

МЕЛИОРАЦИЯ, ВОДНОЕ ХОЗЯЙСТВО И АГРОФИЗИКА

Научная статья

УДК 631.4:551.5

doi: 10.31774/2712-9357-2023-13-2-19-38

Влияние агротехнических мероприятий и мелиоративных защитных лесных насаждений на дефляцию почв Ростовской области

Евгений Валерьянович Полуэктов¹, Роман Степанович Масный²,
Георгий Трифонович Балакай³

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

^{2, 3}Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, Новочеркасск, Российская Федерация

¹geo@ngma.su

²rosniipm@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0254-738X>

³balakaygt@rambler.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8021-6853>

Аннотация. Цель: исследование закономерностей проявления дефляции на почвах Ростовской области в холодный и теплый периоды года в зависимости от агрофона, проективного покрытия растениями поверхности почвы и наличия мелиоративных защитных лесных насаждений. **Материалы и методы.** Исследования дефляции проводились на почвах Аксайского и Орловского районов Ростовской области с 1970 по 2022 г. Использовались общепринятые методы исследований, в т. ч. измерение скорости ветра производилось анемометрами, слой почвы, перемещенный ветром, определялся методом шпилек и пылеуловителями собственной конструкции. **Результаты.** В период пыльной бури с 14 по 21 апреля 2003 г. установлено влияние положения и количества стерни при различных способах обработки почвы на вынос почвы. При чизельной обработке почвы отмечали наибольшее количество стерни 250 шт./кв. м, в т. ч. стоячей 110 шт./кв. м и лежащей 140 шт./кв. м. Снижение скорости ветра при этом наблюдалось с 10,9 м/с на высоте 0,8 м до 3,2 м/с на высоте 0,05 м. При сохранении на поверхности почвы стерни более 120 шт./кв. м почва защищена от ветра, и вынос мелкозема в этих вариантах равен нулю. Проективное покрытие поверхности почвы растениями – это следующий фактор, влияющий на дефляцию. При его снижении почва остается не защищенной от порывов ветра и вынос почвы увеличивается соответственно от 1 т/га с поля, занятого многолетними травами, до 40–70 т/га на безотвальной вспашке и до 260–297 т/га на отвальной вспашке. **Выводы.** Для снижения потерь плодородного слоя почвы от дефляции рекомендуется вести основную обработку почв с оставлением на поверхности почвы стерни и пожнивных остатков, которые снижают скорость ветра у поверхности почвы и препятствуют дефляции.

Ключевые слова: дефляция, ветровая эрозия, почвозащитные мероприятия, обработка почвы, коэффициент покрытия поверхности почвы

Для цитирования: Полуэктов Е. В., Масный Р. С., Балакай Г. Т. Влияние агротехнических мероприятий и мелиоративных защитных лесных насаждений на дефляцию почв Ростовской области // Мелиорация и гидротехника. 2023. Т. 13, № 2. С. 19–38. <https://doi.org/10.31774/2712-9357-2023-13-2-19-38>.

LAND RECLAMATION, WATER MANAGEMENT AND AGROPHYSICS

Original article

Impact of agrotechnical measures and reclamation protective forest plantations on soil deflation in Rostov region

Evgeniy V. Poluektov¹, Roman S. Masnyi², Georgiy T. Balakay³

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

^{2, 3}Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems, Novocherkassk, Russian Federation

¹geo@ngma.su

²rosniipm@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0254-738X>

³balakaygt@rambler.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8021-6853>

Abstract. Purpose: to study the deflation manifestation patterns on Rostov region soils in the cold and warm periods of the year, depending on the agricultural background, the projective cover of soil surface by plants and the availability of reclamation protective forest plantations. **Materials and methods.** Deflation studies were being carried out on the soils of Aksai and Orlovsky districts Rostov region from 1970 to 2022. Conventional research methods including the measurement of wind speed by anemometers, were used, the soil layer displaced by the wind was determined by the method of pins and dust collectors of authors own design. **Results.** During the period of dust storm from April 14 to April 21, 2003, the influence of the position and amount of stubble on soil removal under various methods of tillage was determined. During chisel tillage, the largest amount of stubble was noted – 250 pcs/sq. m, including the standing one – 110 pcs/sq. m and lying one of 140 pcs/sq. m. At the same time, there was a decrease in wind velocity from 10.9 m/s at a height of 0.8 m to 3.2 m/s at a height of 0.05 m. With more than 120 stubble pcs/sq. m remaining on the soil surface, the soil is protected from wind, and the removal of fine earth in these options is zero. The projective soil surface cover by plants is the next factor influencing deflation. When it decreases, the soil remains unprotected from wind gusts and soil removal increases, respectively, from 1 t/ha from a perennial grasses field up to 40–70 t/ha by non-moldboard plowing and up to 260–297 t/ha by moldboard plowing. **Conclusions.** To reduce the loss of fertile soil layer from deflation, it is recommended to carry out the basic tillage, leaving stubble and crop residues on soil surface, which reduce the wind velocity near the soil surface and prevent deflation.

Keywords: deflation, wind erosion, soil protective measures, tillage, soil surface cover ratio

For citation: Poluektov E. V., Masnyi R. S., Balakay G. T. Impact of agrotechnical measures and reclamation protective forest plantations on soil deflation in Rostov region. *Land Reclamation and Hydraulic Engineering*. 2023;13(2):19–38. (In Russ.). <https://doi.org/10.31774/2712-9357-2023-13-2-19-38>.

Введение. Наряду с эрозией почвы в результате действия поверхностных стоков талых, дождевых и ирригационных вод [1] большой вред сельскохозяйственным землям наносит дефляция – ветровая эрозия, которая вместе с дефицитом увлажнения является одной из основных причин переноса больших масс почвы и опустынивания территорий [2–4], засыпа-

ния плодородной почвы толстым слоем пыли и песка [5, 6], что приводит к выводу их из оборота [7]. По различным данным, в мире ветровая эрозия распространена на площади 549 млн га [8]. В России – на площади 45 млн га, в т. ч. на пашне 38,7 млн га [9]. По данным А. Л. Иванова и др. [10], ветровой эрозией сносится свыше 500 млн т плодородной почвы, из-за чего недобор урожая оценивается в 9,7 млрд долл.

Разработка методов исследования ветровой эрозии начиналась с визуальной оценки [11], которая уже позволяла выявить степень эродированности почвы [12]. Позже перешли к инструментальным методам оценки дефляции, например, методу шпилек, который используется при изучении и водной эрозии, и дефляции в течение длительного времени [7], позже разрабатывались другие инструментальные методы [13].

В настоящее время данные инструментальных методов позволили разработать и применять методы моделирования процессов эрозии [14, 15]. Для целинных земель разработаны модели профильного распределения (Profile Distribution Model) и модель диффузии и миграции (Diffusion and Migration Model), в т. ч. для обрабатываемых земель используются пропорциональная модель (Proportional Model), модели массового баланса (Mass Balance Model 1, Mass Balance Model 2, Mass Balance Model) [16, 17]. Дистанционное зондирование используется при изучении эрозии в целях получения исходных данных для эрозионных моделей, для косвенной оценки почвенной эрозии путем анализа растительного покрова, а также для непосредственного определения эрозионных форм рельефа и стадий эрозии [18]. Главный принцип идентификации эродированных и аккумулярованных почв основан на предположении, что спектральные характеристики отражения аккумулярованных и неэродированных «здоровых» почв отличаются. Эти различия объясняются изменениями химических и физических свойств верхнего слоя почвы, спровоцированными переносом почвенных частиц и их аккумуляцией [9, 18].

В настоящее время разрабатываются различные методы картирования потенциала ветровой эрозии, прогноза ветровой эрозии [19], в т. ч. с использованием современного программного обеспечения на основе метода искусственной нейронной сети, однако программисты сталкиваются с проблемой недостаточных натурных полевых научных исследований, что сдерживает возможность проверки теоретических моделей [20]. Поэтому накопление практической информации о факторах, влияющих на дефляцию [21], разработка противозерозионных адаптивно-ландшафтных систем земледелия [22, 23], изучение зависимостей и взаимосвязи внешних факторов в увязке с разработкой мелиоративных и агротехнических приемов борьбы с дефляцией являются востребованными и эффективными способами сохранения плодородия почвы и прекращения выбытия из оборота земель сельскохозяйственного назначения.

В Ростовской области в период действия сильных восточных ветров образуются ветровые коридоры, в которых наблюдается максимальное разрушение почвенного покрова. Сдвиг частиц почвы происходит при концентрации потоков воздуха в геоморфологических депрессиях. Многочисленными исследованиями установлены нижние предельные скорости ветра, при которых начинается отрыв от поверхности почвы, подъем и перенос мелкозема и частиц почвы, в т. ч. с черноземов – 5,7–10,9 м/с, с каштановых – 6–10,9 м/с [24–26]. На обыкновенных черноземах Ростовской области в среднем за 31 год потери почвы от дефляции на полях с зяблевой обработкой составили около 10 т/га, а с посевов озимой пшеницы – 1,9 т/га [23]. Вместе с частицами почвы выносятся большое количество питательных веществ из вносимых удобрений, особенно много теряется с полей с интенсивными технологиями возделывания, где применяются большие дозы на планируемую урожайность [27–29].

В основе противодефляционных мероприятий лежит концепция разработки и внедрения мероприятий, снижающих скорости ветра в призем-

ном слое почвы до показателей, прекращающих процессы дефляции. Признанными являются технологии агролесомелиорации, в которых ветроудерживающие функции выполняют древесно-кустарниковые растения, формируемые в виде мелиоративных защитных лесных насаждений (МЗЛН) [1, 30], высаживаемые для укрепления песков и создания кормовой базы.

В связи с этим цель наблюдений – исследование закономерностей проявления дефляции на почвах Ростовской области в холодный и теплый периоды года в зависимости от агрофона, проективного покрытия растениями поверхности почвы и наличия МЗЛН.

Материалы и методы. Многолетние исследования дефляции почв проводились на обыкновенных черноземах в ОПХ «Рассвет» Аксайского района и на каштановых почвах ОПХ «Красноармейское» Орловского района Ростовской области с 1970 по 2022 г. Использовались общепринятые методы исследований. Измерение скорости ветра производилось анемометрами на высоте 2 м от уровня почвы, а масса перемещенной ветрами почвы определялась методом шпилек [14, 24] и пылеуловителями собственной конструкции.

Результаты и обсуждение. В борьбе с дефляцией немаловажны агротехнические мероприятия, которые проводятся в процессе подготовки почвы и выращивания растений с применением специальной техники. Повышение противодефляционной устойчивости на землях сельхозугодий непосредственно связано с системой обработки почвы, направленной на снижение скорости ветра в зоне соприкосновения с поверхностью почвы за счет создания определенных свойств агрофона, прежде всего шероховатости. Повышение шероховатости поверхности по сравнению, например, с выровненной поверхностью на парах может быть создано безотвальной обработкой почвы плоскорезами или чизелем, оставляющей на поверхности почвы стерню и пожнивные остатки, при которых сдвиговое усилие потока

ветра распределяется среди пожнивных остатков, снижается скорость и не затрагиваются частицы на поверхности почвы. Натурные исследования на темно-каштановых почвах в период пыльной бури с 14 по 21 апреля 2003 г. позволили установить изменение динамики скорости ветра в зависимости от положения и количества стерни на поверхности почвы при различных способах обработки почвы (таблица 1).

Таблица 1 – Скорость ветра и вынос мелкозема на каштановых почвах в зависимости от способа основной обработки почвы, ОПХ «Красноармейское», 2003 г.

Table 1 – Wind velocity and fine earth removal on chestnut soils depending on the main tillage method, experimental production farm “Krasnoarmeiskoe”, 2003

Способ основной обработки почвы	Средняя скорость ветра на разной высоте от поверхности, м/с			Количество сохраненной стерни, шт./м ²		Вынос мелкозема, т/га
	0,8 м	0,4 м	0,05 м	стоячей	лежащей	
1 Вспашка отвальная (контроль)	10,9	9,7	6,2	0	0	21,0
2 Плоскорезная	10,9	9,5	4,0	75	100	0
3 Чизельная	10,9	9,3	3,2	110	140	0
4 Гладкая (фронтальная фреза)	10,9	9,7	6,2	0	3	15,0
5 Безотвальная (стойка СИБИМЭ)	10,9	9,6	4,4	55	95	0
6 Безотвальная	10,9	9,6	4,6	30	90	0

Данные таблицы 1 показывают, что способы обработки почвы существенно влияют на скорость ветра только в приземном слое почвы на высоте 0,05 м от поверхности, т. е. там, где расположен слой незаделанной стерни, которая и снижает скорость ветра с 10,9 м/с на высоте 0,8 м до 3,2 м/с на высоте 0,05 м при чизельной обработке. Она позволила сохранить на поверхности почвы наибольшее количество стерни: 250 шт./м², в т. ч. 110 шт./м² стоячей и 140 шт./м² лежащей. Данные также показывают, что в вариантах опыта 2, 3, 5 и 6 при сохранении на поверхности почвы стерни более 120 шт./м² почва защищена от ветра и вынос мелкозема в этих вариантах равен нулю.

Установлен вынос мелкозема ветром в зависимости от количества сохраненной стерни на поверхности почвы в зимний период (рисунок 1).

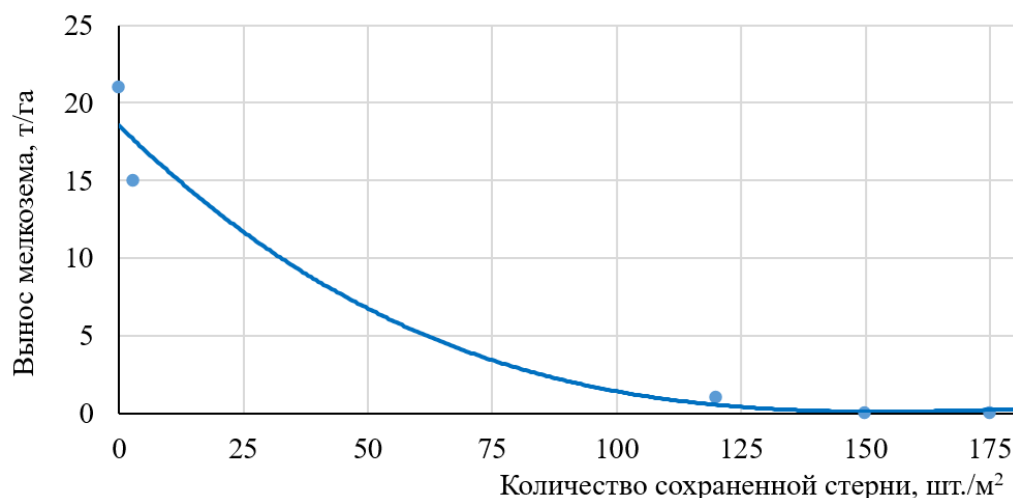


Рисунок 1 – Вынос мелкозема в зависимости от количества сохраненной стерни

Figure 1 – Fine earth removal depending on the amount of stubble saved

Зависимость описывается уравнением вида:

$$Y = -0,000003x^3 + 0,0015x^2 - 0,3163x + 18,537,$$

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

Установлена также зависимость выноса мелкозема от скорости ветра в приземном слое почвы на высоте 0,05 м (рисунок 2).

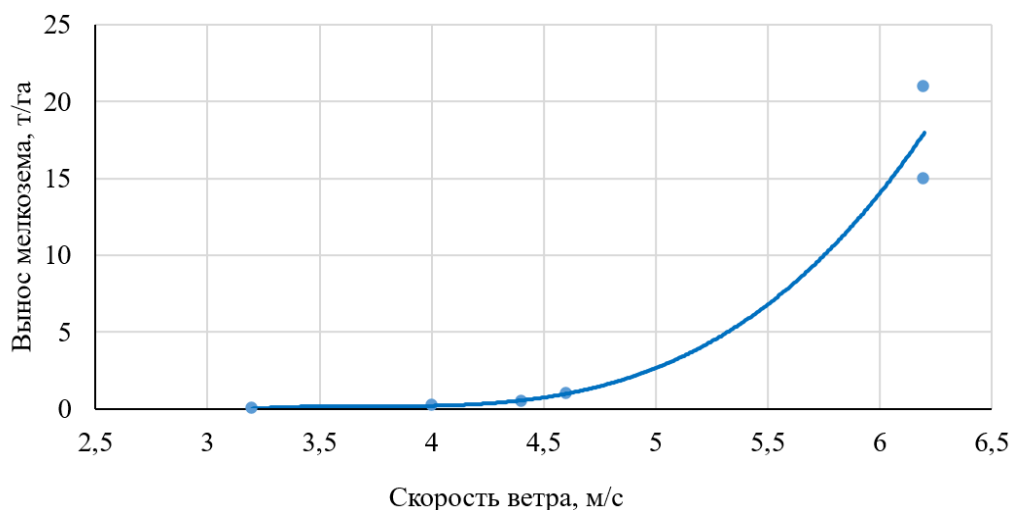


Рисунок 2 – Вынос мелкозема в зависимости от скорости ветра в приземном слое на высоте 0,05 м от поверхности почвы

Figure 2 – Removal of fine earth depending on wind velocity in the surface layer at a height of 0.05 m from the soil surface

Зависимость описывается уравнением вида:

$$Y = 1,1529x^3 - 12,826x^2 + 47,564x - 58,646,$$

при высоком коэффициенте аппроксимации $R^2 = 0,96$.

Из изучаемых способов обработки почвы ветровая эрозия проявлялась только при отвальной вспашке и гладкой обработке почвы, а остальные сохраняли на поверхности почвы стерню, обеспечивали снижение скорости ветра до уровня 3,2–4,6 м/с и защищали почву от дефляции. Эти варианты обработки почвы 2, 3, 5 и 6 можно отнести к почвозащитным.

Многолетние исследования на черноземах обыкновенных позволили установить, что показатель наличия пожнивных остатков на поверхности почвы не всегда соответствует способности защищать почву от ветровой эрозии, поэтому необходимо рассматривать и другие факторы. Многолетние исследования в 1972–2012 гг. показали, что почвозащитные свойства агрофона зависят не только от наличия пожнивных остатков на почве, но и от проективного покрытия почвы растениями. В таблице 2 приводятся данные наблюдений в ОПХ «Рассвет» Аксайского района в 1984 г.

Таблица 2 – Влияние агрофона и величины проективного покрытия поверхности почвы растительными остатками и растениями на вынос почвы при ветровой эрозии в холодный период года, ОПХ «Рассвет» Аксайского района, 1984 г.

Table 2 – Impact of the agrobbackground and the value of projective soil surface cover with plant residues and plants on soil removal during wind erosion in the cold season, experimental production farm “Rassvet” Aksai district, 1984

Агрофон, сельскохозяйственная культура, период роста и развития	Величина проективного покрытия, %	Вынос почвы, т/га	Коэффициент дефляционной опасности
1	2	3	4
1 Зябь отвальная (полупар)	0	260–297	1,00
2 Зябь отвальная поздняя гребнистая	0	70–95	0,7–0,8
3 Зябь безотвальная (плоскорез)	32–39	40–70	0,4–0,5
4 Озимая пшеница в фазе 3 листьев по отвальной вспашке	33–35	36–69	0,3–0,35
5 Озимая пшеница в фазе 3 листьев по поверхностной обработке	38–45	20–30	0,3

Продолжение таблицы 2

Table 2 continued

1	2	3	4
6 Озимая пшеница в фазе кушения по отвальной вспашке	65–70	0–5	0,05
7 Многолетние травы (люцерна 2-го года использования)	75–85	0–1	0,01

Из данных таблицы 2 видно, что в холодный период года величина проективного покрытия почвы наибольшая на посевах многолетних трав (до 85 %), снижается у озимой пшеницы до 65–70 % в фазе кушения, до 32–39 % в фазе трех листьев и на зяби с отвальной вспашкой снижается до нуля. При снижении проективного покрытия почва остается не защищенной от порывов ветра и вынос почвы увеличивается соответственно с 1 т/га у многолетних трав до 40–70 т/га на безотвальной вспашке и до 260–297 т/га на отвальной вспашке. Влияние проективного покрытия на величину выноса почвы описывается уравнением вида (рисунок 3):

$$Y = 0,0217x^2 - 3,9557x + 178,27,$$

при высоком коэффициенте аппроксимации $R^2 = 0,70$.

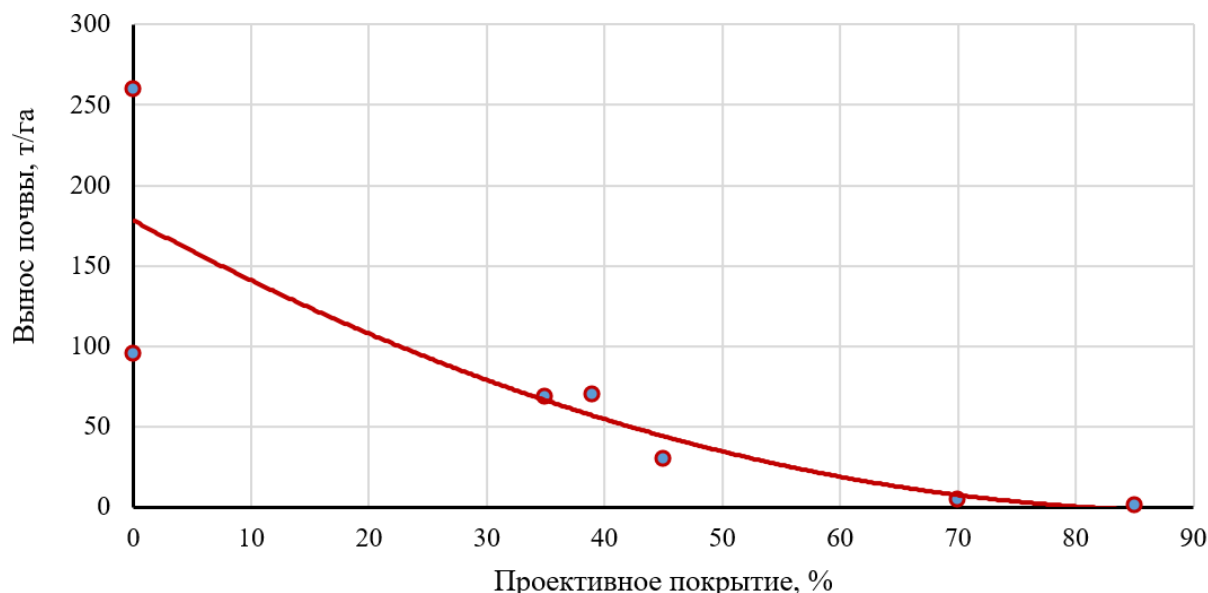


Рисунок 3 – Взаимосвязь проективного покрытия и выноса почвы при дефляции в холодный период года

Figure 3 – Relationship between projective cover and soil removal during deflation in the cold season

На основании обобщения результатов многолетних исследований дефляционных процессов и факторов, влияющих на них, при различных агрофонах представилось возможным рассчитать коэффициент дефляционной опасности в холодный период года с наибольшей частотой проявления ветровой эрозии. Если взять за единицу самый опасный и незащищенный агрофон – способ подготовки по типу полупара (вспашка отвальная и две культивации), то остальные культуры и агрофоны можно распределить следующим образом (см. таблицу 2, ст. 4): зябь поздняя гребнистая – 0,7–0,8, безотвальная зябь с сохранением на поверхности растительных и пожнивных остатков – 0,4–0,5, посевы озимых культур – 0,1–0,2, посевы многолетних трав – 0,01. В период вегетации растений вероятность пыльных бурь мала из-за высокой степени покрытия поверхности почвы вегетирующими растениями, которые способны снизить скорость ветра в приземном слое почвы до уровня, препятствующего проявлению дефляции.

После уборки урожая вероятность дефляции возрастает. На полях ОПХ «Рассвет» Аксайского района в 2020 г., отличившемся крайне сухой погодой в осенние месяцы, когда выпало только 18,1 мм осадков за август и сентябрь при среднемноголетних показателях 137 мм (13,2 %), почва была иссушена и обесструктурена. Это способствовало проявлению пыльных бурь и поземок. В наибольшей степени дефляционные процессы наблюдались с 29 сентября по 2 октября 2020 г., когда скорость ветра достигала ураганных значений (более 20 м/с). Исследования, проведенные в этот период, позволили определить, что показатели проективного покрытия наибольшими (78 %) были в варианте 6 после уборки многолетних трав и наименьшими (37–44 %) в варианте 4 после уборки кукурузы на зерно (таблица 3).

Соответственно изменялись и показатели выноса почвы. Наименьшими значения выноса почвы (1–2 т/га) были в варианте 6 (посевы много-

летних трав), наибольшими (167–175 т/га) были в варианте 1, где почва обрабатывалась по типу полупара (вспашка отвальная в 2019 г. и весеннее боронование, три культивации для борьбы с сорняками в 2020 г., посев озимой пшеницы еще не был произведен в связи с иссушением верхнего слоя почвы).

Таблица 3 – Влияние агрофона и величины проективного покрытия поверхности почвы растительными остатками и растениями на вынос почвы при ветровой эрозии в теплый период года, ОПХ «Рассвет» Аксайского района, 2020 г.

Table 3 – Influence of the agrobbackground and the value of the projective cover of soil surface by plant residues and plants on soil removal during wind erosion in the warm period of the year, Rassvet, Aksai district, 2020

Агрофон	Величина проективного покрытия, %	Вынос почвы, т/га	Коэффициент дефляционной опасности
1 Зябь отвальная (полупар, посев пшеницы не произведен в связи с отсутствием влаги в почве)	0	167–175	1,0
2 Озимая пшеница, после уборки, поверхностная обработка (БДТ-3, глубина 8–10 см)	45–52	27–39	0,12
3 Озимая пшеница, после уборки, необработанная зябь	67–73	11–14	0,08
4 Кукуруза на зерно, после уборки, необработанная зябь	37–44	100–121	0,58
5 Подсолнечник, после уборки, необработанная зябь	30–34	97–106	0,61
6 Многолетние травы (эспарцет 2-го года использования, после укоса на семена, стерня высотой 15–25 см)	72–78	1–2	0,01

Математическая обработка позволила установить зависимость выноса почвы при дефляции от проективного покрытия почвы и агрофона в осенний период 2020 г. (рисунок 4).

Полученная линейная взаимосвязь выражается уравнением вида:

$$Y = -2,3252x + 174,75,$$

при высоком коэффициенте аппроксимации $R^2 = 0,70$.

Почвозащитные свойства многолетних трав проявляются не только

из-за высокого проективного покрытия поверхности почвы живыми растениями или стерней после скашивания, но и из-за скрепляющего эффекта растительного опада и живых корней, расположенных в верхней части почвы.

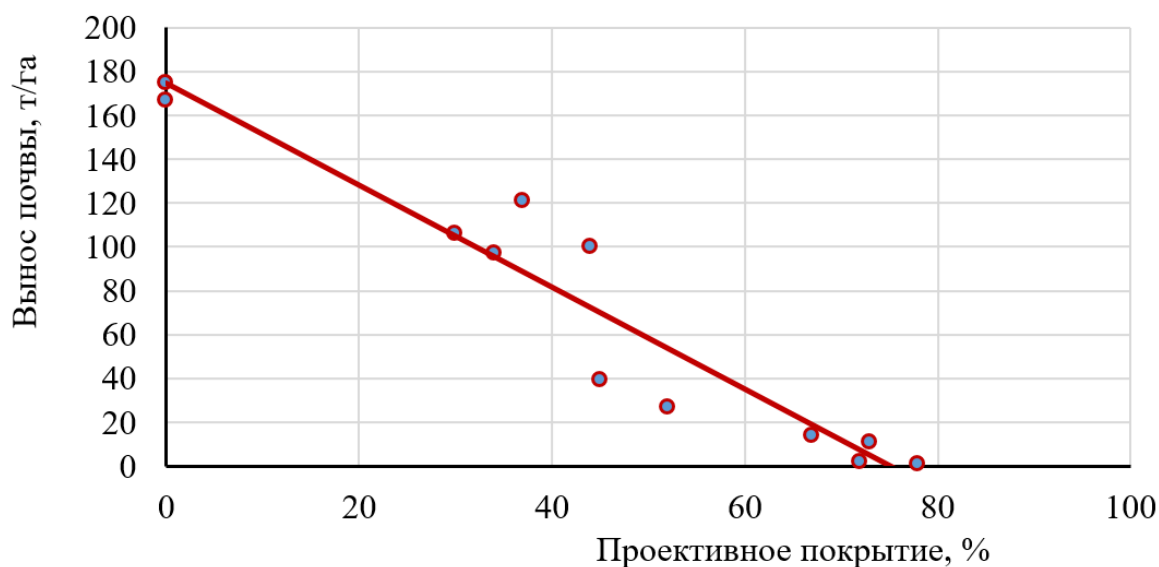


Рисунок 4 – Взаимосвязь проективного покрытия и выноса почвы при дефляции в осенний период 2020 г.

Figure 4 – Relationship between projective cover and soil removal during deflation in autumn 2020

При изучении процессов дефляции нельзя обойти стороной почвозащитную роль МЗЛН, которую оценивают по степени снижения скорости ветра, ветровой тени, ветропроницаемости насаждений и сносу почвы. Наблюдения показали, что наилучший ветровой режим на полях полевого севооборота наблюдается в насаждениях ажурной конструкции ветропроницаемостью около 40 % и продуваемой конструкции с ветропроницаемостью 70 %, которые снижают давление воздуха в зоне «ветровой тени» и формируют ветровой поток с наименьшей турбулентностью, что значительно снижает вынос почвы (таблица 4).

Средняя скорость ветра за МЗЛН продуваемой конструкции с высотой деревьев 11 м (по агрофону вспашка на глубину 27–29 см) с заветренной стороны на расстоянии от 30 до 80 м от насаждений составляла от 5,6

до 14,5 м/с, вынос почвы составил соответственно от 0,0 до 0,8 т/га, а с удалением от насаждений на расстояние 200 м средняя скорость увеличивается до 15,6 м/с и на расстояние 400 м – до 17,6 м/с, при этом порывы ветра достигают 19,2 и 27,8 м/с, что привело к сдуванию и выносу почвы соответственно до 18,2 и 29,3 т/га. На водоразделе без МЗЛН средняя скорость достигала 18,6 м/с и вынос почвы повысился до 37,9 т/га.

Таблица 4 – Влияние мелиоративных защитных лесных насаждений и агрофона на скорость ветра при юго-восточной экспозиции склона и восточном направлении ветра [10]

Table 4 – Impact of reclamation protective forest plantations and agricultural background on wind velocity with a southeastern slope exposure and an eastern wind direction [10]

Конструкция МЗЛН, высота деревьев, агрофон	Экспозиция склона, уклон 1–2°	Расстояние от МЗЛН с заветренной стороны, м	Скорость ветра				Вынос почвы, т/га
			средняя	max	min	порывы	
1 Полезащитная, продуваемая, высота 11 м, вспашка 27–29 см	юго-восточная, ровное место, уклон	30	5,6	7,8	3,4	10,4	0,0
		80	14,5	15,9	13,2	17,5	0,8
		200	15,6	17,0	14,2	19,2	18,2
		400	17,6	19,4	15,7	27,8	29,3
2 Стокорегулирующая, ажурная, высота 12 м, вспашка 27–29 см	юго-восточная	30	4,7	5,1	4,3	8,3	0,0
		80	11,0	11,0	11,1	15,6	8,6
		200	13,7	14,3	13,1	16,7	19,7
		400	15,3	16,3	14,3	27,0	31,2
3 Прибалочная, ажурная, высота 12 м, эс-парцет 2-го года использования (скошено на семена)	восточная	30	9,7	10,8	8,6	12,5	0,0
		80	12,0	13,7	10,3	16,2	0,7
		200	13,3	14,9	11,8	18,6	18,5
		400	11,4	12,6	10,2	24,0	19,4
4 Водораздел без МЗЛН, вспашка на 25–27 см	юго-восточная	более 800 м	18,6	19,4	17,8	29,3	37,9

Были обобщены полученные данные для различных агрофонов и найдена зависимость выноса почвы от скорости ветра (рисунок 5).

Полученная взаимосвязь выражается уравнением вида:

$$Y = 0,1537x^2 - 0,9523x + 0,5493,$$

при высоком коэффициенте аппроксимации $R^2 = 0,79$.

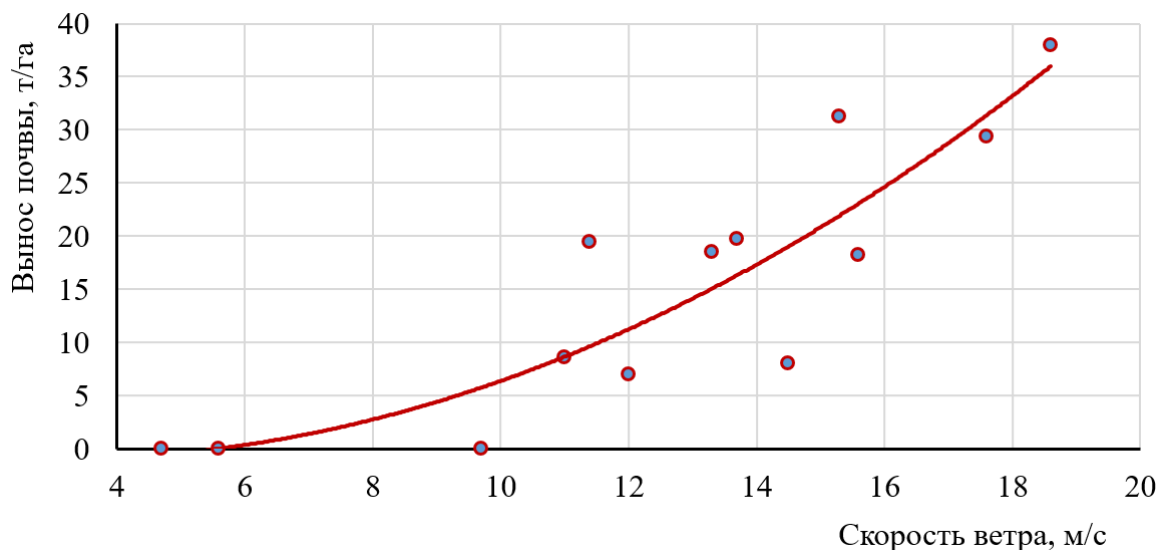


Рисунок 5 – Зависимость выноса почвы от скорости ветра (обобщенные данные) на черноземах обыкновенных, 2020 г.

Figure 5 – Dependence of soil removal on wind velocity (generalized data) on ordinary chernozems, 2020

Выводы

1 Нижние предельные скорости ветра, при которых начинается отрыв от поверхности почвы, подъем и перенос мелкозема и пылевидных частиц почвы, составляют у черноземов 5,7–10,9 м/с, у каштановых – 6,0–10,9 м/с.

2 Способы обработки почвы существенно влияют на скорость ветра только в приземном слое почвы 0,05–0,3 м, т. е. там, где расположен слой незаделанной стерни, которая и снижает скорость ветра на высоте 0,05 м от поверхности с 10,9 м/с на высоте 0,8 м до 3,2 м/с на высоте 0,05 м при чизельной обработке. Она позволила сохранить на поверхности почвы наибольшее количество стерни: 250 шт./м², в т. ч. 110 шт./м² стоячей и 140 шт./м² лежащей.

3 Почвозащитные свойства агрофона зависят не только от наличия пожнивных остатков на почве, но и от проективного покрытия почвы растениями и пожнивными остатками. Проективное покрытие было наибольшим на посевах многолетних трав (до 85 %), снижается у озимой пшеницы до 65–70 % в фазе кущения и до 32–39 % в фазе трех листьев, а на зяби с отвальной вспашкой снижается до нуля, поэтому и вынос почвы увели-

чивается соответственно с 1 т/га у многолетних трав до 40–70 т/га на безотвальной вспашке и достигает на ветроударных участках 260–297 т/га при отвальной вспашке.

4 Для повышения почвозащитных свойств необходимо вести основную обработку почвы без оборота пласта (плоскорезами, чизелями и др.) с оставлением на ее поверхности стерни и пожнивных остатков. При сохранении на поверхности почвы стерни более 120 шт./м² почва защищена от ветра и вынос мелкозема минимален.

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. Wind erosion and dust from US drylands: a review of causes, consequences, and solutions in a changing world / M. C. Duniway, A. Pfennigwerth, S. Fick, T. Nauman, J. Belnap, N. Barger // *Ecosphere*. 2019. Vol. 10, iss. 3. e02650. DOI: 10.1002/ecs2.2650.
3. Ypsilantis W. G. Upland soil erosion monitoring and assessment: An overview. Tech Note 438 / Bureau of Land Management, National Operations Center. Denver, 2011. 35 p.
4. К вопросу о диагностике и защите почв от дефляции в Ставропольском крае / В. П. Белобров, В. К. Дридигер, С. А. Юдин, Н. Р. Ермолаев // *Аграрный вестник Урала*. 2021. № 2(205). С. 12–25. DOI: 10.32417/1997-4868-2021-205-02-12-25.
5. Бурлай А. В., Фурсов А. Д. Оценка агрохимического и эколого-токсикологического состояния земель сельскохозяйственного назначения в западной части Ставропольского края // *Достижения науки и техники АПК*. 2019. Т. 33, № 4. С. 16–19. DOI: 10.24411/0235-2451-2019-10404.
6. Извеков А. С. Защита почв от эрозии и воспроизводство плодородия в южных и лесостепных районах России // *Бюллетень Почвенного института им. В. В. Докучаева*. 2012. № 70. С. 79–95.
7. Кузнецов М. С., Глазунов Г. П. Эрозия и охрана почв. М.: Изд-во МГУ, 2020. 387 с.
8. Мальцев К. А., Ермолаев О. П. Потенциальные эрозионные потери почвы на пахотных землях европейской территории России // *Почвоведение*. 2019. № 12. С. 1502–1512. DOI: 10.1134/S0032180X19120104.
9. Компонентный состав органического вещества воздушно-сухих и водоустойчивых макроагрегатов 2–1 мм типичного чернозема в условиях контрастного землепользования / Б. М. Когут, З. С. Артемьева, Н. П. Кириллова, М. А. Яшин, Е. И. Сошникова // *Почвоведение*. 2019. № 2. С. 161–170. DOI: 10.1134/S0032180X19020084.
10. Анализ земельной реформы и агропромышленного производства за четверть века. Почвенно-экологические, технологические, институциональные и инфраструктурные аспекты модернизации. Земельная служба (доклад) / А. Л. Иванов, В. И. Кирюшин, Э. Н. Молчанов, И. Ю. Савин, В. С. Столбовой. М.: Почв. ин-т им. В. В. Докучаева, 2016. 93 с.
11. Effect of No-till technology on erosion resistance, the population of earthworms

and humus content in soil / V. K. Dridiger, E. I. Godunova, F. V. Eroshenko, R. S. Stukalov, R. G. Gadzhumarov // Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences. 2018. № 9(2). P. 766–770. DOI: 10.25930/n2wx-cf73.

12. Clark R. D. Erosion condition classification system. Tech Note 346 / Bureau of Land Management. Denver: Denver Service Center, 1980. 47 p.

13. Извеков А. С., Сажин А. Н., Васильев Ю. И. Ветроэнергетические условия формирования пыльных бурь в степях Европейской России // Вестник РАСХН. 2002. № 4. С. 47–57.

14. Романовская А. Ю., Савин И. Ю. Современные методы мониторинга ветровой эрозии почв // Бюллетень Почвенного института имени В. В. Докучаева. 2020. № 104. С. 110–157. <https://doi.org/10.19047/0136-1694-2020-104-110-157>.

15. Лобанов А. И., Савостьянов В. К., Пименов А. В. Дефляция почв и агролесомелиоративные мероприятия на юге Средней Сибири (к 55-летию организации Хакасского противозерозионного стационара Института леса им. В. Н. Сукачева СО РАН) // Сибирский лесной журнал. 2015. № 1. С. 105–117.

16. Sampling soil and sediment depth profiles at a fine-resolution with a new device for determining physical, chemical and biological properties: the Fine Increment Soil Collector (FISC) / L. Mabit, K. Meusburger, A. R. Iurian, P. N. Owens, A. Toloza, C. Alewell // Journal of Soils and Sediments. 2014. Vol. 14(3). P. 630–636. <https://doi.org/10.1007/s11368-013-0834-8>.

17. Use of ¹³⁷Cs for soil erosion assessment / E. Fulajtar, L. Mabit, C. S. Renschler, A. Lee Zhi Yi; Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome, 2017. 64 p.

18. Mapping soil degradation using remote sensing data and ancillary data: South-East Moravia, Czech Republic / D. Zížala, A. Juřicová, T. Zádorová, K. Zelenková, R. Minařík // European Journal of Remote Sensing. 2019. Vol. 52. P. 108–122. DOI: 10.1080/22797254.2018.1482524.

19. Quantitative soil wind erosion potential mapping for Central Asia using the Google Earth Engine platform / W. Wang, A. Samat, Y. Ge, L. Ma, A. Tuheti, S. Zou, J. Abuduwaili // Remote Sensing. 2020. Vol. 12, iss. 20. 3430. <https://doi.org/10.3390/rs12203430>.

20. Prediction of soil wind erodibility using a hybrid Genetic algorithm – Artificial neural network method / I. Kouchami-Sardoo, H. Shirani, I. Esfandiarpour-Boroujeni, A. A. Besalatpour, M. A. Hajabbasi // Catena. 2020. Vol. 187. 104315. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2019.104315>.

21. Кулик К. Н. Современное состояние защитных лесонасаждений в Российской Федерации и их роль в смягчении последствий засух и опустынивания земель // Научно-агрономический журнал. 2022. № 3(118). С. 8–13. DOI: 10.34736/FNC.2022.118.3.001.08-13.

22. От основ противозерозионной мелиорации школы А. С. Козменко – Г. П. Сурмача к современным системам адаптивно-ландшафтного земледелия (история эрозиоведения во ВНИАЛМИ) / А. Т. Барабанов, А. И. Петелько, В. И. Панов, А. В. Кулик, О. А. Гордиенко, М. Р. Шайфулин // Научно-агрономический журнал. 2021. № 3(114). С. 6–19. DOI: 10.34736/FNC.2021.114.3.001.6-19.

23. Панов В. И. Оптимизация соотношения основных ландшафтных угодий (кластеров) в бассейновом агроэколандшафте степного засушливого пояса России // Научно-агрономический журнал. 2021. № 2. С. 6–17. DOI: 10.34736/FNC.2021.113.2.001.

24. Полуэктов Е. В. Эрозия почв и плодородие: монография / Новочеркас. инж.-мелиоратив. ин-т Донского ГАУ. Новочеркасск: Лик, 2020. 229 с.

25. Ивонин В. М. Анализ мелиоративного потенциала лесоаграрного ландшафта // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации [Электронный ресурс].

2019. № 2(34). С. 51–67. URL: <http://www.rosniipm-sm.ru/article?n=970> (дата обращения: 21.02.2023). DOI: 10.31774/2222-1816-2019-2-51-67.

26. Полуэктов Е. В., Балакай Г. Т., Кулаева Я. И. Потери почвы от дефляции на обыкновенных черноземах Ростовской области // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. 2020. № 4(80). С. 52–59.

27. Программирование технологии возделывания сельскохозяйственных культур на орошаемых землях Северного Кавказа: рекомендации / Н. А. Кан [и др.]. Ростов н/Д.: Рост. кн. изд-во, 1985. 120 с.

28. Зональные системы орошаемого земледелия Ростовской области: монография / В. К. Турулев [и др.]. Ростов н/Д.: Рост. кн. изд-во, 1987. 128 с.

29. Бабичев А. Н., Балакай Г. Т., Монастырский В. А. Оперативное управление режимом орошения при программировании урожайности сельскохозяйственных культур // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации [Электронный ресурс]. 2017. № 3(27). С. 83–96. URL: <http://www.rosniipm-sm.ru/article?n=285> (дата обращения: 21.02.2023).

30. Ветровой режим юго-востока Западно-Сибирской равнины как фактор риска развития дефляции почв в агроландшафтах (на примере юга Томской области) / Н. С. Евсеева, З. Н. Квасникова, М. А. Каширо, М. А. Волкова, О. В. Носырева // Известия РАН. Серия географическая. 2021. Т. 85, № 4. С. 528–538. DOI: 10.31857/S258755662104004X.

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 Surface Runoff Formation. Forecast of the Damage Caused. Compensatory Reclamation Measures]. Novocherkassk, RosNIIPM, 450 p. (In Russian).

2. Duniway M.C., Pfennigwerth A., Fick S., Nauman T., Belnap J., Barger N., 2019. Wind erosion and dust from US drylands: a review of causes, consequences, and solutions in a changing world. *Ecosphere*, vol. 10, iss. 3, e02650, DOI: 10.1002/ecs2.2650.

3. Ypsilantis W.G., 2011. Upland soil erosion monitoring and assessment: An overview. Tech Note 438. Bureau of Land Management, National Operations Center. Denver, 35 p.

4. Belobrov V.P., Dridiger V.K., Yudin S.A., Ermolaev N.R., 2021. *K voprosu o diagnostike i zashchite pochv ot deflyatsii v Stavropol'skom krae* [On issue of diagnostics and protection of soils from deflation in Stavropol Territory]. *Agrarnyy vestnik Urala* [Agrarian Bulletin of the Urals], no. 2(205), pp. 12-25, DOI: 10.32417/1997-4868-2021-205-02-12-25. (In Russian).

5. Burlai A.V., Fursov A.D., 2019. *Otsenka agrokhimicheskogo i ekologo-toksikologicheskogo sostoyaniya zemel' sel'skokhozyaystvennogo naznacheniya v zapadnoy chasti Stavropol'skogo kraya* [Assessment of agrochemical, ecological and toxicological state of agricultural land in the western part of Stavropol Territory]. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK* [Achievements of Science and Technology of Agro-Industrial Complex], vol. 33, no. 4, pp. 16-19, DOI: 10.24411/0235-2451-2019-10404. (In Russian).

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

7. Kuznetsov M.S., Glazunov G.P., 2020. *Eroziya i okhrana pochv* [Erosion and Soil Protection]. Moscow, Moscow State University Publ., 387 p. (In Russian).

8. Maltsev K.A., Ermolaev O.P., 2019. *Potentsial'nye erozionnye poteri pochvy na pakhotnykh zemlyakh evropeyskoy territorii Rossii* [Potential soil loss from erosion on arable lands of European part of Russia]. *Pochvovedenie* [Eurasian Soil Science], no. 12, pp. 1502-1512, DOI: 10.1134/S0032180X19120104. (In Russian).
9. Kogut B.M., Artemyeva Z.S., Kirillova N.P., Yashin M.A., Soshnikova E.I., 2019. *Komponentnyy sostav organicheskogo veshchestva vozdušno-sukhikh i vodoustoychivyykh makroagregatov 2–1 mm tipichnogo chernozema v usloviyakh kontrastnogo zemlepol'zovaniya* [Organic matter of the air-dried and water-stable macroaggregates of haplic chernozem in contrasting variants of land use]. *Pochvovedenie* [Soil Science], no. 2, pp. 161-170, DOI: 10.1134/S0032180X19020084. (In Russian).
10. Ivanov A.L., Kiryushin V.I., Molchanov E.N., Savin I.Yu., Stolbovoy V.S., 2016. *Analiz zemel'noy reformy i agropromyshlennogo proizvodstva za chetvert' veka. Pochvenno-ekologicheskie, tekhnologicheskie, institutsional'nye i infrastrukturnye aspekty modernizatsii. Zemel'naya sluzhba (doklad)* [Analysis of land reform and agro-industrial production for a quarter of a century. Soil-ecological, technological, institutional and infrastructure aspects of modernization. Land service (report)]. Moscow, Dokuchaev Soil Institute, 93 p. (In Russian).
11. Dridiger V.K., Godunova E.I., Eroshenko F.V., Stukalov R.S., Gadzhumarov R.G., 2018. Effect of No-till technology on erosion resistance, the population of earthworms and humus content in soil. *Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences*, no. 9(2), pp. 766-770, DOI: 10.25930/n2wx-cf73.
12. Clark R.D., 1980. Erosion condition classification system. Tech Note 346. Bureau of Land Management. Denver, Denver Service Center, 47 p.
13. Izvekov A.S., Sazhin A.N., Vasiliev Yu.I., 2002. *Vetroenergeticheskie usloviya formirovaniya pyl'nykh bur' v stepyakh Evropeyskoy Rossii* [Wind energy conditions for the dust storms formation in the steppes of European Russia]. *Vestnik RASKHN* [Bulletin of RAS], no. 4, pp. 47-57. (In Russian).
14. Romanovskaya A.Yu., Savin I.Yu., 2020. *Sovremennyye metody monitoringa vetrovoy erozii pochv* [Modern techniques for monitoring soil wind erosion]. *Byulleten' Pochvennogo instituta imeni V. V. Dokuchaeva* [V.V. Dokuchaev Soil Bulletin], no. 104, pp. 110-157, <https://doi.org/10.19047/0136-1694-2020-104-110-157>. (In Russian).
15. Lobanov A.I., Savost'yanov V.K., Pimenov A.V., 2015. *Deflyatsiya pochv i agrolesomeliativnye meropriyatiya na yuge Sredney Sibiri (k 55-letiyu organizatsii Khakasskogo protiverozionnogo statsionara Instituta lesa im. V. N. Sukacheva SO RAN)* [Soil deflation and agricultural afforestation measures in the south of Central Siberia (to the 55th anniversary of Khakass erosion-preventive station of V. N. Sukachev Forest Institute SB RAS)]. *Sibirskiy lesnoy zhurnal* [Siberian Forest Journal], no. 1, pp. 105-117. (In Russian).
16. Mabit L., Meusburger K., Iurian A.R., Owens P.N., Toloza A., Alewell C., 2014. Sampling soil and sediment depth profiles at a fine-resolution with a new device for determining physical, chemical and biological properties: the Fine Increment Soil Collector (FISC). *Journal of Soils and Sediments*, vol. 14(3), pp. 630-636, <https://doi.org/10.1007/s11368-013-0834-8>.
17. Fulajtar E., Mabit L., Renschler C.S., Lee Zhi Yi A., 2017. Use of ¹³⁷Cs for soil erosion assessment. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome, 64 p.
18. Zížala D., Juřicová A., Zádorová T., Zelenková K., Minařík R., 2019. Mapping soil degradation using remote sensing data and ancillary data: South-East Moravia, Czech Republic. *European Journal of Remote Sensing*, vol. 52, pp. 108-122, DOI: 10.1080/22797254.2018.1482524.
19. Wang W., Samat A., Ge Y., Ma L., Tuheti A., Zou S., Abuduwaili J., 2020. Quantitative soil wind erosion potential mapping for Central Asia using the Google Earth Engine platform. *Remote Sensing*, vol. 12, iss. 20, 3430, <https://doi.org/10.3390/rs12203430>.

20. Kouchami-Sardoo I., Shirani H., Esfandiarpour-Boroujeni I., Besalatpour A.A., Hajabbasi M.A., 2020. Prediction of soil wind erodibility using a hybrid Genetic algorithm – Artificial neural network method. *Catena*, vol. 187, 104315, <https://doi.org/10.1016/j.catena.2019.104315>.

21. Kulik K.N., 2022. *Sovremennoe sostoyanie zashchitnykh lesonasazhdeniy v Rossiyskoy Federatsii i ikh rol' v smyagchenii posledstviy zasukh i opustynivaniya zemel'* [The current state of protective forest plantations in the Russian Federation and their role in mitigating the consequences of droughts and land desertification.]. *Nauchno-agronomicheskii zhurnal* [Scientific Agronomy Journal], no. 3(118), pp. 8-13, DOI: 10.34736/FNC.2022.118.3.001.08-13. (In Russian).

22. Barabanov A.T., Petelko A.I., Panov V.I., Kulik A.V., Gordienko O.A., Shaifulin M.R., 2021. *Ot osnov protivooerozionnoy melioratsii shkoly A. S. Kozmenko – G. P. Surmach k sovremennym sistemam adaptivno-landshaftnogo zemledeliya (istoriya erozirovedeniya vo VNIALMI)* [From the basics of anti-erosion reclamation of A. S. Kozmenko – G. P. Surmach school to contemporary systems of adaptive landscape farming (history of erosion science at VNIALMI)]. *Nauchno-agronomicheskii zhurnal* [Scientific Agronomy Journal], no. 3(114), pp. 6-19, DOI: 10.34736/FNC.2021.114.3.001.6-19. (In Russian).

23. Panov V.I., 2021. *Optimizatsiya sootnosheniya osnovnykh landshaftnykh ugody (klasterov) v basseynovom agroekolandshafte stepnogo zasushlivogo poyasa Rossii* [Optimization of the ratio of the main landscape areas (clusters) in the basin agroecolandscape of the steppe arid belt of Russia]. *Nauchno-agronomicheskii zhurnal* [Scientific Agronomy Journal], no. 2, pp. 6-17, DOI: 10.34736/FNC.2021.113.2.001. (In Russian).

24. Poluektov E.V., 2020. *Eroziya pochv i plodorodie: monografiya* [Soil Erosion and Fertility: monograph]. Novocherkassk Reclamation Engineering Institute of Don State Agrarian University, Novocherkassk, Lik Publ., 229 p. (In Russian).

25. Ivonin V.M., 2019. [Forest landscape reclamation potential analysis]. *Nauchnyy zhurnal Rossiyskogo NII problem melioratsii*, no. 2(34), pp. 51-67, available: <http://www.rosniipm-sm.ru/article?n=970> [accessed 21.02.2023], DOI: 10.31774/2222-1816-2019-2-51-67. (In Russian).

26. Poluektov E.V., Balakay G.T., Kulaeva Ya.I., 2020. *Poteri pochvy ot deflyatsii na obyknovennykh chernozemakh Rostovskoy oblasti* [Soil losses from deflation on ordinary chernozems of Rostov region]. *Puti povysheniya effektivnosti oroshaemogo zemledeliya* [Ways of Increasing the Efficiency of Irrigated Agriculture], no. 4(80), pp. 52-59. (In Russian).

27. Kan N.A. [et al.], 1985. *Programmirovaniye tekhnologii vozdeystviya sel'skokhozyaystvennykh kul'tur na oroshaemykh zemlyakh Severnogo Kavkaza: rekomendatsii* [Programming the Technology of Cultivating Agricultural Crops on Irrigated Lands of North Caucasus: recommendations]. Rostov-on-Don, Rostov Book Publ., 120 p. (In Russian).

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

29. Babichev A.N., Balakay G.T., Monastyrsky V.A., 2017. [Operational control of the irrigation regime when programming the productivity of agricultural crops]. *Nauchnyy zhurnal Rossiyskogo NII problem melioratsii*, no. 3(27), pp. 83-96, available: <http://www.rosniipm-sm.ru/article?n=285> [accessed 21.02.2023]. (In Russian).

30. Evseeva N.S., Kvasnikova Z.N., Kashiro M.A., Volkova M.A., Nosyreva O.V., 2021. *Vetrovoy rezhim yugo-vostoka Zapadno-Sibirskoy ravniny kak faktor riska razvitiya deflyatsii pochv v agrolandshaftakh (na primere yuga Tomskoy oblasti)* [Wind regime of the southeast of the West Siberian Plain as a risk factor for the development of soil deflation development in agricultural landscapes (the case of the South of Tomsk region)]. *Izvestiya RAN*.

Seriya geograficheskaya [Bulletin RAS. Geographic Series], vol. 85, no. 4, pp. 528-538, DOI: 10.31857/S258755662104004X. (In Russian).

Информация об авторах

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

Р. С. Масный – временно исполняющий обязанности директора, кандидат военных наук;

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;

R. S. Masnyi – Acting Director, Candidate of Military Sciences;

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 14.02.2023; одобрена после рецензирования 31.03.2023; принята к публикации 25.04.2023.

The article was submitted 14.02.2023; approved after reviewing 31.03.2023; accepted for publication 25.04.2023.