливневых дождей с суммой осадков 50 мм в этот период на склонах до 2,5° составили 18,8 т/га, а на склонах 3,5–5,0° – 30 т/га.

Заметно меньше был смыв почвы на посевах зерновых культур. На склонах до 2,5° – 4,7 т/га, на склонах 3,5–5,0° – 8,8 т/га. Это объясняется большей величиной проективного покрытия поверхности почвы растениями и достаточно хорошо развитой корневой системой растений. К этому следует добавить, что различное количество смываемой почвы по годам также зависело от интенсивности дождя.

При выпадении ливневых дождей в августе и сентябре решающее влияние на смыв почвы оказывают способы обработки почвы, которая проводится сразу после уборки ряда сельскохозяйственных культур (зерновые колосовые, зернобобовые), и нулевые обработки, т. е. без обработок почвы, стерня убранных культур остается на поверхности.

В 2021 г. после уборки озимой пшеницы на поле восточной экспозиции крутизной 0,5–1,5° проведено дискование на глубину 8–10 см вдоль склона. Границей поля в нижней части была стокорегулирующая 5-рядная лесная полоса из робинии лжеакация посадки 1973 г. Образованные при дисковании бороздки явились каналами стока ливневых вод. Величина смыва по обработанной стерне озимой пшеницы составила 27 т/га, а потоки ливневых вод прорвали все пять рядов лесной полосы по трем потяжинам, сформировав промоины глубиной 20–21 см и шириной 70–80 см, и устремились на нижележащее поле чистого пара. Ширина водороев по потяжине на чистом пару составила 13–16 м при глубине 6–7 см.

На рядом расположенном поле с такой же крутизной склона, но северной экспозиции за три дня до выпадения ливня была проведена отвальная вспашка поперек склона на глубину 20–22 см. Все выпавшие осадки

ливневого дождя были поглощены на месте выпадения, и смыва почвы не наблюдалось, так как согласно проведенным нами ранее исследованиям водопроницаемость такого агрофона характеризуется как провальная, в связи с чем стока не наблюдается (рисунок 5).

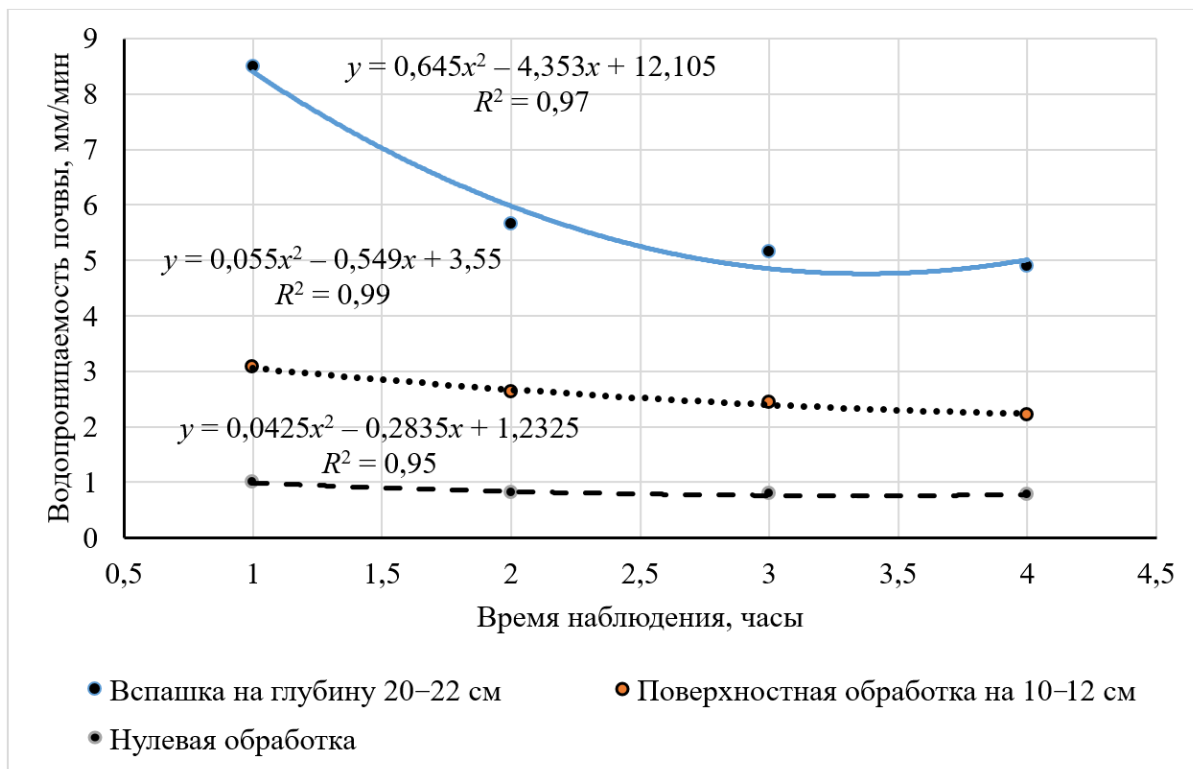


Рисунок 5 – Водопроницаемость почвы при различных способах ее подготовки, 2016–2020 гг.

Picture 5 – Soil permeability with different ways of its preparation, 2016–2020

Этот пример еще раз указывает на основополагающие положения по проведению всех видов агротехнических операций поперек склона, а еще лучше по горизонтам рельефа.

Интенсивность развития эрозионных процессов на посевах озимых культур в конце лета – начале осени во многом зависит от способов обработки почвы, сроков посева и послепосевных работ. Подготовка почвы под посев и сам посев озимых культур сопровождается несколькими технологическими операциями (культивация, посев, прикатывание), что существенно влияет на агрофизические свойства верхнего слоя почвы 0–30 см.

При этом следует заметить, что после непаровых предшественников способы подготовки почвы бывают различные. В наших исследованиях изучались три основных вида подготовки почвы под посев озимой пшеницы: отвальная вспашка на глубину 16–18 см, плоскорезная и поверхностная обработки на глубину соответственно 16–18 и 10–12 см. Предшественник – озимая пшеница по чистому пару (таблица 4).

Таблица 4 – Физические свойства пахотного слоя под посевами озимой пшеницы осенью, 2016–2020 гг.
Table 4 – Physical properties of top soil under winter wheat sowing in autumn, 2016–2020

Показатель	Способ подготовки почвы								
	Отвальная вспашка на 16–18 см			Плоскорезная обработка на 16–18 см			Поверхностная обработка на 10–12 см		
Слой почвы, см	0–10	10–20	20–30	0–10	10–20	20–30	0–10	10–20	20–30
Плотность сложения, г/см ³	1,14	1,17	1,26	1,12	1,16	1,25	1,14	1,22	1,27
Порозность общая, %, в т. ч.:	55,4	53,6	50,4	54,2	53,0	50,0	55,1	50,6	48,3
- капиллярная	41,5	40,6	40,5	41,0	40,2	40,5	41,0	40,5	38,9
- некапиллярная	13,9	13,0	9,9	13,2	12,8	9,5	14,1	10,1	9,4
Водопрочные агрегаты > 0,25 мм, %	49,7	50,3	54,9	50,3	48,7	53,3	46,5	51,3	54,2

Как показали результаты исследований, способы обработки почвы по-разному повлияли на агрофизические свойства пахотного слоя. Плотность сложения слоя 0–30 см на отвальной вспашке составила 1,19 г/см³, плоскорезной – 1,18 г/см³ и поверхностной (дискование) – 1,21 г/см³. Отмечается заметный переход по плотности сложения между слоями 0–20 и 20–30 см, что практически отсутствует при зяблевой вспашке. Данный нюанс отразился на величине общей пористости, и особенно на соотношении некапиллярных пор и капиллярных. Оно составляет по отвальной вспашке 1:3,3, плоскорезной 1:3,4 и поверхностной 1:3,6 при общей пористости по отвальной вспашке 53,1 %, плоскорезной обработке – 52,4 % и поверхностной – 51,3 %. Особенно заметен переход между слоем 0–10 см и нижележащими слоями при поверхностной обработке.

По количеству водопрочных агрегатов в пахотном горизонте все способы обработки близки между собой. Вместе с тем если рассматривать по слоям, то больше всего распылена почва в слое 0–10 см после поверхностной обработки. Если к этому прибавить такой технологический прием, как прикатывание посевов, который выравнивает и уплотняет почву, а количество водопроводящих (некапиллярных) пор еще более снижает, выпадение ливневых дождей на склонах сопровождается развитием эрозионных процессов. В качестве примера мы можем привести результаты наблюдений за смывом почвы после выпадения ливневого дождя суммой 55,8 мм за сутки в первой декаде сентября (рисунок б).

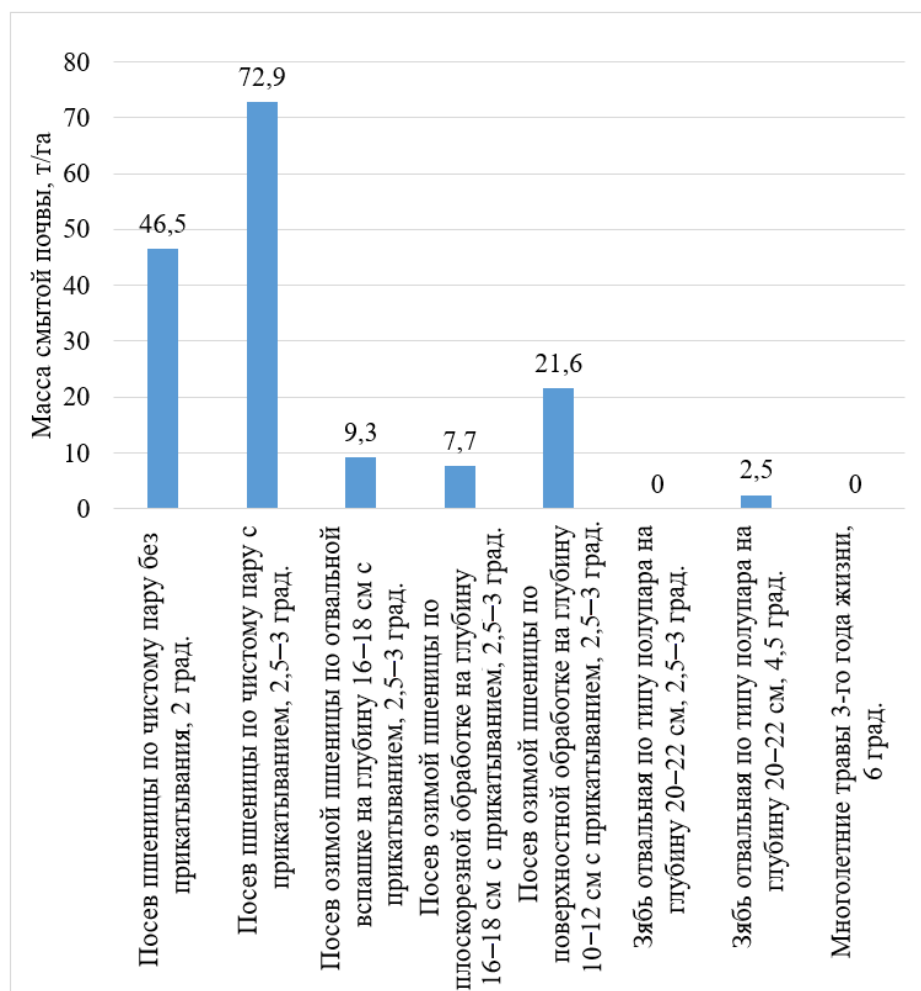


Рисунок б – Влияние посева сельскохозяйственной культуры или агрофона на массу смытой почвы, 1974–2021 гг.

Figure 6 – The impact of crop sowing or agricultural background per mass of eroded soil, 1974–2021

Как следует из представленных данных, наибольшие потери почвы на посевах озимой пшеницы наблюдались по предшественнику чистый пар с прикатыванием. В 1,6 раза они были меньше на участках без прикатывания. Если рассматривать способы подготовки почвы после непаровых предшественников, максимальный смыв почвы был в варианте поверхностной обработки, т. е. там, где увеличивалась плотность сложения почвы с глубины 10 см. Заметно меньше были потери почвы при плоскорезной обработке – в 2,8 раза по отношению к поверхностной обработке и 1,2 раза к отвальной вспашке. Данное обстоятельство можно объяснить некоторым количеством стерни и пожнивных остатков (0,8–1,1 т/га) на поверхности почвы, которые обеспечили большую ее шероховатость, снижая тем самым скорость водных потоков.

Для сравнения были приведены данные о смыве почвы на зяби, обработанной по типу полупара. Здесь смыв незначительных объемов имел место на склонах выше 4°. Отсутствовал смыв почвы под многолетними травами даже на склонах 6–7°.

Выводы

1 На черноземах обыкновенных Ростовской области наибольшая эрозия почвы наблюдается при ливневых дождях с интенсивностью 1,8–2,2 мм/мин и суммой осадков более 50 мм за один дождь или выпадающих через небольшой промежуток друг за другом. При интенсивности дождя до 1,8 мм/мин на склонах от 3,5 до 5,5° минимальными потерями почвы характеризовались дожди до 10 мм. Величина смыва здесь составила в среднем 8,2 т/га. При слое осадков от 20–30 мм количество смытой почвы немного превышает 30 т/га, и максимальные потери почвы имели место, когда за один дождь количество осадков превышало 50 мм.

2 Увеличению смыва почвы способствует наличие в севообороте чистого пара и пропашных культур. На чистом пару увеличение плотности сложения происходит равномерно по глубине пахотного слоя после прове-

дения двух-трех культиваций. При этом на паровом поле после трех культиваций формируется уплотненная прослойка, которая уменьшает водопроницаемость почвы с 1,52 мм/мин весной перед культивацией до 0,89 мм/мин осенью после посева озимой пшеницы. Именно эта уплотненная прослойка и снижение водопроницаемости влияют впоследствии на массу смытой почвы при эрозии.

3 Из сельскохозяйственных культур лучшей почвозащитной способностью обладают многолетние травы 2-го и 3-го года жизни из-за большой массы корней (5–7 т/га) и проективного покрытия поверхности почвы, которое достигает 100 % (с начала отрастания в апреле-мае по конец августа). В то же время максимальный смыв почвы происходит на посевах пропашных культур, проективное покрытие почвы у которых достигает 40–80 % только в июле и августе. Поэтому потери почвы составили при уклонах 2,5° 18,8 т/га, а на склонах 3,5–5,0° – 30,0 т/га, в то время как на посевах озимой пшеницы они составили соответственно на склонах до 2,5° 4,7 т/га, на склонах 3,5–5,0° – 8,8 т/га.

Список источников

1. A soil erosion indicator for supporting agricultural, environmental and climate policies in the European Union / P. Panagos, C. Ballabio, J. Poesen, E. Lugato, S. Scarpa, L. Montanarella, P. Borrelli // *Remote Sens.* 2020. 12(9). 1365. <https://doi.org/10.3390/rs12091365>.
2. Phuong T. T., Shrestha R. P., Chuong H. V. Simulation of soil erosion risk in the upstream area of Bo river watershed // *Redefining Diversity & Dynamics of Natural Resources Management in Asia.* 2017. Vol. 3. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-805452-9.00006-0>.
3. Land use and climate change impacts on global soil erosion by water (2015–2070) / P. Borrelli, D. A. Robinson, P. Panagos, E. Lugato, J. E. Yang, C. Alewell, D. Wuepper, L. Montanarella, C. Ballabio // *PNAS.* 2020, Sept. 8. 117(36). P. 21994–22001. <https://doi.org/10.1073/pnas.2001403117>.
4. Potential effects of climate change on soil properties: A review / R. Karmakar, I. Das, D. Dutta, A. Rakshit // *Science International.* 2016. Vol. 4. P. 51–73. DOI: 10.17311/sciintl.2016.51.73.
5. География динамики земледельческой эрозии почв европейской территории России / Л. Ф. Литвин, З. П. Кирюхина, С. Ф. Краснов, Н. Г. Добровольская // *Почвоведение.* 2017. № 11. С. 1390–1400.
6. Условия формирования поверхностного стока. Прогноз причиняемого ущерба. Компенсационные мелиоративные мероприятия / В. Н. Щедрин, Г. Т. Балакай, Е. В. Полужков, Н. И. Балакай. Новочеркасск: РосНИИПМ, 2016. 450 с.
7. Mhazo N., Chivenge P., Chaplot V. Tillage impact on soil erosion by water: dis-

crepancies due to climate and soil characteristics // *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 2016. 230. P. 231–241. <http://dx.doi.org/10.1016/j.agee.2016.04.033>.

8. Examining the potential for climate change mitigation from zero tillage / S. Mangalassery, S. Sjögersten, D. L. Sparkes, S. J. Mooney // *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 2015, Sept. Vol. 153, iss. 7. P. 1151–1173. <https://doi.org/10.1017/S0021859614001002>.

9. Полуэктов Е. В., Балакай Г. Т. Влияние изменения климата на юге России на сток талых вод // *Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации [Электронный ресурс]*. 2020. № 4(40). С. 88–102. URL: http://www.rosniipm-sm.ru/dl_files/udb_files/udb4-rec1161-field12.pdf (дата обращения: 01.12.2021). DOI: 10.31774/2222-1816-2020-4-88-102.

10. Современные тенденции изменения водной эрозии почвы на склоновых агроландшафтах Саратовского Правобережья / Н. М. Жолинский, И. Н. Кораблёва, В. А. Тарбаев, Р. Р. Гафуров, А. А. Аркадьева, А. П. Несват // *Известия Оренбургского государственного аграрного университета*. 2019. № 4(78). С. 34–37.

11. Сурмач Г. П. Водная эрозия и борьба с ней. Л., 1976. 256 с.

12. Барабанов А. Т., Кулик А. В. Научное обоснование инновационного проекта агролесомелиоративного адаптивно-ландшафтного обустройства балочных водосборов // *Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование*. 2017. № 2(46). С. 67–73.

13. Сухомлинова Н. Б., Чешев А. С. Эколого-мелиоративные мероприятия в районах с развитой эрозией почв // *Экономика и экология территориальных образований*. 2019. Т. 3, № 1. С. 35–45.

14. Elhakim A. F. Estimation of soil permeability // *Alexandria Engineering Journal*. 2016, Aug. Vol. 55, iss. 3. P. 2631–2638. DOI: 10.1016/j.aej.2016.07.034.

15. Полуэктов Е. В. Противозерозионные мероприятия мелиорации земель. Новочеркасск: Лик, 2011. 251 с.

16. Дьяков В. Н. Совершенствование метода учета смыва почв по водоросинам // *Почвоведение*. 1984. № 3. С. 146–148.

17. Методические рекомендации по учету поверхностного стока и смыва почвы при изучении водной эрозии. Л.: Гидрометеиздат, 1975. 88 с.

18. Соблев С. С. Защита почв от эрозии и повышение их плодородия. М.: Сельхозиздат, 1961. 231 с.

19. Вадюнина А. Ф., Корчагина З. А. Методы исследования физических свойств почв: учеб. пособие. 3-е изд., перераб. и доп. М.: Агропромиздат, 1986. 415 с.

20. Астапов С. В. Мелиоративное почвоведение: практикум. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Сельхозгиз, 1958. 367 с.

References

1. Panagos P., Ballabio C., Poesen J., Lugato E., Scarpa S., Montanarella L., Borrelli P., 2020. A soil erosion indicator for supporting agricultural, environmental and climate policies in the European Union. *Remote Sens.*, 12(9), 1365, <https://doi.org/10.3390/rs12091365>.

2. Phuong T.T., Shrestha R.P., Chuong H.V., 2017. Simulation of soil erosion risk in the upstream area of Bo river watershed. *Redefining Diversity & Dynamics of Natural Resources Management in Asia*, vol. 3, <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-805452-9.00006-0>.

3. Borrelli P., Robinson D.A., Panagos P., Lugato E., Yang J.E., Alewell C., Wuepper D., Montanarella L., Ballabio C., 2020. Land use and climate change impacts on global soil erosion by water (2015–2070). *PNAS*, Sept. 8, 117(36), pp. 21994–22001, <https://doi.org/10.1073/pnas.2001403117>.

4. Karmakar R., Das I., Dutta D., Rakshit A., 2016. Potential effects of climate change on soil properties: A review. *Science International*, vol. 4, pp. 51–73, DOI: 10.17311/sciintl.2016.51.73.

5. Litvin L.F., Kiryukhina Z.P., Krasnov S.F., Dobrovolskaya N.G., 2017. *Geografiya dinamiki zemledel'cheskoy erozii pochv evropeyskoy territorii Rossii* [Geography of dynamics of agricultural soil erosion in European Russia]. *Pochvovedenie* [Eurasian Soil Science], no. 11, pp. 1390-1400. (In Russian).

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

7. Mhazo N., Chivenge P., Chaplot V., 2016. Tillage impact on soil erosion by water: discrepancies due to climate and soil characteristics. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 230, pp. 231-241, <http://dx.doi.org/10.1016/j.agee.2016.04.033>.

8. Mangalassery S., Sjögersten S., Sparkes D.L., Mooney S.J., 2015. Examining the potential for climate change mitigation from zero tillage. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, Sept., vol. 153, iss. 7, pp. 1151-1173, <https://doi.org/10.1017/S0021859614001002>.

9. Poluektov E.V., Balakai G.T., 2020. [Impact of climate change on the melt water runoff in the south of Russia]. *Nauchnyy Zhurnal Rossiyskogo NII Problem Melioratsii*, no. 4(40), pp. 88-102, available: http://www.rosniipm-sm.ru/dl_files/udb_files/udb4-rec1161-field12.pdf [accessed 01.12.2021], DOI: 10.31774/2222-1816-2020-4-88-102. (In Russian).

10. Zholinsky N.M., Korableva I.N., Tarbaev V.A., Gafurov R.R., Arkad'eva A.A., Nesvat A.P., 2019. *Sovremennye tendentsii izmeneniya vodnoy erozii pochvy na sklonovykh agrolandshaftakh Saratovskogo Pravoberezh'ya* [Current trends of changes in soil water erosion on slope agro-landscapes of Saratov Pravoberezh'ye]. *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [Proc. of Orenburg State Agrarian University], no. 4(78), pp. 34-37. (In Russian).

11. Surmach G.P., 1976. *Vodnaya eroziya i bor'ba s ney* [Water Erosion and Its Control]. Leningrad, 256 p. (In Russian).

12. Barabanov A.T., Kulik A.V., 2017. *Nauchnoye obosnovaniye innovatsionnogo proyekta agrolesomeliorativnogo adaptivno-landshaftnogo obustroystva balochnykh vodosborov* [Scientific substantiation of innovative project of agroforestry reclamation adaptive-landscape arrangement of gully catchments]. *Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: nauka i vysshee professional'noe obrazovanie* [Bull. of Nizhnevolzhsky Agrouniversity Complex: Science and Higher Professional Education], no. 2(46), pp. 67-73. (In Russian).

13. Sukhomlinova N.B., Cheshev A.S., 2019. *Ekologo-meliorativnye meropriyatiya v rayonakh s razvitoy eroziyey pochv* [Ecological and reclamation measures in areas with developed soil erosion]. *Ekonomika i ekologiya territorial'nykh obrazovaniy* [Economics and Ecology of Territorial Formations], vol. 3, no. 1, pp. 35-45. (In Russian).

14. Elhakim A.F., 2016. Estimation of soil permeability. *Alexandria Engineering Journal*, Aug., vol. 55, iss. 3, pp. 2631-2638, DOI: 10.1016/j.aej.2016.07.034.

15. Poluektov E.V., 2011. *Protivoerozionnye meropriyatiya melioratsii zemel'* [Anti-erosion Measures of Land Reclamation]. Novocherkassk, Lik Publ., 251 p. (In Russian).

16. D'yakov V.N., 1984. *Sovershenstvovanie metoda ucheta smyva pochv po vodoroinam* [Improving the method of registering soil washout by water bodies]. *Pochvovedenie* [Eurasian Soil Science], no. 3, pp. 146-148. (In Russian).

17. *Metodicheskie rekomendatsii po uchetu poverkhnostnogo stoka i smyva pochvy pri izuchenii vodnoy erozii* [Guidelines for Registering Surface Runoff and Soil Washout in the Study of Water Erosion]. Leningrad, Gidrometeoizdat Publ., 1975, 88 p. (In Russian).

18. Sobolev S.S., 1961. *Zashchita pochv ot erozii i povyshenie ikh plodorodiya* [Protection of Soils from Erosion and Increase of Their Fertility]. Moscow, Selhozizdat Publ., 231 p. (In Russian).

19. Vadyunina A.F., Korchagina Z.A., 1986. *Metody issledovaniya fizicheskikh svoystv pochv: ucheb. posobie* [Methods for Studying the Physical Properties of Soils: textbook]. 3rd ed., rev., Moscow, Agropromizdat Publ., 415 p. (In Russian).

20. Astapov S.V., 1958. *Meliorativnoe pochvovedenie: praktikum* [Reclamation Soil Science: workshop]. 2nd ed., rev., Moscow, Selkhozgiz Publ., 367 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 interest.

Статья поступила в редакцию 29.12.2021; одобрена после рецензирования 11.02.2022; принята к публикации 15.02.2022.

The article was submitted 29.12.2021; approved after reviewing 11.02.2022; accepted for publication 15.02.2022.