

МЕЛИОРАЦИЯ, ВОДНОЕ ХОЗЯЙСТВО И АГРОФИЗИКА

Научная статья

УДК 631.67:631.95

doi: 10.31774/2712-9357-2026-16-2-127-145

Оценка уровня антропогенной нагрузки на мелиорированные агроландшафты

Михаил Николаевич Лытов

Всероссийский научно-исследовательский институт орошаемого земледелия – филиал
Федерального научного центра гидротехники и мелиорации имени А. Н. Костякова,
Волгоград, Российская Федерация, LytovMN@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2743-9825>

Аннотация. Цель: усовершенствовать научные подходы и методы оценки антропогенной нагрузки на локальном и сублокальном уровнях мелиорированного агроландшафта. **Материалы и методы.** Материалами исследования служили научные разработки, методы оценки и нормирования антропогенной нагрузки для сохранения устойчивости экосистем. Рабочей гипотезой исследования является предположение, что применительно к сельскохозяйственной деятельности при оценке антропогенной нагруженности агроландшафтов необходимо учитывать не только показатели масштаба, но и параметры, характеризующие интенсивность производства. На мелиорированных агроландшафтах приоритетная составляющая совокупной антропогенной нагрузки – это орошение. **Результаты.** Методика определения антропогенной нагрузки на мелиорированные агроландшафты усовершенствована путем введения корректирующего коэффициента для масштаба нагружающего фактора (деятельности), учитывающего интенсивность деятельности. Предложено определение коэффициента как отношения интенсивности некоторого вида антропогенной нагрузки к наибольшему (предельному) уровню интенсивности, обеспечивающему сохранение экологического баланса в данной экосистеме, в квадрате. Решена задача определения корректирующего коэффициента при расчете водных нагрузок на мелиорированные агроландшафты. Задача решается через отношение зонально обеспеченных (ожидаемых) оросительных норм, усредненных для севооборотной территории, к предельной величине водной нагрузки, которая не нарушает устойчивость экосистемы. При установлении предельной величины водной нагрузки предложено учитывать гидрогеологические условия территории, технические характеристики мелиоративных объектов и уровень применяемых технологий орошения. **Выводы.** Предложены новые подходы к определению величины антропогенной нагрузки на мелиорированные агроландшафты, для сухостепной и полупустынной зон Нижнего Поволжья установлены предельные уровни водной нагрузки, не нарушающие устойчивость экосистемы.

Ключевые слова: мелиорированный агроландшафт, антропогенная нагрузка, водные нагрузки, метод оценки, экосистема, гидрогеологические условия

Источник финансирования: субсидии на выполнение Государственного задания № FNFR-2025-0003 за счет средств федерального бюджета.

Сведения о научно-исследовательской работе, по результатам которой публикуется статья: исследование выполнено в рамках Государственного задания по теме FNFR-2025-0003 «Мониторинг длительно орошаемых агроландшафтов для прогнозирования их состояния, управления экологической устойчивостью и продуктивностью с использованием цифровых технологий в адаптивных системах земледелия», регистрационный номер: 1022041300043-4-4.1.1.



Для цитирования: Лытов М. Н. Оценка уровня антропогенной нагрузки на мелиорированные агроландшафты // Мелиорация и гидротехника. 2026. Т. 16, № 2. С. 127–145. <https://doi.org/10.31774/2712-9357-2026-16-2-127-145>.

LAND RECLAMATION, WATER MANAGEMENT AND AGROPHYSICS

Original article

Assessing the anthropogenic load level on reclaimed agricultural landscapes

Mikhail N. Lytov

All-Russian Research Institute of Irrigated Agriculture – branch of the Federal Scientific Center of Hydraulic Engineering and Land Reclamation named after A. N. Kostyakov, Volgograd, Russian Federation, LytovMN@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2743-9825>

Abstract. Purpose: to improve scientific approaches and evaluating methods of anthropogenic load at the local and sublocal levels of reclaimed agricultural landscapes. **Materials and methods.** The study materials included scientific developments, methods for assessing and standardizing anthropogenic load to maintain ecosystem sustainability. The working hypothesis of the study is the suggestion, that it is necessary to consider both scale variables and parameters characterizing the intensity of production, when assessing the anthropogenic load of agricultural landscapes with regard to agricultural activity. In reclaimed agricultural landscapes, the priority component of the total anthropogenic load is irrigation. **Results.** The methodology for determining the anthropogenic load on reclaimed agricultural landscapes has been improved by introducing a correction coefficient for the scale of the loading factor (activity), taking into account the intensity of the activity. A proposed definition of the coefficient is the ratio of the intensity of a certain type of anthropogenic load to the highest (maximum) intensity level that ensures the preservation of the ecological balance in a given ecosystem, squared. The problem of determining the correction coefficient when calculating water loads on reclaimed agricultural landscapes is solved. The problem is solved through the ratio of zonally provided (expected) irrigation rates, averaged for a crop rotation area, to the maximum value of water load that does not disrupt the stability of the ecosystem. When establishing the maximum value of water load, it is proposed to take into account the hydrogeological conditions of the territory, the technical characteristics of reclamation facilities, and the level of the irrigation technologies used. **Conclusions.** New approaches to determining the magnitude of anthropogenic load on reclaimed agricultural landscapes are proposed. Maximum levels of water load that do not disrupt the stability of the ecosystem are determined for the dry steppe and semi-desert zones of the Lower Volga region.

Keywords: reclaimed agricultural landscape, anthropogenic load, water load, evaluation method, ecosystem, hydrogeological conditions

Funding source: federal budget subsidies for the implementation of State Assignment No. FNFR-2025-0003.

Information about the research work, on results of which the article is published: the study was conducted within the framework of State Assignment No. FNFR-2025-0003 “Monitoring of long-term irrigated agricultural landscapes to predict their condition, manage environmental sustainability and productivity using digital technologies in adaptive farming systems”, registration number: 1022041300043-4-4.1.1.

For citation: Lytov M. N. Assessing the anthropogenic load level on reclaimed agricultural landscapes. *Land Reclamation and Hydraulic Engineering*. 2026;16(2):127–145. (In Russ.). <https://doi.org/10.31774/2712-9357-2026-16-2-127-145>.

Введение. Сельское хозяйство имеет непосредственную связь с антропогенезированной природной средой и, собственно, является ее частью. Этот вид деятельности человека характеризуется наибольшими масштабами природопользования и имеет большое влияние на природные комплексы, использует и преобразует их, не всегда, к сожалению, осознанно. Сельскохозяйственная деятельность человека нередко сопровождается развитием непрогнозируемых процессов, часто имеющих негативный характер [1–3]. Это может выражаться в снижении качества почв и их деградации, загрязнении водных объектов и подземных источников, изменении биосферных функций антропогенно преобразованных территорий и т. д. Такие риски необходимо уметь оценивать, прогнозировать и предотвращать [4, 5].

С учетом того уровня капитальности инженерного обустройства территории, который необходим для реализации гидромелиоративных технологий, не вызывают вопросы подходы, которые полагают необходимой максимизацию эффекта (дополнительно получаемого продукта) от применения технологий [6, 7]. При этом крайне важно сохранять продуктивное долголетие мелиорированных земель, беречь и наращивать почвенный потенциал как фактор возможного уровня интенсификации производства. Уровень и структура антропогенной нагрузки являются важными показателями для прогнозирования устойчивости экосистем в используемых природных комплексах. Антропогенные нагрузки воспринимают в качестве особого экологического фактора, который может оказывать существенное и даже критическое влияние на экосистему. Результатом изучения антропогенной нагрузки является ее нормирование, преследующее цель предотвращения развития деструктивных процессов. В России создана и функционирует система экологического нормирования, согласующаяся с лучшими мировыми наработками и результатами отечественных исследований и опирающаяся на них [8–10].

Система оценки и нормирования антропогенной нагрузки на агро-

ландшафты опирается на количественные оценки масштаба различных видов антропогенной нагрузки. На уровне агроландшафта для оценки антропогенной нагрузки определяют соотношение природных компонентов среды, уровень распаханности территории, степень концентрации животноводства, долю мелиорированных земель и др. Для оценки мелиорированных агроландшафтов этого недостаточно, так как важно учитывать интенсивность применяемых мелиоративных агроприемов. Кроме того, из-за усредненных оценок антропогенной нагрузки для агроландшафта не учитывается возможность дифференцирования (и существенного) такого рода давления на сублокальном уровне (производственный участок). Это может вызвать местные нарушения экосистемы при соблюдении всех норм по антропогенной нагрузке при площадных (агроландшафт, водосбор, регион и др.) оценках.

Цель исследований – усовершенствовать научные подходы и методы оценки антропогенной нагрузки на локальном и сублокальном уровнях мелиорированного агроландшафта.

Материалы и методы. Нормирование антропогенной нагрузки имеет целью исключение процессов, ведущих к деградации, обеспечение развития экосистемы с сохранением внутренних взаимосвязей и биосферных функций. Оценка устойчивости связана с изменением состояния экосистемы в зависимости от приложенной антропогенной нагрузки [11, 12]:

$$k_{уст} = 1 - \frac{\Delta ПЭ}{\Delta АН}, \quad (1)$$

где $k_{уст}$ – коэффициент устойчивости экосистемы;

$\Delta ПЭ$ – изменение параметров экосистемы;

$\Delta АН$ – приращение антропогенной нагрузки.

Из приведенного выражения видно, что устойчивость системы снижается не в результате приращения антропогенной нагрузки, а в результате опережающего (по отношению к антропогенной нагрузке) изменения состояния экосистемы. Опережающие изменения возникают в результате до-

стижения какого-то порогового уровня антропогенной нагрузки и являются основой для их нормирования.

В настоящее время разработаны и широко используются несколько подходов для количественного обобщения антропогенных нагрузок. Один из подходов состоит в нормировании показателей антропогенной нагрузки по наибольшему или наиболее характерному для региона значению [13]:

$$\Pi_{\text{АН}}^{\text{норм}} = \frac{\Pi_{\text{АН}}^i}{\max \Pi_{\text{АН}}^i}, \quad (2)$$

где $\Pi_{\text{АН}}^{\text{норм}}$ – нормированная величина i -го показателя антропогенной нагрузки;

$\Pi_{\text{АН}}^i$ – величина i -го показателя антропогенной нагрузки;

$\max \Pi_{\text{АН}}^i$ – наибольшая величина i -го показателя антропогенной нагрузки для рассматриваемой системы.

Тогда для совокупности показателей обобщающая величина будет равна:

$$I_{\text{АН}} = \frac{1}{j} \sum_i^j \Pi_{\text{АН}}^{\text{норм}}, \quad (3)$$

где $I_{\text{АН}}$ – индекс антропогенной нагрузки по совокупности j -го числа показателей.

Преимущества этого метода – исключение субъективного фактора, простота расчетов и доступность данных. Недостатком метода является зависимость результата от $\max \Pi_{\text{АН}}^i$. Даже для очень невысокой фактической нагрузки $\Pi_{\text{АН}}^i$ могут быть получены неоправданно большие относительные оценки, если величина $\max \Pi_{\text{АН}}^i$ окажется невысокой. Это может привести к искажению оценок антропогенной нагрузки, в т. ч. переоценке одних и недооценке других показателей.

Широкое распространение получил метод оценки антропогенной нагрузки, использующий балльную шкалу для различных показателей [12]:

$$I_{\text{АН}} = \frac{\sum_{i=1}^n S_i \cdot B_i}{S}, \quad (4)$$

где S_i – площадь территории агроландшафта, занятая соответствующим объектом;

B_i – балл антропогенной нагрузки, который присваивается различным природным или антропогенно трансформированным объектам (пашня, сенокосы, пастбища, леса, овраги, залежь и др.) в составе агроландшафта;

S – общая площадь агроландшафта.

Использование этого метода позволяет исключить неопределенность, связанную с вычислением нормированных оценок по величине $P_{\text{АН}}^i$. Однако есть опасность субъективных ошибок при обосновании величины балльной оценки для объектов агроландшафта. Другим недостатком метода является усредненность балльной оценки.

М. Н. Масютенко, Н. П. Масютенко, С. В. Саприным, Э. А. Садыговым [10, 14] и другими учеными проведена большая работа по совершенствованию методов оценки и нормирования антропогенной нагрузки, в т. ч. предложено балльную оценку дифференцировать в зависимости от вида и масштаба антропогенной нагрузки:

$$I_{\text{АН}} = \frac{\sum_{i=1}^n B_i}{n}, \quad (5)$$

где n – число учитываемых показателей для определения комплексного индекса антропогенной нагрузки.

Балльная оценка по видам (i) антропогенной нагрузки изменяется исходя из принадлежности значения нагрузки, X_i , к соответствующему диапазону в шкале нагрузок:

$$B_i = f((X_i) \in [X_{\min}; X_{\max}]). \quad (6)$$

При этом X_i , как правило, выражается в количественных оценках масштаба i -го вида антропогенной нагрузки, таких как площадь, доля, число строений и т. д.

Результаты и обсуждение. Выражения (5) и (6) для определения величины антропогенной нагрузки приняты за основу. Для обеспечения дифференцированного учета X_i в зависимости от уровня фактической интенсивности i -го вида антропогенной нагрузки предлагается использовать следующее уточнение:

$$X_i = k_H \cdot x_i, \quad (7)$$

где k_H – коэффициент интенсивности антропогенной нагрузки;

x_i – нескорректированное значение масштаба (площадь, доля) i -го вида мелиораций.

Значение k_H принимается пропорционально фактической интенсивности антропогенной нагрузки. В частности, для орошения k_H определяется пропорционально затратам оросительной воды на единицу площади (оросительная норма) по зависимости:

$$k_H = \left(\frac{\sum Q_j}{J \cdot Q_{\text{пр.уст.}}} \right)^2, \quad (8)$$

где Q_j – вероятная (ожидаемая) оросительная норма (нетто) j -й культуры в севообороте, мм;

J – число культур в севообороте;

$Q_{\text{пр.уст.}}$ – предельная величина водной нагрузки (мм), обеспечивающая сохранение экологического баланса в данной экосистеме.

Оросительная норма нетто в современной мелиоративной науке определяется суммой дефицитов влаги в естественном водном балансе [15]:

$$Q_j = d_{wbj} \text{ или } Q_j = d_{wbj} = \sum m_{ntj}, \quad (9)$$

где d_{wbj} – дефицит водного баланса для j -го вида культуры, мм;

$\sum m_{ntj}$ – сумма фактических поливных норм за вегетационный период j -й культуры, мм.

Дефицит водопотребления для любого периода роста и развития сельскохозяйственных культур, включая вегетационный период, определяется из упрощенного уравнения водного баланса:

$$d_{wbj} = ET_{crop(j)} - W_a - P_{ef} \pm V_{gr}, \quad (10)$$

где $ET_{crop(j)}$ – суммарное водопотребление культуры за расчетный период, мм;

W_a – активные запасы почвенной влаги, которые могут быть использованы растениями, мм;

P_{ef} – эффективные атмосферные осадки за период, мм;

V_{gr} – баланс водного обмена с насыщенную зоной, мм.

Все статьи упрощенного уравнения водного баланса, используемого для определения дефицита баланса, имеют вероятностный характер и зависят от складывающихся климатических условий и гидрологического режима грунтовых вод. Учитывая это, в мелиоративной практике оценку климатически обеспеченных оросительных норм производят с использованием кривой вероятности (обеспеченности), позволяющей выделять расчетные параметры в годы различной увлажненности.

Формализованное выражение эмпирической кривой обеспеченностей на основе ранжированного ряда имеет следующий вид:

$$p_m = P\{X \leq x_m\} \approx \frac{m}{n} \cdot 100 \%, \quad (11)$$

где p_m – уровень обеспеченности для m -го члена ранжированного ряда, %;

$P\{X \leq x_m\}$ – вероятность непревышения x_m , %;

x_m – значение m -го члена ранжированного ряда;

m – порядковый номер члена x_m ранжированного ряда;

n – объем выборки.

Для практических расчетов и определения вероятных (ожидаемых)

оросительных норм целесообразно использовать медианное сглаживание по формуле Н. Н. Чегодаева:

$$P_m = \frac{m - 0,3}{n + 0,4} \cdot 100 \% . \quad (12)$$

В настоящее время климатически обеспеченные оросительные нормы определены для большинства орошаемых сельскохозяйственных культур на уровне региона [16]. Это позволяет определять величину антропогенной нагрузки на орошаемые земли с учетом водотребовательности сельскохозяйственных культур в севообороте и климатических особенностей региона.

Неизвестной величиной в выражении (8) остается предельная величина водной нагрузки ($Q_{\text{пр.уст.}}$). Эта величина характеризует тот предельный уровень водной нагрузки, который не может быть воспринят экосистемой без существенных изменений гидрологического режима территории ($\Delta ПЭ \gg \Delta АН$). Орошение может запускать совершенно различные процессы, определяющие в итоге мелиоративное благополучие земель и мелиорированных агроландшафтов. Это может быть формирование ирригационной эрозии, процессы переноса почвенного слоя в пределах микро-рельефа, осолонцевание почвенного покрова, разрушение агрегатов и слитизация почвы. Эти процессы могут быть купированы оптимизацией параметров технологии орошения, приемами мелиоративного обустройства орошаемого участка, агротехническими приемами при возделывании орошаемых сельскохозяйственных культур.

Однако оросительные мелиорации – это прежде всего инструмент регулирования биологического и геологического круговоротов воды. Для предотвращения развития негативных процессов необходимо усиление биологического и замедление геологического круговорота воды. Вовлечение ресурсов оросительной воды в биологический круговорот харак-

теризует полезное действие орошения. Оросительная вода, вовлекаемая в геологический круговорот, характеризует потери. Потери оросительной воды, вовлекаемой в геологический круговорот, следует рассматривать как водную нагрузку на мелиорированный агроландшафт.

Любая территория имеет ограниченные возможности по приему дополнительной (по отношению к зональному фону) водной нагрузки, которые определяются уровнем ее дренированности. Существующая классификация земель по степени дренированности включает количественные оценки оттока воды, которые могут быть использованы для определения предельной величины водной нагрузки [17]. При этом для сохранения мелиоративного благополучия земель необходимо, чтобы суммарное инфильтрационное питание грунтовых вод находилось в пределах объема естественного оттока воды для территории с известным уровнем дренированности. В противном случае можно уверенно прогнозировать риски поднятия уровня грунтовых вод, вторичное засоление и заболачивание мелиорированных земель, что, в свою очередь, определяет потребность в строительстве дренажа.

При орошении объемы инфильтрационного питания грунтовых вод увеличиваются в сравнении с естественным зональным фоном. Однако значимость ирригационного инфильтрационного стока существенно зависит от способа и применяемой технологии орошения, а также определяется конструктивными особенностями мелиоративной инфраструктуры. По данным В. М. Яшина [18], наиболее значимые объемы инфильтрации, до 5–7 тыс. м³/га за сезон, формируются при орошении риса затоплением. При дождевании с подводом воды из закрытой оросительной сети сезонная величина инфильтрации составляет 0,25–1,5 тыс. м³/га и существенно зависит от состояния орошаемого участка. Неблагоприятными факторами, усиливающими инфильтрационные потери, являются выраженный микро-рельеф орошаемого участка или комплексность почвенного покрова.

Также большое значение имеют техническое состояние и конструктивные особенности оросительной техники. При использовании открытой оросительной сети с грунтовым руслом инфильтрационное питание грунтовых вод существенно возрастает за счет потерь воды из оросителей. По данным В. М. Яшина, А. Хакимова, А. Сабитова, Ю. Саттиева [18, 19], при орошении консольными агрегатами ДДА-100М с забором воды из временных грунтовых оросителей суммарная инфильтрация влаги в насыщенную зону достигала 1,5–1,7 тыс. м³/га против 0,05–0,5 тыс. м³/га в естественных условиях. При этом фильтрация из оросителей составляла до 70 % всех ирригационных потерь воды на участке.

Потери оросительной воды, в т. ч. инфильтрационные, являются одной из основных причин нарушения экологического равновесия мелиорированных агроландшафтов, поэтому методы определения предельной величины годовой водной нагрузки ($Q_{\text{пр.уст.}}$) должны это учитывать. Суммарные потери оросительной воды при инфильтрации не должны превышать оттока воды с учетом дренированности территории. При этом необходимо учитывать зависимость инфильтрационных потерь от технологии орошения и конструктивных особенностей мелиоративной инфраструктуры:

$$Q_{\text{пр.уст.}} \cdot k_{\text{тп}} + Q_{\text{пр.уст.}} \cdot (1 - \text{КПД}_{\text{ОС}}) + Q_{\text{пр.уст.}} \cdot k_{\text{рс}} \leq k_{\text{с}} \cdot (Q_{\text{др.}} - Q_{\text{ф}}), \quad (13)$$

где $k_{\text{тп}}$ – коэффициент технических потерь воды для данной технологии орошения;

$\text{КПД}_{\text{ОС}}$ – коэффициент полезного действия оросительной системы;

$k_{\text{рс}}$ – коэффициент потерь воды вследствие фильтрации из распределительных водоводов открытой оросительной сети;

$k_{\text{с}}$ – коэффициент сезонности;

$Q_{\text{др.}}$ – объемы годового оттока грунтовых вод для территории с известным уровнем дренированности, мм;

Q_{ϕ} – фоновый (естественный) уровень инфильтрационного питания грунтовых вод, характерный для природной зоны, мм.

Левая часть выражения (13) характеризует суммарные ирригационные потери оросительной воды при инфильтрации, учитываемые в совокупности с фоновым (естественным) уровнем инфильтрационного питания грунтовых вод. Правая часть выражения (13) оценивается сезонным объемом оттока грунтовых вод для территории с известным уровнем дренированности. Как видно из приведенной зависимости, потери оросительной воды вследствие инфильтрации пропорциональны оросительной норме, подаваемой на участок для поддержания заданного водного режима почвы. Тогда величина предельной водной нагрузки определится из условия, что левая часть уравнения численно будет меньше либо равна правой части.

Преобразуя выражение (13), получим:

$$Q_{\text{пр.уст.}} = \frac{k_c \cdot (Q_{\text{др.}} - Q_{\phi})}{(1 - \text{КПД}_{\text{ОС}}) + k_{\text{рс}} + k_{\text{тп}}} \quad (14)$$

Если числитель выражения (14) является природной характеристикой мелиорируемого объекта, то знаменатель характеризует уровень используемых мелиоративных технологий. Это тот потенциал, который позволяет существенно повысить устойчивость мелиорируемых агроландшафтов за счет инноваций и обновления (реконструкции) мелиоративной инфраструктуры. При этом необходимо учитывать, что технические потери воды для технологии орошения зависят не только от способа полива, но и от того, как эта технология реализована на практике. Базовое значение коэффициента технических потерь воды при поливе ($k_{\text{тп}}$) принимается согласно установленным нормативам (СП 100.13330.2016).

В таблице 1 приведены усредненные результаты расчетов предельной водной нагрузки ($Q_{\text{пр.уст.}}$) в зависимости от величины оттока грунтовых вод для территорий с разным уровнем дренированности.

Таблица 1 – Усредненные величины предельного уровня водной нагрузки для мелиорированных агроландшафтов полупустынной и сухостепной зон Нижнего Поволжья

В мм

Table 1 – Average values of the maximum water load level for reclaimed agricultural landscapes of the semi-desert and dry steppe zones of the Lower Volga region

In mm

Зона дренированности (по Д. М. Кацу)	Отток грунтовых вод, мм/год	Характеристика технологии						
		Поверхностное орошение		Дождевание			Капельное орошение	
		С грунтовой водоподводящей и распределительной сетью	С облицованной водоподводящей и грунтовой распределительной сетью	С грунтовой водоподводящей и распределительной сетью	С облицованной водоподводящей и грунтовой распределительной сетью	С закрытой водоподводящей и распределительной сетью	С грунтовой водоподводящей сетью	С закрытой водоподводящей сетью
Интенсивно дренированная	700	730	1060	780	1150	2650	1170	4930
	500	520	750	550	820	1880	830	3500
Дренированная	400	410	600	440	650	1500	660	2790
	300	310	450	330	480	1120	490	2070
Слабодренированная	200	200	290	210	320	730	320	1360
	150	150	220	160	230	540	240	1000
Весьма слабодренированная	100	100	140	100	150	350	150	640
	50	40	60	40	70	150	70	290
Бессточная	25	20	20	20	30	60	30	110

Расчеты проведены исходя из естественного (зонального) уровня инфильтрации 5–50 мм, характерного для полупустынной и сухостепной зон Нижнего Поволжья. Принято допущение, что поливы проводятся в соответствии с технологическим регламентом, а значит, значение $Q_{\text{пр.уст.}}$ не превышает комплексных оценок дефицита водного баланса для рассматри-

ваемой территории. В противном случае $Q_{\text{пр.уст.}}$ принимается равным дефициту водного баланса.

Полученные результаты подтверждают, что технологии орошения являются тем инструментом, который позволяет существенно увеличить допустимый уровень водной нагрузки без нарушения эколого-мелиоративного состояния земель. В частности, при использовании капельного орошения в сочетании с закрытой водоподводящей сетью предельный уровень водной нагрузки составляет 3500–4930 мм на интенсивно дренированных территориях ($Q_{\text{др.}} = 500...700$ мм), 2070–2790 мм – для дренированных зон ($Q_{\text{др.}} = 300...400$ мм), 1000–1360 мм – для мелиорированных агроландшафтов со слабой дренированностью ($Q_{\text{др.}} = 150...200$ мм), 290–640 мм – для участков с весьма слабой дренированностью ($Q_{\text{др.}} = 50...100$ мм) и не более 110 мм – для бессточных территорий ($Q_{\text{др.}}$ менее 25 мм). При дождевании на мелиорированных землях со слабо- и средне выраженным микро-рельефом и прочих равных условиях предельный уровень водной нагрузки снижается в 1,82–1,93 раза. Существенное влияние на величину инфильтрационных потерь и предельные водные нагрузки оказывает технологический уровень мелиоративной инженерии. В частности, при дождевании с закрытой водоподводящей и распределительной сетью на слабодренированных территориях предельная величина водных нагрузок составляет 730 мм, при использовании грунтовых временных оросителей – не более 320 мм, при использовании грунтовой водоподводящей и распределительной сети – не более 210 мм. Это может стать ограничивающим фактором для поддержания оптимальных режимов орошения сельскохозяйственных культур без дренажа.

Выводы. Исследованиями усовершенствована методика определения величины антропогенной нагрузки на мелиорированные агроландшаф-

ты за счет введения корректирующего коэффициента для масштаба нагружающего фактора (деятельности), учитывающего интенсивность деятельности. Предложено определение коэффициента как отношения интенсивности некоторого вида антропогенной нагрузки к наибольшему (предельному) уровню интенсивности, обеспечивающему сохранение экологического баланса в данной экосистеме, в квадрате. Решена задача установления корректирующего коэффициента при расчете водных нагрузок на мелиорированные агроландшафты. Задача решается через отношение зонально обеспеченных (ожидаемых) оросительных норм (фактическая интенсивность нагружающего фактора), усредненных для севооборотной территории, к предельной величине водной нагрузки, которая не нарушает устойчивость экосистемы. При определении предельной величины водной нагрузки предложено учитывать гидрогеологические условия территории, технические характеристики мелиоративных объектов и уровень применяемых технологий орошения. Это позволяет оценивать инфильтрационные потери оросительной воды и нормировать водные нагрузки с учетом технического уровня и состояния мелиоративной инженерии, а также мелиоративных технологий. Использование предложенного подхода также позволяет оптимизировать структуру мелиорированных агроландшафтов с учетом гидрогеологических условий территории.

Список источников

1. Шадских В. А., Кижаева В. Е., Романова Л. Г. К вопросу влияния орошения на плодородие почв степной и сухостепной зон Поволжья // Орошаемое земледелие. 2019. № 4. С. 46–49. DOI: 10.35809/2618-8279-2019-4-10. EDN: QNTBZT.
2. Пронько Н. А. Проблемы орошаемого земледелия Поволжья и их решение // Аграрный научный журнал. 2022. № 11. С. 24–30. DOI: 10.28983/asj.y2022i11pp24-30. EDN: TULSSB.
3. Restoring soil fertility through organic amendments: impacts on agriculture and human health / Ch. C, M. S. Melavanki, F. V. Vijay, Sh. Bagrecha, Ch. B. R. t // Journal of Scientific Research and Reports. 2025. Vol. 31, № 1. P. 618–624. DOI: 10.9734/jsrr/2025/v31i12806. EDN: WHLTAB.
4. Use of groundwater and reclaimed water for agricultural irrigation: farmers' practices and attitudes and related environmental and health risks / O. Mahjoub, A. Mauffret,

C. Michel, W. Chmingui // *Chemosphere*. 2022. Vol. 295. Art. № 133945. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2022.133945. EDN: VQTPPP.

5. Причины вторичного засоления орошаемых почв Нижнего Поволжья и его прогнозирование на основе математического моделирования влагопереноса / А. С. Овчинников, Н. А. Пронько, А. С. Фалькович, В. В. Бородычев // *Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование*. 2018. № 2(50). С. 9–17. EDN: SMOHUX.

6. Water infiltration and evaporation process with ATP addition in newly reclaimed soil / L. Kong, X. Fan, X. Li, B. Zhai, Zh. Tian, Ya. Hong, P. Jiang, J. Zhang, Ju. Wang // *Agronomy*. 2024. Vol. 14, № 11. Art. № 2628. DOI: 10.3390/agronomy14112628. EDN: GQAUBF.

7. Бандурина И. П., Толмачев А. В. Направления повышения эффективности использования ресурсной базы орошаемого земледелия Краснодарского края // *Труды Кубанского государственного аграрного университета*. 2024. № 113. С. 24–31. DOI: 10.21515/1999-1703-113-24-31. EDN: VHYMDT.

8. Табаров С. Ф. Совершенствование российской системы экологического нормирования в свете международных тенденций // *Устойчивое инновационное развитие: проектирование и управление*. 2024. Т. 20, № 4(65). С. 26–34. EDN: ZQKSCJ.

9. Яковлев А. С., Евдокимова М. В. Подходы к нормированию загрязнения почв в России и зарубежных странах // *Почвоведение*. 2022. № 5. С. 631–641. DOI: 10.31857/S0032180X22050136. EDN: HKUZXN.

10. Масютенко М. Н., Масютенко Н. П. К разработке алгоритма оценки и нормирования антропогенной нагрузки в агроландшафте // *Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии*. 2018. № 6. С. 11–15. EDN: VKTQRR.

11. Перспективы экологической оценки и нормирования качества почв и земель и управления их качеством / А. С. Яковлев, М. В. Евдокимова, В. А. Терехова, И. О. Плеханова, М. В. Дабахов, Г. Г. Омелянюк, А. С. Горленко, Н. В. Копельчук // *Вестник Московского университета. Серия 17: Почвоведение*. 2023. № 4. С. 55–62. DOI: 10.55959/MSU0137-0944-17-2023-78-4-55-62. EDN: BWMDXV.

12. Комплексная оценка антропогенной нагрузки на агроландшафты трансграничных территорий Северной Азии / Т. Б. Бардаханова, В. Д. Мункуева, С. Н. Иванова, П. В. Осодоев, З. С. Еремко // *Международный сельскохозяйственный журнал*. 2024. Т. 67, № 2. С. 210–215. DOI: 10.55186/25876740_2024_67_2_210. EDN: NJLIJW.

13. Чибилев А. А., Григорьевский Д. В., Мелешкин Д. С. Пространственная оценка уровня антропогенной нагрузки степных регионов России // *Ученые записки Казанского университета. Серия: Естественные науки*. 2019. Т. 161, кн. 4. С. 590–606. DOI: 10.26907/2542-064X.2019.4.590-606. EDN: IFZZTX.

14. Саприн С. В., Садыгов Э. А. Оценка антропогенной нагрузки на агроландшафты Воронежской области // *Вестник Воронежского государственного аграрного университета*. 2016. № 2(49). С. 236–241. DOI: 10.17238/issn2071-2243.2016.2.236. EDN: WCYJZR.

15. Хожанов Н. Н. Методика расчета суммарного водопотребления сельскохозяйственных культур // *Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование*. 2021. № 3(63). С. 174–181. DOI: 10.32786/2071-9485-2021-03-17. EDN: OSTFCZ.

16. Ольгаренко В. И., Монастырский В. А. Модель нормирования водопотребления и расчета эксплуатационного режима орошения сельскохозяйственных культур // *Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации*. 2021. Т. 11, № 2. С. 39–52. DOI: 10.31774/2222-1816-2021-11-2-39-52. EDN: IWWILS.

17. Сугаченко А. А., Гавриков Д. Е., Лопатовская О. Г. Оценка показателей есте-

ственной дренированности почв Предбайкалья для целей мелиорации // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. 2014. № 2(14). С. 15–24. EDN: SFHEMN.

18. Яшин В. М. Роль ирригационного питания грунтовых вод в изменении экологических условий орошаемых земель // Национальная безопасность России: актуальные аспекты: сб. избр. ст. Всерос. науч.-практ. конф. СПб., 2020. С. 45–49. DOI: 10.37539/NB187.2020.71.82.006. EDN: FZMMIR.

19. Хакимов А., Сабитов А., Саттиев Ю. Определение влагообмена между почвенными и грунтовыми водами // Актуальные научные исследования в современном мире. 2020. № 2-2(58). С. 86–89. EDN: WDRDLR.

References

1. Shadskikh V.A., Kizhaeva V.E., Romanova L.G., 2019. *K voprosu vliyaniya orosheniya na plodorodie pochv stepnoy i sukhostepnoy zon Povolzh'ya* [To the question of the influence of irrigation on soil fertility of the steppe and dry-steppe zones of the Volga Region]. *Oroshaemoe zemledelie* [Irrigated Agriculture], no. 4, pp. 46-49, DOI: 10.35809/2618-8279-2019-4-10, EDN: QNTBZT. (In Russian).

2. Pronko N.A., 2022. *Problemy oroshayemogo zemledeliya Povolzh'ya i ikh reshenie* [Problems of irrigated agriculture in the Volga Region and their solution]. *Agrarnyy nauchnyy zhurnal* [Agrarian Scientific Journal], no. 11, pp. 24-30, DOI: 10.28983/asj.y2022i11pp24-30, EDN: TULSSB. (In Russian).

3. C Ch., Melavanki M.S., Vijay F.V., Bagrecha Sh., R. t Ch. B., 2025. Restoring soil fertility through organic amendments: impacts on agriculture and human health. *Journal of Scientific Research and Reports*, vol. 31, no. 1, pp. 618-624, DOI: 10.9734/jsrr/2025/v31i12806, EDN: WHLTAB.

4. Mahjoub O., Mauffret A., Michel C., Chmingui W., 2022. Use of groundwater and reclaimed water for agricultural irrigation: farmers' practices and attitudes and related environmental and health risks. *Chemosphere*, vol. 295, art. № 133945, DOI: 10.1016/j.chemosphere.2022.133945, EDN: VQPTPP.

5. Ovchinnikov A.S., Pronko N.A., Falkovich A.S., Borodychev V.V., 2018. *Prichiny vtorichnogo zasoleniya oroshayemykh pochv Nizhnego Povolzh'ya i yego prognozirovaniye na osnove matematicheskogo modelirovaniya vlagoperenosa* [Causes of secondary salinization of irrigated soils of the Lower Volga region and its prediction based on mathematical modeling of moisture transfer]. *Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: nauka i vysshee professional'noe obrazovanie* [Proceedings of the Lower Volga Agro-University Complex: Science and Higher Education], no. 2(50), pp. 9-17, EDN: SMOHUX. (In Russian).

6. Kong L., Fan X., Li X., Zhai B., Tian Zh., Hong Ya., Jiang P., Zhang J., Wang Ju., 2024. Water infiltration and evaporation process with ATP addition in newly reclaimed soil. *Agronomy*, vol. 14, no. 11, art. № 2628, DOI: 10.3390/agronomy14112628, EDN: GQAUBF.

7. Bandurina I.P., Tolmachev A.V., 2024. *Napravleniya povysheniya effektivnosti ispol'zovaniya resursnoy bazy oroshayemogo zemledeliya Krasnodarskogo kraya* [Directions for improving the efficiency of using the irrigated agriculture resource base in Krasnodar Territory]. *Trudy Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [Proceedings of the Kuban State Agrarian University], no. 113, pp. 24-31, DOI: 10.21515/1999-1703-113-24-31, EDN: VHYMDT. (In Russian).

8. Tabarov S.F., 2024. *Sovershenstvovanie rossiyskoy sistemy ekologicheskogo normirovaniya v svete mezhdunarodnykh tendentsiy* [Improving the Russian system of environmental standardization in light of international trends]. *Ustoychivoe innovatsionnoe razvitie: proektirovaniye i upravleniye* [Sustainable Innovative Development: Design and Management], vol. 20, no. 4(65), pp. 26-34, EDN: ZQKSCJ. (In Russian).

9. Yakovlev A.S., Evdokimova M.V., 2022. *Podkhody k normirovaniyu zagryazneniya*

pochv v Rossii i zarubezhnykh stranakh [Approaches to the regulation of soil pollution in Russia and foreign countries]. *Pochvovedenie* [Soil Science], no. 5, pp. 631-641, DOI: 10.31857/S0032180X22050136, EDN: HKUZXN. (In Russian).

10. Masyutenko M.N., Masyutenko N.P., 2018. *K razrabotke algoritma otsenki i normirovaniya antropogennoy nagruzki v agrolandshafte* [To developing an algorithm of estimation and normalization of anthropogenic load in agricultural landscape]. *Vestnik Kurskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii* [Bulletin of the Kursk State Agricultural Academy], no. 6, pp. 11-15, EDN: VKTQRR. (In Russian).

11. Yakovlev A.S., Evdokimova M.V., Terekhova V.A., Plekhanova I.O., Dabakhov M.V., Omelyanuk G.G., Gorlenko A.S., Kopelchuk N.V., 2023. *Perspektivy ekologicheskoy otsenki i normirovaniya kachestva pochv i zemel' i upravleniya ikh kachestvom* [The prospects for environmental assessment, regulation and quality management of soils and lands]. *Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 17: Pochvovedenie* [Moscow University Bulletin. Series 17: Soil Science], no. 4, pp. 55-62, DOI: 10.55959/MSU0137-0944-17-2023-78-4-55-62, EDN: BWMDXV. (In Russian).

12. Bardakhanova T.B., Munkueva V.D., Ivanova S.N., Osodoev P.V., Eremko Z.S., 2024. *Kompleksnaya otsenka antropogennoy nagruzki na agrolandshafty transgranichnykh territoriy Severnoy Azii* [Comprehensive assessment of anthropogenic load on agrolandscapes of transboundary territories of Northern Asia]. *Mezhdunarodnyy sel'skokhozyaystvennyy zhurnal* [International Agricultural Journal], vol. 67, no. 2, pp. 210-215, DOI: 10.55186/25876740_2024_67_2_210, EDN: NJLIJW. (In Russian).

13. Chibilev A.A., Grigorevsky D.V., Meleshkin D.S., 2019. *Prostranstvennaya otsenka urovnya antropogennoy nagruzki stepnykh regionov Rossii* [Spatial assessment of the anthropogenic load level in the steppe regions of Russia]. *Uchenye zapiski Kazanskogo universiteta. Seriya: Yestestvennye nauki* [Scientific Notes of Kazan University. Series: Natural Sciences], vol. 161, bk. 4, pp. 590-606, DOI: 10.26907/2542-064X.2019.4.590-606, EDN: IFZZTX. (In Russian).

14. Saprin S.V., Sadygov E.A., 2016. *Otsenka antropogennoy nagruzki na agrolandshafty Voronezhskoy oblasti* [Assessment of anthropogenic impact on agrolandscapes of Voronezh region]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [Bulletin of Voronezh State Agrarian University], no. 2(49), pp. 236-241, DOI: 10.17238/issn2071-2243.2016.2.236, EDN: WCYJZR. (In Russian).

15. Khozanov N.N., 2021. *Metodika rascheta summarnogo vodopotrebleniya sel'skokhozyaystvennykh kul'tur* [Methodology of calculation of total water consumption of agricultural crops]. *Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: nauka i vysshee professional'noe obrazovanie* [Proceedings of the Lower Volga Agro-University Complex: Science and Higher Education], no. 3(63), pp. 174-181, DOI: 10.32786/2071-9485-2021-03-17, EDN: OSTFCZ. (In Russian).

16. Olgarenko V.I., Monastyrsky V.A., 2021. *Model' normirovaniya vodopotrebleniya i rascheta ekspluatatsionnogo rezhima orosheniya sel'skokhozyaystvennykh kul'tur* [Model of water consumption rationing and calculating the operation regime of agricultural crops irrigation]. *Nauchnyy zhurnal Rossiyskogo NII problem melioratsii* [Scientific Journal of the Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems], vol. 11, no. 2, pp. 39-52, DOI: 10.31774/2222-1816-2021-11-2-39-52, EDN: IWWILS. (In Russian).

17. Sugachenko A.A., Gavrikov D.E., Lopatovskaya O.G., 2014. *Otsenka pokazateley yestestvennoy drenirovannosti pochv Predbaykal'ya dlya tseley melioratsii* [Assessment of the indicators of natural drainage of Cis-Baikal soils for land reclamation]. *Nauchnyy zhurnal Rossiyskogo NII problem melioratsii* [Scientific Journal of the Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems], no. 2(14), pp. 15-24, EDN: SFHEMN. (In Russian).

18. Yashin V.M., 2020. *Rol' irrigatsionnogo pitaniya gruntovykh vod v izmenenii*

ekologicheskikh usloviy oroshaemykh zemel' [The role of irrigation supply of groundwater in changing the environmental conditions of irrigated areas]. *Natsional'naya bezopasnost' Rossii: aktual'nye aspekty: sb. izbr. st. Vseros. nauchno-prakticheskoy konferentsii* [National Security of Russia: Current Aspects: Collection of Selected Articles of the All-Russian Scientific and Practical Conference], St. Petersburg, pp. 45-49, DOI: 10.37539/NB187.2020.71.82.006, EDN: FZMMIR. (In Russian).

19. Khakimov A., Sabitov A., Sattiev Yu., 2020. *Opredelenie vlogoobmena mezhdu pochvennymi i gruntovymi vodami* [Determination of moisture exchange between soil and groundwater]. *Aktual'nye nauchnye issledovaniya v sovremennom mire* [Current Scientific Research in the Modern World], no. 2-2(58), pp. 86-89, EDN: WDRDLR. (In Russian).

Информация об авторе

М. Н. Лытов – ведущий научный сотрудник, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, Всероссийский научно-исследовательский институт орошаемого земледелия – филиал Федерального научного центра гидротехники и мелиорации имени А. Н. Костякова (400002, Волгоград, ул. им. Тимирязева, 9), LytovMN@yandex.ru, ORCID: 0000-0003-2743-9825.

Information about the author

M. N. Lytov – Leading Researcher, Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor, All-Russian Research Institute of Irrigated Agriculture – branch of the Federal Scientific Center of Hydraulic Engineering and Land Reclamation named after A. N. Kostyakov (400002, Volgograd, Timiryazev st., 9), LytovMN@yandex.ru, ORCID: 0000-0003-2743-9825.

*Автор несет ответственность за нарушения в сфере этики научных публикаций.
The author is responsible for violation of scientific publication ethics.*

*Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.
The author declares no conflicts of interests.*

*Статья поступила в редакцию 05.02.2026; одобрена после рецензирования 23.04.2026;
принята к публикации 04.06.2026.
The article was submitted 05.02.2026; approved after reviewing 23.04.2026; accepted for
publication 04.06.2026.*