

МЕЛИОРАЦИЯ, ВОДНОЕ ХОЗЯЙСТВО И АГРОФИЗИКА

Научная статья

УДК 631.459.2

doi: 10.31774/2712-9357-2026-16-3-133-147

Защита почв от эрозии на экотонной основе

Евгений Валерьянович Полуэктов¹, Ирина Альбертовна Петрова²

^{1, 2}Новочеркасский инженерно-мелиоративный институт имени А. К. Кортунова – филиал Донского государственного аграрного университета, Новочеркасск, Российская Федерация

¹e.poluektov@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4210-2913>

²petroffa_i@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0199-4492>

Аннотация. Цель: анализ стокорегулирующей роли подстилающей поверхности рыхлой (зябь) и уплотненной (посевы озимых культур, многолетних трав) пашни. **Материалы и методы.** Сток талых и дождевых вод, смыв почвы учитывались на стационарных и временных стоковых площадках. Физические и водно-физические свойства почвы определялись общепринятыми в почвоведении и земледелии методами. **Результаты.** В многолетних исследованиях (1970–2026 гг.) в зоне обыкновенных черноземов юга России в системах полевых севооборотов изучалась подстилающая поверхность (слой почвы 0–30 см с растительностью и корневой системой). Было установлено, что в зависимости от способа обработки почвы (отвальная, плоскорезная, чизельная, поверхностная, нулевая) и ее подготовки под посев озимой пшеницы, количества механизированных операций, культуры, выращиваемой на поле, формируемые поверхности обладают различными физическими и водно-физическими свойствами, которые будут определять интенсивность эрозионных процессов (сток талых и дождевых вод, смыв почвы). От их водозадерживающей и почвозащитной роли будет зависеть интенсивность агрогенной деградации почвенного покрова и его плодородие. **Выводы.** Усиление противозерозионной роли подстилающей поверхности возможно посредством экотонного принципа построения почвозащитной системы через насыщение ее приемами, технологиями, мероприятиями, обеспечивающими контроль над процессами эрозии. Это могут быть специальные агротехнические приемы (щелевание, почвоуглубление, кротование и др.), создание системы лесных насаждений, усиление их простейшими гидротехническими сооружениями (валы, каналы, запруды), а также научно обоснованное сочетание в пространстве различных по свойствам подстилающих поверхностей (полосное размещение сельскохозяйственных культур и агрофонов).

Ключевые слова: подстилающая поверхность, плотность сложения, порозность, водопроницаемость, сток талых вод, смыв почвы, экотон

Источник финансирования: собственные средства.

Для цитирования: Полуэктов Е. В., Петрова И. А. Защита почв от эрозии на экотонной основе // Мелиорация и гидротехника. 2026. Т. 16, № 3. С. 133–147. <https://doi.org/10.31774/2712-9357-2026-16-3-133-147>.

LAND RECLAMATION, WATER MANAGEMENT AND AGROPHYSICS

Original article

Protection of soils from erosion on an ecotone basis



Evgeniy V. Poluektov¹, Irina A. Petrova²

^{1, 2}Novocherkassk Engineering and Land Reclamation Institute named after A. K. Kortunov – branch of the Don State Agrarian University, Novocherkassk, Russian Federation

¹e.p0luektov@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4210-2913>

²petroffa_i@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0199-4492>

Abstract. Purpose: to analyze the runoff-regulating role of the underlying surface of loose (ploughed field) and compacted (winter crops, perennial grasses) arable land. **Materials and methods.** Meltwater and rainwater runoff, as well as soil erosion, were measured at permanent and temporary runoff plots. Physical and hydro-physical soil properties were determined using methods standard in soil science and agriculture. **Results.** The underlying surface (0–30 cm soil layer with vegetation and root system) was studied in long-term research (1970–2026) in field crop rotation systems in the ordinary chernozem zone of southern Russia. It was determined that, depending on the method of soil cultivation (moldboard, subsurface, chisel, surface, no-till) and its preparation for winter wheat sowing, the number of mechanized operations, and the crop grown in the field, the resulting surfaces have different physical and hydro-physical properties, which will determine the intensity of erosion processes (melt and rainwater runoff, soil erosion). The intensity of agrogenic degradation of the soil cover and its fertility will depend on their water-retaining and soil-protecting role. **Conclusions.** Strengthening the anti-erosion role of the underlying surface is possible through the ecotone principle of constructing soil-protection system by saturating it with techniques, technologies, and measures that ensure control over erosion processes. These may include specialized agricultural techniques (slitting, soil deepening, mole control, etc.), the creation of a forest plantation system, their reinforcement with simple hydraulic structures (embankments, canals, dams), as well as scientifically based spatial combinations of underlying surfaces with different properties (strip placement of agricultural crops and agricultural backgrounds).

Keywords: underlying surface, soil density, porosity, permeability, meltwater runoff, soil losses, ecotone

Funding source: own funds.

For citation: Poluektov E. V., Petrova I. A. Protection of soils from erosion on an ecotone basis. *Land Reclamation and Hydraulic Engineering*. 2026;16(3):133–147. (In Russ.). <https://doi.org/10.31774/2712-9357-2026-16-3-133-147>.

Введение. В классическом понимании экотон – это переходная, пограничная, часто размытая зона (полоса) между физиономически различными сообществами, экосистемами, например, опушка леса или граница между водой и сушей и т. д. Современное определение экотона – это переходная область между смежными экологическими системами, обладающими рядом характеристик, зафиксированных в пространственно-временных координатах и определяемых силой связей и интенсивностью взаимодействия соседних экосистем [1]. Согласно трудам различных ученых [1–6], экотоны осуществляют функции соединения (швов) различных природных или агротехнических систем.

В экологическом плане экотоны выполняют важные ландшафтные функции: мембранные, контактные, барьерные. Мембрана – гибкая тонкая пленка, приведенная внешними силами в состояние напряжения и обладающая вследствие этого упругостью [2]. Контактная функция обеспечивает связь внешнего воздействия среды с экосистемой. Барьер (биологический) – участок в пределах биосферы, на котором происходят изменения гидродинамических или физико-химических условий, приводящих к увеличению или уменьшению подвижности элементов. Барьер, созданный человеком, является препятствием на пути гидродинамических потоков, резко снижает их энергию, приводящую к разрушению окружающей среды.

С точки зрения эрозиоведения нас интересует экотонный принцип сопряжения биотических и абиотических смежных систем, познание закономерностей которых актуально в связи с их агрогенной дестабилизацией. Изучение особенностей контакта двух или более смежных агросред, оказывающих взаимное влияние друг на друга, а также подвергающихся негативному влиянию внешних факторов, позволит установить вещественно-энергетический обмен между ними, найти оптимальное решение для нейтрализации дестабилизирующих процессов. Когда речь идет о защите почв от эрозии, это прежде всего поверхностный сток талых и дождевых вод, смыв (вынос ветром) почвы и грунта, изменение водного режима территории, загрязнение водных источников и др.

Проявление повышенной напряженности вещественно-энергетических возмущений природной среды нейтрализуется в агросистеме вначале подстилающей поверхностью, а далее усилением ее почвозащитными приемами, технологиями и мероприятиями [7, 8].

Остановимся более подробно на экологических функциях агроэкосистемы, испытывающей наибольшее воздействие природных и антропогенных факторов. Из сельскохозяйственных угодий максимально эрозии подвержена пашня. Многократное механическое воздействие на почву для того,

чтобы подготовить ее к дальнейшему использованию в сельскохозяйственном производстве, создает фон подстилающей поверхности, обладающей определенными физическими и водно-физическими свойствами. От этого во многом будет зависеть ее стокорегулирующая способность, оказывающая определяющее влияние на интенсивность эрозионных процессов.

В понятие «подстилающая поверхность» входят верхний слой почвы и растительность с корневой системой [9]. Согласно многолетним исследованиям, подстилающая поверхность на пашне играет роль мембраны в состоянии напряжения, обладающей различной величиной упругости (противоэрозионной устойчивостью), которая во многом будет определяться способом обработки, количеством механических операций, наличием растительного покрова или остатков растительности на поверхности пашни.

С учетом того, что наибольший масштаб развития эрозионных процессов наблюдается в холодный период года, целью данной работы стал анализ стокорегулирующей роли подстилающей поверхности рыхлой (зябь) и уплотненной (посевы озимых культур, многолетних трав) пашни.

Материалы и методы. Исследования проводились на черноземах обыкновенных различной степени эродированности в пределах Приазовской наклонной равнины в системе полевых севооборотов при разнообразных способах основной обработки почвы: отвальной, плоскорезной, чизельной, поверхностной, нулевой, а также на посевах озимой пшеницы, многолетних трав в период с 1970 по 2026 г.

Почва на опытных участках характеризовалась тяжелосуглинистым гранулометрическим составом, мощностью гумусового горизонта А + В от 45 см у среднеэродированных до 63 см у слабоэродированных разновидностей с содержанием гумуса в пахотном слое от 2,7 до 3,4 % соответственно. Реакция среды от слабощелочной до щелочной.

Сток талых и дождевых вод, смыв почвы учитывались на стационарных и временных стоковых площадках в период 1970–2026 гг., а в опыте

по изучению системы почвозащитных мероприятий с 1976 по 2017 г. Физические и водно-физические свойства почвы определялись общепринятыми в почвоведении и земледелии методами, описанными А. Ф. Вадюниной и З. А. Корчагиной [10].

Результаты и обсуждения. Как показали результаты исследований, плотность сложения пахотного слоя (0–30 см) на зяби определялась глубиной и числом механических обработок. При глубине обработки почвы 22–29 см пахотный горизонт характеризовался однородным сложением. При нулевой и поверхностной обработках верхний слой 0–10 см заметно отличался от нижележащего. Разница в величине плотности сложения составляла 0,12–0,16 г/см³. В соответствии с этим общая порозность при глубокой обработке колебалась в пределах 57,4–59,6 % при отношении некапиллярных пор к капиллярным 1 : 1,5 – 1 : 2,2. На вариантах поверхностной обработки это соотношение составило 1 : 2,8, а нулевой – 1 : 3,7 (таблица 1).

Таблица 1 – Сложение пахотного слоя и водопроницаемость при различных способах обработки почвы поздней осенью

Table 1 – Arable layer consistency and water permeability under different methods of soil cultivation in late autumn

Способ обработки почвы	Плотность сложения, г/см ³	Порозность, %			Водопрочные агрегаты > 0,25 мм, %	Водопроницаемость, мм/мин, в предзимний период
		общая	капиллярная	некапиллярная		
1	2	3	4	5	6	7
Ранняя отвальная зябь	1,06	57,4	31,9	25,5	46,9	1,34–2,26
Поздняя отвальная зябь	0,98	59,6	2,7	30,1	50,9	2,35–4,53
Плоскорезная зябь	1,01	59,3	30,5	29,0	49,0	1,87–2,99
Чизельная обработка	1,02	59,4	30,2	29,2	53,8	2,11–3,54
Поверхностная обработка	1,16	53,2	39,7	14,2	44,7	0,37–0,84
Нулевая обработка	1,24	50,9	40,0	10,9	46,3	0,22–0,49
Целинный участок	1,04	59,4	33,1	26,3	80,4	3,17–3,65
Озимая пшеница по вспашке	1,19	53,1	40,8	12,3	51,6	0,98–1,72

Продолжение таблицы 1

Table 1 continued

1	2	3	4	5	6	7
Озимая пшеница по поверхностной об- работке	1,21	51,3	40,1	11,2	50,7	1,02–1,63
Многолетние травы 3-го года жизни	1,2	52,8	32,5	20,3	71,9	1,21–1,63

Естественно, такое разное сложение пахотного слоя отразилось на величине водопроницаемости, которая при минимальных обработках (нулевой и поверхностной) в среднем составила 0,46 мм/мин, в то время как при глубокой обработке зяби 2,26 мм/мин, т. е. почти в 6 раз выше. Это оказало влияние на увлажнение почвы осенью до ее промерзания. При глубине обработки почвы 22–29 см влага равномерно перераспределялась по всему профилю пахотного слоя и за его пределы. При поверхностной и нулевой обработках осадки медленно просачивались вглубь почвы, создавая зоны повышенной влажности на глубине от 5–10 до 27–29 см, что после промерзания и закупорки водопроводящих пор резко снижало водопроницаемость [11].

Несколько в ином плане характеризуется сложение пахотного слоя на посевах озимой пшеницы и многолетних трав. Здесь заметно выше плотность сложения слоя почвы 0–30 см – 1,19–1,22 г/см³. Общая порозность на 11 % ниже, чем на вариантах глубокой обработки зяби, но близка к порозности при поверхностной обработке. Отношение некапиллярных пор к капиллярным на посевах озимой пшеницы составляет 1 : 3,4, а на участках многолетних трав 1 : 1,6. Такая разница обусловлена тем, что подготовка почвы к посеву озимых культур связана с целым комплексом механических обработок: культивация, посев, прикатывание, которые оказывают заметное влияние на физические и водно-физические свойства пахотного слоя. Вместе с тем после всходов посевов, развития корневой системы и надземной биомассы увеличивается мембранная упругость подстилающей поверхности, что существенно влияет на величину смыва почвы.

Заметно лучше в этом плане выглядят многолетние травы второго и последующих лет жизни. Так, на посевах люцерны перед уходом в зиму масса корней в слое 0–30 см может составлять 4,5–5,5 т/га, а надземная 1,8–2,8 т/га. Это в немалой степени оказало влияние на количество водопрочных агрегатов, которое превосходит данный параметр при зяблевой обработке в 1,3–1,6 раза, а на посевах озимой пшеницы в 1,4 раза. Вместе с тем высокая плотность сложения на участках данной культуры, связанная с многочисленными проходами сельскохозяйственной техники при скашивании и уборке сена, оказала влияние на водопроницаемость. Она незначительно отличалась от водопроницаемости на посевах озимой пшеницы, но была в 2,4 раза меньше, чем на целинном участке.

Полученные результаты исследований физических и водно-физических свойств верхнего слоя почвы 0–30 см позволили разделить обрабатываемые земли по отношению к стоку талых вод по такому же принципу, как у Г. П. Сурмача [12]: на рыхлую пашню (зябь с глубиной обработки не менее 22 см) и уплотненную пашню (посевы озимых культур, многолетних трав, поверхностная и нулевая обработки). Их усредненные характеристики приведены нами в ранее опубликованных работах [13, 14].

В отличие от работ Г. П. Сурмача, в наших исследованиях дана подробная характеристика сложения подстилающей поверхности (слой 0–30 см), включая физические и водно-физические свойства, с учетом широкого спектра современных способов основной обработки и подготовки почвы под посев озимых культур.

Различные физические и водно-физические характеристики пахотного слоя отразились на интенсивности водопоглощения в период снеготаяния и величине стока талых вод (таблица 2).

Скорость просачивания талой воды при естественном снеготаянии самой низкой была на фоне нулевой обработки, что связано с наличием на поверхности почвы ледяной корки, образовавшейся в период оттепели, ко-

торая прервалась резким похолоданием. При поверхностной обработке она была фрагментарной и растаяла в течение первых двух дней. Отсутствовала ледяная корка при отвальной вспашке. Величина водопроницаемости при нулевой обработке увеличилась лишь к концу стока (через 6 дней), когда почва оттаяла с поверхности на 2–3 см. Параметр составил 0,06 мм/мин. Сток талых вод при нулевой обработке имел сильную интенсивность, а при поверхностной – умеренную. Отсутствовал сток талых вод при отвальной вспашке на 25–27 см. Но это частный случай.

Таблица 2 – Водопроницаемость и сток на зяби при различных способах ее обработки (март 1988 г.)

В мм/мин

Table 2 – Water permeability and fallow land runoff under different methods of its cultivation (March 1988)

In mm/min

Вариант	При естественном снеготаянии	Метод колец			Сток, мм
		За 1-й час	За 2-й час	Среднее	
Отвальная вспашка на глубину 25–27 см	0,112	0,51	0,63	0,57	0
Поверхностная обработка на глубину 10–12 см	0,073	0,29	0,18	0,23	19,6
Нулевая обработка	0,001	0,02	0,01	0,015	31,0

Если проанализировать сток талых вод за период с 1970 по 2026 г., при глубокой обработке зяби он имел место в течение 10 лет, а на посевах озимой пшеницы и многолетних трав в течение 32 лет. На основании этого смыв почвы за годы со стоком составил соответственно 22,5 и 10,1 т/га [14]. Как видно из представленных данных, сток талых вод чаще всего формировался на уплотненной пашне – один раз в 2 года и рыхлой пашне – один раз в 5,6 года. Полученные данные о стоке талых вод позволяют рациональнее размещать на склоновых землях сельскохозяйственные культуры и агрофоны, с учетом их мембранной упругости и противозрозионной устойчивости.

Была установлена еще одна интересная деталь при формировании

стока талых вод. В большинстве случаев при слое стока на уплотненной пашне до 20–25 мм на фоне глубокой зяблевой обработки он практически отсутствовал. Вместе с тем были годы с исключением, когда в холодный период наступала оттепель, которая прерывалась резким понижением температуры с образованием на поверхности почвы ледяной корки. В дальнейшем сток талых вод имел место и на уплотненной и на рыхлой пашне практически в равных количествах.

Подводя итог изучению влияния подстилающей поверхности на сток талых вод, можно четко отметить, что каждая из них обладает своей мембранной упругостью и соответственно противоэрозионной устойчивостью, а потому по-разному влияет на интенсивность эрозионных процессов. Это положение было принято за основу при обосновании контурно-полосного размещения сельскохозяйственных культур и агрофонов. Суть его заключается в чередовании на склонах полос равновеликой ширины (от 40 до 60 м): зяби (рыхлая пашня) и посевов озимых культур или многолетних трав, поверхностной обработки (уплотненная пашня).

Полосное размещение сельскохозяйственных культур и агрофонов суммирует в себе все три экотонные функции: мембранные – это разные по физическим и водно-физическим свойствам подстилающие поверхности; контактные – наличие на поверхности почвы стерни, растительных остатков, посевов сельхозкультур; барьерные – формирование через 2–3 года по границам полос при основной обработке почвы вала (высотой до 0,35 м) с широким основанием (2,5–3,5 м). Стокорегулирующая роль мембранной функции подробно описана выше, остановимся на контактной [14]. Ее роль заметно проявляется в период перераспределения снега по подстилающей поверхности. Если в полосах чередуются отвальная зябь с озимой пшеницей или многолетними травами, мощность снега на последних в 1,5–2 раза выше, чем на зяби. Под действием ветра в нижней части полос, занятых растениями, формируются снежные шлейфы шириной до 15 м и мощно-

стью 15–40 см. Плотность снега в шлейфах 0,25–0,32 г/см³, что на 10–13 % выше, чем на полосе.

При таянии снега в первую очередь от него освобождается зябь, так как здесь и снега меньше, и тает он на отдельных участках на черной поверхности зяби быстрее. Если на полосах зяби образуется поверхностный сток, его перехватывают заснеженные полосы озимой пшеницы (многолетних трав). Здесь снег лежит на 3–4, а иногда на 5–6 дней дольше, чем на зяби. Талый снег отличается плохой водопроницаемостью, поэтому хорошо задерживает поверхностный сток с вышерасположенной полосы. Скорость потока талых вод на полосах зяби составляет 0,11–0,46 м/с, а на заснеженных полосах озимой пшеницы, многолетних трав в 25–35 раз ниже. К тому времени, когда и с полос озимой пшеницы (многолетних трав) начинается сток, его частично перехватывают снежные шлейфы в нижней части полосы и в основном полосы с зяблевой обработкой, где почва уже успела оттаять с поверхности и обладает значительно лучшей водопроницаемостью, чем уплотненная пашня.

Барьерная функция валов на границах полос обеспечивает пассивное задержание стока талых вод слоем до 10 мм и твердого объема 5–8 т/га. Последнее наиболее рельефно проявляется в ложбинах на склонах от 2,5 до 4,5°.

В целом, характеризуя почвозащитную роль контурно-полосного размещения сельскохозяйственных культур и агрофонов, можно говорить о его ограниченной стокорегулирующей роли. Слой задержанного стока не превышает 20–24 мм. Вместе с тем, согласно многолетним экспериментальным данным, объем предотвращенного смыва почвы, не выходящего за пределы двух смежных полос с различной мембранной упругостью, в период снеготаяния составляет 5–9 т/га, а при выпадении ливневых дождей 8–13 т/га. В последнем случае большое значение придается барьерной функции вала с широким основанием на границе полосы.

Усиление почвозащитной функции контурно-полосного размещения сельскохозяйственных культур и агрофонов осуществляется посредством специальных агротехнических мероприятий. В качестве таковых могут применяться: щелевание, кротование, почвоуглубление, приемы, создающие на поверхности пашни искусственный нанорельеф, и др. В данном случае речь идет об экотонной мозаике. Применяя этот блок приемов, мы увеличиваем мембранную упругость подстилающей поверхности, повышая ее водозадерживающую и водопоглощающую способность. Согласно многолетним исследованиям в стационарном опыте по изучению системы почвозащитных мероприятий, на вариантах сплошного размещения культур и агрофонов сток талых вод составил более 32 мм. Более чем наполовину слой стока уменьшился при сочетании полос зяби с полосами посевов озимой пшеницы (таблица 3).

Таблица 3 – Сток талых вод и смыв почвы на вариантах системы почвозащитных мероприятий (1976–2017 гг.)

Table 3 – Meltwater runoff and soil losses in options of soil conservation measures system (1976–2017)

Вариант опыта	Сток талых вод, мм	Смыв почвы, т/га
Сплошное размещение сельскохозяйственной культуры (агрофона)	32,8	16,5
Контурно-полосное размещение зяби и посевов озимой пшеницы	15,6	4,2
Контурно-полосное размещение зяби и посевов озимой пшеницы + поделка микролиманов на зяби и щелевание посевов озимой пшеницы	3,1	2,1

Еще в большей степени (в 3,9 раза) снизился смыв почвы, это связано с тем, что растения озимой пшеницы, находящиеся в этот период в фазе кущения, играют роль мембраны. Применение специальных агротехнических приемов позволило благодаря повышению водопроницаемости почвы снизить слой стока до 3,1 мм, а смыв до 2,1 т/га. В то же время стоит заметить, что это усредненные данные за 29 лет. Вместе с тем были годы (1985, 2003 гг.), когда сток талых вод при контурно-полосном размещении куль-

тур и агрофонов составлял 60–80 мм, а смыв почвы до 30 т/га. В таких случаях в качестве экотона, обеспечивающего нейтрализацию эрозионных процессов, выступает система лесных полос, усиленных простейшими гидросооружениями в виде валов, канав, запруд и др.

Выводы. Проведенными исследованиями установлено, что механическое воздействие на почву: способы, глубина и число обработок, формирует подстилающие поверхности, обладающие различными физическими и водно-физическими свойствами. Они первоначально будут определять стокорегулирующую и противоэрозионную способность почвенного покрова в период проявления эрозионных процессов в агроэкосистеме.

Научно обоснованное сочетание их в пространстве обеспечивает вещественно-энергетический обмен между различными подстилающими поверхностями с выполнением важных экологических функций: мембранных, контактных, барьерных (например, полосное размещение сельхозкультур и агрофонов). В связи с тем, что почвозащитная роль подстилающей поверхности – ограниченно удерживать и поглощать определенное количество стока талой и дождевой воды, снижать величину смыва почвы, дальнейшее усиление ландшафтных функций подстилающей поверхности возможно через насыщение ее специальными агротехническими приемами, лесными насаждениями, простейшими гидросооружениями и т. д. Это будет представлять собой экотонную мозаику, где экологические функции вступают в более сложные взаимоотношения в системе почвозащитных комплексов.

В целом экотон с эрозионной точки зрения – это рубеж, где изменяются физические и водно-физические свойства подстилающей поверхности, условия поглощения и задержания поверхностного стока, контроль над смывом почвы.

Список источников

1. Соловьева В. В. Что такое «экотон»? // Самарский научный вестник. 2014. № 2(7). С. 116–119. EDN: SQLMTD.

2. Экотоны в биосфере / Рос. акад. наук, Ин-т вод. проблем, Рос. акад. естеств. наук; под ред. В. С. Залетаева. М., 1997. 329 с.

3. Hufkens K., Scheunders P., Ceulemans R. Ecotones in vegetation ecology: methodologies and definitions revisited // Ecological Research. 2009. Vol. 24, iss. 5. P. 977–986. DOI: 10.1007/s11284-009-0584-7. EDN: MZQBUZ.

4. Climate change versus land-use change – What affects the ecosystem services more in the forest-steppe ecotone / F. Cui, B. Wang, Q. Zhang, H. Tang, P. De Maeyer, R. Hamdi, L. Dai // Science of the Total Environment. 2021. Vol. 759. P. 143525. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2020.143525. EDN: BUTWHV.

5. Korlyakov K. A., Gashev S. N. Classification of ecotones in three-dimensional space: horizontal, vertical and cross-horizontal ecotones // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2022. Vol. 981. 032037. DOI: 10.1088/1755-1315/981/3/032037. EDN: OJYCKH.

6. Assessment of ecotone changes over the last six decades in two cultural landscapes: The case of the Prosecco Hills of Conegliano and Valdobbiadene UNESCO site and of the Olive Groves of the Slopes between Assisi and Spoleto GIAHS site / F. Piras, A. Bazzurro, B. Fiore, F. Romano, A. Santoro // Biodiversity and Conservation. 2023. Vol. 34, № 9. P. 3193–3210. DOI: 10.1007/s10531-023-02725-5. EDN: SYBVEZ.

7. Эрозионная устойчивость целинного чернозема и чернозема с классическим и No-Till видами обработки в условиях моделируемого сильного ливня / Е. С. Дорогая, Р. Р. Сулейманов, И. Ю. Сайфуллин, А. О. Миннегалиев, С. В. Зайкин // Социально-экологические технологии. 2022. Т. 12, № 2. С. 155–170. DOI: 10.31862/2500-2961-2022-12-2-155-170. EDN: FHAVBI.

8. Ивонин В. М., Воскобойникова И. В. Ландшафтная агролесомелиорация. Теоретические исследования и полевые эксперименты: монография / под ред. В. М. Ивонина; Новочеркас. инж.-мелиоратив. ин-т Донского ГАУ. Новочеркасск: Лик, 2021. 174 с. EDN: CQJOPQ.

9. Швебе Г. И. Теоретические основы эрозиоведения: монография. Киев, Одесса: Высш. шк., 1981. 222 с.

10. Вадюнина А. Ф., Корчагина З. А. Методы исследований физических свойств почв. М.: Агропромиздат, 1986. 415 с. EDN: DYLNHL.

11. Полуэктов Е. В., Батищев И. В. Мониторинг водопроницаемости в эрозионных процессах при различных способах обработки черноземов юга России // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. 2021. Т. 11, № 2. С. 158–173. DOI: 10.31774/2222-1816-2021-11-2-158-173. EDN: PVJCCU.

12. Сурмач Г. П. Водная эрозия и борьба с ней. Л.: Гидрометеиздат, 1976. 254 с.

13. 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. DOI: 10.31774/2712-9357-2023-13-1-1-18. EDN: CSYGMP.

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

References

1. Solovyova V.V., 2014. *Chto takoe «ekoton»? [What is “ecotone”?]. Samarskiy nauchnyy vestnik [Samara Scientific Bulletin]*, no. 2(7), pp. 116-119, EDN: SQLMTD. (In Russian).

2. Zaletaev V.S. [ed.], 1997. *Ekotony v biosfere [Ecotones in Biosphere]*. Russian Academy of Sciences, Institute of Water Problems, Russian Academy of Natural Sciences, Moscow, 329 p. (In Russian).

3. Hufkens K., Scheunders P., Ceulemans R., 2009. Ecotones in vegetation ecology: methodologies and definitions revisited. *Ecological Research*, vol. 24, iss. 5, pp. 977-986, DOI: 10.1007/s11284-009-0584-7, EDN: MZQBUZ.

4. Cui F., Wang B., Zhang Q., Tang H., De Maeyer P., Hamdi R., Dai L., 2021. Climate change versus land-use change – What affects the ecosystem services more in the forest-steppe ecotone. *Science of the Total Environment*, vol. 759, p. 143525, DOI: 10.1016/j.scitotenv.2020.143525, EDN: BUTWHV.

5. Korlyakov K.A., Gashev S.N., 2022. Classification of ecotones in three-dimensional space: horizontal, vertical and cross-horizontal ecotones. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, vol. 981, 032037, DOI: 10.1088/1755-1315/981/3/032037, EDN: OJYCKH.

6. Piras F., Bazzurro A., Fiore B., Romano F., Santoro A., 2023. Assessment of ecotone changes over the last six decades in two cultural landscapes: The case of the Prosecco Hills of Conegliano and Valdobbiadene UNESCO site and of the Olive Groves of the Slopes between Assisi and Spoleto GIAHS site. *Biodiversity and Conservation*, vol. 34, no. 9, pp. 3193–3210, DOI: 10.1007/s10531-023-02725-5, EDN: SYBVEZ.

7. Dorogaya E.S., Suleimanov R.R., Saifullin I.Yu., Minnegaliev A.O., Zaykin S.V., 2022. *Erozionnaya ustoychivost' tselinnogo chernozema i chernozema s klassicheskim i No-Till vidami obrabotki v usloviyakh modeliruyemogo sil'nogo livnya* [Erosion resistance of virgin chernozem and chernozem with classical and no-till tillage under the simulated heavy rainfall]. *Sotsial'no-ekologicheskie tekhnologii* [Social and Environmental Technologies], vol. 12, no. 2, pp. 155–170, DOI: 10.31862/2500-2961-2022-12-2-155-170, EDN: FHAVBI. (In Russian).

8. Ivonin V.M., Voskoboinikova I.V., 2021. *Landshaftnaya agrolesomelioratsiya. Teoreticheskie issledovaniya i polevye eksperimenty: monografiya* [Landscape Agroforestry. Theoretical Studies and Field Experiments: monograph]. Novocherkassk Engineering and Land Reclamation Institute – branch of the Don State Agrarian University, Novocherkassk, Lik Publ., 174 p., EDN: CQJOPQ. (In Russian).

9. Shvebe G.I., 1981. *Teoreticheskie osnovy eroziovedeniya: monografiya* [Theoretical Foundations of Erosion Studies: monograph]. Kyiv, Odessa, Higher School Publ., 222 p. (In Russian).

10. Vadyunina A.F., Korchagina Z.A., 1986. *Metody issledovaniya fizicheskikh svoystv pochv* [Methods for Studying the Physical Properties of Soils]. Moscow, Agropromizdat Publ., 415 p., EDN: DYLLHL. (In Russian).

11. Poluektov E.V., Batishchev I.V., 2021. *Monitoring vodopronitsaemosti v erosiionnykh protsessakh pri razlichnykh sposobakh obrabotki chernozemov yuga Rossii* [Monitoring of water permeability and erosion processes at different methods of primary tillage of chernozem in southern Russia]. *Nauchnyy zhurnal Rossiyskogo NII problem melioratsii* [Scientific Journal of the Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems], vol. 11, no. 2, pp. 158–173, DOI: 10.31774/2222-1816-2021-11-2-158-173, EDN: PVJCCU. (In Russian).

12. Surmach G.P., 1976. *Vodnaya eroziya i bor'ba s ney* [Water Erosion and Its Control]. Leningrad, Gidrometeoizdat Publ., 254 p. (In Russian).

13. Poluektov E.V., Balakay G.T., 2023. *Eroziionnye protsessy pri stoke talykh vod na yuge yevropeyskoy chasti Rossii* [Erosion processes during the meltwater runoff in the south of the European part of Russia]. *Melioratsiya i gidrotekhnika* [Land Reclamation and Hydraulic Engineering], vol. 13, no. 1, pp. 1–18, DOI: 10.31774/2712-9357-2023-13-1-1-18, EDN: CSYGMP. (In Russian).

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

Информация об авторах

Е. В. Полуэктов – профессор, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, Новочеркасский инженерно-мелиоративный институт имени А. К. Кортунова – филиал Дон-

ского государственного аграрного университета (346428, Ростовская область, г. Новочеркасск, ул. Пушкинская, д. 111), e.p0luektov@yandex.ru, ORCID: 0000-0003-4210-2913;
И. А. Петрова – доцент, кандидат сельскохозяйственных наук, Новочеркасский инженерно-мелиоративный институт имени А. К. Кортунова – филиал Донского государственного аграрного университета (346428, Ростовская область, г. Новочеркасск, ул. Пушкинская, д. 111), petroffa_i@mail.ru, ORCID: 0000-0003-0199-4492.

Information about the authors

E. V. Poluektov – Professor, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Novocherkassk Engineering and Land Reclamation Institute named after A. K. Kortunov – branch of the Don State Agrarian University (346428, Rostov region, Novocherkassk, Pushkinskaya st., 111), e.p0luektov@yandex.ru, ORCID: 0000-0003-4210-2913;

I. A. Petrova – Associate Professor, Candidate of Agricultural Sciences, Novocherkassk Engineering and Land Reclamation Institute named after A. K. Kortunov – branch of the Don State Agrarian University (346428, Rostov region, Novocherkassk, Pushkinskaya st., 111), petroffa_i@mail.ru, ORCID: 0000-0003-0199-4492.

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

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

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

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

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 14.05.2026; одобрена после рецензирования 14.09.2026; принята к публикации 15.09.2026.

The article was submitted 14.05.2026; approved after reviewing 14.09.2026; accepted for publication 15.09.2026.