

МЕЛИОРАЦИЯ, ВОДНОЕ ХОЗЯЙСТВО И АГРОФИЗИКА

Обзорная статья

УДК 631.6.02

doi: 10.31774/2712-9357-2024-14-2-186-210

Анализ взаимосвязей негативных последствий эрозии почв сельскохозяйственных угодий. Обзор методов ее снижения

Александр Евгеньевич Ушаков¹, Татьяна Андреевна Середа²

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

¹Sashka-ushakov@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3649-9945>

²sereda.tatyana.97@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0005-3762-9245>

Аннотация. Цель: определение причинно-следственных связей между факторами, влияющими на эрозию почвы сельскохозяйственных угодий юга России, обзор методов и стратегий ее снижения. **Обсуждение.** В условиях преобладающего воздействия водной и ветровой эрозии в рассматриваемом регионе данная проблема приобретает сложный характер, затрагивая физические, социально-экономические и экологические аспекты. Действию данного негативного фактора подвержено свыше 37 % обследованных земель, а снижение урожайности на сильно смытых участках может превышать 50 %. В связи с этим нами были рассмотрены сельскохозяйственные угодья юга России, подверженные воздействию водной и ветровой эрозии. Исследование основывается на обширных информационных ресурсах, таких как отчеты о состоянии сельского хозяйства, статистические данные отрасли и результаты предыдущих научных исследований. **Выводы.** Исходя из неочевидных, опосредованных последствий эрозии почвы сельскохозяйственных угодий, связанных между собой положительной обратной связью, формируется самоусиливающийся цикл, приводящий к постоянному усилению эрозионных процессов. В работе рассмотрены факторы, снижающие эрозию почвы сельскохозяйственных угодий, и их взаимодействие. Данные методы позволяют сократить использование производственных ресурсов и эрозию на 20 % и до 50 % соответственно, улучшить состояние почвы в долгосрочной перспективе на 30 %. Применение биотехнологий позволило увеличить урожайность некоторых культур на 21 %, количество макроэлементов с 5,3 до 6,13 %, а белка на 20 %. Сделан вывод о необходимости влияния не только на факторы возникновения или условия протекания смыва и выноса плодородного слоя почвы, но и на возможные последствия. Все это позволит снизить деградацию сельскохозяйственных угодий, а указанные аспекты могут быть использованы для разработки устойчивых стратегий землепользования и внедрения современных технологий в сельское хозяйство с целью сохранения почвенных ресурсов и повышения уровня жизни населения.

Ключевые слова: деградация сельскохозяйственных угодий, эрозия, причинно-следственные циклы (CLS), теоретическая концепция, устойчивые методы землепользования

Для цитирования: Ушаков А. Е., Середа Т. А. Анализ взаимосвязей негативных последствий эрозии почв сельскохозяйственных угодий. Обзор методов ее снижения // Мелиорация и гидротехника. 2024. Т. 14, № 2. С. 186–210. <https://doi.org/10.31774/2712-9357-2024-14-2-186-210>.

LAND RECLAMATION, WATER MANAGEMENT AND AGROPHYSICS

Review article

Analysis of interrelations of the negative consequences of soil erosion on agricultural land. Review of methods of its reducing

Alexander E. Ushakov¹, Tatyana A. Sereda²

^{1, 2}Novocherkassk Engineering and Land Reclamation Institute – branch of the Don State Agrarian University, Novocherkassk, Russian Federation

¹sashka-ushakov@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3649-9945>

²sereda.tatyana.97@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0005-3762-9245>

Abstract. Purpose: to determine causal relationships between factors influencing soil erosion in agricultural lands in the south of Russia, review methods and strategies for its reduction. **Discussion.** Under the prevailing influence of water and wind erosion in the region under consideration, this problem becomes complex, affecting physical, socio-economic and environmental aspects. Over 37 % of the surveyed lands are affected by this negative factor, and the reduction in yield in heavily washed-out areas can exceed 50 %. In this regard, we examined agricultural lands in the south of Russia that are exposed to water and wind erosion. The research is based on extensive information resources such as agricultural reports, industry statistics and previous research studies. **Conclusions.** Based on the unobvious, indirect consequences of soil erosion of agricultural land, interconnected by positive feedback, a self-reinforcing cycle is formed, leading to a constant increase in erosion processes. The factors reducing soil erosion on agricultural land and their interaction are examined. These methods make it possible to reduce the use of production resources and erosion by 20 % and up to 50 %, respectively, and improve the condition of the soil in the long term by 30 %. The use of biotechnology has made it possible to increase the yield of some crops by 21 %, the amount of macroelements from 5.3 to 6.13 %, and protein by 20 %. It is concluded that it is necessary to influence not only the factors of occurrence or conditions of the erosion and removal of the fertile soil layer, but also the possible consequences. All this will reduce the degradation of agricultural land, and these aspects can be used to develop sustainable land use strategies and introduce modern technologies in agriculture to preserve soil resources and improve the living standards.

Keywords: agricultural land degradation, erosion, cause-and-effect cycles (CLS), theoretical concept, sustainable land management practices

For citation: Ushakov A. E., Sereda T. A. Analysis of interrelations of the negative consequences of soil erosion on agricultural land. Review of methods of its reducing. *Land Reclamation and Hydraulic Engineering*. 2024;14(2):186–210. (In Russ.). <https://doi.org/10.31774/2712-9357-2024-14-2-186-210>.

Введение. В настоящее время наблюдается высокий уровень деградации земель значительной части территории Российской Федерации. Согласно предоставленной статистике [1–3], известно, что 24,3 % сельскохозяйственных угодий подвергаются воздействию ветровой и водной эрозии, а также их комплексному влиянию. А другая часть исследованных площадей, а именно 11,9 % общей площади сельскохозяйственных угодий, пред-

ставляет собой переувлажненные и засоленные почвы. Юг России является одним из самых вовлеченных в сельское хозяйство районов по естественным причинам и, как следствие, сталкивается с проблемами деградации и последующей потерей продуктивности почвенных ресурсов. Для решения данной проблемы необходимо разработать теоретическую базу, основывающуюся на принципе оценки цикличного влияния негативных факторов, изображенном на рисунке 1.

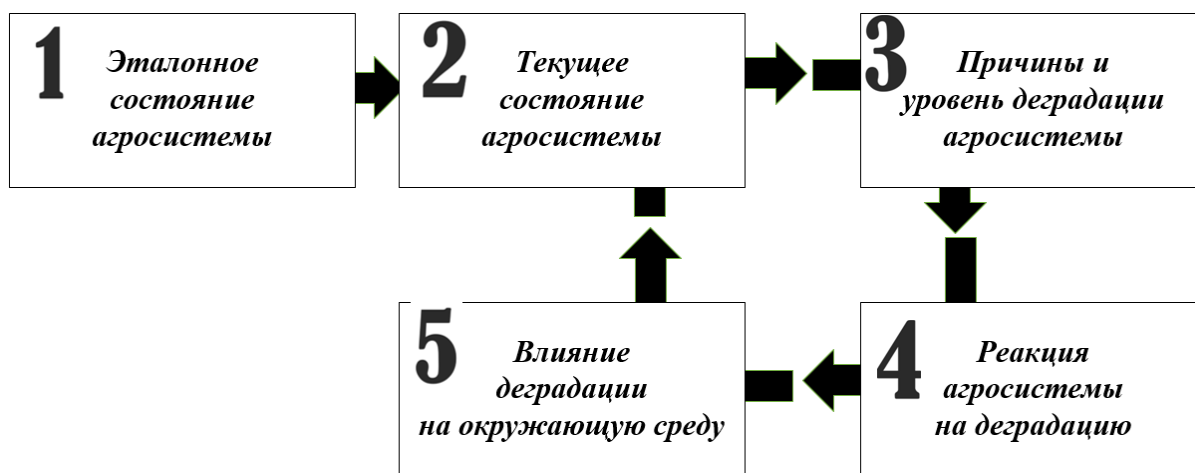


Рисунок 1 – Замкнутый цикл оценки участка агросистемы
Figure 1 – Closed cycle of an agrosystem area evaluation

Из данного принципа видно, что оценка сельскохозяйственных земель должна в первую очередь установить причину деградации и ее уровень. Важно определить реакцию почвы на негативные воздействия, прежде чем находить решение, и учесть далеко идущие последствия преобладающего фактора деградации.

Из отчета Министерства природных ресурсов и экологии [4], а также результатов исследований отечественных ученых [5, 6] известно, что основным фактором на юге России является эрозия почвы, так, водной эрозии подвержено 28,1 %, а дефляции 17,6 % всех пахотных земель. Однако проблема эрозии почв сельскохозяйственных угодий не ограничивается только потерей плодородного слоя. Ее последствия оказывают существенное влияние на агротехнические и социально-экономические системы региона.

Целью исследований было определение причинно-следственных связей между факторами, влияющими на эрозию почвы сельскохозяйственных угодий юга России, обзор методов и стратегий ее снижения.

Обсуждение. Для более глубокого понимания влияния эрозии и дефляции, а также взаимосвязей между различными аспектами исследуемой проблематики и их закономерностей был применен абстрактно-логический метод анализа. Для наглядного представления сложных взаимосвязей и последствий были разработаны диаграммы причинно-следственных циклов (CLS). Эти диаграммы позволяют визуализировать далеко идущие последствия проблемы деградации сельскохозяйственных угодий, выходящие за рамки сельскохозяйственной отрасли [7, 8]. Метод применения диаграмм CLS позволяет выделить усиливающие и балансирующие циклы, предоставляя системный взгляд на сложные вопросы, что способствует легкости восприятия результатов исследования и дает возможность предупредить увеличение нагрузки на эродированные участки. В работах отечественных ученых (Ю. П. Сухановского, А. Н. Пискунова, В. М. Ивонина, Е. В. Полуэктова, Г. Т. Балакая, К. Н. Кулика и др.) и зарубежных ученых (Morgan, Arnold, Fohrer и др.) были предложены как концептуальные, так и эмпирические модели эрозии, учитывающие глобальные факторы, приводящие к эродируемости земель, однако стоит отметить, что некоторые факторы сами по себе не вызывают смыв или вынос верхнего плодородного слоя, а лишь являются условиями для их протекания. Эрозия часто рассматривается как отдельная проблема, оказывающая существенное влияние лишь на продуктивность земель и качество почвы. Для лучшего понимания взаимосвязей и оценки негативных последствий эрозии нами была разработана диаграмма причинно-следственных циклов (CLS), показывающая далеко идущие последствия развития данного фактора деградации земель (рисунок 2).

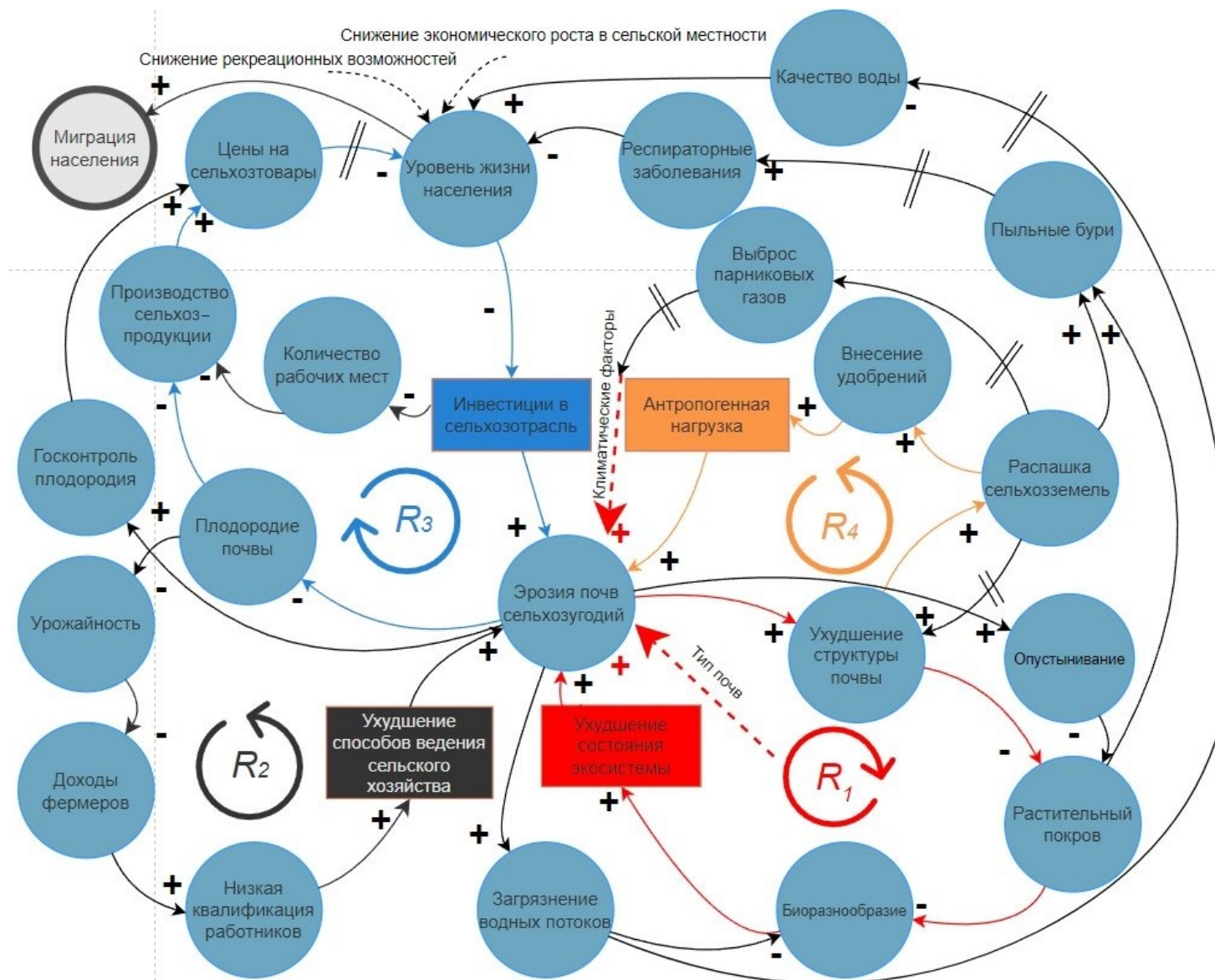


Рисунок 2 – Диаграмма причинно-следственных циклов (CLS)

Figure 2 – Causal loop diagram (CLS)

Представленная причинно-следственная диаграмма показывает взаимодействие между различными факторами, которые способствуют эрозии почв сельскохозяйственных земель, и ее последствиями. Красными стрелками выделены факторы, на которые существенное положительное влияние человек на данном этапе развития не может оказать. Экстремальные метеорологические явления и стихийные бедствия, такие как засухи, наводнения и высокие температуры, часто происходят во всем мире, и так или иначе экологическая система сталкивается с их последствиями [9]. Диаграмму можно в общих чертах разделить на четыре основных цикла со своими подсистемами.

Цикл первый (R_1). Эрозия почв сельхозугодий – это основной фактор, приводящий к ухудшению структуры почвы. В процессе долгосрочных изменений происходит снижение биомассы растительного покрова, тем самым уменьшается биоразнообразие, все это в целом ведет к существенному ухудшению подсистемы «Состояние экосистемы» и, как следствие, приводит к эрозии почв сельхозугодий. Данный цикл является негативным с усиливающей обратной связью.

Цикл второй (R_2). Ветровая и водная эрозия почв сельскохозяйственных угодий – это процесс, при котором почва теряет свое плодородие, что приводит к снижению урожайности сельскохозяйственных культур до 50 %, и, как следствие, уменьшаются доходы сельскохозяйственных предприятий [10]. Существенное снижение выручки фермера способствует экономии и поиску дешевой рабочей силы, что в свою очередь отражается в подсистеме «Ухудшение способов введения сельского хозяйства». К этому можно отнести некачественное выполнение работ по обработке почвы, частые поломки техники, невозможность проведения посевных и уборочных работ в срок, ухудшение состояния лесных полос и отсутствие кулис. Все это приводит к усилению эрозии почв сельскохозяйственных угодий. Данный цикл является усиливающим, поскольку каждый фактор негативно сказывается на других, что может привести к экспоненциальному росту негативных последствий.

Цикл третий (R_3). Согласно исследованиям ученых [11–15], в процессе эрозии и дефляции смывается и уносится большое количество питательных элементов, это напрямую снижает продуктивность земель. Уменьшение урожайности в глобальных масштабах (аномальные события) может увеличить стоимость продуктов питания, что отразится на самых уязвимых слоях населения. Все это приводит к ухудшению качества жизни, снижая интерес к инвестициям в сельскохозяйственную отрасль, которую тоже можно выделить в отдельную подсистему. Уменьшение вложений в сектор приводит к его отставанию от общемирового уровня и невозможности разрабатывать современную технику, технологии [16]. При ограниченных ресурсах фермеры с меньшей вероятностью будут инвестировать в затратные технологии защиты почв от эрозии, такие как лесомелиорация, создание простейших гидросооружений, севообороты с покровными культурами, террасирование и другие устойчивые методы сохранения почвы. Все это в еще большей степени усугубляет проблему эрозии и увеличивает количество эродируемых земель.

Цикл четвертый (R_4). Эрозия почв сельскохозяйственных угодий истощает ее и изменяет структуру продуктивных участков земель. Для компенсации утраченного плодородия компании часто увеличивают использование удобрений и пестицидов. Хотя эти химические вещества могут обеспечить временный прирост до 50 %, они также имеют пагубные последствия, такие как загрязнение почвы, токсическое действие на человека и животных [17, 18]. Все это также увеличивает антропогенную нагрузку на обрабатываемые участки за счет большего количества проходов техники, приводя к дополнительной деградации сельскохозяйственных земель, включая уплотнение почвы и увеличение ее эродированности. Этот цикл является негативным, включает в себя подсистему «Антропогенная нагрузка», каждый фактор имеет положительное усиливающее влияние на следующий, и в итоге цикл замыкается на усилении основного фактора «Эрозия почв сельскохозяйственных угодий».

Стоит отметить, что почти каждый цикл может приводить к совершенно разным причинно-следственным связям, однако они так или иначе приводят к ухудшению общего состояния экосистемы.

Как мы видим на диаграмме CLS (рисунок 2), в цикле, приводящем к эрозии почв сельскохозяйственных угодий, выделены четыре подсистемы (рисунки 3–6), которые необходимо рассмотреть подробнее с целью более точного определения влияния на агротехнические и социально-экономические показатели.

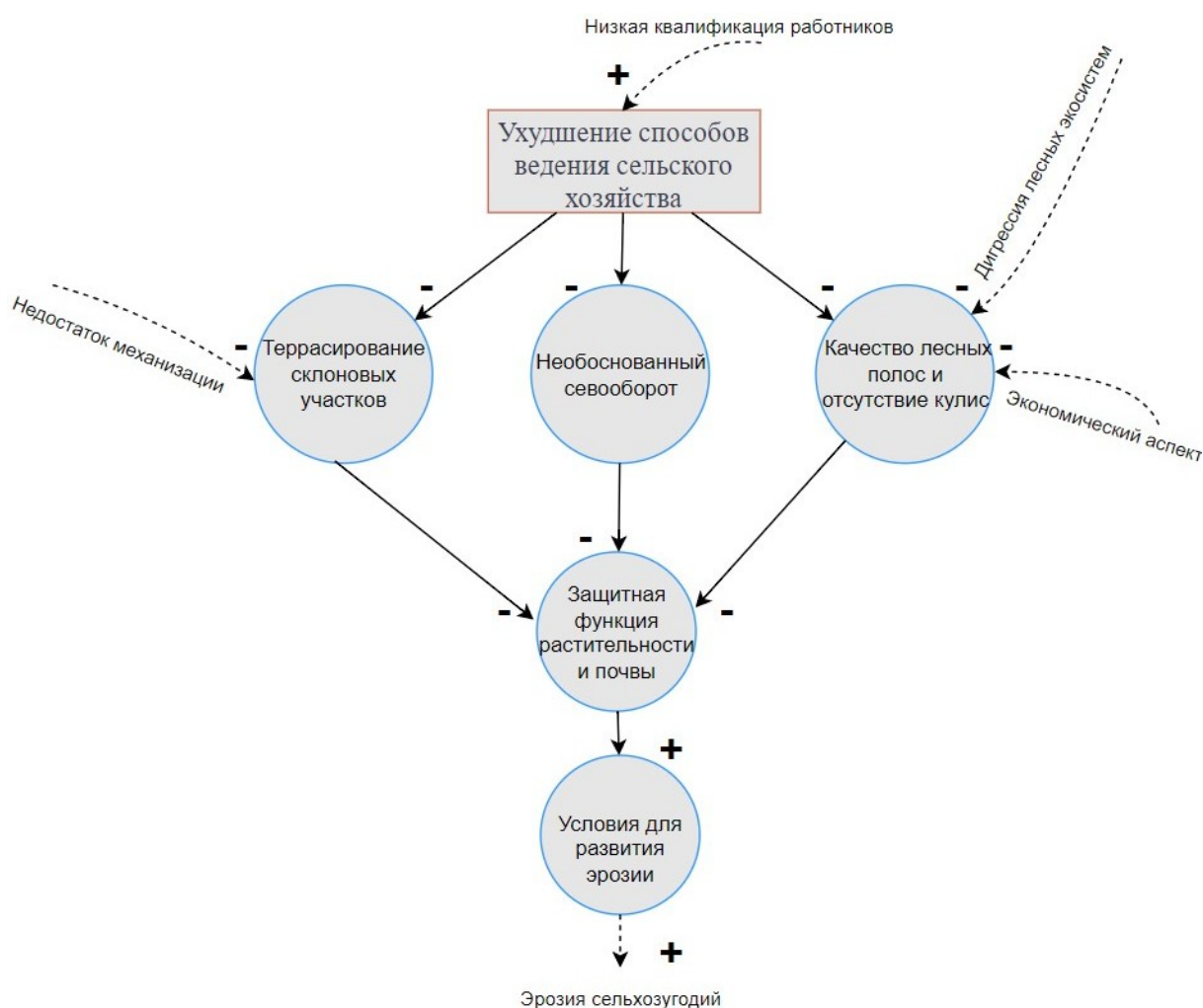


Рисунок 3 – Подсистема «Ухудшение способов ведения сельского хозяйства»

Figure 3 – Subsystem “Deterioration of farming methods”

Так, «Ухудшение способов ведения сельского хозяйства» проявляется в снижении эффективности террасирования склоновых участков, не-

обоснованном севообороте, деградации качества лесных полос и кулис. Эти негативные изменения дополняются факторами, такими как недостаточное количество механизации в процессе террасирования и деградация лесных экосистем в результате дигрессии. Экономический аспект также вносит свой вклад, оказывая воздействие на качество лесных полос и кулис. В совокупности эти факторы снижают защитную функцию растительности и почвы, что усиливает условия для развития эрозии.

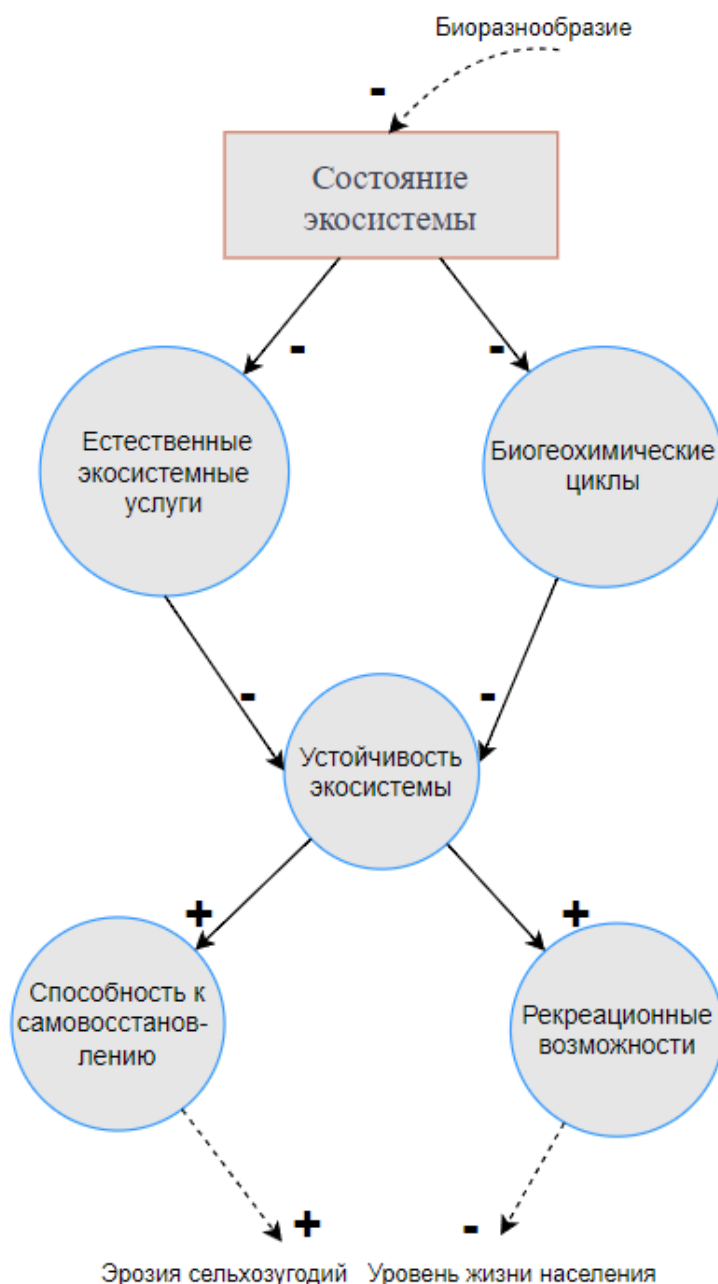


Рисунок 4 – Подсистема «Состояние экосистемы»
Figure 4 – Subsystem “Ecosystem state”

Под воздействием цикла эрозии почв можно выделить «Ухудшение состояния экосистемы», оказывающее влияние на естественные экосистемные услуги и биогеохимические циклы, в т. ч. углерода, азота и фосфора, влияющие на общую устойчивость рассматриваемого участка. Уменьшение возможности справляться с негативными внешними факторами в значительной степени приводит к долгосрочным трендам деградации экосистемы и ограничивает ее потенциал для самовосстановления, что в итоге приводит к выраженной ветровой и водной эрозии. Изменения в природной среде, связанные с ухудшением состояния экосистемы, оказывают отрицательное воздействие на рекреационные возможности, снижая привлекательность и доступность региона для отдыха и развлечений, тем самым уменьшают уровень жизни населения.

«Снижение инвестиций в сельское хозяйство» имеет множество негативных последствий, начиная с уменьшения сельскохозяйственной инфраструктуры, сокращения вложений в современные технологии и методы ведения сельского хозяйства. Этот процесс также сопровождается уменьшением числа образовательных учреждений и, как следствие, сокращением числа специалистов в области сельского хозяйства. Уменьшение поддержки сельского хозяйства также влечет за собой сложности с созданием и использованием программ устойчивого землепользования, а также ухудшение обеспеченности современной техникой. Использование устаревшей техники увеличивает давление на почву и приводит к удлинению сроков посева и уборки. Совокупность всех этих факторов, в сочетании со снижением тенденции к развитию устойчивого земледелия, приводит к ухудшению использования почвенных ресурсов. Это, в свою очередь, способствует эрозии почвы на сельскохозяйственных угодьях и снижает качество сельскохозяйственной продукции. Общее воздействие этих последствий приводит к сокращению экономического роста в сельскохозяйственных районах страны, снижению привлекательности регионов и уровня жизни населения. Это неизбежно приводит к миграции в города.



Рисунок 5 – Подсистема «Инвестиции в сельскохозяйственную отрасль»

Figure 5 – Subsystem “Investments in agricultural industry”

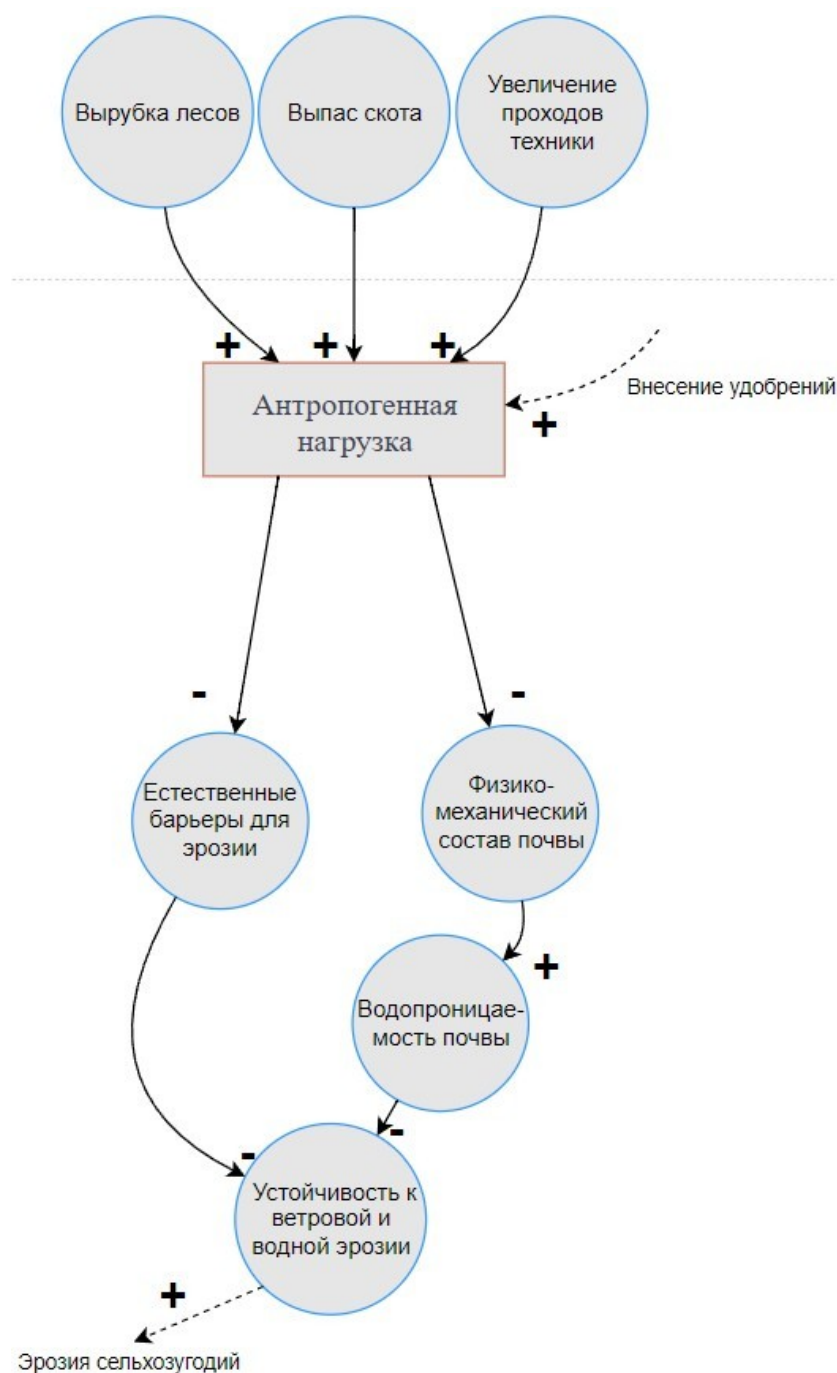


Рисунок 6 – Подсистема «Антропогенная нагрузка»
Figure 6 – Subsystem “Anthropogenic load”

В исследованиях сельскохозяйственных угодий в качестве подсистемы «Антропогенная нагрузка» можно выделить такие факторы, как вырубка лесов, перегрузка пастбищ скотом, увеличение проходов техники и внесение удобрений. Эти воздействия способствуют увеличению искусственной нагрузки на продуктивные участки, что, в свою очередь, приводит к

нарушению естественных защитных барьеров (лесных полос, растительности) и изменению физико-механических и водно-физических свойств почвенного покрова, снижая его водопроницаемость. Невозможность почвы впитывать поступающее количество осадков в сочетании с уменьшением естественных барьеров удерживания стока приводит к снижению устойчивости к ветровой и водной эрозии. Этот взаимосвязанный процесс обуславливает долгосрочные последствия антропогенного воздействия на сельскохозяйственные угодья, среди которых выделяется увеличение риска эрозии и деградации почвенного покрова.

В целом указанные практики создают уязвимую среду для угодий, предопределяя увеличение эрозии и снижение их продуктивности в долгосрочной перспективе. Тем не менее существуют перспективные подходы, которые могут существенно снизить негативные последствия и обеспечить устойчивость земледелия на долгосрочной основе. Эти подходы включают в себя широкий спектр технологий, методов и практик, направленных на увеличение устойчивости и продуктивности сельскохозяйственных систем при минимальном воздействии на окружающую среду. На рисунке 7 показаны факторы, снижающие эрозию почв сельхозугодий, и их очевидные взаимодействия.

Рассмотрим данные методы снижения эрозии почвы на сельскохозяйственных угодьях и их эффективность. Согласно данным А. И. Чурсина, Н. А. Крюковой [19], агроэкологические методы представляют собой комплекс приемов и практик ведения сельского хозяйства, основанный на принципах устойчивого использования природных ресурсов и минимизации негативного воздействия на окружающую среду. Эти методы ориентированы на создание гармоничного взаимодействия между агроэкосистемами и окружающей природной средой с целью обеспечения продуктивности сельскохозяйственных угодий при сохранении их природных ресурсов и биоразнообразия [20].



Рисунок 7 – Факторы снижения эрозии почв сельхозугодий
Figure 7 – Factors for reducing soil erosion on farmland

Множество ученых в своих практических работах доказали повышение эффективности в результате применения консолидированного набора агроэкологических приемов, которые в значительной степени рассмотрены в докладе [21]. Среди преимуществ отмечается сокращение использования производственных ресурсов на 20 %, снижение эрозии и дефляции до 50 %, улучшение здоровья и функций почвы. За счет рациональной организации органических веществ и повышения биологической активности отмечается улучшение развития корневой системы растений, которая осуществляет связывание почвенных частиц. В работах А. Т. Тундралиева и S. R. Gliessman отмечается увеличение плодородия почв уже на третий год свыше 30 % при применении агроэкологических приемов [22, 23].

Биотехнологии и генетические методы в сельском хозяйстве представляют собой широкий спектр инновационных подходов и техник, основанных на применении биологических принципов и методов для улучшения сельскохозяйственных культур. Они включают в себя селекцию растений с целью создания новых сортов с запланированными характеристиками, такими как повышенная урожайность, устойчивость к болезням и перепадам температур. Также применяется генная инженерия, которая позволяет вносить изменения в генетический материал организмов для улучшения качества продукции. Для борьбы с болезнями и вредителями применяются биологические удобрения и пестициды на основе живых микроорганизмов. Их внесение повышает водопроницаемость, аэрируемость почвы и устойчивость экосистемы к факторам деградации. Для снижения эрозии и дефляции, а также повышения количества микроорганизмов ученые рассматривают технологию криоструктурирования, применимую в комплексе с многолетними покровными культурами, которая приводит к существенному снижению смыва и выноса плодородного слоя почвы [24]. Эти методы играют важную роль в современном сельском хозяйстве, способствуя устойчивости к стрессам в условиях рискованного

земледелия. Однако их использование требует внимательного мониторинга и регулирования для минимизации потенциальных рисков для здоровья человека и окружающей среды [25]. Согласно данным Я. А. Полторака [26], использование разработанного биогумуса повысило урожайность сои на 21 %, а также существенно увеличило количество макроэлементов в бобах с 5,3 до 6,13 %, а белка на 20 %.

Множество ученых работают в области защиты и мелиорации земель с целью повышения ее устойчивости и продуктивности [27–32], применяя огромный комплекс мероприятий, направленных на улучшение условий использования и обработки сельскохозяйственных угодий путем регулирования физико-химических свойств почв. Все это включает в себя различные агротехнологии и методы, такие как организация территории по адаптивно-ландшафтной системе земледелия, лесомелиорация, система защитных лесных полос, осушение, оросительные и ирригационные системы, а также химическая мелиорация. Также стоит отметить, что мелиорация земель играет важную роль в сельском хозяйстве не только для снижения эрозии, но и для обеспечения оптимальных условий для роста растений, повышения урожайности и качества продукции, снижения риска заболачивания, засоления и других негативных процессов.

Цифровые технологии в сельском хозяйстве, известные как сельское хозяйство 4.0, представляют собой инновационный подход к управлению и производству сельскохозяйственных культур с использованием современных информационных и коммуникационных технологий. Этот подход включает в себя широкий спектр технологий, таких как дистанционное зондирование, интернет вещей (IoT), искусственный интеллект (ИИ), аналитика данных, автоматизация процессов и многое другое.

Цифровые технологии позволяют сельскохозяйственным предприятиям собирать данные о состоянии почвы, погодных условиях, росте растений и других параметрах с помощью датчиков и дистанционного зонди-

рования. Эти данные затем используются для принятия решений об оптимальном времени посева, орошения, удобрения и других аспектах управления угодьями, таких как контроль эрозионных процессов [33, 34].

Многие процессы в сельском хозяйстве могут быть автоматизированы с помощью цифровых технологий, что повышает их эффективность и точность. Например, автономные тракторы и машины могут выполнять посев, полив, уборку урожая и другие задачи без прямого участия человека [35].

Сбор и анализ больших данных из различных источников позволяют сельскохозяйственным предприятиям делать более точные прогнозы о выращиваемых культурах, методах увеличения урожайности и эффективности, а также разрабатывать современные многофакторные динамические модели эрозионных процессов.

Цифровые технологии и сельское хозяйство 4.0 открывают новые возможности для повышения производительности, эффективности и устойчивости производства. Однако их успешная реализация требует учета различных аспектов, таких как доступность технологий, обучение персонала, инфраструктура и регулирование [36].

Образование и обучение также играют важную роль в снижении эрозии почв сельскохозяйственных угодий. Как видно из диаграмм 2, 5, низкоквалифицированные кадры не способны использовать современные технологии и методы, а также совершенствовать и создавать новые виды техники, что, несомненно, приведет к снижению устойчивости агроэкосистемы. Популяризация проблемы и осведомленность о методах и технологиях ее решения – это ключ к долгосрочному решению проблемы эрозии почвы.

Выводы. В итоге анализа проблемы деградации сельскохозяйственных угодий установлено, что этот процесс является многогранным явлением, затрагивающим как экологические и агротехнические, так и социально-экономические аспекты. На основе представленной CLS-диаграммы можно сделать несколько ключевых выводов.

1 Наблюдаемое увеличение деградации сельскохозяйственных угодий связано с комплексом взаимодействующих факторов, таких как эрозия почвы, неэффективное ведение сельского хозяйства и антропогенные воздействия. Эти факторы образуют самоподдерживающиеся циклы положительной обратной связи, что приводит к постепенному усилению эрозионных процессов при прочих равных условиях, а это усиливает масштаб и степень деградации земель.

2 Долгосрочные последствия эрозии почв сельскохозяйственных угодий простираются далеко за пределы агрокультурной зоны. Они затрагивают экосистемные услуги, биогеохимические циклы, а также угрожают социально-экономической устойчивости региона в целом. Это подчеркивает необходимость разработки комплексных подходов к управлению земельными ресурсами.

3 Анализ антропогенной нагрузки на сельскохозяйственные угодья подчеркивает роль человеческой деятельности в усугублении проблемы. Снижение количества лесных насаждений, неправильное ведение скотоводства и отсутствие современных технологий становятся важными факторами, ускоряющими деградацию.

4 Подавляющее количество причинно-следственных связей приводят к ухудшению качества жизни населения (пыльные бури, респираторные заболевания, качество воды, возможность рекреационного использования земель и др.), особенно если это касается сельской местности, что усиливает общемировой тренд миграции молодежи в города.

5 В свете рассмотренных данных о методах снижения эрозии почв сельскохозяйственных угодий и их эффективности становится очевидным, что успешное решение проблемы деградации сельскохозяйственных угодий требует комплексного подхода, включающего взаимодействие различных методов. Этот комплексный подход должен учитывать как агротехнические, так и социально-экономические аспекты проблемы. Взаимодейст-

вие агроэкологических методов с биотехнологиями позволяет создавать не только устойчивые культуры, но и оптимизировать использование ресурсов и минимизировать воздействие на окружающую среду. Вместе с тем меры по защите и мелиорации земель, включая цифровые технологии, способствуют повышению эффективности и точности производственных процессов, что в свою очередь увеличивает устойчивость и продуктивность экосистем. Это особенно важно в условиях изменяющегося климата и угрозы деградации почв.

Внедрение специализированного образования и повышения квалификации играет ключевую роль в распространении знаний о современных методах и технологиях борьбы с факторами деградации, а также в формировании навыков, необходимых для их успешной реализации. Повышение осведомленности сельскохозяйственных работников и общественности в целом способствует более широкому принятию устойчивых практик и внедрению инноваций в агропромышленном секторе.

Эти шаги могут стать ключевыми в достижении баланса между сельскохозяйственной продуктивностью и сохранением природных ресурсов. Проблема деградации сельскохозяйственных угодий требует внимания, согласованных действий и научного обоснования для создания устойчивых решений. Углубленное понимание циклических взаимосвязей между факторами, приводящими к эрозии, позволит сформировать предупреждающие методики и скорректировать политику государства в отношении сохранения продуктивности и экологического равновесия агроландшафтов.

Список источников

1. Федеральная служба государственной статистики [Электронный ресурс]. URL: <http://www.gks.ru/> (дата обращения: 25.12.2023).
2. Опыт оценки динамики деградации земель юга европейской части России с использованием методологии нейтрального баланса деградации земель / М. В. Беляева, О. В. Андреева, Г. С. Куст, В. А. Лобковский // Экосистемы: экология и динамика. 2020. № 3, т. 4. С. 145–165. EDN: AWQTRJ.
3. Доклад о состоянии и использовании земель сельскохозяйственного назначения Российской Федерации в 2020 году / отв. за подгот. докл. Е. В. Фастова [и др.]; М-во сел. хоз-ва Рос. Федерации. М.: Росинформагротех, 2022. 384 с. EDN: DQZYNE.

4. О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2019 году. Государственный доклад. М.: Минприроды России; МГУ имени М. В. Ломоносова, 2020. 1000 с.
5. Глушко А. Я. Влияние водной и ветровой эрозии на земельный фонд Юга европейской части России // Известия Дагестанского государственного педагогического университета. Естественные и точные науки. 2010. № 1(10). С. 75–85. EDN: MRYCCR.
6. Полуэктов Е. В., Балакай Г. Т. Эрозия почв при выпадении ливней на юге европейской части России // Мелиорация и гидротехника [Электронный ресурс]. 2022. Т. 12, № 2. С. 1–19. URL: <https://rosniipm-sm.ru/article?n=1275> (дата обращения: 25.12.2023). <https://doi.org/10.31774/2712-9357-2022-12-2-1-19>. EDN: FZTIHT.
7. Barbrook-Johnson P., Penn A. S. Causal loop diagrams // Systems Mapping. Cham: Palgrave Macmillan, 2022. P. 47–59. https://doi.org/10.1007/978-3-031-01919-7_4.
8. Anandhi A. CISTA-A: Conceptual model using indicators selected by systems thinking for adaptation strategies in a changing climate: Case study in agro-ecosystems // Ecological Modelling. 2017. Vol. 345. P. 41–55. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2016.11.015>.
9. Zhang S. H., Wang S. R., Wang Y. M. Impacts of climate disaster on Beijings sustainable development and relevant strategies // Acta Geographica Sinica. 2000. 55. P. 119–127. (In Chinese).
10. Тишкович О. В., Яцухно В. М. Эколого-экономическая оценка ущерба от водной эрозии почв сельскохозяйственных земель административных районов Беларуси // Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. 2020. № 3. С. 212–216. EDN: BQIHDF.
11. Li H., Shi D. Spatio-temporal variation in soil erosion on sloping farmland based on the integrated valuation of ecosystem services and trade-offs model: A case study of Chongqing, southwest China // Catena. 2024. Vol. 236. 107693. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2023.107693>.
12. Analysis of spatiotemporal variations and influencing factors of soil erosion in the Jiangnan Hills red soil zone, China / F. Guo, X. Liu, Z. Mamat, W. Zhang, L. Xing, R. Wang, X. Luo, C. Wang, H. Zhao // Heliyon. 2023. Vol. 9. e19998. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e19998>.
13. Ушаков А. Е. Разработка и испытание почвообрабатывающего орудия для проведения мелиоративного глубокого рыхления склоновых земель // Вестник НГИЭИ. 2022. № 2(129). С. 31–40. DOI: 10.24412/2227-9407-2022-2-31-40. EDN: KDHUNY.
14. Методология изучения эрозионных процессов в лесоаграрных и техногенных ландшафтах: монография / К. Н. Кулик, А. Р. Зубов, И. Г. Зыков, А. А. Зубов; ФНИЦ агро-экологии РАН. Волгоград, 2018. 252 с. EDN: SNHMLK.
15. Ивонин В. М. Эрозия почв при талом стоке на склонах с лесными полосами // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации [Электронный ресурс]. 2021. Т. 11, № 2. С. 126–143. URL: <https://rosniipm-sm.ru/article?n=1200> (дата обращения: 25.12.2023). DOI: 10.31774/2222-1816-2021-11-2-126-143. EDN: YXICVN.
16. Мустафаева Р. Р. Современные тенденции инвестиций в сельское хозяйство // Экономика, предпринимательство и право. 2021. Т. 11, № 6. С. 1457–1468. DOI: 10.18334/err.11.6.112254. EDN: NPXRZU.
17. Смирнова П. С., Тихомирова В. В. Проблема загрязнения почвы пестицидами и пути ее решения // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2023. № 3. С. 37–41. DOI: 10.17513/mjpf.13519. EDN: WKEARE.
18. Анучина А. В. Токсическое действие пестицидов на организм человека и животных // Международный студенческий научный вестник [Электронный ресурс]. 2019. № 1. URL: <https://eduherald.ru/ru/article/view?id=19454> (дата обращения: 11.02.2024). EDN: VVHVUE.

19. Чурсин А. И., Крюкова Н. А. Агроэкологическая оценка земель в системе рационального природопользования: монография. Пенза: ПГУАС, 2016. 192 с. EDN: ZRTVDJ.
20. The Campesino-to-Campesino agroecology movement of ANAP in Cuba: social process methodology in the construction of sustainable peasant agriculture and food sovereignty / P. M. Rosset, B. Machín Sosa, A. M. Roque Jaime, D. R. Ávila Lozano // *The Journal of Peasant Studies*. 2011. Vol. 38, iss. 1. P. 161–191. <https://doi.org/10.1080/03066150.2010.538584>.
21. Агроэкологические и другие инновационные подходы в поддержку устойчивых сельскохозяйственных и продовольственных систем, повышающих уровень продовольственной безопасности и качество питания. Доклад Группы экспертов высокого уровня по вопросам продовольственной безопасности и питания Комитета по всемирной продовольственной безопасности. Рим, 2019. 203 с.
22. Турдалиев А. Т., Эшпулатов Ш. Я. Агроэкологические мероприятия по повышению плодородия и продуктивности почв // *Научное обозрение. Биологические науки*. 2023. № 1. С. 36–40. DOI: 10.17513/srbs.1311. EDN: SDWYTU.
23. Gliessman S. R. *Agroecosystem sustainability: Developing practical strategies*. Boca Raton: CRC Press, 2001. 210 p. (Advances in agroecology. Vol. 4). <https://doi.org/10.1201/9781420041514>.
24. Метод защиты почв от эрозии с применением криогелей и многолетних растений / Л. К. Алтунина, М. С. Фуфаева, Д. А. Филатов, Л. И. Сваровская, Е. А. Жук, О. Г. Бендер // *Вестник Томского государственного педагогического университета*. 2012. Вып. 7(122). С. 177–183. EDN: PCEULR.
25. Кашина М. С. Биотехнологические методы в селекции растений [Электронный ресурс] // *Студенческий научный форум – 2017: материалы IX Междунар. студенч. науч. конф.* URL: <https://scienceforum.ru/2017/article/2017031286> (дата обращения: 07.02.2024).
26. Полторацк Я. А. Применение биотехнологии в сельскохозяйственном производстве // *Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета [Электронный ресурс]*. 2011. № 71(07). С. 104–115. URL: <http://ej.kubagro.ru/2011/07/pdf/03.pdf> (дата обращения: 07.02.2024). EDN: OIGYCP.
27. Полуэктов Е. В. Эрозия почв и плодородие: монография / Новочеркас. инж.-мелиоратив. ин-т Донского ГАУ. Новочеркасск: Лик, 2020. 229 с. EDN: IILMX.
28. 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.
29. 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.
30. 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>. EDN: LWBMAT.
31. 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>.
32. A new assessment of soil loss due to wind erosion in European agricultural soils using a quantitative spatially distributed modelling approach / P. Borrelli, E. Lugato, L. Montanarella, P. Panagos // *Land Degradation & Development*. 2017. Vol. 28, iss. 1. P. 335–344. DOI: 10.1002/ldr.2588.
33. Лытов М. Н. Методологические инструменты управления орошением с искусственным интеллектом // *Мелиорация и гидротехника [Электронный ресурс]*. 2023. Т. 13, № 2. С. 1–18. URL: <https://rosniipm-sm.ru/article?n=1352> (дата обращения: 07.02.2024). <https://doi.org/10.31774/2712-9357-2023-13-2-1-18>. EDN: PLWWXK.

34. Жулиев М. К., Гафурова Л. А. Перспективы применения современных технологий при моделировании эрозионных процессов // Современные проблемы изучения почвенных и земельных ресурсов: сб. докл. Третьей Всерос. открытой конф., г. Москва, 9–11 дек. 2019 г. М.: Почв. ин-т им. В. В. Докучаева, 2019. С. 48–53.

35. Иванов А. С. Состояние и перспективы беспилотных сельскохозяйственных тракторов, работающих на возобновляемых источниках энергии // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2023. № 1(99). С. 153–159. EDN: DEXBXA.

36. Юрченко И. Ф. Перспективные технологии инновационного орошения // Мелиорация и гидротехника [Электронный ресурс]. 2022. Т. 12, № 4. С. 233–245. URL: <https://rosniipm-sm.ru/article?n=1323> (дата обращения: 07.02.2024). <https://doi.org/10.31774/2712-9357-2022-12-4-233-245>. EDN: RJPHLN.

References

1. *Federal'naya sluzhba gosudarstvennoy statistiki* [Federal State Statistics Service], available: <http://www.gks.ru/> [accessed 25.12.2023]. (In Russian).

2. Belyaeva M.V., Andreeva O.V., Kust G.S., Lobkovsky V.A., 2020. *Opyt otsenki dinamiki degradatsii zemel' yuga yevropeyskoy chasti Rossii s ispol'zovaniem metodologii neytral'nogo balansa degradatsii zemel'* [Experience in assessing the land degradation dynamics in the south of the European part of Russia using the methodology of land degradation neutrality]. *Ekosistemy: ekologiya i dinamika* [Ecosystems: Ecology and Dynamics], no. 3, vol. 4, pp. 145–165, EDN: AWQTRJ. (In Russian).

3. Fastova E.V. [et al.] (resp.), 2022. *Doklad o sostoyanii i ispol'zovanii zemel' sel'skokhozyaystvennogo naznacheniya Rossiyskoy Federatsii v 2020 godu* [Report on the State and Use of Agricultural Lands in the Russian Federation in 2020]. Ministry of Agriculture of the RF, Moscow, Rosinformagrotekh Publ., 384 p., EDN: DQZYNE. (In Russian).

4. *O sostoyanii i ob okhrane okruzhayushchey sredy Rossiyskoy Federatsii v 2019 godu. Gosudarstvennyy doklad* [State Report “On the State and Protection of the Environment of the Russian Federation in 2019”]. Moscow, Ministry of Natural Resources of Russia, Moscow State University named after M.V. Lomonosov, 2020, 1000 p. (In Russian).

5. Glushko A.Ya., 2010. *Vliyanie vodnoy i vetrovoy erozii na zemel'nyy fond Yuga yevropeyskoy chasti Rossii* [The influence of water and wind erosion on the land fund of the South of the European part of Russia]. *Izvestiya Dagestanskogo gosudarstvennogo pedagogicheskogo universiteta. Yestestvennye i tochnye nauki* [Bull. of Dagestan State Pedagogical University. Natural and Exact Sciences], no. 1(10), pp. 75–85, EDN: MRYCCR. (In Russian).

6. Poluektov E.V., Balakay G.T., 2022. [Soil erosion as a result of heavy rains in the south of the European part of Russia]. *Melioratsiya i gidrotekhnika*, vol. 12, no. 2, pp. 1–19, available: <https://rosniipm-sm.ru/article?n=1275> [accessed 25.12.2023], <https://doi.org/10.31774/2712-9357-2022-12-2-1-19>, EDN: FZTIHT. (In Russian).

7. Barbrook-Johnson P., Penn A.S., 2022. Causal loop diagrams. *Systems Mapping*. Cham, Palgrave Macmillan, pp. 47–59, https://doi.org/10.1007/978-3-031-01919-7_4.

8. Anandhi A., 2017. CISTA-A: Conceptual model using indicators selected by systems thinking for adaptation strategies in a changing climate: Case study in agro-ecosystems. *Ecological Modelling*, vol. 345, pp. 41–55, <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2016.11.015>.

9. Zhang S.H., Wang S.R., Wang Y.M., 2000. Impacts of climate disaster on Beijing's sustainable development and relevant strategies. *Acta Geographica Sinica*, 55, pp. 119–127. (In Chinese).

10. Tishkovich O.V., Yatsukhno V.M., 2020. *Ekologo-ekonomicheskaya otsenka ushcherba ot vodnoy erozii pochv selskokhozyaystvennykh zemel administrativnykh rayonov Belarusi* [Ecological and economic assessment of damage from water erosion of soils of agricultural lands in administrative regions of Belarus]. *Vestnik Belorusskoy gosudarstvennoy*

selskokhozyaystvennoy akademii [Bull. of the Belarusian State Agricultural Academy], no. 3, pp. 212-216, EDN: BQIHDF. (In Russian).

11. Li H., Shi D., 2024. Spatio-temporal variation in soil erosion on sloping farmland based on the integrated valuation of ecosystem services and trade-offs model: A case study of Chongqing, southwest China. *Catena*, vol. 236, 107693, <https://doi.org/10.1016/j.catena.2023.107693>.

12. Guo F., Liu X., Mamat Z., Zhang W., Xing L., Wang R., Luo X., Wang C., Zhao H., 2023. Analysis of spatiotemporal variations and influencing factors of soil erosion in the Jiangnan Hills red soil zone, China. *Heliyon*, vol. 9, e19998, <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e19998>.

13. Ushakov A.E., 2022. *Razrabotka i ispytanie pochvoobrabatvyvayushchego orudiya dlya provedeniya meliorativnogo glubokogo rykhleniya sklonovykh zemel'* [Development and testing of tillage tools for reclamation deep loosening of sloping lands]. *Vestnik NGIEI* [NGIEI Bulletin], no. 2(129), pp. 31-40, DOI: 10.24412/2227-9407-2022-2-31-40, EDN: KDHUNY. (In Russian).

14. Kulik K.N., Zubov A.R., Zikov I.G., Zubov A.A., 2018. *Metodologiya izucheniya erozionnykh protsessov v lesoagrarnykh i tekhnogennykh landshaftakh: monografiya* [Methodology for Studying Erosion Processes in Agroforestry and Technogenic Landscapes: monograph]. Federal Scientific Center for Agroecology RAS, Volgograd, 252 p., EDN: SNHMLK. (In Russian).

15. Ivonin V.M., 2021. [Soil erosion at snowmelt runoff on slopes with forest belts]. *Nauchnyy zhurnal Rossiyskogo NII problem melioratsii*, vol. 11, no. 2, pp. 126-143, available: <https://rosniipm-sm.ru/article?n=1200> [accessed 25.12.2023], DOI: 10.31774/2222-1816-2021-11-2-126-143, EDN: YXICVN. (In Russian).

16. Mustafaeva R.R., 2021. *Sovremennye tendentsii investitsiy v selskoe khozyaystvo* [Current trends in investment in agriculture]. *Ekonomika, predprinimatelstvo i pravo* [Economics, Entrepreneurship and Law], vol. 11, no. 6, pp. 1457-1468, DOI: 10.18334/epp.11.6.112254, EDN: NPXRZU. (In Russian).

17. Smirnova P.S., Tikhomirova V.V., 2023. *Problema zagryazneniya pochvy pestitsidami i puti yeye resheniya* [The problem of soil contamination with pesticides and ways to solve it]. *Mezhdunarodnyy zhurnal prikladnykh i fundamental'nykh issledovaniy* [International Journal of Applied and Fundamental Research], no. 3, pp. 37-41, DOI: 10.17513/mjpf.13519, EDN: WKEARE. (In Russian).

18. Anuchina A.V., 2019. [The toxic effects of pesticides on humans and animals]. *Mezhdunarodnyy studencheskiy nauchnyy vestnik*, no. 1, available: <https://eduherald.ru/ru/article/view?id=19454> [accessed 11.02.2024], EDN: VVHVUE. (In Russian).

19. Chursin A.I., Kryukova N.A., 2016. *Agroekologicheskaya otsenka zemel' v sisteme ratsional'nogo prirodoopol'zovaniya: monografiya* [Agroecological Assessment of Soil in the System of Rational Environmental Management: monograph]. Penza, PGUAS, 192 p., EDN: ZRTVDJ. (In Russian).

20. Rosset P.M., Machín Sosa B., Roque Jaime A.M., Ávila Lozano D.R., 2011. The Campesino-to-Campesino agroecology movement of ANAP in Cuba: social process methodology in the construction of sustainable peasant agriculture and food sovereignty. *The Journal of Peasant Studies*, vol. 38, iss. 1, pp. 161-191, <https://doi.org/10.1080/03066150.2010.538584>.

21. *Agroekologicheskie i drugie innovatsionnye podkhody v podderzhku ustoychivyykh sel'skokhozyaystvennykh i prodovol'stvennykh sistem, povyshayushchikh uroven' prodovol'stvennoy bezopasnosti i kachestvo pitaniya. Doklad Gruppy ekspertov vysokogo urovnya po voprosam prodovol'stvennoy bezopasnosti i pitaniya Komiteta po vseмирной prodovol'stvennoy bezopasnosti* [Agroecological and Other Innovative Approaches to Support Sustainable Agricultural and Food Systems that Improve Food Security and Nutrition. Report of the High Level Panel of Experts on Food Security and Nutrition of the Committee on World Food Security]. Rome, 2019, 203 p. (In Russian).

22. Turdaliev A.T., Eshpulatov Sh.Ya., 2023. *Agroekologicheskie meropriyatiya po povysheniyu plodorodiya i produktivnosti pochv* [Agroecological measures for increasing soil fertility and productivity]. *Nauchnoe obozrenie. Biologicheskie nauki* [Scientific Review. Biological Sciences], no. 1, pp. 36-40, DOI: 10.17513/srbs.1311, EDN: SDWYTU. (In Russian).

23. Gliessman S.R., 2001. *Agroecosystem Sustainability: Developing Practical Strategies*. Boca Raton, CRC Press, 210 p. *Advances in Agroecology*, vol. 4, <https://doi.org/10.1201/9781420041514>.

24. Altunina L.K., Fufaeva M.S., Filatov D.A., Svarovskaya L.I., Zhuk E.A., Bender O.G., 2012. *Metod zashchity pochv ot erozii s primeneniem kriogeley i mnogoletnikh rasteniy* [The method of soils protection from erosion using cryogels and perennials plants]. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo pedagogicheskogo universiteta* [Bulletin of Tomsk State Pedagogical University], iss. 7(122), pp. 177-183, EDN: PCEULR. (In Russian).

25. Kashina M.S., 2017. *Biotekhnologicheskiye metody v selektsii rasteniy* [Biotechnological methods in plant breeding]. *Studencheskiy nauchnyy forum – 2017: materialy IX Mezhdunaridnoy studencheskoy nauchnoy konferentsii* [Student Scientific Forum – 2017: Proc. of the IX International Student Scientific Conference], available: <https://scienceforum.ru/2017/article/2017031286> [accessed 07.02.2024]. (In Russian).

26. Poltorak Ya.A., 2011. [Application of biotechnology in agricultural production]. *Nauchnyy zhurnal KubGAU: politematischeskiy setevoy elektronnyy zhurnal*, no. 71(07), pp. 104-115, available: <http://ej.kubagro.ru/2011/07/pdf/03.pdf> [accessed 07.02.2024], EDN: OIGYCP. (In Russian).

27. 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., EDN: IIIIMX. (In Russian).

28. 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.

29. 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.

30. Wang W., Samat A., Ge Y., Ma L., Tuhti 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>, EDN: LWBMAT.

31. 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>.

32. Borrelli P., Lugato E., Montanarella L., Panagos P., 2017. A new assessment of soil loss due to wind erosion in European agricultural soils using a quantitative spatially distributed modelling approach. *Land Degradation & Development*, vol. 28, iss. 1, pp. 335-344, DOI: 10.1002/ldr.2588.

33. Lytov M.N., 2023. [Methodological management tools for irrigation with artificial intelligence]. *Melioratsiya i gidrotekhnika*, vol. 13, no. 2, pp. 1-18, available: <https://rosniipm-sm.ru/article?n=1352> [accessed 07.02.2024], <https://doi.org/10.31774/2712-9357-2023-13-2-1-18>, EDN: PLWWXK. (In Russian).

34. Zhuliev M.K., Gafurova L.A., 2019. *Perspektivy primeneniya sovremennykh tekhnologiy pri modelirovanii erozionnykh protsessov* [Prospects for the use of modern technologies in modeling erosion processes]. *Sovremennye problemy izucheniya pochvennykh i zemel'nykh resursov: sb. dokl. Tret'yey Vseros. otkrytoy konferentsii* [Modern Problems of

Studying Soil and Land Resources: Collection of Reports of the Third All-Russian Open Conference]. Moscow, Soil Institute named after V. V. Dokuchaev, pp. 48-53. (In Russian).

35. Ivanov A.S., 2023. *Sostoyanie i perspektivy bespilotnykh sel'skokhozyaystvennykh traktorov, rabotayushchikh na vozobnovlyaemykh istochnikakh energii* [Prospects of autonomous agricultural tractors powered by renewable energy sources]. *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [News of Orenburg State Agrarian University], no. 1(99), pp. 153-159, EDN: DEXBXA. (In Russian).

36. Yurchenko I.F., 2022. [Advanced technologies for innovative irrigation]. *Melioratsiya i gidrotekhnika*, vol. 12, no. 4, pp. 233-245, available: <https://rosniipm-sm.ru/article?n=1323> [accessed 07.02.2024], <https://doi.org/10.31774/2712-9357-2022-12-4-233-245>, EDN: RJPHLN. (In Russian).

Информация об авторах

А. Е. Ушаков – доцент кафедры «Машины природообустройства», кандидат технических наук, Новочеркасский инженерно-мелиоративный институт имени А. К. Кортунова – филиал Донского государственного аграрного университета, Новочеркасск, Российская Федерация, sashka-ushakov@mail.ru, AuthorID: 1027912, ORCID ID: 0000-0002-3649-9945;
Т. А. Середина – аспирант, Новочеркасский инженерно-мелиоративный институт имени А. К. Кортунова – филиал Донского государственного аграрного университета, Новочеркасск, Российская Федерация, sereda.tatyana.97@mail.ru, ORCID ID: 0009-0005-3762-9245.

Information about the authors

A. E. Ushakov – Associate Professor of the Department of Environmental Management Machinery, Candidate of Technical Sciences, Novocherkassk Engineering and Land Reclamation Institute – branch of the Don State Agrarian University, Novocherkassk, Russian Federation, sashka-ushakov@mail.ru, AuthorID: 1027912, ORCID ID: 0000-0002-3649-9945;
T. A. Sereda – Postgraduate Student, Novocherkassk Engineering and Land Reclamation Institute – branch of the Don State Agrarian University, Novocherkassk, Russian Federation, sereda.tatyana.97@mail.ru, ORCID ID: 0009-0005-3762-9245.

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 27.02.2024; одобрена после рецензирования 20.03.2024; принята к публикации 26.03.2024.

The article was submitted 27.02.2024; approved after reviewing 20.03.2024; accepted for publication 26.03.2024.