

МЕЛИОРАЦИЯ, ВОДНОЕ ХОЗЯЙСТВО И АГРОФИЗИКА

Научная статья

УДК 631.6.02

doi: 10.31774/2712-9357-2024-14-3-116-133

Этапы планирования мероприятий инженерно-экологической защиты водных объектов – водоприемников дренажных вод с орошаемых земель

**Татьяна Ильинична Дрововозова¹, Михаил Вячеславович Власов²,
Наталья Николаевна Красовская³**

^{1,2,3}Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, Новочеркасск, Российская Федерация

¹tid70.drovovozova@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8724-7799>

²m_vlasov@bk.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9103-1958>

³panya-86@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4426-7762>

Аннотация. Цель: разработка основных этапов планирования мероприятий инженерно-экологической защиты водных объектов – водоприемников дренажных вод с орошаемых земель. **Материалы и методы.** При разработке этапов планирования мероприятий инженерно-экологической защиты водных объектов использованы рекомендации по оценке эколого-экономической эффективности инвестиционных проектов мелиорации земель сельскохозяйственного назначения и методики расчета экологических платежей, необходимых для учета эффективности природоохранных мероприятий. **Результаты.** Планирование мероприятий инженерно-экологической защиты водного объекта можно условно разделить на четыре этапа. На первом этапе проводятся комплексные мониторинговые исследования водной системы и агроландшафта в водосборном бассейне реки. Второй этап заключается в проведении их всесторонней экологической оценки, включающей расчет таких показателей, как комбинаторный индекс загрязненности воды, показатель антропогенной нагрузки на водный объект, суммарный показатель загрязненности почв, донных отложений, скорость смыва почв, скорость почвообразования, засоление почв, натриевое, магниевое осолонцевание, а также расчете стоимостных экологических показателей. На третьем этапе разрабатывается комплекс мероприятий инженерно-экологической защиты водного объекта, и на четвертом проводится количественная оценка эффективности предложенных мероприятий. **Вывод.** Предложены экологические показатели, количественно характеризующие антропогенную нагрузку на водные объекты в результате функционирования оросительных систем. Предложен методический подход, и определены основные этапы планирования инженерно-экологической защиты водных объектов – водоприемников дренажных вод с орошаемых земель, заключающиеся в комплексной оценке всех компонентов агроландшафта с последующей разработкой инженерных, агротехнических, агролесотехнических и агрохимических мероприятий, способствующих формированию благоприятной экологической обстановки в речном бассейне.

Ключевые слова: водный объект, инженерно-экологическая защита, очистка воды, агроландшафт, экологические ущербы, планирование

Для цитирования: Дрововозова Т. И., Власов М. В., Красовская Н. Н. Этапы планирования мероприятий инженерно-экологической защиты водных объектов – водоприемников дренажных вод с орошаемых земель // Мелиорация и гидротехника. 2024. Т. 14, № 3. С. 116–133. <https://doi.org/10.31774/2712-9357-2024-14-3-116-133>.

LAND RECLAMATION, WATER MANAGEMENT AND AGROPHYSICS

Original article

Stages of planning measures for engineering and environmental protection of water bodies – drainage water inlets from irrigated lands

Tatyana I. Drovovozova¹, Mikhail V. Vlasov², Natalia N. Krasovskaya³

^{1,2,3}Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems, Novocherkassk, Russian Federation

¹tid70.drovovozova@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8724-7799>

²m_vlasov@bk.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9103-1958>

³panya-86@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4426-7762>

Abstract. Purpose: to develop the main stages of planning the measures of engineering and environmental protection of water bodies – drainage water inlets from irrigated lands. **Materials and methods.** When developing the stages of planning the measures of engineering and environmental protection of water bodies, recommendations for assessing the environmental and economic efficiency of investment projects for agricultural land reclamation and methods for calculating environmental payments necessary to take into account the effectiveness of environmental protective measures were used. **Results.** Planning the measures of engineering and environmental protection of a water body can be conditionally divided into four stages. At the first stage, the comprehensive monitoring studies of the water system and agrolandscape in the river catchment basin are carried out. The second stage consists of conducting their comprehensive environmental assessment, including the calculation of such indicators as the combinatorial index of water pollution, the indicator of anthropogenic water body load, the total indicator of soil pollution, bottom deposits, the soil loss rate, the soil formation rate, soil salinization, sodium, magnesium alkalization, as well as the calculation of cost environmental indicators. At the third stage, a set of measures for engineering and environmental protection of a water body is developed, and at the fourth, a quantitative assessment of the effectiveness of the proposed measures is carried out. **Conclusion.** Environmental indicators that quantitatively characterize the anthropogenic load on water bodies as a result of the irrigation system operation are proposed. A methodical approach is proposed and the main stages of planning the engineering and environmental protection of water bodies – drainage water inlets from irrigated lands are defined, consisting in a comprehensive assessment of all components of the agro-landscape with the subsequent development of engineering, agrotechnical, agroforestry and agrochemical measures that contribute to the formation of a favorable environmental situation in the river basin.

Keywords: water body, engineering and environmental protection, water purification, agro-landscape, environmental damage, planning

For citation: Drovovozova T. I., Vlasov M. V., Krasovskaya N. N. Stages of planning measures for engineering and environmental protection of water bodies – drainage water inlets from irrigated lands. *Land Reclamation and Hydraulic Engineering*. 2024;14(3):116–133. (In Russ.). <https://doi.org/10.31774/2712-9357-2024-14-3-116-133>.

Введение. В настоящее время для обеспечения продовольственной безопасности страны, а также импортозамещения ведущая роль в обеспечении устойчиво высоких урожаев отводится мелиоративной отрасли [1–4].

От эффективной работы мелиоративного комплекса зависит продуктивность сельскохозяйственного производства. Эффективность работы мелиоративного комплекса определяется прежде всего рациональным использованием водных ресурсов [5–9]. В условиях дефицита водных ресурсов и регулярных погодно-климатических аномалий перед сельхозтоваропроизводителями ставится задача наращивания объемов выращивания продукции. Этого можно достичь только применением современных агротехнических приемов выращивания культур и соблюдением научно обоснованных норм полива [10–12].

Однако если наращивание производства сельскохозяйственной продукции приводит к нанесению вреда объектам окружающей среды, то в итоге сельскохозяйственная отрасль недополучает прибыли из-за недобора сельскохозяйственной продукции вследствие ухудшения качества окружающей среды.

Деятельность мелиоративного комплекса также должна быть направлена на наращивание темпов развития сельского хозяйства без нанесения вреда окружающей среде, и прежде всего водным объектам.

Для обеспечения бесперебойной подачи воды на полив сельскохозяйственных культур используется оросительная система. Образующиеся при орошении земель дренажные воды (ДВ) являются источником неконтролируемого поступления различных веществ в природные водотоки – водоприемники ДВ, что приводит к необходимости обоснования мероприятий их инженерно-экологической защиты [13, 14].

План мероприятий по инженерно-экологической защите природных водотоков в зоне влияния выпуска ДВ из отводящего коллекторного канала должен разрабатываться с учетом комплексных мониторинговых исследований, охватывающих все сопредельные среды: агроландшафт, являющийся территорией водосбора как водотока, так и коллекторного канала; воды

в открытом коллекторном канале в земляном русле, напрямую воздействующие на естественные водотоки; рельеф и погодно-климатические условия агроландшафта.

Экологический ущерб почвам и водным объектам при эксплуатации оросительной системы может возникнуть вследствие [15–17]:

- засоления почв, возникшего в результате полива минерализованными водами, подъема минерализованных грунтовых вод;
- поверхностного стока, содержащего остаточные количества пестицидов и минеральных удобрений, образующегося в процессе орошаемого земледелия;
- размещения на территории водосбора донных отложений из открытых оросительных каналов;
- водной эрозии при особенностях рельефа и погодно-климатических условий конкретного региона.

Оценка эффективности мероприятий инженерно-экологической защиты водных объектов – водоприемников ДВ должна основываться на расчете затрат на очистку либо обезвреживание сточных (дренажных) вод, поступающих в водный объект, культуртехнические мероприятия в зависимости от состояния почв, «подвешенных» к коллекторам, уходные работы на открытых мелиоративных каналах, лесомелиоративные работы, способствующие снижению эрозионных процессов на агроландшафтах, и показателей предотвращенного эколого-экономического ущерба, причиненного почвам вследствие полива недоброкачественной водой, водным объектам вследствие сброса загрязненных сточных (дренажных) вод.

В связи с вышеизложенным, целью исследования является разработка основных этапов планирования мероприятий инженерно-экологической защиты природных водных объектов – водоприемников дренажных вод с орошаемых земель.

Материалы и методы. В основу методологии оценки эколого-экономической эффективности мероприятий инженерно-экологической защиты водных объектов положены методики РД-АПК 300.01.003-03¹ и В. Н. Краснощекова, Г. В. Ольгаренко, Д. Г. Ольгаренко [18].

Согласно рекомендациям по оценке эколого-экономической эффективности инвестиционных проектов мелиорации земель сельскохозяйственного назначения затраты на природоохранные мероприятия в мелиоративном комплексе включают затраты на поддержание и повышение уровня плодородия почв, на борьбу с эрозией и дефляцией почв, на проведение агро- и лесомелиоративных мероприятий, плату за использование водных ресурсов [18].

Большую долю расходов в мелиоративной отрасли составляют экологические платежи. Их можно разделить на два вида: платежи за негативное воздействие на окружающую среду (НВОС) и экологические ущербы (возмещение вреда, причиненного компоненту окружающей среды) (таблица 1).

Для выявления нарушений водного законодательства в части п. 4 ст. 35, п. 6 ст. 56 Водного кодекса РФ, ст. 22, 23, 39 закона № 7-ФЗ Росприроднадзор регулярно осуществляет плановые и внеплановые проверки качества отводимых сточных вод с привлечением аккредитованных лабораторий^{2,3,4}. В случае выявления нарушений обязательных требований контролируемому лицу грозит административная ответственность в виде платы за

¹Методические рекомендации по оценке эффективности инвестиционных проектов мелиорации сельскохозяйственных земель [Электронный ресурс]: РД-АПК 300.01.003-03: утв. Первым зам. Министра сел. хоз-ва Рос. Федерации С. А. Данквертом 24.01.03: введ. в действие с 01.02.03. Доступ из ИС «Техэксперт: 6 поколение» Интранет.

²Водный кодекс Российской Федерации [Электронный ресурс]: Федер. закон от 3 июня 2006 г. № 74-ФЗ (с изм. на 2 июня 2021 г.). Доступ из ИС «Техэксперт: 6 поколение» Интранет.

³Об охране окружающей среды [Электронный ресурс]: Федер. закон от 10 янв. 2002 г. № 7-ФЗ: принят Гос. Думой 20 дек. 2001 г. (послед. ред.). URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_34823/ (дата обращения: 15.07.2024).

⁴Положение о федеральном государственном экологическом контроле (надзоре) [Электронный ресурс]: Постановление Правительства Рос. Федерации от 30 июня 2021 г. № 1096 (в ред. от 26 февр. 2022 г.). Доступ из ИС «Техэксперт: 6 поколение» Интранет.

ущерб, причиненный водному объекту. Согласно методике исчисления размера вреда, причиненного водным объектам⁵, стоимостное выражение ущерба определяется по формуле (1) таблицы 1.

При размещении донного грунта на поверхности почвы рассчитывается плата за размещение отходов (кроме твердых коммунальных отходов) согласно формуле (2)⁶ таблицы 1.

Также к оценочным показателям необходимо отнести потери плодородной почвенной массы в результате ветровой эрозии и действия ливневых и талых вод, возникающие из-за отсутствия лесных полос. Для оценки агролесотехнических мероприятий по защите почв от эрозии рассчитывается среднегодовая величина эрозионных потерь почвы (V , т/га), которая включает в себя фактор эродирующей способности дождя, фактор подверженности почв эрозии, особенности рельефа, системы ведения растениеводства и фактор выбора агротехнических мероприятий борьбы с эрозией [18].

При осуществлении сельскохозяйственной деятельности без учета последствий для окружающей среды последней наносится экологический ущерб, который может быть оценен в денежном выражении через ущербы почвам, водным объектам, в результате нарушения агроэкосистем^{5, 7} (см. таблицу 1).

⁵Методика исчисления размера вреда, причиненного водным объектам вследствие нарушения водного законодательства [Электронный ресурс]: Приказ Минприроды России от 13 апр. 2009 г. № 87 (в ред. от 26 авг. 2015 г.). Доступ из ИС «Техэксперт: 6 поколение» Интранет.

⁶Об утверждении правил исчисления и взимания платы за негативное воздействие на окружающую среду и о признании утратившими силу некоторых актов Правительства Российской Федерации и отдельного положения акта Правительства Российской Федерации [Электронный ресурс]: Постановление Правительства Рос. Федерации от 31 мая 2023 г. № 881. Доступ из ИС «Техэксперт: 6 поколение» Интранет.

⁷Методика исчисления размера вреда, причиненного почвам как объекту охраны окружающей среды [Электронный ресурс]: Приказ М-ва природ. ресурсов и экологии Рос. Федерации от 8 июля 2010 г. № 238 (с изм. от 18 нояб. 2021 г.). Доступ из ИС «Техэксперт: 6 поколение» Интранет.

Таблица 1 – Виды экологических платежей, необходимых для учета эффективности природоохранных мероприятий

Table 1 – Types of environmental payments required to account for the environmental protection measures effectiveness

Компонент окружающей среды	Плата за НВОС, руб.	Размер вреда (ущерба), руб.
1	2	3
Водный объект	$P = K_{ин} K_n \sum_{i=1}^m (100M_{снi} - 99M_{ни}) \cdot H_i,$ <p>где P – плата за негативное воздействие на водные объекты, руб.;</p> <p>$K_{ин}$ – коэффициент индексации, учитывающий инфляционную составляющую экономического развития;</p> <p>K_n – коэффициент пересчета ставки платы при сбросе взвешенных веществ в соответствии с Постановлением № 913⁸;</p> <p>m – число загрязняющих веществ (ЗВ);</p> <p>100 – повышающий коэффициент для объектов всех категорий в случае превышения норматива предельно допустимых концентраций (ПДК) ЗВ в сточных водах⁶;</p> <p>$M_{снi}$ – фактическая масса i-го ЗВ, превышающая норматив, т;</p> <p>$M_{ни}$ – фактическая масса i-го ЗВ в пределах норматива, т;</p> <p>H_i – норматив платы за НВОС i-м ЗВ, руб./т,</p> <p>или</p>	$U_{BO} = K_{БГ} K_B K_{ин} K_{из} \sum_{i=1}^m M_i T_i, \quad (1)$ <p>где U_{BO} – размер вреда, причиненного водному объекту, тыс. руб.;</p> <p>$K_{БГ}$ – коэффициент, учитывающий природно-климатические условия в зависимости от времени года;</p> <p>K_B – коэффициент, учитывающий экологические факторы (состояние водных объектов);</p> <p>$K_{ин}$ – коэффициент индексации, учитывающий инфляционную составляющую экономического развития;</p> <p>$K_{из}$ – коэффициент, учитывающий интенсивность негативного воздействия вредных (загрязняющих) веществ на водный объект;</p> <p>M_i – масса сброшенного i-го вредного (загрязняющего) вещества, определяется по каждому ЗВ, т;</p> <p>T_i – такса для исчисления размера вреда от сброса i-го вредного (загрязняющего) вещества в водный объект, тыс. руб./т</p>

⁸О ставках платы за негативное воздействие на окружающую среду и дополнительных коэффициентах [Электронный ресурс]: Постановление Правительства Рос. Федерации от 13 сент. 2016 г. № 913 (с изм. от 24 янв. 2020 г.). Доступ из ИС «Техэксперт: 6 поколение» Интранет.

Продолжение таблицы 1
Table 1 continued

1	2	3
	$П = K_{ин} K_n V_{ДСВ} 10^{-6} \sum_{i=1}^m (100C_{снi} - 99C_{ни}) \cdot H_i,$ <p>где $V_{ДСВ}$ – объем дренажно-сбросных вод, м³; 10^{-6} – коэффициент перевода граммов в тонны; $C_{снi}$ – фактическая концентрация ЗВ, превышающая норматив, г/м³; $C_{ни}$ – фактическая концентрация ЗВ в пределах норматива, г/м³</p>	
Почва	$П_{лр} = K_{од} K_{но} K_{см} K_{инд} \sum_{j=1}^n M_{лj} H_{плj}, \quad (2)$ <p>где $П_{лр}$ – плата за размещение отходов; $K_{од}$ – стимулирующий коэффициент к ставке платы за размещение отходов j-го класса опасности, применяемый в соответствии с абзацами 2 и 3 п. 6 ст. 16.3 Федерального закона (ФЗ) № 7-ФЗ «Об охране окружающей среды»; $K_{но}$ – стимулирующий коэффициент к ставке платы за размещение отходов j-го класса опасности, применяемый в соответствии с абзацем 4 п. 6 ст. 16.3 ФЗ № 7-ФЗ; $K_{см}$ – стимулирующие коэффициенты к ставке платы за размещение отходов j-го класса опасности, применяемые в соответствии с абзацами 5–8 п. 6 ст. 16.3 ФЗ № 7-ФЗ; $K_{инд}$ – дополнительный коэффициент, применяемый к ставкам платы, устанавливаемый Правительством РФ в соответствии с п. 4 ст. 16.3 ФЗ № 7-ФЗ; n – количество классов опасности отходов; $M_{лj}$ – масса отходов j-го класса опасности (за исключением твердых коммунальных отходов), т (м³); $H_{плj}$ – ставка платы за размещение отходов j-го класса опасности, руб./т (руб./м³)</p>	$Y_n = S \cdot K_r \cdot K_{исп} \cdot T_x,$ <p>где Y_n – размер вреда почве, тыс. руб.;</p> <p>S – площадь участка, на котором был причинен вред почвам, м²;</p> <p>K_r – показатель, учитывающий глубину загрязнения, порчи почв;</p> <p>$K_{исп}$ – показатель, учитывающий категорию земель и вид разрешенного использования земельного участка;</p> <p>T_x – такса для исчисления размера вреда, причиненного почвам как объекту охраны окружающей среды, при порче почв, руб./м²</p>

Результаты и обсуждение. В настоящее время при эксплуатации оросительных систем запрещается сбрасывать сточные (дренажные) воды, если в них превышены нормативы ПДК веществ либо установленные технологические нормативы, без очистки в природные водные объекты, что регламентируется п. 6 ст. 60 Водного кодекса РФ.

Основными ингредиентами, загрязняющими водную среду, от сельскохозяйственного производства являются остаточные количества удобрений и пестицидов, солеобразующие ионы. Поэтому инженерная защита водных объектов – водоприемников ДВ с орошаемых земель должна заключаться в эффективной очистке последних от ЗВ, экологический эффект которой целесообразно оценивать по таким показателям, как взвешенные вещества, биохимическое потребление кислорода за 5 сут (БПК₅), нитриты, нитраты, азот аммонийный, фосфор фосфатов, натрий, хлориды и сульфаты. Санитарно-гигиенические нормативы для водных объектов рыбохозяйственного значения и технологические нормативы, установленные с учетом применения наилучших доступных технологий (НДТ), представлены в таблице 2.

Планирование мероприятий инженерно-экологической защиты водного объекта можно условно разделить на четыре этапа. На первом этапе проводятся комплексные мониторинговые исследования водной системы и агроландшафта в водосборном бассейне реки. Второй этап заключается в проведении оценки состояния основных элементов агроландшафта, включающей расчет таких показателей, как комбинаторный индекс загрязненности воды (КИЗВ), показатель антропогенной нагрузки (ПАН^б) на водный объект, суммарный показатель загрязненности почв, донных отложений (Z), скорость смыва почв ($\mathcal{E}_{см}$), скорость почвообразования ($P_{обр}$), засоление почв (SAR), натриевое, магниевое осолонцевание (O), а также расчете стоимостных экологических показателей (Z , затраты), включающих в себя плату за НВОС (I) и возникшие экономические ущербы (Y) в виде возмещения

вреда, причиненного водным ресурсам либо почвам (см. таблицу 1). На третьем этапе непосредственно разрабатывается комплекс мероприятий инженерно-экологической защиты водного объекта, и на четвертом проводится количественная оценка эффективности предложенных мероприятий. Комплексный подход к планированию мероприятий инженерно-экологической защиты водных объектов – водоприемников ДВ с орошаемых земель представлен схемой на рисунке 1.

Таблица 2 – Нормативы качества очищенной сточной воды
Table 2 – The purified wastewater quality standards

Показатель	Санитарно-гигиенический норматив рыбохозяйственный (ПДК _{рх})	Технологический норматив по НДТ ⁹	
		При сбросе в водный объект (часть водного объекта) категории Б ¹⁰	При сбросе в водный объект (часть водного объекта) категории Г
Взвешенные вещества	+0,25 или +0,75	15	15
БПК ₅	2,1	10	12
Азот аммонийный	0,5	1,5	8
Нитриты	0,02	0,25	0,25
Нитраты	40	12	18
Фосфор фосфатов	0,05	1,5	5

Поскольку состояние водных объектов во многом зависит от состояния площади водосбора, которая в сельскохозяйственных районах представлена преимущественно агроландшафтом, то для сохранения и поддержания качества водной среды необходимо планировать агротехнические, агролесотехнические, агрохимические мероприятия. Вышеуказанные мероприятия позволят поддерживать благоприятный водно-солевой режим почв и,

⁹Об утверждении технологических показателей наилучших доступных технологий в сфере очистки сточных вод с использованием централизованных систем водоотведения поселений или городских округов [Электронный ресурс]: Постановление Правительства Рос. Федерации от 15 сент. 2020 г. № 1430. Доступ из ИС «Техэксперт: 6 поколение» Интранет.

¹⁰Об утверждении Правил отнесения водных объектов к категориям водных объектов для целей установления технологических показателей наилучших доступных технологий в сфере очистки сточных вод с использованием централизованных систем водоотведения поселений или городских округов [Электронный ресурс]: Постановление Правительства Рос. Федерации от 26 окт. 2019 г. № 1379. Доступ из ИС «Техэксперт: 6 поколение» Интранет.

как следствие, солевой баланс ДВ, образующихся за счет инфильтрационного стока при орошении и поступающих в итоге в водные объекты.



Рисунок 1 – Этапы планирования инженерно-экологической защиты природных водоприемников дренажных вод с орошаемых земель
Figure 1 – Stages of planning engineering and environmental protection of natural water inlets of drainage waters from irrigated lands

Эффективность природоохранных мероприятий определяется стоимостным выражением эффективности очистки сточных (дренажных) вод, эффективности агротехнических и агролесотехнических мероприятий [18, 19].

Экологическая эффективность очистки ДВ определяется коэффициентом снижения антропогенной нагрузки на естественный водоток ($\mathcal{E}_{анво}$) по формуле:

$$\mathcal{E}_{анво} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{C_i}{C_{нор_i}}$$

где n – количество ЗВ;

C_i – фактическая концентрация i -го ЗВ в очищенной воде, мг/дм³;

$C_{нор_i}$ – ПДК i -го ЗВ в воде, мг/дм³.

Чем ближе к нулю значение $\mathcal{E}_{анво}$, тем выше экологический эффект очистки ДВ.

Стоимостный показатель эколого-экономической эффективности очистки дренажно-сбросных вод ($C\mathcal{E}_{ос}$) рекомендуется оценивать по формуле:

$$C\mathcal{E}_{ос} = K_{ин} K_n \sum_{i=1}^m (100M_{снi} - 99M_{ни} - M_{ноi}) \cdot H_i,$$

где $M_{ноi}$ – масса i -го ЗВ после очистки, т.

Стоимостный показатель агротехнических мероприятий, способствующих снижению образования объемов дренажного стока, рекомендуется оценивать по формулам:

$$C\mathcal{E}_{ат} = K_{ин} (V_{ДВ}^1 - V_{ДВ}^2) 10^{-6} \sum_{i=1}^m C_{ни} \cdot H_i,$$

где $V_{ДВ}^1$ – объем ДВ до проведения агротехнических мероприятий, м³;

$V_{ДВ}^2$ – объем ДВ после проведения агротехнических мероприятий, м³,

или

$$C\mathcal{E}_{ат} = K_{ин} (V_{ДВ}^1 - V_{ДВ}^2) 10^{-6} \sum_{i=1}^m (100C_{снi} - 99C_{ни}) \cdot H_i.$$

Эффективность агролесотехнических мероприятий рекомендуется оценивать через стоимость плодородной почвенной массы, сохраненной от эрозии.

Экономическая эффективность сохраненного плодородного слоя почвы в результате агролесомелиорации земель рассчитывается по формуле:

$$C_{тм} = (C_z + C_y) П,$$

где $C_{тм}$ – стоимость сохраненной плодородной почвенной массы за год на площади мелиорированных земель, руб.;

C_z – стоимость гумуса, сохраненного за год на 1 га площади мелиорированных земель, руб.;

C_y – стоимость сохраненных за год азота, фосфора и калия на 1 га площади мелиорированных земель, руб.;

Π – площадь мелиорированных земель, га.

Таким образом, основные значимые показатели, с помощью которых можно охарактеризовать эффективность мероприятий инженерно-экологической защиты водных объектов, можно условно разделить на две группы – стоимостный и экологический эффекты. Результативные показатели оценки эффективности мероприятий инженерно-экологической защиты водных объектов представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Экономические и экологические показатели эффективности мероприятий инженерно-экологической защиты водных объектов

Table 3 – Economic and environmental indicators of the effectiveness of engineering and environmental protection measures for water bodies

Стоимостный показатель затрат	Стоимостный показатель эффективности
Сумма ресурсных затрат: $Z = \sum_{i=1}^n Z_i$	Стоимостный показатель эффективности очистки: $CЭ_{ов}$
Сумма платежей: $\Pi = \sum_{i=1}^n \Pi_i$	Стоимость сохраненной от эрозии плодородной почвенной массы: $C_{пмм}$
Сумма ущербов: $Y = \sum_{i=1}^n Y_i$	Стоимостный показатель эффективности агротехнических мероприятий: $CЭ_{ам}$

Целесообразность реализации мероприятий инженерно-экологической защиты водных объектов устанавливается условием:

$$CЭ_{ов} + C_{пмм} + CЭ_{ам} - Z - \Pi - Y > 0.$$

Соотношение затрат и предотвращенных ущербов компонентам окружающей среды определяет эффективность реализуемых мероприятий и должно быть положено в основу системы управления инженерно-экологической защитой водоприемников ДВ с орошаемых земель.

Выводы. Предложены экологические показатели, количественно характеризующие антропогенную нагрузку на водные объекты в результате функционирования оросительных систем, указывающие на необходимость разработки мероприятий инженерно-экологической защиты водных объектов.

Предложен методический подход, и определены основные этапы планирования инженерно-экологической защиты водных объектов – водоприемников дренажных вод с орошаемых земель, заключающиеся в комплексной оценке всех компонентов агроландшафта на водосборе бассейна реки с последующей разработкой инженерных, агротехнических, агролесотехнических и агрохимических мероприятий, способствующих формированию благоприятной экологической обстановки в речном бассейне.

Эффективность инженерно-экологической защиты водных объектов – водоприемников дренажных вод с орошаемых земель определяется совокупностью экологических и экономических показателей при условии превышения стоимостных показателей эффективности над показателями затрат.

Список источников

1. Кирейчева Л. В., Юрченко И. Ф. Роль мелиорации земель в решении проблемы продовольственной безопасности России // Вестник российской сельскохозяйственной науки. 2015. № 2. С. 13–15. EDN: TQNGWX.
2. Оборин М. С. Проблемы и перспективы импортозамещения в отрасли сельского хозяйства // Ученые записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского. Экономика и управление. 2020. Т. 6(72), № 2. С. 96–105. EDN: CZEVKI.
3. Мельникова Д. М. Анализ политики импортозамещения в сельском хозяйстве: проблемы и перспективы на региональном уровне // Европейские научные исследования: сб. ст. междунар. науч.-практ. конф. Пенза, 2016. С. 42–45. EDN: WZIMCF.
4. Рябошапка А. И., Чивчян А. А. Импортозамещение в сельском хозяйстве: достижения и проблемы реализации // Современные тенденции развития науки и технологий. 2017. № 3. С. 108–112. EDN: YKRGYD.
5. Сенчуков Г. А., Воеводина Л. А. Использование водных ресурсов в федеральных учреждениях мелиоративной отрасли // Мелиорация и гидротехника [Электронный ресурс]. 2023. Т. 13, № 1. С. 101–117. URL: <https://rosniipm-sm.ru/article?n=1343> (дата обращения: 15.07.2024). <https://doi.org/10.31774/2712-9357-2023-13-1-101-117>. EDN: ILBYIM.
6. Isaeva S., Dedova E., Buber A. Use of water resources for irrigation in the southern regions of Russia // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2021. Vol. 666. 042020. DOI: 10.1088/1755-1315/666/4/042020. EDN: FJSOQX.
7. Irrigation Organizations 2019 Summary [Electronic resource] / USDA, National Agricultural Statistics Service. 2020. 12 p. URL: https://www.nass.usda.gov/Publications/Todays_Reports/reports/siog1220.pdf (date of access: 03.06.2022).

8. Wallander S., Hrozencik R. A., Aillery M. Irrigation organizations: Drought planning and response. Economic Brief Number 33 / Economic Research Service. 2022. 27 p.

9. Медведева Л. Н., Ванеева П. Д., Медведев А. В. Методологический подход в обосновании рационального использования водных ресурсов в сельском хозяйстве // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. 2019. № 2(74). С. 115–124. EDN: IJDSEW.

10. Штанько А. С., Шкура В. Н. Расчет поливной нормы при капельном орошении древесно-плодовых культур в садовых насаждениях // Мелиорация и гидротехника [Электронный ресурс]. 2024. Т. 14, № 1. С. 1–18. URL: <https://rosniipm-sm.ru/article?n=1421> (дата обращения: 15.07.2024). <https://doi.org/10.31774/2712-9357-2024-14-1-1-18>. EDN: SGFBXS.

11. Лытов М. Н. Особенности применения дифференцированных режимов водообеспечения при капельном способе орошения // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. 2020. № 2(78). С. 54–60. EDN: MFVCOF.

12. 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 [Электронный ресурс]. 2023. Т. 13, № 2. С. 19–38. URL: <https://rosniipm-sm.ru/article?n=1353> (дата обращения: 15.07.2024). <https://doi.org/10.31774/2712-9357-2023-13-2-19-38>. EDN: CRRWBV.

13. Дровозова Т. И., Кириленко А. А. Проблема «солевого загрязнения» природных вод Ростовской области, приуроченных к орошаемому массиву // Экология и водное хозяйство [Электронный ресурс]. 2021. Т. 3, № 3. С. 55–71. URL: <http://www.ecology-wm.ru/article-47.html?n=122> (дата обращения: 15.07.2024). DOI: 10.31774/2658-7890-2021-3-3-55-71. EDN: MVAGRM.

14. Домашенко Ю. Е., Васильев С. М. Моделирование и оценка поступления загрязняющих веществ в коллекторно-дренажный сток // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации [Электронный ресурс]. 2016. № 2(22). С. 112–127. URL: <https://rosniipm-sm.ru/article?n=1084> (дата обращения: 15.07.2024). EDN: VWZLKF.

15. Динамика деградации земель в Ростовской области / О. С. Безуглова, И. Н. Ильинская, В. Е. Закруткин, О. Г. Назаренко, Ю. А. Литвинов, Э. А. Гаевая, А. А. Меженков, А. И. Жумбей // Известия Российской академии наук. Серия географическая. 2022. Т. 86, № 1. С. 41–54. <https://doi.org/10.31857/S2587556622010034>. EDN: WZMYMX.

16. 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. EDN: CCRHJE.

17. 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. EDN: DDICAD.

18. Краснощеков В. Н., Ольгаренко Г. В., Ольгаренко Д. Г. Методические рекомендации по оценке эколого-экономической эффективности инвестиционных проектов мелиорации земель сельскохозяйственного назначения: науч. изд. Коломна: ИП Воробьев О. М., 2016. 97 с. EDN: XVOQXR.

19. Экономические аспекты создания защитных лесных полос / М. Г. Ежова, И. А. Иматова, А. В. Капрало, Н. А. Иманова // Лесной вестник. 2008. № 3. С. 122–125. EDN: JKGTEV.

References

1. Kireycheva L.V., Yurchenko I.F., 2015. *Rol' melioratsii zemel' v reshenii problemy prodovol'stvennoy bezopasnosti Rossii* [The role of land reclamation in solving the food security problem of Russia]. *Vestnik rossiyskoy sel'skokhozyaystvennoy nauki* [Bulletin of Russian Agricultural Science], no. 2, pp. 13-15, EDN: TQNGWX. (In Russian).

2. Oborin M.S., 2020. *Problemy i perspektivy importozameshcheniya v otrasli sel'skogo khozyaystva* [Problems and prospects of import substitution in the agricultural sector]. *Uchenye zapiski Krymskogo federal'nogo universiteta imeni V. I. Vernadskogo. Ekonomika i upravlenie* [Scientific Notes of V. I. Vernadsky Crimean Federal University. Economics and Management], vol. 6(72), no. 2, pp. 96-105, EDN: CZEVKI. (In Russian).
3. Melnikova D.M., 2016. *Analiz politiki importozameshcheniya v sel'skom khozyaystve: problemy i perspektivy na regional'nom urovne* [Analysis of import substitution policy in agriculture: problems and prospects at the regional level]. *Yevropeyskie nauchnye issledovaniya: sb. st. mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [European Scientific Research: Proc. of International Scientific and Practical Conference]. Penza, pp. 42-45, EDN: WZIMCF. (In Russian).
4. Ryaboshapka A.I., Chivchyan A.A., 2017. *Importozameshchenie v sel'skom khozyaystve: dostizheniya i problemy realizatsii* [Import substitution in agriculture: achievements and problems of implementation]. *Sovremennye tendentsii razvitiya nauki i tekhnologiy* [Modern Trends in the Development of Science and Technology], no. 3, pp. 108-112, EDN: YKRGYD. (In Russian).
5. Senchukov G.A., Voevodina L.A., 2023. [Water resources use in federal reclamation industry institutions]. *Melioratsiya i gidrotekhnika*, vol. 13, no. 1, pp. 101-117, available: <https://rosniipm-sm.ru/article?n=1343> [accessed 15.07.2024], <https://doi.org/10.31774/2712-9357-2023-13-1-101-117>, EDN: ILBYIM. (In Russian).
6. Isaeva S., Dedova E., Buber A., 2021. Use of water resources for irrigation in the southern regions of Russia. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, vol. 666, 042020, DOI: 10.1088/1755-1315/666/4/042020, EDN: FJSOQX.
7. Irrigation Organizations 2019 Summary. USDA, National Agricultural Statistics Service, 2020, 12 p., available: https://www.nass.usda.gov/Publications/Todays_Reports/reports/siog1220.pdf [accessed 03.06.2022].
8. Wallander S., Hrozencik R.A., Aillery M., 2022. Irrigation Organizations: Drought Planning and Response. Economic Brief Number 33. Economic Research Service, 27 p.
9. Medvedeva L.N., Vaneeva P.D., Medvedev A.V., 2019. *Metodologicheskii podkhod v obosnovanii ratsionalnogo ispolzovaniya vodnykh resursov v selskom khozyaystve* [Methodological approach in substantiation of rational use of water resources in agriculture]. *Puti povysheniya effektivnosti oroshaemogo zemledeliya* [Ways of Increasing the Efficiency of Irrigated Agriculture], no. 2(74), pp. 115-124, EDN: IJDSEW. (In Russian).
10. Shtanko A.S., Shkura V.N., 2024. [Irrigation rate calculation during drip irrigation of tree-fruit crops in garden plantings]. *Melioratsiya i gidrotekhnika*, vol. 14, no. 1, pp. 1-18, available: <https://rosniipm-sm.ru/article?n=1421> [accessed 15.07.2024], <https://doi.org/10.31774/2712-9357-2024-14-1-1-18>, EDN: SGFBXC. (In Russian).
11. Lytov M.N., 2020. *Osobennosti primeneniya differentsirovannykh rezhimov vo doobespecheniya pri kapel'nom sposobe orosheniya* [Features of differentiated water supply modes application with drip irrigation method]. *Puti povysheniya effektivnosti oroshaemogo zemledeliya* [Ways of Increasing the Efficiency of Irrigated Agriculture], no. 2(78), pp. 54-60, EDN: MFVCOF. (In Russian).
12. Poluektov E.V., Masnyi R.S., Balakay G.T., 2023. [Impact of agrotechnical measures and reclamation protective forest plantations on soil deflation in Rostov region]. *Melioratsiya i gidrotekhnika*, vol. 13, no. 2, pp. 19-38, available: <https://rosniipm-sm.ru/article?n=1353> [accessed 15.07.2024], <https://doi.org/10.31774/2712-9357-2023-13-2-19-38>, EDN: CRRWBV. (In Russian).
13. Drovozova T.I., Kirilenko A.A., 2021. [The problem of “saline contamination” of natural waters of Rostov region, confined to the irrigated area]. *Ekologiya i vodnoe khozyaystvo*, vol. 3, no. 3, pp. 55-71, available: <http://www.ecology-wm.ru/article-47.html?n=122> [accessed 15.07.2024], DOI: 10.31774/2658-7890-2021-3-3-55-71, EDN: MVAGRM. (In Russian).

14. Domashenko Yu.E., Vasiliev S.M., 2016. [Modeling and assessment of pollutants input into a collector-drainage runoff]. *Nauchnyy zhurnal Rossiyskogo NII problem melioratsii*, no. 2(22), pp. 112-127, available: <https://rosniipm-sm.ru/article?n=1084> [accessed 15.07.2024], EDN: VWZLKF. (In Russian).

15. Bezuglova O.S., Ilyinskaya I.N., Zakrutkin V.E., Nazarenko O.G., Litvinov Yu.A., Gaevaya E.A., Mezhenkov A.A., Zhumbey A.I., 2022. *Dinamika degradatsii zemel' v Rostovskoy oblasti* [Dynamics of land degradation in Rostov region]. *Izvestiya Rossiyskoy akademii nauk. Seriya geograficheskaya* [Bulletin of the Russian Academy of Sciences. Geographical Series], vol. 86, no. 1, pp. 41-54, <https://doi.org/10.31857/S2587556622010034>, EDN: WZMYMX. (In Russian).

16. Maltsev K.A., Ermolaev O.P., 2019. *Potentsial'nye erozionnye poteri pochvy na pakhotnykh zemlyakh yevropeyskoy territorii Rossii* [Potential soil loss from erosion on arable lands in the European part of Russia]. *Pochvovedenie* [Soil Science], no. 12, pp. 1502-1512, DOI: 10.1134/S0032180X19120104, EDN: CCRHJE. (In Russian).

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

18. Krasnoshchekov V.N., Olgarenko G.V., Olgarenko D.G., 2016. *Metodicheskie rekomendatsii po otsenke ekologo-ekonomicheskoy effektivnosti investitsionnykh projektov melioratsii zemel' sel'skokhozyaystvennogo naznacheniya: nauch. izd.* [Methodological Recommendations for Assessing the Ecological and Economic Efficiency of Investment Projects of Agricultural Land Reclamation: Scientific Edition]. Kolomna, IP Vorobyov O. M., 97 p., EDN: XVOQXR. (In Russian).

19. Ezhova M.G., Imatova I.A., Kapralo A.V., Imanova N.A., 2008. *Ekonomicheskie aspekty sozdaniya zashchitnykh lesnykh polos* [Economic aspects of creating protective forest belts]. *Lesnoy vestnik* [Forest Bulletin], no. 3, pp. 122-125, EDN: JKGTEV. (In Russian).

Информация об авторах

Т. И. Дрововозова – ведущий научный сотрудник, доктор технических наук, доцент, Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, Новочеркасск, Российская Федерация, tid70.drovovozova@yandex.ru, AuthorID: 314686, ORCID: 0000-0002-8724-7799;

М. В. Власов – ведущий научный сотрудник, кандидат физико-математических наук, Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, Новочеркасск, Российская Федерация, m_vlasov@bk.ru, AuthorID: 632423, ORCID: 0000-0002-9103-1958;

Н. Н. Красовская – научный сотрудник, Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, Новочеркасск, Российская Федерация, panya-86@mail.ru, AuthorID: 1094614, ORCID: 0000-0003-4426-7762.

Information about the authors

T. I. Drovovozova – Leading Researcher, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems, Novocherkassk, Russian Federation, tid70.drovovozova@yandex.ru, AuthorID: 314686, ORCID: 0000-0002-8724-7799;

M. V. Vlasov – Leading Researcher, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems, Novocherkassk, Russian Federation, m_vlasov@bk.ru, AuthorID: 632423, ORCID: 0000-0002-9103-1958;

N. N. Krasovskaya – Researcher, Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems, Novocherkassk, Russian Federation, panya-86@mail.ru, AuthorID: 1094614, ORCID: 0000-0003-4426-7762.

*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 02.05.2024; одобрена после рецензирования 30.07.2024;
принята к публикации 12.08.2024.*

The article was submitted 02.05.2024; approved after reviewing 30.07.2024; accepted for publication 12.08.2024.