

МЕЛИОРАЦИЯ, ВОДНОЕ ХОЗЯЙСТВО И АГРОФИЗИКА

Научная статья

УДК 631.4:551.5

doi: 10.31774/2712-9357-2023-13-1-1-18

Эрозионные процессы при стоке талых вод 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: установить закономерности стока талых вод и эрозии почвы на черноземах Ростовской области за многолетний период наблюдений 1970–2021 гг. **Методы.** Были заложены полевые опыты на склонах на уплотненной пашне (посевы многолетних и озимых сельскохозяйственных культур) и рыхлой пашне (осенняя вспашка зяби). Учет стока талых вод и осадков в период таяния снега и смыва почвы проводился на водобалансовой площадке п. Степной Ростовской области. Изучены основные физические и водно-физические свойства почвы в период таяния снега (глубина промерзания, влажность верхнего слоя почвы 0,30 см, водопроницаемость) по общепринятым методикам. **Результаты.** Проведен анализ натурных наблюдений за период с 1970 по 2021 г. за параметром «запасы воды в снеге перед таянием + осадки в период таяния снега», который составил в среднем за 52 года 47,8 мм на уплотненной пашне и 43,15 мм на рыхлой пашне, коэффициент стока был выше на уплотненной пашне и составил соответственно 0,25 и 0,10, смыв почвы за 21 год наблюдений (2000–2021 гг.) составил на уплотненной пашне в среднем 4,3 т/га, а за годы с проявлением поверхностного стока 10,6 т/га, на рыхлой пашне этот показатель увеличился соответственно до 5,9 и 20,7 т/га. Математический анализ данных позволил установить взаимосвязь между величинами стока, смыва почвы и запасами воды в снеге, глубиной промерзания и водопроницаемостью почвы в период стока. **Выводы.** Многолетними исследованиями (52 года) установлено, что на уплотненной пашне наблюдается большее накопление воды в снеге, чем на рыхлой пашне, при этом коэффициент стока был в 2,5 раза выше на уплотненной пашне, но на уплотненной пашне растения удерживают частицы почвы и смыв почвы в среднем за годы с проявлением поверхностного стока составил 10,6 т/га, а на рыхлой пашне этот показатель увеличился до 20,7 т/га. Установлена взаимосвязь между величиной стока, смыва почвы и запасами воды в снеге, глубиной промерзания и водопроницаемостью почвы в период стока.

Ключевые слова: талые воды, эрозия, поверхностный сток, смыв почвы, состояние почвы, уплотненная и рыхлая пашня

Для цитирования: Полуэктов Е. В., Балакай Г. Т. Эрозионные процессы при стоке талых вод на юге европейской части России // Мелиорация и гидротехника. 2023. Т. 13, № 1. С. 1–18. <https://doi.org/10.31774/2712-9357-2023-13-1-1-18>.

LAND RECLAMATION, WATER MANAGEMENT AND AGROPHYSICS

Original article

Erosion processes during the melt water runoff 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 determine the regularities of melt water runoff and soil erosion on the chernozems of Rostov region for a long-term observation period of 1970–2021. **Methods.** Field experiments were carried out on slopes on compacted arable land (perennial and winter crops) and loose arable land (autumn ploughing). Measuring of melt water runoff and precipitation during the period of snow melting and soil washout was carried out on the water balance site of Stepnoy village Rostov region. The main physical and water-physical properties of soil during the snow melting period (freezing depth, moisture content of the upper soil layer 0.30 cm, water permeability) were studied according to generally accepted methods. **Results.** An analysis of field observations for the period from 1970 to 2021 was carried out for the parameter “snow water reserves before melting + precipitation during the snow melting period”, which averaged 47.8 mm over 52 years on compacted arable land and 43.15 mm on loose arable land, the runoff coefficient was higher on compacted arable land and amounted to 0.25 and 0.10, respectively; with appearance of surface runoff of 10.6 t/ha, this indicator increased to 5.9 and 20.7 t/ha on loose arable land, respectively. Mathematical analysis of the data made it possible to establish the relationship between the values of runoff, soil washout and water reserves in snow, the depth of soil freezing and water permeability during the runoff period. **Conclusions.** Long-term studies (52 years) found that there is a greater accumulation of water in snow on compacted arable land than on loose arable land, while the runoff coefficient was 2.5 times higher on compacted arable land, but the plants retain soil particles on compacted arable land, and soil washout on average over the years with the manifestation of surface runoff, was 10.6 t/ha, while on loose arable land this figure increased to 20.7 t/ha. The relationship between runoff rate, soil washout and water reserves in snow, the depth of soil freezing and water permeability during the runoff has been determined.

Keywords: melt water, erosion, surface runoff, soil washout, soil status, compacted and loose arable land

For citation: Poluektov E. V., Balakay G. T. Erosion processes during the melt water runoff in the south of the European part of Russia. *Land Reclamation and Hydraulic Engineering*. 2023;13(1):1–18. (In Russ.). <https://doi.org/10.31774/2712-9357-2023-13-1-1-18>.

Введение. Эрозия почвы от талых вод – одна из основных причин потери плодородия почвы в связи со смывом верхнего самого плодородного ее слоя [1]. На показатели эрозии влияют разные биотические и абиотические факторы, причем ученые среди наиболее влиятельных выделяют

такие: изменение климата [2, 3], состояние агроландшафтов [4–6], глубина промерзания и водопроницаемость почвы [1, 7, 8], агрофон и способы обработки почвы [9–11], агролесомелиоративные мероприятия [12–14] и др.

Анализ материалов агроклиматических справочников с данными о юге европейской территории России, например Ростовской области, показал, что произошло повышение температуры воздуха на 1,5–1,9 °С с потеплением и снижение температуры в зимние месяцы, это отразилось на глубине промерзания, водопроницаемости мерзлой почвы и закономерностях стока талых вод, т. е. из-за меньшего промерзания слоя почвы вода при таянии снега успевает впитываться в почву [13]. В связи с этим целью данной работы является установление закономерностей стока талых вод и эрозии почвы за многолетний период наблюдений 1970–2021 гг., разбитый на периоды.

Материалы и методы. Исследования проводились на черноземах обыкновенных различной степени эродированности в пределах Приазовской наклонной равнины в системе полевых севооборотов п. Степной Ростовской области. Сток и смыв почвы учитывались в водосборных лотках [1]. Физические и водно-физические свойства почвы в период таяния снега (глубина промерзания, влажность верхнего слоя почвы 0–0,03 м, водопроницаемость) определялись общепринятыми в почвоведении и земледелии методами, описанными А. Ф. Вадюниной и З. А. Корчагиной [15]. Полученные данные обрабатывались с помощью компьютерных программ Statistika и Microsoft Excel.

Результаты и обсуждения. Для изучения закономерностей изменения климата и стока талых вод период наблюдений (52-летний, с 1970 по 2021 г.) был условно разделен на три периода: 1970–1990, 1991–2009 и 2010–2021 гг., по которым был проведен анализ данных (таблица 1).

Таблица 1 – Характеристика стокообразующих факторов, величины стока талых вод и смыва почвы, 1970–2021 гг.

Table 1 – Characteristics of runoff-forming factors, melt water runoff and soil washout, 1970–2021

Показатель	Период		
	1970–1990	1991–2009	2010–2021
Средняя температура воздуха зимних месяцев, °С	–3,1	–2,0	–1,7
в т. ч.: декабрь	–1,0	–1,9	–0,7
январь	–4,6	–2,5	–3,0
февраль	–3,6	–2,0	–1,6
Сумма осадков за зимние месяцы, мм	128	153	132
в т. ч.: декабрь	57	53	44
январь	40	48	62
февраль	31	52	26
Запасы воды в снеге, мм			
- рыхлая пашня	51,7	39,7	30,8
- уплотненная пашня	55,6	47,0	34,7
Глубина промерзания почвы перед таянием снега, м			
- рыхлая пашня	0,46	0,34	0,17
- уплотненная пашня	0,49	0,37	0,19
Просачивание (впитывание) талых вод, мм			
- рыхлая пашня	27,0	28,1	28,1
- уплотненная пашня	42,5	40,2	29,3
Сток, мм			
- рыхлая пашня, в среднем:			
а) за все годы наблюдений;	9,8	6,1	2,8
б) в годы со стоком	29,3	24,5	16,6
- уплотненная пашня в среднем:			
а) за годы наблюдений;	24,1	11,9	4,2
б) в годы со стоком	51,0	47,5	25,1
Смыв почвы в среднем, т/га			
- рыхлая пашня:			
а) за годы наблюдений;	7,5	7,01	4,8
б) в годы со стоком	27,1	23,4	17,9
- уплотненная пашня:			
а) за годы наблюдений;	10,2	6,8	2,6
б) в годы со стоком	33,7	26,8	7,7

Установлено закономерное повышение показателей температуры в зимние месяцы (декабрь – февраль) на 1,8 °С с минус 3,1 °С в первом периоде до минус 1,7 °С в третьем периоде, количество осадков также имеет положительный тренд увеличения с 128 мм в первом периоде до 153 мм

во втором и 132 мм в третьем периоде наблюдений, однако запасы воды в снеге перед таянием снижаются на уплотненной пашне с 55,6 мм в первом периоде до 34,7 мм в третьем периоде и на рыхлой пашне соответственно с 51,7 до 30,8 мм, т. е. в 1,6 и 1,7 раза.

Несмотря на увеличение суммы осадков во втором периоде до 153 мм и в третьем до 132 мм по сравнению с 128 мм в первом периоде, средний показатель поверхностного стока за годы исследований уменьшился на рыхлой пашне с 9,8 до 2,8 мм и на уплотненной пашне с 24,1 до 4,2 мм, т. е. в 3,5 и 5,7 раза соответственно. По нашему мнению, это связано в основном с уменьшением глубины промерзания почвы: на уплотненной почве с 0,49 м в первом периоде до 0,19 м в третьем периоде (в 2,6 раза), на рыхлой пашне – с 0,46 до 0,17 м (в 2,7 раза), и объема просачивания (впитывания), например, на уплотненной пашне с 42,5 мм в первом периоде до 29,3 мм в третьем периоде (в 1,5 раза).

В связи с уменьшением поверхностного стока за исследуемый период изменилась соответственно масса смытой почвы. Так, смыв почвы на земельном участке с рыхлой пашней (вспашка зяби) уменьшился в среднем за годы наблюдений с 7,5 т/га в первом периоде наблюдений до 7,01 т/га во втором и 4,8 т/га в третьем периоде (в 1,6 раза), а на уплотненной пашне снижение массы смытой почвы произошло в большей мере (соответственно с 10,2 до 2,6 т/га (в 3,9 раза)).

Анализ количества лет со стоком по периодам показал, что вероятность стока и смыва почвы на рыхлой пашне составляет: 33,3 % по первому периоду, 26,3 % по второму и 16,7 % по третьему, или в среднем за 10 лет вероятность проявления стока снизилась с 3,3 раза в первом периоде до 1,67 раза в третьем периоде. Вероятность стока и смыва почвы на уплотненной пашне вдвое выше, чем на рыхлой пашне, и составляет: 76,2 % в первом периоде, 57,9 % во втором и 33,3 % в третьем периоде, или в среднем за 52 года наблюдений вероятность проявления стока снизилась в 2,29 раза.

Математический анализ данных позволил получить кривые взаимосвязи между поверхностным стоком и запасами воды в снеге, осадками в период таяния снега за многолетний период 1970–2021 гг. (рисунок 1).

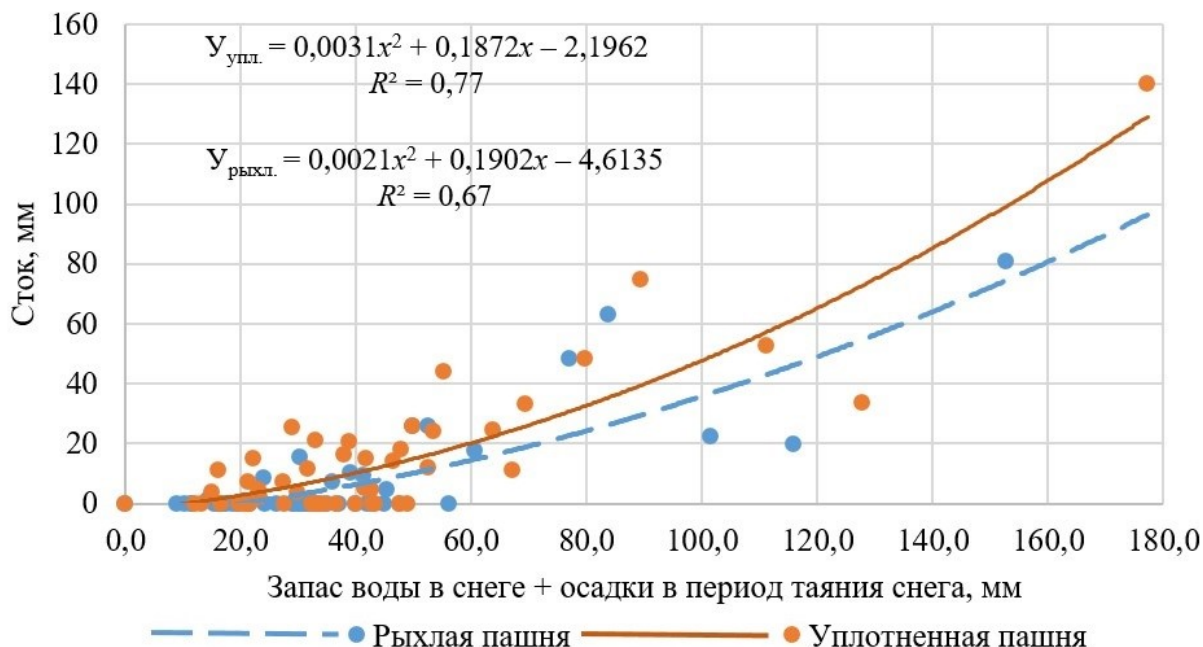


Рисунок 1 – Кривые зависимости поверхностного стока талых вод от запасов воды в снеге и осадков в период таяния снега на рыхлой и уплотненной пашне, 1970–2021 гг.

Figure 1 – Melt water surface runoff influence curves from snow water reserves and precipitation during the melting period on loose and compacted arable land, 1970–2021

При этом на уплотненной пашне вероятность поверхностного стока была на 25 % выше, чем на рыхлой пашне. Уравнения взаимосвязи между поверхностным стоком и запасами воды в снеге перед таянием, коэффициенты аппроксимации приведены на рисунке 1.

Эрозионные процессы являются одними из основных причин смыва и переноса мелкозема с поверхности почвы и снижения плодородия. По литературным данным и нашим наблюдениям, на сток талых вод влияет большое количество факторов: агрофон, уклоны поверхности и экспозиция склона, водно-физические свойства почвы (влажность, водопроницаемость, плотность сложения и пр.), климатические условия (глубина

промерзания, температура и интенсивность таяния снега) и многие другие. Поэтому нами в 2000–2021 гг. были проведены более подробные исследования, посвященные определению влияния основных факторов на поверхностный сток талых вод и смыв почвы на разных агрофонах: на рыхлой пашне (таблица 2) и уплотненной пашне (таблица 3).

За годы исследований 2000–2021 гг. наблюдался сток шесть раз на рыхлой пашне и семь раз на уплотненной пашне. При этом на рыхлой пашне в среднем за все годы исследований (2000–2021 гг.) запас воды в снеге перед таянием + осадки в период таяния составил 36,4 мм, а в среднем за годы с проявлением стока – 51,1 мм, поверхностный сток соответственно равен 6,7 и 23,4 мм и смыв почвы 5,9 и 20,7 т/га.

На уплотненной пашне был выше, чем на рыхлой пашне, такой показатель, как запас воды в снеге перед таянием + осадки в период таяния: в среднем за годы исследований – 39,0 мм, а за годы с проявлением стока – 48,8 мм. Из-за почвозащитной роли растущих растений на уплотненной пашне поверхностный сток составил соответственно 8,0 и 22,4 мм и смыв почвы 4,3 и 10,6 т/га. Как показывают кривые взаимосвязи на рисунке 2, масса смытой почвы на уплотненной пашне всегда была ниже при всех случаях эрозии. Наличие взаимосвязи подтверждают высокие показатели аппроксимации $R^2 = 0,74...0,86$ в полученных уравнениях.

На величину стока определенное влияние оказывает глубина промерзания почвы; мерзлая почва из-за закупорки пор льдом снижает водопроницаемость в десятки и сотни раз, поэтому вода очень медленно впитывается в мерзлую почву. Талая вода накапливается в снеге, затем стекает, образуя поверхностный сток и вызывая эрозию почвы. Нами были аппроксимированы взаимосвязи показателей и установлены зависимости величин стока и массы смытой почвы от глубины промерзания ее перед таянием (рисунок 3).

Таблица 2 – Влияние водно-физических свойств почвы на сток талых вод и смыв почвы с рыхлой пашни, п. Степной

Table 2 – The influence of water-physical properties of soil on melt water runoff and soil washout from loose arable land, Stepnoy village

Год	Запас воды в снеге перед снеготаянием + осадки в период таяния, мм	Глубина промерзания почвы, см	Влажность верхнего слоя почвы 0–30 см, %	Водопроницаемость в период стока, мм/мин	Сток талых вод, мм	Коэффициент стока	Смыв почвы, т/га
2000	30,4	29	26,8	0,88	0	0	0
2001	31,3	35	28,1	0,91	0	0	0
2002	28,9	31	27,3	0,86	0	0	0
2003	83,8	71	40,4	0,001	63,2	0,75	39,6
2004	30,1	28	29,5	0,74	0	0	0
2005	32,2	21	28,1	0,98	0	0	0
2006	60,6	48	40,1	0,003	17,4	0,29	18,4
2007	15,4	5	27,9	1,23	0	0	0
2008	39,1	45	34,5	0,23	10,1	0,26	12,1
2009	19,8	27	32,1	0,871	0	0	0
2010	29,4	31	29,5	0,967	0	0	0
2011	41,1	25	30,8	0,084	22,2	0,54	25,6
2012	18,7	19	32,4	0,917	0	0	0
2013	31,5	34	33,1	0,985	0	0	0
2014	35,8	44	39,8	0,007	7,3	0,2	6,8
2015	19,4	12	29,7	1,019	0	0	0
2016	29,5	15,10	32,2	0,981	0	0	0
2017	46,0	43	31,8	0,003	20,3	0,44	21,4
2018	37,9	21,0	30,00	1,020	0	0	0
2019	41,3	19,0	28,45	1,100	0	0	0
2020	28,4	20,0	29,37	1,182	0	0	0
2021	33,5	21,3	31,05	0,980	0	0	0
Среднее за все годы	36,4	30,7	33,0	0,8	6,7	0,1	5,9
Среднее за годы со стоком	51,1	46,0	36,23	0,05	23,4	0,41	20,7

Таблица 3 – Влияние водно-физических свойств почвы на сток талых вод и смыв почвы с уплотненной пашни, п. Степной

Table 3 – The influence of water-physical properties of soil on melt water runoff and soil washout from compacted arable land, Stepnoy village

Год	Запас воды в снеге перед снеготаянием + осадки в период таяния, мм	Глубина промерзания почвы, см	Влажность верхнего слоя почвы 0–30 см, %	Водопроницаемость в период стока, мм/мин	Сток талых вод, мм	Коэффициент стока	Смыв почвы, т/га
2000	48,9	33	38,9	0,006	0	0	0
2001	43,2	37	28,8	0,47	0	0	0
2002	32,5	34	29,3	0,29	0	0	0
2003	89,3	75	42,7	0,001	74,8	0,84	39,6
2004	34,6	30	29,5	0,34	0	0	0
2005	36,6	24	38,4	0,005	0	0	0
2006	63,7	51	40,7	0,005	24,6	0,39	18,4
2007	16,5	7	27,0	0,45	0	0	0
2008	38,9	41	41,5	0,002	20,6	0,53	5,2
2009	20,8	29	33,2	0,520	0	0	0
2010	32,4	33	29,6	0,470	0	0	0
2011	21,3	30	39,9	0,003	7,1	0,33	3,5
2012	21,3	24	33,8	0,433	0	0	0
2013	42,7	39	40,6	0,004	4,5	0,10	2,8
2014	47,9	48	41,5	0,001	18,2	0,38	5,9
2015	21,5	14	29,5	0,512	0	0	0
2016	33,0	29	30,5	0,613	0	0	0
2017	49,9	41	31,4	0,003	25,9	0,52	18,6
2018	42,9	30	31,1	0,712	0	0	0
2019	47,5	21,4	32,1	0,678	0	0	0
2020	33,6	17,5	30,4	0,796	0	0	0
2021	39,9	22,4	31,3	0,512	0	0	0
Среднее за все годы	39,0	32,3	34,2	0,3	8,0	0,12	4,3
Среднее за годы со стоком	48,8	43,6	39,6	0,003	22,4	0,3	10,6

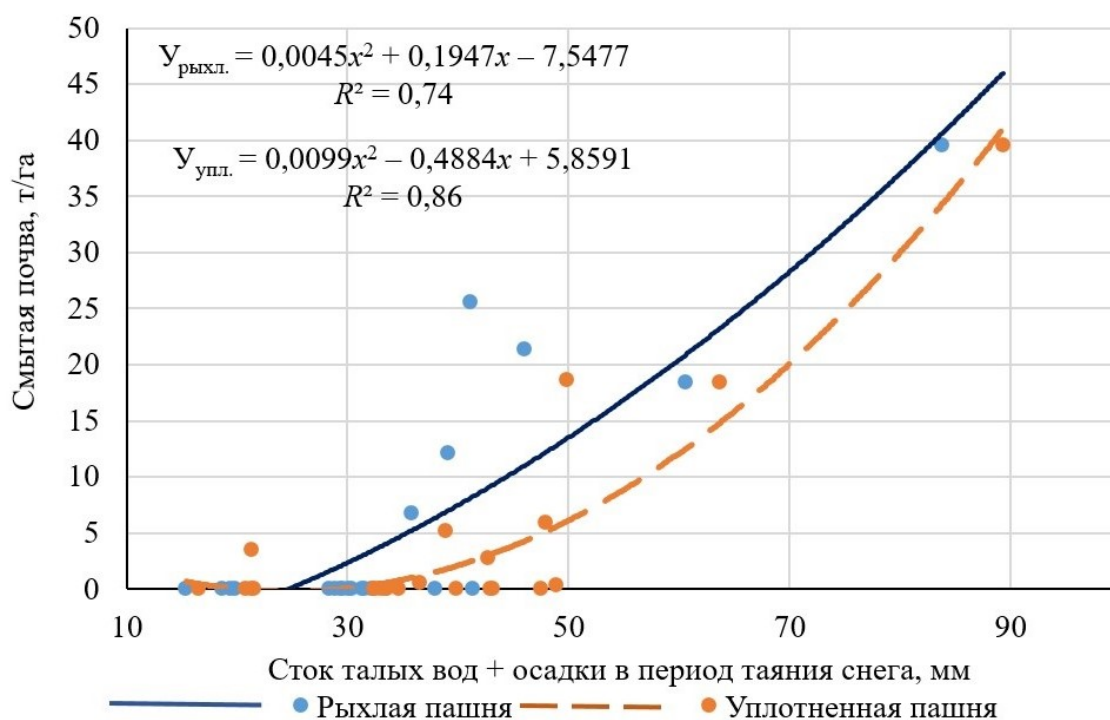


Рисунок 2 – Взаимосвязь между поверхностным стоком талых вод и массой смытой почвы на уплотненной и рыхлой пашне, 2000–2021 гг.

Figure 2 – The relationship between melt water surface runoff and soil washout mass on compacted and loose arable land, 2000–2021

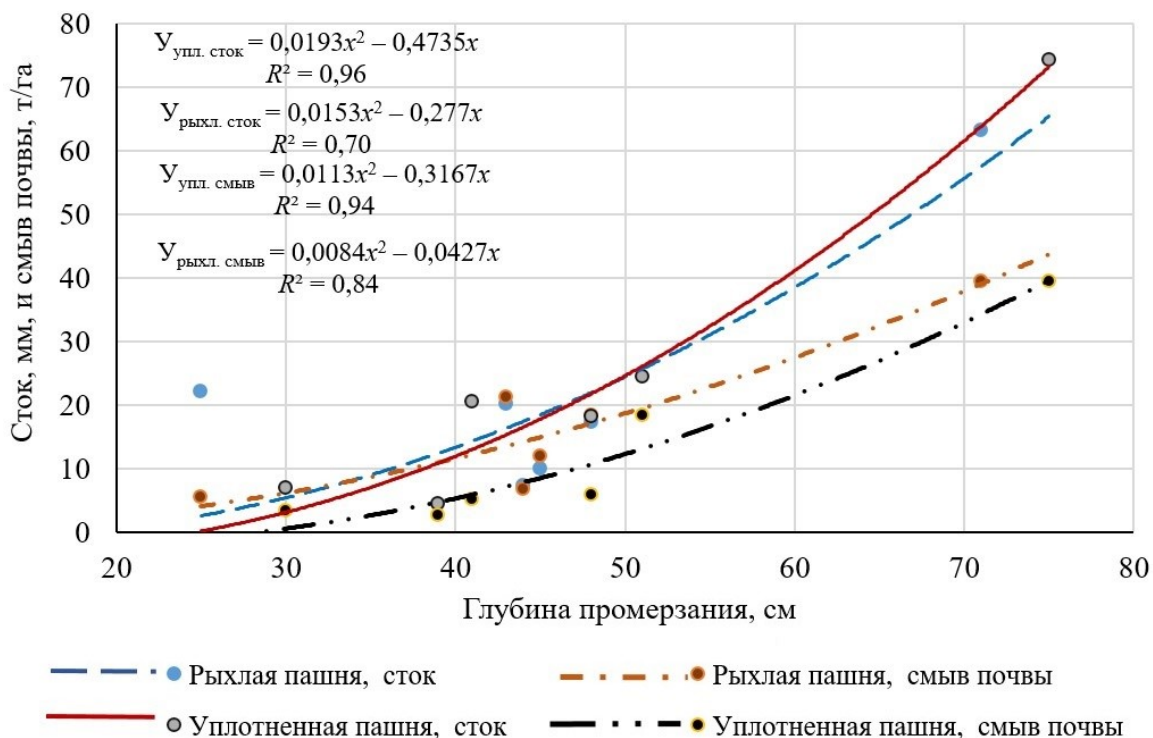


Рисунок 3 – Влияние глубины промерзания на поверхностный сток и смыв почвы с уплотненной и рыхлой пашни, 2000–2021 гг.

Figure 3 – Influence of freezing depth on surface runoff and soil washout from compacted and loose arable land, 2000–2021

Кривые на рисунке 3 показывают, что чем выше глубина промерзания, тем больше величина поверхностного стока талых вод и из-за этого выше смыв почвы. При этом на уплотненной пашне сток выше, чем на рыхлой, но смыв почвы в большей мере происходит на рыхлой пашне, так как выросшие растения (многолетние травы, озимые) на уплотненной пашне задерживают мелкозем в стоке, который оседает на ее поверхности (рисунок 4).



**Рисунок 4 – Сток талых вод на уплотненной пашне
(посевы озимой пшеницы, весна 2017 г., фото Г. Т. Балакая)**

**Figure 4 – Melt water runoff on compacted arable land
(winter wheat crops, spring 2017, photo by G. T. Balakay)**

Если рассматривать структуру стока, то можно отметить, что в обоих случаях на уплотненной и рыхлой пашне основную долю поверхностного стока составляют талые воды – до 98 %, а сток наносов (смытая почва) составляет до 2,5 %. Например, в 2003 г. (год с самыми высокими показателями запасов воды в снеге 89,3 мм и объема стока 74,8 мм) сток воды составил 70,8 мм, или 95,6 %, а объем стока наносов – 3,3 мм, или 4,4 %, выраженный в миллиметрах (при плотности смытого мелкозема 1,2 г/см³ смыв почвы составил 39,6 т/га) (рисунок 5).

Анализ данных показал, что влажность почвы и водопроницаемость не имеют такой тесной связи с глубиной промерзания и, следовательно,

со стоком. Об этом свидетельствует низкий коэффициент аппроксимации, равный $R^2 = 0,39$ и $R^2 = 0,43$ соответственно (рисунок 6).

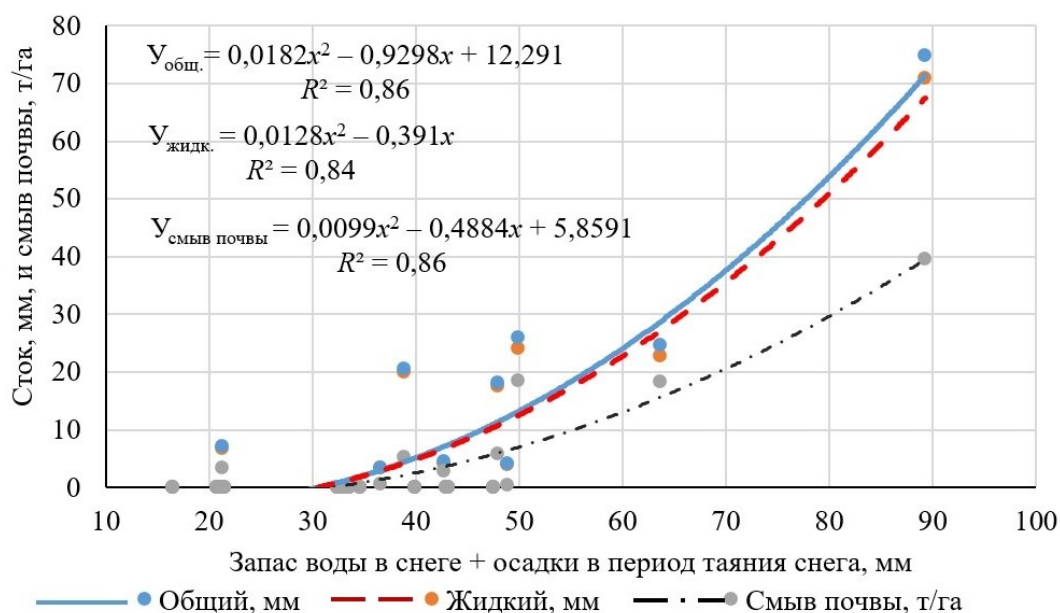


Рисунок 5 – Структура стока талых вод с уплотненной пашни: общий, жидкий, сток наносов (почвы), 2000–2021 гг.

Figure 5 – The structure of melt water runoff from compacted arable land: total, liquid, sediment (soil) runoff, 2000–2021

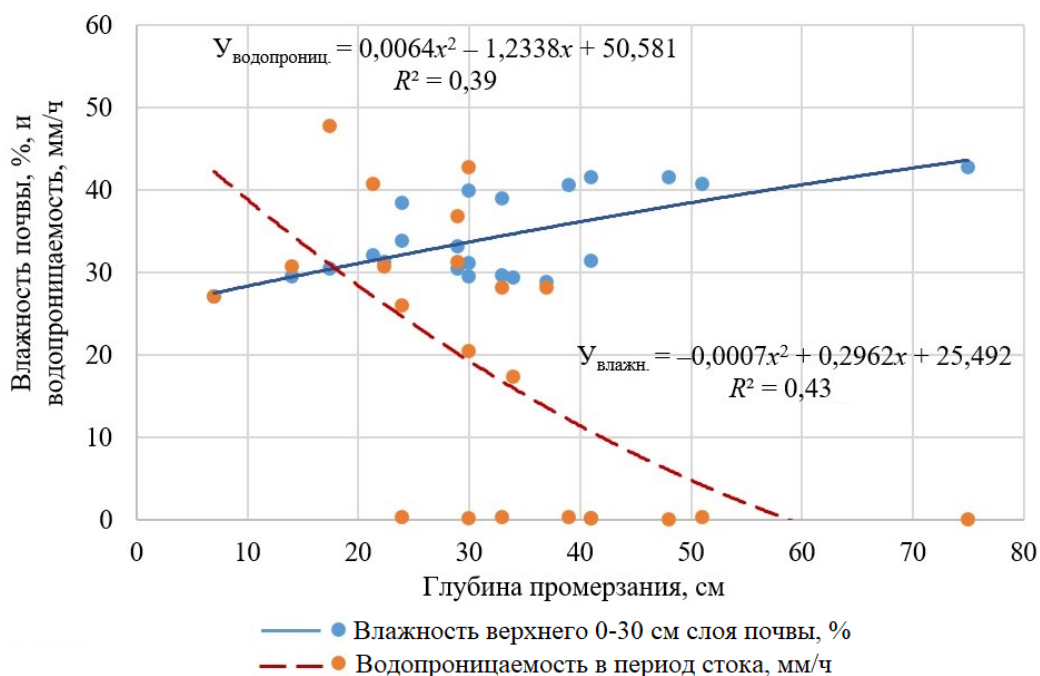


Рисунок 6 – Взаимосвязь между глубиной промерзания, влажностью почвы перед стоком и водопроницаемостью, 2000–2021 гг.

Figure 6 – Relationship between freezing depth, soil moisture before runoff and water permeability, 2000–2021

Приведенные на этом и других рисунках уравнения взаимосвязи будут использованы при разработке программного обеспечения для расчета и прогнозирования стока и величины эрозии почвы в зависимости от изучаемых факторов: запасов воды в снеге, уплотненной или рыхлой пашни, глубины промерзания почвы, влажности почвы перед таянием снега и др.

Многолетний период наблюдений (1970–2021 гг.) позволил установить показатели стока талых вод различной степени обеспеченности (рисунок 7).

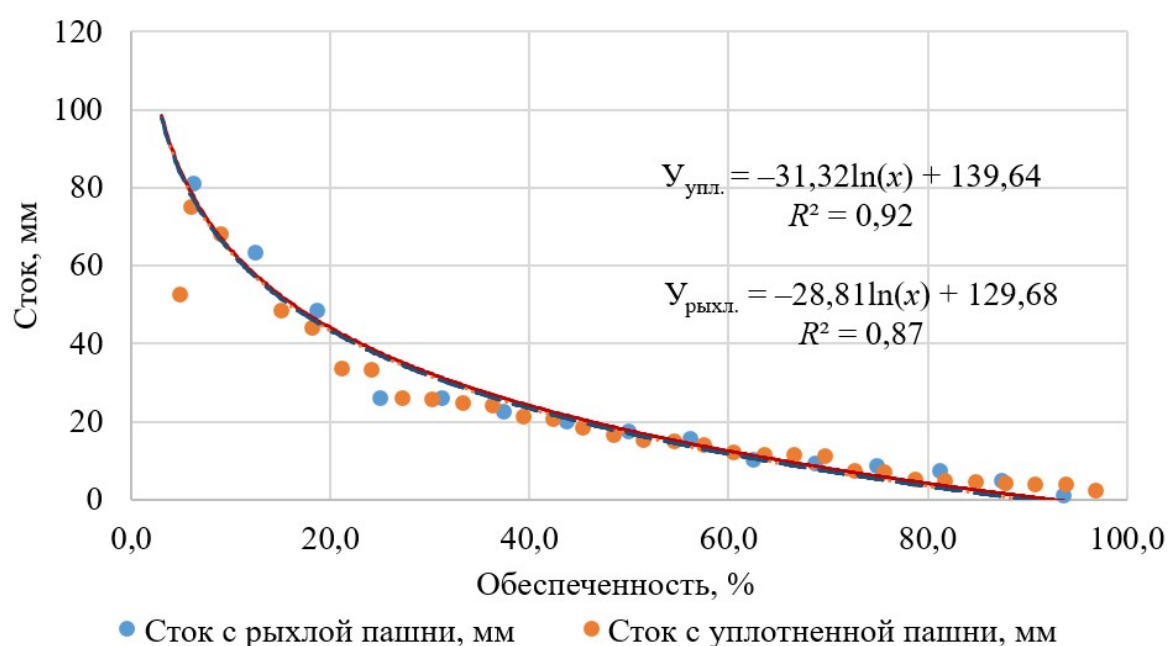


Рисунок 7 – Кривая обеспеченности стока талых вод за период наблюдений 1970–2021 гг.

Figure 7 – The frequency curve of melt water runoff for the observation period 1970–2021

На рыхлой пашне количество лет со стоком составило 15 лет, а на уплотненной пашне – 32 года из 52 лет наблюдений. Показатели стока располагали в убывающем порядке, и обеспеченность стока определялась по общепринятой формуле: $P\% = (m/(n + 1)) \cdot 100 \%$, где m – номер ряда; n – число рядов наблюдений стока; 100 – обеспеченность, выраженная в %. По полученным уравнениям рассчитан сток различной обеспеченности (таблица 4).

Таблица 4 – Обеспеченность стока талых вод с рыхлой и уплотненной пашни

Table 4 – Melt water runoff availability from loose and compacted arable land

Агрофон	Уравнение взаимосвязи и коэффициент аппроксимации	Обеспеченность, %				
		10	25	50	75	95
Уплотненная пашня	$Y_{\text{упл.}} = -31,32\ln(x) + 139,64, R^2 = 0,92$	67,5	38,8	17,1	4,4	2,4
Рыхлая пашня	$Y_{\text{рыхл.}} = -28,81\ln(x) + 129,68, R^2 = 0,87$	59,0	31,0	16,1	7,2	3,3

На рисунке 8 приводится карта-схема с изолиниями стока талых вод 10% обеспеченности (на 1970 г.) и рассчитанная нами за период 1970–2021 гг. для географической широты п. Рассвет.

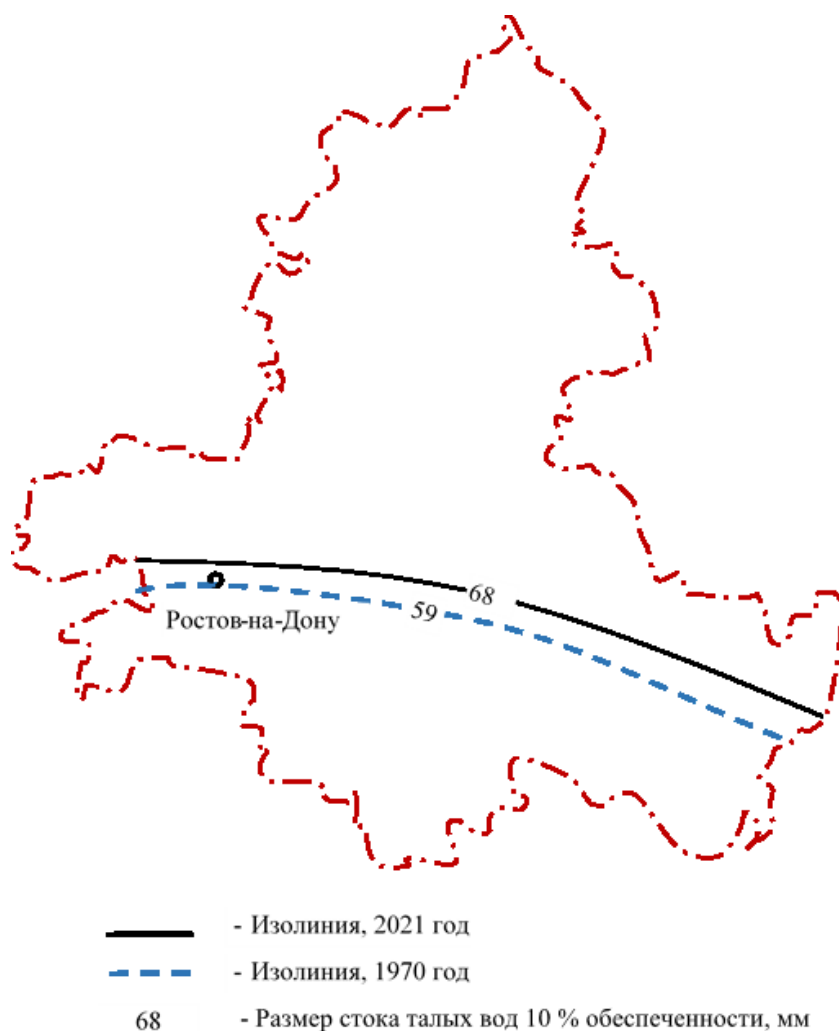


Рисунок 8 – Карта-схема стока талых вод 10% обеспеченности (за период 1970–2021 гг.)

Figure 8 – Map-scheme of melt water runoff 10% availability (for the period 1970–2021)

Выводы. Многолетними исследованиями за период 1970–2021 гг. (52 года) установлено, что на уплотненной пашне наблюдается большее накопление воды в снеге, чем на рыхлой пашне, и при этом коэффициент стока выше на уплотненной пашне (0,12). Но на уплотненной пашне растения удерживают частицы почвы и смыв почвы в среднем за годы с проявлением поверхностного стока (2000–2021 гг.) составил 10,6 т/га, а на рыхлой пашне этот показатель увеличился до 20,7 т/га. Установлены связи величин стока и смыва почвы с запасами воды в снеге, глубиной промерзания и водопроницаемостью почвы в период стока.

Определена обеспеченность стока талых вод за период 1970–2021 гг., и разработана уточненная карта-схема стока талых вод, данные которой предлагается использовать агрономам и другим специалистам при разработке систем земледелия и почвозащитных мероприятий.

Полученные зависимости и уравнения взаимосвязи между стоком талых вод, смывом почвы, запасами воды в снеге, глубиной промерзания и водопроницаемостью почвы рекомендуется использовать при разработке программного обеспечения для расчета и прогнозирования стока и величины эрозии почвы в зависимости от изучаемых факторов: запасов воды в снеге, уплотненной или рыхлой пашни, глубины промерзания почвы, влажности почвы перед таянием снега и др.

Список источников

1. Условия формирования поверхностного стока. Прогноз причиняемого ущерба. Компенсационные мелиоративные мероприятия / В. Н. Щедрин, Г. Т. Балакай, Е. В. Полуэктов, Н. И. Балакай. Новочеркасск: РосНИИПМ, 2016. 450 с.
2. 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/article?n=1161> (дата обращения: 29.10.2022). DOI: 10.31774/2222-1816-2020-4-88-102.
3. География динамики земельной эрозии почв европейской территории России / Л. Ф. Литвин, З. П. Кирюхина, С. Ф. Краснов, Н. Г. Добровольская // Почвоведение. 2017. № 11. С. 1390–1400. DOI: 10.7868/S0032180X17110089.
4. Collins D. N. Sediment concentration in melt waters as an indicator of erosion processes beneath an alpine glacier // Journal of Glaciology. 1979. 23(89). P. 247–257. DOI: 10.3189/S0022143000029877.

5. Examining the potential for climate change mitigation from zero tillage / S. Mangalassery, S. Sjogersten, D. L. Sparkes, S. J. Mooney // *Agriculture Ecosystems & Environment*. 2015, Sept. Vol. 153, iss. 7. P. 1151–1173. <https://doi.org/10.1017/S0021859614001002>.
6. 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.
7. Сурмач Г. П. Водная эрозия и борьба с ней. Л.: Гидрометеиздат, 1976. 256 с.
8. 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.
9. 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. <https://doi.org/10.23947/2413-1474-2019-3-1-35-45>.
10. 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.
11. Полуэктов Е. В. Эрозия почв и плодородие: монография / Новочеркас. инж.-мелиоратив. ин-т Донского ГАУ. Новочеркасск: Лик, 2020. 229 с.
12. Полуэктов Е. В., Балакай Г. Т., Тищенко А. И. Ливневая эрозия на обыкновенных черноземах // *Мелиорация и гидротехника [Электронный ресурс]*. 2022. Т. 12, № 3. С. 29–43. URL: <http://www.rosniipm-sm.ru/article?n=1291> (дата обращения: 29.10.2022). <https://doi.org/10.31774/2712-9357-2022-12-3-29-43>.
13. Кулик А. В., Гордиенко О. А. Условия формирования поверхностного стока талых вод на склоновых землях юга Приволжской возвышенности // *Почвоведение*. 2022. № 1. С. 44–45. DOI: 10.31857/S0032180X22010099.
14. 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; РосНИИПМ. Новочеркасск, 2016. 102 с. Деп. в ВИНТИ РАН 04.05.16, № 69-B2016.
15. Вадюнина А. Ф., Корчагина З. А. Методы исследования физических свойств почв: учеб. пособие. 3-е изд., перераб. и доп. М.: Агропромиздат, 1986. 415 с.

References

1. Shchedrin V.N., Balakay G.T., Poluektov E.V., Balakay N.I., 2016. *Usloviya formirovaniya poverkhnostnogo stoka. Prognoz prichinyaemogo ushcherba. Kompensatsionnye meliorativnye meropriyatiya* [Conditions for the Formation of Surface Runoff. Forecast of Damage Caused. Compensatory Reclamation Measures]. Novocherkassk, RosNIIPM Publ., 450 p. (In Russian).
2. Poluektov E.V., Balakay 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/article?n=1161> [accessed 29.10.2022], DOI: 10.31774/2222-1816-2020-4-88-102. (In Russian).
3. Litvin L.F., Kiryukhina Z.P., Krasnov S.F., Dobrovolskaya N.G., 2017. *Geografiya dinamiki zemledel'cheskoy erozii pochv evropeyskoy territorii Rossii* [Dynamics of agricultural soil erosion in European Russia]. *Pochvovedenie* [Soil Science], no. 11, pp. 1390-1400, DOI: 10.7868/S0032180X17110089. (In Russian).
4. Collins D.N., 1979. Sediment concentration in melt waters as an indicator of erosion processes beneath an alpine glacier. *Journal of Glaciology*, 23(89), pp. 247-257, DOI: 10.3189/S0022143000029877.

5. Mangalassery S., Sjogersten 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>.
6. 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 in changes in soil water erosion on slope agricultural landscapes of the Saratov Right Bank]. *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [Proceedings of Orenburg State Agrarian University], no. 4(78), pp. 34-37. (In Russian).
7. Surmach G.P., 1976. *Vodnaya eroziya i bor'ba s ney* [Water Erosion and its Control]. Leningrad, Gidrometeoizdat Publ., 256 p. (In Russian).
8. Barabanov A.T., Kulik A.V., 2017. *Nauchnoe obosnovanie innovatsionnogo proekta agrolesomeliativnogo adaptivno-landshaftnogo obustroystva balochnykh vodosborov* [Scientific substantiation of the innovative project of agroforestry adaptive-landscape-reclamation arrangement of gully watersheds]. *Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: nauka i vysshee professional'noe obrazovanie* [Proc. of Nizhnevolzhsky Agro-University Complex: Science and Higher Professional Education], no. 2(46), pp. 67-73. (In Russian).
9. Sukhomlinova N.B., Cheshev A.S., 2019. *Ekologo-meliorativnye meropriyatiya v rayonakh s razvitoi eroziyey pochv* [Ecological and reclamation activities 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, <https://doi.org/10.23947/2413-1474-2019-3-1-35-45>. (In Russian).
10. 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.
11. Poluektov E.V., 2020. *Eroziya pochv i plodorodie: monografiya* [Soil Erosion and Fertility: monograph]. Novocherkassk Reclamation Engineering Institute Don State Agrarian University, Novocherkassk, Lik Publ., 229 p. (In Russian).
12. Poluektov E.V., Balakay G.T., Tishchenko A.I., 2022. [Storm erosion on ordinary chernozems]. *Melioratsiya i gidrotekhnika*, vol. 12, no. 3, pp. 29-43, available: <http://www.rosniipm-sm.ru/article?n=1291> [accessed 29.10.2022], <https://doi.org/10.31774/2712-9357-2022-12-3-29-43>. (In Russian).
13. Kulik A.V., Gordienko O.A., 2022. *Usloviya formirovaniya poverkhnostnogo stoka talykh vod na sklonovykh zemlyakh yuga Privolzhskoy vozvyshennosti* [Conditions of snowmelt runoff formation on slopes in the south of the Volga Upland]. *Pochvovedenie* [Eurasian Soil Science], no. 1, pp. 44-45, DOI: 10.31857/S0032180X22010099. (In Russian).
14. Balakay G.T., Balakai N.I., Babichev A.N., Balakay S.G., Monastyrsky V.A., Ol-garenko V.I., 2016. *Proektirovanie, sozдание i ukhod za zashchitnymi lesnymi nasazhdeniyami na zemlyakh sel'skokhozyaystvennogo naznacheniya* [Design, Creation and Maintenance of Protective Forest Plantations on Agricultural Land]. Novocherkassk, 102 p., deposited in VINITI RAS on 04.05.2016, no. 69-B2016. (In Russian).
15. Vadyunina A.F., Korchagina Z.A., 1986. *Metody issledovaniya fizicheskikh svoystv pochv: uchebnoe posobie* [Methods for Studying the Physical Properties of Soils: textbook]. 3rd ed., rev., Moscow, Agropromizdat Publ., 415 p. (In Russian).

Информация об авторах

Е. В. Полуэктов – заведующий кафедрой почвоведения, орошаемого земледелия и геодезии, доктор сельскохозяйственных наук, профессор;
Г. Т. Балакай – главный научный сотрудник, доктор сельскохозяйственных наук, профессор.

Information about the authors

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

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

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

Все авторы в равной степени несут ответственность при обнаружении плагиата, самоплагиата и других нарушений в сфере этики научных публикаций.

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

All authors are equally responsible for detecting plagiarism, self-plagiarism and other ethical violations in scientific publications.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 28.11.2022; одобрена после рецензирования 17.01.2023; принята к публикации 07.02.2023.

The article was submitted 28.11.2022; approved after reviewing 17.01.2023; accepted for publication 07.02.2023.