

МЕЛИОРАЦИЯ, ВОДНОЕ ХОЗЯЙСТВО И АГРОФИЗИКА

Научная статья

УДК 631.62; 551.312.2

doi: 10.31774/2712-9357-2024-14-2-108-127

Ассимиляционная способность элементов мелиорированных агроландшафтов при создании биоплато

Ирина Викторовна Глазунова¹, Светлана Анатольевна Соколова²,
Валерий Михайлович Яшин³

^{1,2}Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева,
Москва, Российская Федерация

^{1,3}Федеральный научный центр гидротехники и мелиорации имени А. Н. Костякова,
Москва, Российская Федерация

¹ivglazunova@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4931-2008>

²sokolovasvetlana@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3997-6994>

³vniigimjashin@mail.ru

Аннотация. Цель: обоснование и учет ассимилирующей способности природных и искусственно заболачиваемых участков на мелиоративной системе для поддержки принятия решения о сбросе дренажного стока на рельеф и создании биоплато. **Материалы и методы.** Расчет гидравлической и антропогенной нагрузки на заболоченные участки в пределах мелиоративной системы и параметров биоплато с учетом ассимилирующей способности болотных угодий выполнялся с помощью компьютерной программы в среде Excel. **Результаты.** Рассмотрена возможность создания искусственно заболачиваемых участков (биоплато) на мелиоративной системе для сброса и очистки дренажного стока с последующим сбросом в речную сеть. С целью учета ассимиляционной способности заболоченных участков (биоплато) и оценки возможности сброса в них загрязненных дренажных вод были выполнены компьютерные расчеты и построены графики зависимости площади биоплато от ассимилирующей способности высших водных растений, а также вычислены общие затраты на биоплато, которые изменяются от 50 до 250 тыс. руб. для принятых условий расчета. **Выводы.** Полученные графики изменения требуемой площади заболачивания по ассимиляции фосфора позволяют определить площадь биоплато при нагрузках дренажного стока от 0,5 до 10 л/с на 1 га площади сооружения при дренированной площади в диапазоне 200–800 га в зависимости от ассимилирующей способности высших водных растений при концентрации биогенных веществ азотной и фосфорной группы, превышающей предельно допустимую концентрацию в 3 раза по азоту и в 60 раз по фосфору, при различных температурных условиях.

Ключевые слова: ассимиляционная способность, болота, биоплато, мелиоративная система, дренажный сток, антропогенная нагрузка

Для цитирования: Глазунова И. В., Соколова С. А., Яшин В. М. Ассимиляционная способность элементов мелиорированных агроландшафтов при создании биоплато // Мелиорация и гидротехника. 2024. Т. 14, № 2. С. 108–127. <https://doi.org/10.31774/2712-9357-2024-14-2-108-127>.

LAND RECLAMATION, WATER MANAGEMENT AND AGROPHYSICS

Original article

The assimilation ability of the elements of reclaimed agricultural landscapes for constructed wetland creation



Irina V. Glazunova¹, Svetlana A. Sokolova², Valery M. Yashin³

^{1,2}Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russian Federation

^{1,3}Federal Scientific Center for Hydraulic Engineering and Land Reclamation named after A. N. Kostyakov, Moscow, Russian Federation

¹ivglazunova@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4931-2008>

²sokolovasvetlana@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3997-6994>

³vniigimjashin@mail.ru

Abstract. Purpose: substantiation and consideration of the assimilating ability of natural and artificially waterlogged areas within the reclaimed landscapes to support the decision to discharge drainage runoff onto the relief or to create constructed wetland. **Materials and methods.** The calculation of the hydraulic and anthropogenic impact on the wetlands within the reclamation system and constructed wetlands parameters, taking into account the assimilating capacity of wetlands, was performed using computer program in Excel. **Results.** The possibility of creating artificially waterlogged sites (bioplotos) within a reclamation system for the discharge and purification of drainage flow with subsequent discharge into the river network is considered. In order to take into account the assimilation capacity of wetlands (bioplotos) and the possibility of dumping contaminated drainage waters into them, the computer calculations were performed and graphs were constructed, the dependence of the bioplotos area on the assimilating ability of higher aquatic plants, as well as the total cost which is trends within 50–250 thousands rubles under given conditions of calculations are obtained. **Conclusions.** The obtained graphs showing the dependence between bioplato area and phosphorous assimilation allow us to determine the area and assimilating capacity of the bioplotos at drainage flow discharge containing phosphorous in the range from 0.5 to 10 l/s per 1 ha of the area of the structure with a drained area in the range of 200–800 ha, depending on the assimilating ability of higher aquatic plants at concentrations of nutrients of the nitrogen and phosphorus groups exceeding the MPC by 3 times in nitrogen and 60 times in phosphorus at different temperatures conditions.

Keywords: assimilation capacity, swamps, constructed wetland, reclamation system, drainage flow, anthropogenic impact

For citation: Glazunova I. V., Sokolova S. A., Yashin V. M. The assimilation ability of the elements of reclaimed agricultural landscapes for constructed wetland creation. *Land Reclamation and Hydraulic Engineering*. 2024;14(2):108–127. (In Russ.). <https://doi.org/10.31774/2712-9357-2024-14-2-108-127>.

Введение. Мелиоративная деятельность имеет целью обеспечение устойчивого урожая сельскохозяйственных культур и одновременно оказывает антропогенное влияние на прилегающие территории и водные объекты, которые являются водоисточниками и (или) водоприемниками гидромелиоративных систем. В пределах трансформированных мелиорированных агроландшафтов такое влияние изменяет ассимиляционный потенциал природных объектов как на территории гидромелиоративной системы, так и на прилегающих землях, оказавшихся в зоне ее влияния. Природные или приближенные к ним объекты, такие как лесополосы, русло-

вые и пойменные биоплато, склоновые буферные площадки, обустроенные на территории мелиоративных систем, вынуждены приспособливаться к условиям, созданным человеком [1, 2].

Все природные и природно-приближенные объекты на мелиоративной системе обладают определенной ассимилирующей способностью, которая направлена на сохранение устойчивости развития при условии получения сельхозпродукции и сохранения природных объектов. Для этого разработаны и применяется целый арсенал природоохранных технологий и методов, направленных на сохранение ресурсов, как земельных, так и водных, основанных на демпфирующем действии природных и условно природных структур и объектов на территории мелиорированных земель (лесополосы, леса, водно-болотные угодья, склоновый сток, пойменные земли и др.) [3–8].

Если мелиоративная деятельность влияет на окружающую среду сверх допустимых пределов, то ассимиляционная способность, способность к самоочищению и соответственно эластичность (демпфирующая способность) природных и природно-приближенных объектов на гидромелиоративной системе и прилегающих землях снижается, что проявляется в ухудшении состояния примыкающих к мелиоративной системе земель и водных объектов. Однако если пороговые пределы воздействия не достигаются и по каким-либо причинам воздействие снижается (экономический кризис, внедрение новых природоохранных технологий и др.), то происходит освобождение скопившегося потенциала самовосстановления, ассимиляционной способности и демпфирования (принцип растянутой пружины). Накопленный потенциал демпфирования преобразуется в кинетическую энергию, направленную на возвращение природных систем на мелиорированных землях в исходное состояние [9, 10]. Такие импульсные процессы направлены на восстановление баланса: инерция природы с одной стороны и растущего потенциала самовосстановления и ассимилирующей способности с другой. Произойдет сохранение мелиорированных агроландшаф-

тов на другом уровне устойчивости, но такие импульсные процессы будут повторяться, если антропогенная нагрузка не будет уравновешена, демпфирована самим человеком при правильной оценке ассимилирующей способности природных объектов и разработке нормативов управления этой способностью природных объектов. В целом это управляемая система, которая требует учета ассимиляционного потенциала каждого природного и природно-приближенного элемента на территории гидромелиоративной системы, как и учета его демпфирующей способности. На территории мелиорированного агроландшафта такими элементами являются природные леса, лесокустарниковые посадки и полосы, водоохранные и санитарные зоны¹, поймы малых рек, буферное залужение, болота, искусственно заболоченные участки и др. [11–15].

Болотные массивы и болота – это естественные геохимические барьеры, обладающие ассимиляционной способностью, как в отношении водных ресурсов, так и в отношении загрязняющих веществ. В то же время болотные массивы являются природными объектами – экологическими демпферами, которые за счет высокой ассимиляционной емкости способны регулировать гидрологические процессы в речных бассейнах и аккумуляцию загрязняющих веществ за счет высокой водоемкости, сорбционной способности торфяников и биоаккумуляции высшей водной растительностью [7, 11, 16].

Сформировавшиеся в болотах условия замедленного водообмена и преобладающие анаэробные условия способствуют демпфированию веществ и энергии в природном круговороте и ассимиляции как воды, так и многих загрязняющих веществ. Так, при сбросе дренажных вод на рельеф в пределах болотного массива концентрации загрязняющих веществ в транзитном потоке значительно снижаются до поступления в дренирую-

¹Водный кодекс Российской Федерации от 3 июня 2006 г. № 74-ФЗ (в ред. от 31 окт. 2016 г.) [Электронный ресурс]. URL: <http://pravo.gov.ru/proxy/ips/?docbody=&nd=102107048> (дата обращения: 15.03.2024).

ший болото водоток. Демпфирующая и ассимиляционная способность болот складывается из прямого разбавления болотными водами, процессов сорбции, седиментации, ассимиляции на биохимических барьерах и ассимиляции болотным биоценозом.

Ассимиляционные условия, близкие к природным условиям болот, искусственно формируются при создании биоинженерных сооружений (БИС) разного типа и искусственно заболачиваемых водно-болотных угодий.

Цель исследований – обоснование и учет ассимилирующей способности природных и искусственно заболачиваемых участков на мелиоративной системе для поддержки принятия решения о сбросе дренажного стока на рельеф и о создании биоплато.

Материалы и методы. В ассимиляции загрязняющих веществ важна способность болота к самоочищению, которую можно оценить с помощью коэффициента самоочищения (трансформации – κ_1), показывающего эффективность ассимиляции загрязняющих веществ [10, 14, 16]. Коэффициент самоочищения определяется отношением исходной концентрации загрязняющего вещества при попадании в болото (водно-болотные угодья) к концентрации этого вещества на выходе с территории болота или в заданной промежуточной точке (створе) и не учитывает внутренние процессы, происходящие в самом болоте. На этом принципе основан расчет ассимилирующей способности и требуемых для ее обеспечения параметров БИС и искусственно заболоченных участков на мелиоративных системах при очистке дренажных вод.

В качестве загрязняющей нагрузки при сбросе в болота и на искусственные заболоченные участки (биоплато) дренажного стока рассматриваются: биохимическое потребление кислорода (БПК), азотная группа (N), фосфор (P), сульфаты и т. д. Антропогенная гидравлическая нагрузка на болота и на искусственные заболоченные участки (биоплато) при сбросе

дренажного стока колеблется от 0,5 до 10 л/с на 1 га площади сооружения при дренированной площади в диапазоне 200–800 га.

Объем подаваемых на очистку вод, м³:

$$V = T_{\text{конт } i} \cdot Q_{\text{ст}},$$

где $T_{\text{конт } i}$ – продолжительность пребывания (контакта) дренажного стока в пределах искусственно заболоченной площадки при среднесуточном расходе, сут;

$Q_{\text{ст}}$ – среднесуточный расход дренажного стока, м³/сут.

Необходимая продолжительность пребывания (контакта) дренажного стока² в пределах искусственно заболоченной площадки определяется по формуле [17–19]:

$$T_{\text{конт } i} = \frac{1}{\kappa_{1i} \cdot \kappa_2} \cdot \lg \frac{C_{\text{вх } i}}{C_{\text{вых } i}},$$

где κ_{1i} – коэффициент скорости самоочищения по i -му загрязняющему веществу, сут⁻¹;

κ_2 – коэффициент объемного использования зеркала болота, в долях единицы;

$C_{\text{вх } i}$, $C_{\text{вых } i}$ – концентрации загрязняющих веществ на входе и выходе с заболоченной территории, мг/л.

В ходе эксперимента [8, 13] определены значения коэффициентов (κ_{1i}) высшей водной растительности (камыш, сусак и роголистник) в зависимости от изменения температурного режима вод (рисунок 1).

Коэффициенты объемного использования зависят от конфигурации водно-болотных угодий и определяются в большей степени отношением средней длины к средней ширине (таблица 1).

²Канализация. Наружные сети и сооружения. СНиП 2.04.03-85: СП 32.13330.2018 (с изм. № 1) [Электронный ресурс]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/554820821> (дата обращения: 15.03.2024).

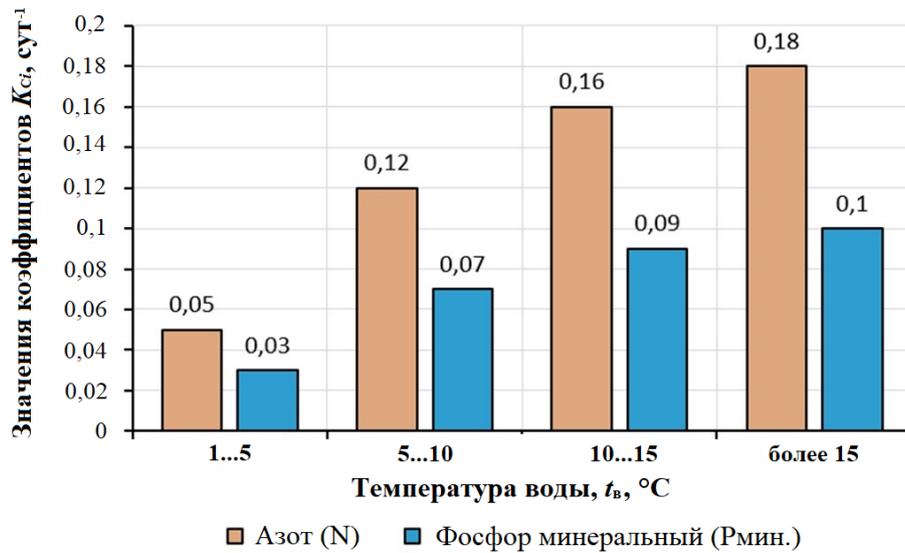


Рисунок 1 – Значения коэффициентов скорости самоочищения
Figure 1 – Values of self-cleaning rate coefficients

Таблица 1 – Коэффициент объемного использования
Table 1 – Volume utilization factor

Отношение длины сооружения L к ширине B , B/L (м/м)	Коэффициент объемного использования зеркала болота или биоплато, κ_2
20:1 и более	0,8
13:1 – 20:1	0,56
1:1 – 13:1	0,32

Расчет продолжительности контакта $T_{\text{конт}}$ выполняется для различных загрязняющих веществ отдельно:

- для биогенных веществ, БПК;
- для тяжелых металлов;
- для пестицидов.

$T_{\text{конт}}$ назначается как максимальное для каждой группы загрязняющих веществ. При оценке ассимилирующей способности болотных угодий выполнен расчет по азоту, фосфору и БПК.

Необходимо предусмотреть изоляцию сооружения для предотвращения инфильтрации загрязненных вод в грунтовые воды [20, 21].

Глубина воды в биоплато устанавливается в зависимости от выращиваемых высших водных растений (ВВР). Требуемая глубина воды в биоплато и плотность посадки ВВР представлена в таблице 2.

Таблица 2 – Требуемая глубина воды в биоплато и плотность посадки высших водных растений

Table 2 – Required water depth in the constructed wetland and planting density of higher aquatic plants

Растение	Плотность посадки	Глубина воды, м	
Космоген озерный	7–9 шт./м ²	1–1,2	Гидрографы (водно-воздушные или полупогруженные)
Рогоз узколистный	6–7 шт./м ²	1,5–2,5	
Рогоз широколистный	4–6 шт./м ²	до 0,8	
Осока водяная	5–6 шт./м ²	до 0,8	
Манник водный	30–40 шт./м ²	до 0,8	
Элодея канадская	0,25–0,5 шт./м ³	до 0,8	Погруженные в воду прикрепленные растения (элодеи)
Роголистник темно-зеленый	2–2,5 шт./м ³	до 0,8	
Ряска маленькая	0,5–0,7 шт./м ³	до 0,8	

Площадь сооружения рассчитывается на уровне посадки ВВР по формуле:

$$S = \frac{Q \cdot T_{\text{конт}}}{h},$$

где S – площадь биоплато, м²;

Q – сезонная нагрузка дренажного стока, м³/сут;

h – глубина воды в биоплато, м.

Зная h , B и L , принимают m в зависимости от типа грунтов (коэффициенты заложения m откосов) (таблица 3).

Таблица 3 – Коэффициенты заложения откосов каналов и дамб

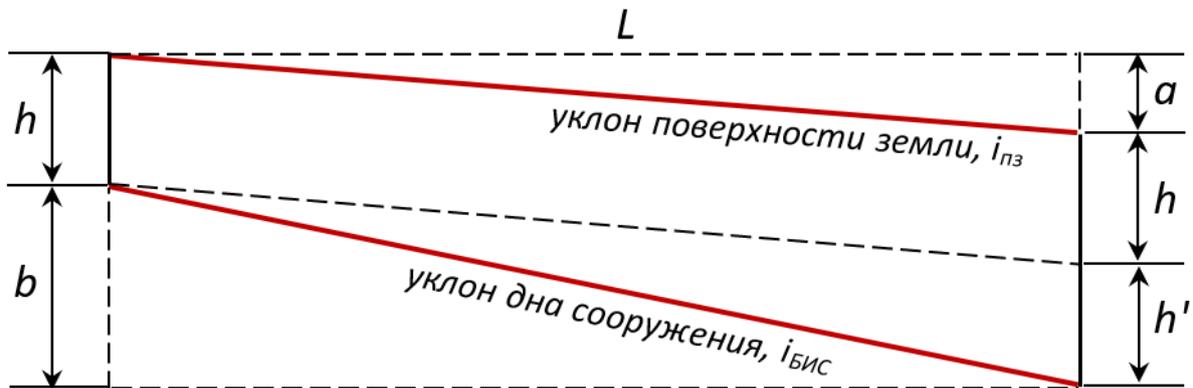
Table 3 – Coefficients for laying slopes of canals and dams

Грунт	Коэффициент заложения откосов каналов m в зависимости от грунта	
	Откос	
	подводный	надводный
Скальный	0,00–0,50	0,00–0,25
Полускальный	0,50–1,00	0,50
Галечник и гравий с песком	1,25–1,50	1,00
Глина, суглинок тяжелый и средний, торф мощностью пласта до 0,7 м, подстилаемый этими грунтами	1,00–1,50	0,50–1,00
Суглинок легкий, супесь или торф мощностью пласта до 0,7 м, подстилаемый этими грунтами	1,25–2,00	1,00–1,50
Песок мелкий или торф мощностью пласта до 0,7 м, подстилаемый этим грунтом	1,50–2,50	1,00–2,00
Песок пылеватый	3,00–3,50	2,50
Торф со степенью разложения до 50 %	1,25–1,75	1,25
Торф со степенью разложения более 50 %	1,50–2,00	1,50

Зная уклон поверхности земли по предполагаемой трассе устройства биоплато и требуемый уклон дна, а также длину L , определяют ориентировочную глубину заглубления биоплато (рисунок 2):

$$a = L \cdot i_{пз},$$

$$b = L \cdot i_{БИС}.$$



L – длина биоплато; h – глубина воды в биоплато;

h' – углубление дна биоплато в зависимости от уклона местности;

a – заглубление по трассе сооружения; b – расчетное заглубление

L – constructed wetland length; h – water depth in the constructed wetland;

h' – deepening of the bottom of the constructed wetland depending on the terrain slope;

a – depth along the structure route; b – design depth

Рисунок 2 – Расчетная схема заглубления биоплато

Figure 2 – Calculation scheme for the constructed wetland deepening

По схеме получается:

$$h + b = a + h + h',$$

отсюда:

$$h' = b - a,$$

$$h' = L \cdot (i_{БИС} - i_{пз}).$$

Необходимое количество прикрепленных ВВР для посадки в БИС определяется площадью всех секций сооружения S , а количество плавающих растений – объемом воды в сооружении V .

Определение площади:

$$S = (2 \cdot h \cdot m + L) \cdot (B + 2 \cdot h \cdot m).$$

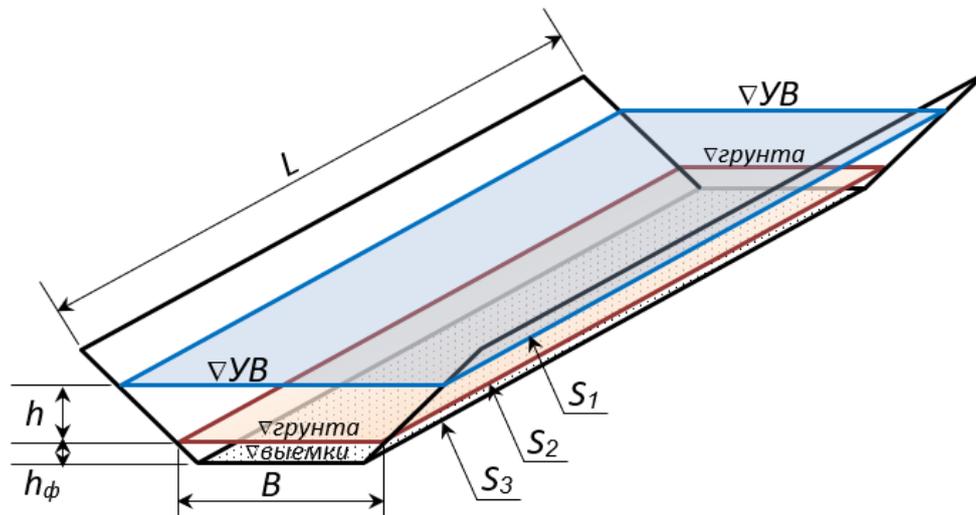
Определение объема воды:

$$V = \frac{1}{3} \cdot h \cdot (S_3 + \sqrt{S_1 \cdot S_2} + S_2),$$

где S_1 – площадь на уровне поверхности воды;

S_2 – площадь на уровне насыпного грунта;

S_3 – площадь сооружения на уровне выемки (рисунок 3).



h_f – толщина фильтрующего слоя; $\nabla УВ$ – уровень воды в биоинженерном сооружении
 h_f – filter layer thickness; $\nabla УВ$ – water level in a bioengineering structure

Рисунок 3 – Схема для расчета площади землеотвода и объемов работ
Figure 3 – Scheme for calculating the land allotment area and work volumes

Расчет является оценочным для сравнения возможных вариантов создания водно-болотных угодий по типу биоплато. Выполняются расчеты объемов выемки, объема фильтрующей засыпки в основании.

Расчет общих затрат выполняется по формуле:

$$Z = \varepsilon \cdot K + C, \quad (4)$$

где ε – коэффициент экономической эффективности, $\varepsilon \geq 0,12$ для водохозяйственных расчетов ($\varepsilon = 1/T_{\text{окуп}}$, где $T_{\text{окуп}}$ – срок окупаемости);

K – капитальные затраты, $K = k \cdot S$, где $k = 10000 \dots 30000$ руб./га – удельные капитальные затраты;

C – ежегодные эксплуатационные издержки, $C = c \cdot S$, где $c = 100 \dots 500$ руб./га – удельные ежегодные эксплуатационные издержки.

Эффективность очистки определяется процентом удаленных загрязняющих веществ из загрязненных вод в результате поглощения их в пределах БИС:

$$\mathcal{E}_{\text{очистки}} = \frac{C_{\text{вх}} - C_{\text{вых}}}{C_{\text{вх}}} - \text{по одному веществу,} \quad (5)$$

где $C_{\text{вх}}$, $C_{\text{вых}}$ – концентрации загрязняющих веществ на входе и выходе с заболоченной территории, мг/л.

Для расчетов использовалась компьютерная программа БИС Excel. Была выполнена оценка ассимилирующей способности биоплато, построены графики зависимости требуемой площади заболачивания по ассимиляции фосфора от средней температуры вегетационного периода, а также рассчитаны затраты на создание водно-болотных угодий по типу биоплато.

Результаты и обсуждение. Сброс в болото или на искусственно заболоченные площадки обычно производится с мелиоративных систем вне пределов населенных пунктов, что соответствует требованию соблюдения рыбохозяйственных предельно допустимых концентраций (ПДК) при поступлении очищенных вод в водные объекты. Невысокие удельные затраты на создание искусственных заболоченных участков в пределах мелиорированных агроландшафтов (30–3000 тыс. руб./га) способствуют снижению капитальных и эксплуатационных затрат на очистку дренажного стока без ущерба для водного объекта (таблица 4).

Таблица 4 – Рассчитанные размеры искусственного заболачивания (биоплато) и общие затраты с учетом разных коэффициентов ассимилирующей способности

Table 4 – Calculated sizes of artificial swamping (constructed wetland) and total costs, taking into account different assimilative capacity coefficients

Учет ассимилирующей способности искусственно заболоченного участка, мг/л	Площадь искусственного заболачивания, м ²	Затраты, руб.
1	2	3
Вариант κ_{1-1} : азот – 0,05 фосфор – 0,03 БПК – 0,04	109434,52	798870

Продолжение таблицы 4

Table 4 continued

1	2	3
Вариант κ_{1-2} : азот – 0,12 фосфор – 0,07 БПК – 0,11	46900,51	342370
Вариант κ_{1-3} : азот – 0,16 фосфор – 0,09 БПК – 0,12	36478,17	266290
Вариант κ_{1-4} : азот – 0,18 фосфор – 0,1 БПК – 0,15	13994	239660

Предлагается следующая схема оценки κ_1 для неизученных болот:

1 Определяются фоновые показатели для не изученных в отношении самоочищения болот: на основании натурных данных при выполнении инженерных изысканий на стадии проектирования; по данным Росгидромета и других организаций; по справочной литературе по аналогии с болотами, находящимися в близких ландшафтно-геологических условиях.

2 Концентрация конкретного поллютанта принимается по фактическим данным для действующих дренажных систем либо по проектным данным – для строящихся.

3 По обобщенным региональным зависимостям для коэффициента самоочищения κ_1 по отдельным поллютантам с разностью их концентраций в сточных и болотных водах методом подбора проверяется соблюдение природоохранных требований в контрольном створе водотока при выходных концентрациях на современное состояние или по предварительному проектному решению определяются ПДК на выходе с очистных сооружений и соответствующий коэффициент самоочищения κ_1 .

Были выполнены компьютерные расчеты параметров искусственно заболоченных участков с учетом различной ассимилирующей способности

биоценоза рогоз + тростник + ряска (рисунок 4) с помощью программы БИС Excel с целью определения площади искусственно заболачиваемых площадок на мелиорированных землях при выполнении условия соотношения природных и антропогенно измененных территорий 60:40.

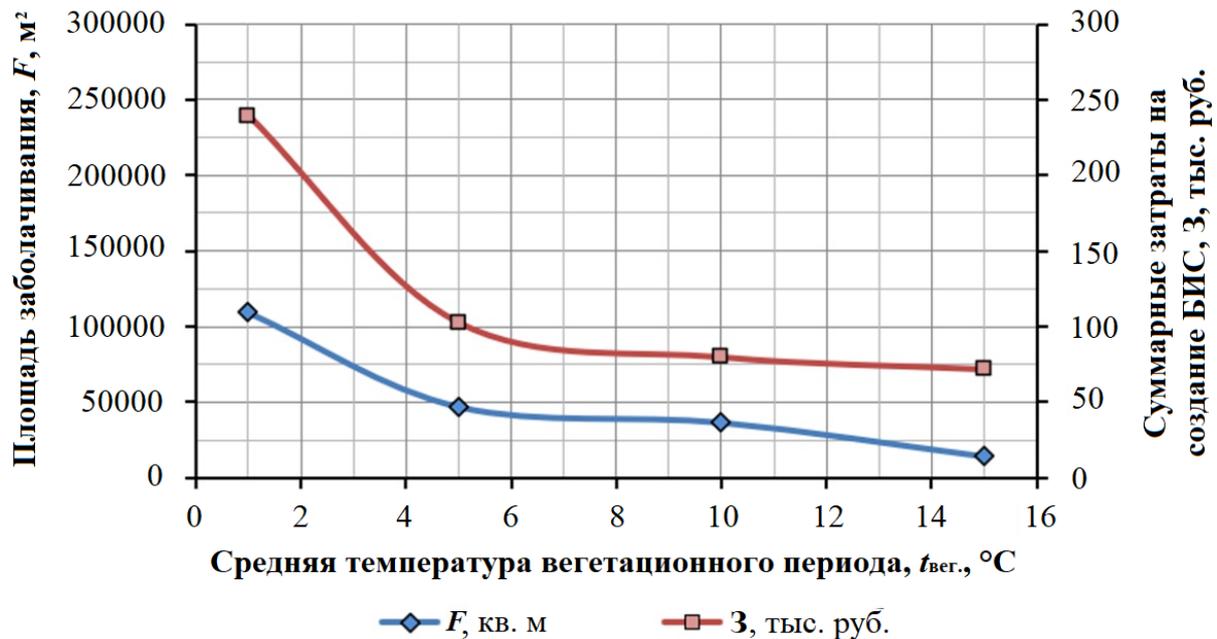


Рисунок 4 – Изменение требуемой площади заболачивания по ассимиляции фосфора в зависимости от средней температуры вегетационного периода (для дренирования 200 га при модуле дренажного стока 0,5 л/с)

Figure 4 – Change in required swamp area by phosphorus assimilation depending on average temperature of growing season (for drainage of 200 ha with a drainage flow module of 0.5 l/s)

Как видно из данных графиков (см. рисунок 4), величина общих затрат на устройство биоплато или дополнительное заболачивание изменяется от 50 до 250 тыс. руб. для принятых условий расчета.

Алгоритм программы оценки ассимилирующей способности природных болот и определения площади искусственного заболачивания представлен в виде схемы на рисунке 5. После назначения B и определения L проверяется величина коэффициента объемного использования БИС κ_2 . Если κ_2 соответствует принятому в блоке исходных данных, то расчет продолжается. Если κ_2 отличается от принятой величины, то возможно вер-

нуться в блок исходных данных, изменить параметры секции сооружения B и L , повторить расчет, чтобы конструктивно выйти на требуемую величину κ_2 . Также проводится сравнение площади искусственного заболачивания (биоплато) с площадью естественных водно-болотных угодий в пределах мелиорированного агроландшафта (при их наличии) и принимается решение о сбросе дренажного стока на рельеф или о строительстве биоплато для очистки дренажного стока.

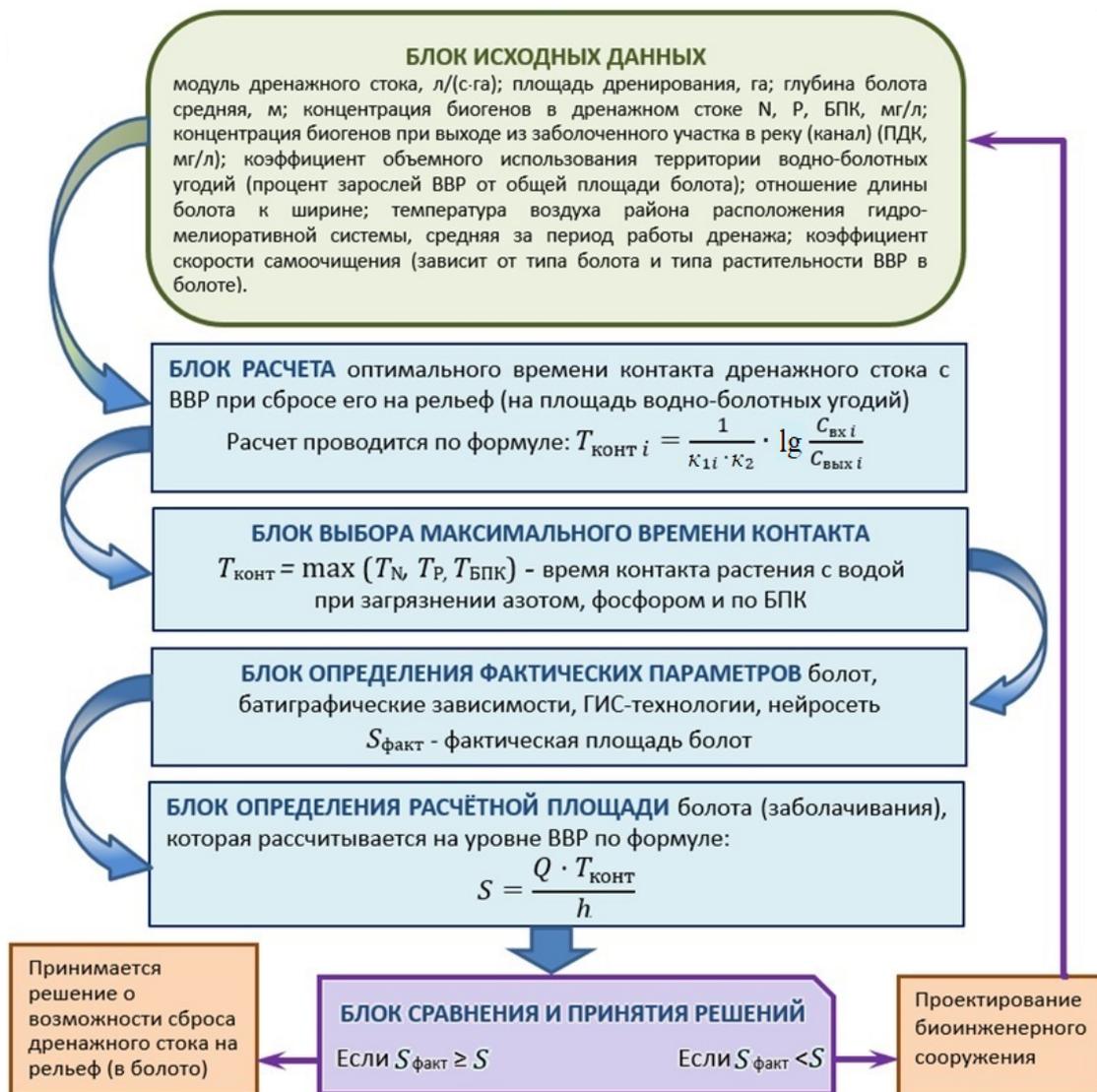


Рисунок 5 – Блок-схема расчета параметров искусственного заболачивания (биоплато) с учетом ассимилирующей способности высших водных растений

Figure 5 – Flowchart for calculating artificial swamping (constructed wetland) parameters taking into account the assimilating ability of higher aquatic plants

Выводы. Для обоснования возможности сброса загрязненного дренажного стока на заболоченный рельеф была учтена ассимиляционная способность заболоченного ландшафта путем создания биоплато. С целью оценки ассимиляционной способности заболоченных участков и возможности сброса на них загрязненных дренажных вод при требовании очистки их до ПДК были выполнены компьютерные расчеты в среде Excel и построены графики зависимости площади заболачивания от ассимилирующей способности высшей водной растительности, которая определяется температурой вегетационного периода. Графики позволяют оценить ассимилирующую способность заболоченного участка по его площади при глубине, определяемой видом культивируемой высшей водной растительности. Построив с помощью компьютерной программы зависимости требуемой площади заболачивания при ассимиляции различных загрязняющих веществ от средней температуры вегетационного периода, можно предварительно до создания биоплато оценить площадь землеотвода и затраты на его создание.

Расчеты выполнялись для отвода дренажного стока с дренированной площади 200–800 га при модуле дренажного стока от 0,5 до 10 л/с при концентрации биогенных веществ азотной и фосфорной группы, превышающей ПДК в 3 раза по азоту и в 60 раз по фосфору, при различных температурных условиях. В качестве примера приведен результат расчета изменения требуемой площади заболачивания по ассимиляции фосфора в зависимости от средней температуры вегетационного периода (для дренирования 200 га при модуле дренажного стока 0,5 л/с).

Список источников

1. Глазунова И. В., Ромащенко А. К., Тишина К. А. Биоинженерные сооружения и накопители местного стока водосборов для наиболее эффективного использования водных ресурсов речных бассейнов // Природообустройство. 2018. № 2. С. 46–54. EDN: XNSHXV.

2. Гидравлические параметры биоинженерных сооружений: свидетельство о гос. регистрации базы данных № 2020620160 Рос. Федерация / И. В. Глазунова; заявитель

Рос. гос. аграр. ун-т – МСХА им. К. А. Тимирязева. Заявка № 2020620036; заявл. 15.01.20; опублик. 27.01.20. EDN: RBBLVD.

3. Глазунова И. В., Исламова Л. Ф. Учет антропогенного воздействия, обусловленного сельскохозяйственной деятельностью, на водосборе малой реки // Экологические аспекты мелиорации, гидротехники и водного хозяйства АПК: материалы междунар. науч.-практ. конф., г. Москва, 5–6 окт. 2017 г. М.: ВНИИГиМ им. А. Н. Костякова, 2017. С. 100–105. EDN: ZSKUVP.

4. Жезмер В. Б., Адьяев С. Б., Шабанов Р. М. Алгоритм анализа гидромелиоративной системы с целью выявления причин снижения эксплуатационной надежности и производительности // Природообустройство. 2023. № 1. С. 54–61. DOI: 10.26897/1997-6011-2023-1-54-61. EDN: NQIERM.

5. Биосферно-экологическое обоснование комплексных мелиораций / Л. В. Кирейчева, И. В. Корнеев, В. М. Яшин, В. Ю. Павлов, Т. Ю. Пуховская, И. Ф. Юрченко, И. В. Глазунова. М.: ВНИИГиМ им. А. Н. Костякова, 2023. 184 с. DOI: 10.37738/VNIIIGIM.2023.98.40.001. EDN: IXVCSO.

6. Носаль А. П. Оценка самоочищающей способности болот и ее использование при нормировании // Водное хозяйство России. 2002. Т. 4, № 4. С. 308–323.

7. К вопросу сбора и анализа исходной информации при разработке нормативов допустимого воздействия (на примере бассейна Вятки в пределах Кировской области) / А. П. Носаль, А. С. Шубарина, Т. В. Логинова, Т. Г. Тараненко // Водное хозяйство России. 2010. № 5. С. 41–68. EDN: MWGOVT.

8. Кирейчева Л. В. Восстановление природно-ресурсного потенциала агроландшафтов комплексными мелиорациями // Мелиорация и водное хозяйство. 2004. № 5. С. 32–35. EDN: YJGATB.

9. Кузнецов Е. В., Хаджиди А. Е., Гумбаров А. Д. Адаптированные технологии повышения агроресурсного потенциала агроландшафтов // Труды Кубанского государственного аграрного университета. 2013. Вып. 2(41). С. 183–187. EDN: QASNMZ.

10. Meyer E. Reorienting the Bureau of Reclamation // Restoration and Reclamation Review. 1998. Vol. 3, № 4. P. 1–9.

11. Носаль А. П. Использование региональных номограмм для определения самоочищающей способности болот // Инженерная экология. 2002. № 4. С. 45–51.

12. Рациональное водопользование / И. В. Глазунова, В. Н. Маркин, С. А. Соколова, Л. Д. Раткович. Курск: Унив. кн., 2022. 136 с. DOI: 10.47581/2022/Glazunova.01. EDN: DBCRCR.

13. Аверьянов С. Ф. Управление водным режимом мелиорируемых сельскохозяйственных земель: монография / отв. ред. Ю. Н. Никольский. М.: РГАУ-МСХА имени К. А. Тимирязева, 2015. 542 с. EDN: TUBVKX.

14. Эрнестова Л. С., Семенова И. В. Самоочищающая способность природной воды как показатель экологического состояния водного объекта // Водные ресурсы. 1994. Вып. 21, № 2. С. 76–79.

15. Мониторинг застройки водоохраных зон / И. В. Гордин, Н. В. Кирпичникова, Е. И. Куприянова, В. А. Харитонов // Водоохраные зоны: опыт практического применения и целесообразность развития: сб. докл. науч.-практ. семинара. М., 2006. С. 55–61.

16. Кузнецов Е. В., Хаджиди А. Е. Методы количественной оценки мелиоративного состояния агроландшафта и риски управления системой сельскохозяйственного мелиоративного комплекса // Труды Кубанского государственного аграрного университета. 2013. Вып. 4(43). С. 266–271. EDN: PQNПC.

17. Кирейчева Л. В., Белова И. В. Оценка продуктивности и экологической устойчивости агроландшафта на примере эколополигона «Мещера» // Научные технологии в мелиорации (Костяковские чтения): материалы Междунар. конф., посвящ. 118-летию со

дня рождения А. Н. Костякова, г. Москва, 30 марта 2005 г. / Рос. акад. с.-х. наук; Отделение мелиорации, вод. и лес. хоз-ва; Всерос. науч.-исслед. ин-т гидротехники и мелиорации им. А. Н. Костякова. М.: ВНИИГиМ им. А. Н. Костякова, 2005. С. 371–375. EDN: YMTYSR.

18. Лавров С. А. Математическое моделирование процесса распространения сточных вод и загрязняющих веществ при их сбросе на болота // Водное хозяйство России. 2018. № 2. С. 57–76. EDN: YUUIQD.

19. Zubarev V. A., Mazhaysky Yu. A., Guseva T. M. The impact of drainage reclamation on the components of agricultural landscapes of small rivers // Agronomy Research. 2020. 18(4). P. 2677–2686. DOI: 10.15159/AR.20.218. EDN: UEFGQB.

20. Карпенко Н. П. Комплексная оценка взаимосвязи поверхностных и подземных вод и их уязвимости в бассейнах малых рек Московского региона // Мелиорация и водное хозяйство: проблемы и пути решения: материалы междунар. науч.-практ. конф., г. Москва, 29–30 марта 2016 г. Т. 2. М.: ВНИИ агрохимии имени Д. Н. Прянишникова, 2016. С. 154–158. EDN: WZOZKD.

21. Габионные очистные фильтрующие сооружения для очистки поверхностных сточных вод / С. М. Чесалов, Ю. А. Лион, В. В. Птицын, А. В. Малоземов // Водоснабжение и санитарная техника. 2014. № 9. С. 69–76. EDN: SLPNJJ.

References

1. Glazunova I.V., Romashchenko A.K., Tishina K.A., 2018. *Bioinzhenernye sooruzheniya i nakopiteli mestnogo stoka vodosborov dlya naibolee effektivnogo ispol'zovaniya vodnykh resursov rechnykh basseynov* [Bioengineering structures and storage of local flow of watersheds for a more efficient use of water resources of river basins]. *Prirodoobustroystvo* [Environmental Engineering], no. 2, pp. 46-54, EDN: XNSHXV. (In Russian).

2. Glazunova I.V., 2020. *Gidravlicheskie parametry bioinzhenernykh sooruzheniy* [Hydraulic Parameters of Bioengineering Structures]. State certificate of database registration of Russian Federation, no. 2020620160, EDN: RBPLYD. (In Russian).

3. Glazunova I.V., Islamova L.F., 2017. *Uchet antropogennoy vozdeystviya, obuslovlennogo sel'skokhozyaystvennoy deyatel'nost'yu, na vodosbore maloy reki* [Accounting for anthropogenic impact caused by agricultural activities in the catchment area of a small river]. *Ekologicheskie aspekty melioratsii, gidrotekhniki i vodnogo khozyaystva APK: materialy mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Ecological Aspects of Land Reclamation, Hydraulic Engineering and Water Management of the Agro-Industrial Complex: Proc. of the International Scientific-Practical Conference]. Moscow, VNIIGiM named after A. N. Kostyakov, pp. 100-105, EDN: ZSKUVP. (In Russian).

4. Zhezmer V.B., Adyaev S.B., Shabanov R.M., 2023. *Algoritm analiza gidromeliorativnoy sistemy s tsel'yu vyyavleniya prichin snizheniya ekspluatatsionnoy nadezhnosti i proizvoditel'nosti* [Algorithm for analyzing a drainage system to identify the causes of a decrease in operational reliability and productivity]. *Prirodoobustroystvo* [Environmental Engineering], no. 1, pp. 54-61, DOI: 10.26897/1997-6011-2023-1-54-61, EDN: NQIEPM. (In Russian).

5. Kireicheva L.V., Korneev I.V., Yashin V.M., Pavlov V.Yu., Pukhovskaya T.Yu., Yurchenko I.F., Glazunova I.V., 2023. *Biosferno-ekologicheskoe obosnovanie kompleksnykh melioratsiy* [Biosphere-Ecological Justification of Complex Reclamation]. Moscow, VNIIGiM named after A. N. Kostyakov, 184 p., DOI: 10.37738/VNIIGIM.2023.98.40.001, EDN: IXVCSO. (In Russian).

6. Nosal A.P., 2002. *Otsenka samoochishchayushchey sposobnosti bolot i yeye ispol'zovanie pri normirovani* [Assessment of the self-cleaning ability of swamps and its use in rationing]. *Vodnoe khozyaystvo Rossii* [Water Management of Russia], vol. 4, no. 4, pp. 308-323. (In Russian).

7. Nosal A.P., Shubarina A.S., Loginova T.V., Taranenko T.G., 2010. *K voprosu sbora i analiza iskhodnoy informatsii pri razrabotke normativov dopustimogo vozdeystviya (na primere basseyna Vyatki v predelakh Kirovskoy oblasti)* [On the issue of collecting and analysis of initial information for development of norms of maximal permissible impact (using the example of the Vyatka river basin within the Kirov region boundaries)]. *Vodnoe khozyaystvo Rossii* [Water Management of Russia], no. 5, pp. 41-68, EDN: MWGOVT. (In Russian).

8. Kireycheva L.V., 2004. *Vosstanovlenie prirodno-resursnogo potentsiala agrolandshaftov kompleksnymi melioratsiyami* [The restoration of the natural resource potential of agrolandscapes by complex reclamation]. *Melioratsiya i vodnoe khozyaystvo* [Land Reclamation and Water Management], no. 5, pp. 32-35, EDN: YJGATB. (In Russian).

9. Kuznetsov E.V., Khadzhide A.E., Gumbarov A.D., 2013. *Adaptirovannyye tekhnologii povysheniya agrolesursnogo potentsiala agrolandshaftov* [Adapted technologies for increasing the agro-resource potential of agricultural landscapes]. *Trudy Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [Proc. of Kuban State Agrarian University], iss. 2(41), pp. 183-187, EDN: QASNMZ. (In Russian).

10. Meyer E., 1998. Reorienting the Bureau of Reclamation. Restoration and Reclamation Review, vol. 3, no. 4, pp. 1-9.

11. Nosal A.P., 2002. *Ispol'zovanie regional'nykh nomogramm dlya opredeleniya samoochishchayushchey sposobnosti bolot* [Use of regional nomograms to determine the self-cleaning ability of swamps]. *Inzhenernaya ekologiya* [Engineering Ecology], no. 4, pp. 45-51. (In Russian).

12. Glazunova I.V., Markin V.N., Sokolova S.A., Ratkovich L.D., 2022. *Ratsional'noe vodopol'zovanie* [Rational Water Use]. Kursk, University Book Publ., 136 p., DOI: 10.47581/2022/Glazunova.01, EDN: DBCRCR. (In Russian).

13. Averyanov S.F., 2015. *Upravlenie vodnym rezhimom melioriruemykh sel'skokhozyaystvennykh zemel': monografiya* [Management of the Water Regime of Reclaimed Agricultural Lands: monograph]. Moscow, RGAU-MSHA named after K. A. Timiryazev, 542 p., EDN: TUBBKX. (In Russian).

14. Ernestova L.S., Semenova I.V., 1994. *Samoochishchayushchaya sposobnost' prirodnoy vody kak pokazatel' ekologicheskogo sostoyaniya vodnogo ob'ekta* [The self-purification capacity of natural water as an indicator of the ecological state of a water body]. *Vodnye resursy* [Water Resources], vol. 21, no. 2, pp. 76-79. (In Russian).

15. Gordin I.V., Kirpichnikova N.V., Kupriyanova E.I., Kharitonov V.A., 2006. *Monitoring zastroyki vodookhrannykh zon* [Monitoring the development of water protection zones]. *Vodookhrannyye zony: opyt prakticheskogo primeneniya i tselesobraznost' razvitiya: sb. dokl. nauchno-prakt. seminara* [Water Protection Zones: Experience of Practical Application and Feasibility of Development: Proc. of Scientific-Practical Seminar]. Moscow, pp. 55-61. (In Russian).

16. Kuznetsov E.V., Khadzhide A.E., 2013. *Metody kolichestvennoy otsenki meliorativnogo sostoyaniya agrolandshafta i riski upravleniya sistemoy sel'skokhozyaystvennogo meliorativnogo kompleksa* [Methods for quantitative assessment of the reclamation state of agricultural landscape and the risks of managing the system of the agricultural reclamation complex]. *Trudy Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [Proc. of Kuban State Agrarian University], iss. 4(43), pp. 266-271, EDN: PQNIIC. (In Russian).

17. Kireycheva L.V., Belova I.V., 2005. *Otsenka produktivnosti i ekologicheskoy ustoychivosti agrolandshafta na primere ekopoligona "Meshchera"* [Assessing the productivity and environmental sustainability of the agricultural landscape using the example of the Meshchera eco-polygon]. *Naukoemkie tekhnologii v melioratsii (Kostyakovskie chteniya): materialy Mezhdunar. konf., posvyashchennoy 118-letiyu so dnya rozhdeniya A. N. Kostyakova* [Science-Intensive Technologies in Land Reclamation (Kostyakov Readings): Proc. of the International

Conf., Dedicated to the 118th Anniversary of the Birth of A. N. Kostyakov]. Russ. Acad. of Agricultural Sciences; Department of Reclamation, Water and Forest Households; All-Russian Scientific Research Institute of Hydraulic Engineering and Land Reclamation named after A. N. Kostyakov. Moscow, VNIIGiM named after A. N. Kostyakov, pp. 371-375, EDN: YMTYSR. (In Russian).

18. Lavrov S.A., 2018. *Matematicheskoe modelirovanie protsessa rasprostraneniya stochnykh vod i zagryaznyayushchikh veshchestv pri ikh sbrose na bolota* [Mathematical modeling of the process of spreading wastewater and pollutants when they are discharged into swamps]. *Vodnoe khozyaystvo Rossii* [Water Management of Russia], no. 2, pp. 57-76, EDN: YUUIQD. (In Russian).

19. Zubarev V.A., Mazhaysky Yu.A., Guseva T.M., 2020. The impact of drainage reclamation on the components of agricultural landscapes of small rivers. *Agronomy Research*, 18(4), pp. 2677-2686, DOI: 10.15159/AR.20.218, EDN: UEFGQB.

20. Karpenko N.P., 2016. *Kompleksnaya otsenka vzaimosvyazi poverkhnostnykh i podzemnykh vod i ikh uyazvimosti v basseynakh malykh rek Moskovskogo regiona* [Comprehensive assessment of the relationship between surface and groundwater and their vulnerability in the basins of small rivers in the Moscow region]. *Melioratsiya i vodnoe khozyaystvo: problemy i puti resheniya: materialy mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Reclamation and Water Management: Problems and Solutions: Materials of the International Scientific-Practical Conf.]. Moscow, vol. 2, All-Russian Research Institute of Agrochemistry named after D. N. Pryanishnikov, pp. 154-158, EDN: WZOZKD. (In Russian).

21. Chesalov S.M., Lion Yu.A., Ptitsyn V.V., Malozemov A.V., 2014. *Gabionnye ochistnye filtruyushchie sooruzheniya dlya ochistki poverkhnostnykh stochnykh vod* [Gabion treatment filter structures for treating surface wastewater]. *Vodosnabzhenie i sanitarnaya tekhnika* [Water Supply and Sanitary Technology], no. 9, pp. 69-76, EDN: SLPNJK. (In Russian).

Информация об авторах

И. В. Глазунова – доцент кафедры гидравлики, гидрологии и управления водными ресурсами, кандидат технических наук, доцент, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева, Москва, Российская Федерация; старший научный сотрудник, кандидат технических наук, доцент, Федеральный научный центр гидротехники и мелиорации имени А. Н. Костякова, Москва, Российская Федерация, ivglazunova@mail.ru, AuthorID: 127917, ORCID ID: 0000-0003-4931-2008;

С. А. Соколова – доцент кафедры гидравлики, гидрологии и управления водными ресурсами, кандидат технических наук, доцент, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева, Москва, Российская Федерация, sokolovasvetlana@mail.ru, AuthorID: 939094, ORCID ID: 0000-0003-3997-6994;

В. М. Яшин – ведущий научный сотрудник, кандидат технических наук, Федеральный научный центр гидротехники и мелиорации имени А. Н. Костякова, Москва, Российская Федерация, vniigimjashin@mail.ru, AuthorID: 127916.

Information about the authors

I. V. Glazunova – Associate Professor of the Department of Hydraulics, Hydrology and Water Resources Management, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russian Federation; Senior Researcher, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Federal Scientific Center for Hydraulic Engineering and Land Reclamation named after A. N. Kostyakov, Moscow, Russian Federation, ivglazunova@mail.ru, AuthorID: 127917, ORCID ID: 0000-0003-4931-2008;

S. A. Sokolova – Associate Professor of the Department of Hydraulics, Hydrology and Water Resources Management, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russian Federation, sokolovasvetlana@mail.ru, AuthorID: 939094, ORCID ID: 0000-0003-3997-6994;

V. M. Yashin – Leading Researcher, Candidate of Technical Sciences, Federal Scientific Center for Hydraulic Engineering and Land Reclamation named after A. N. Kostyakov, Moscow, Russian Federation, vniigimjashin@mail.ru, AuthorID: 127916.

*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 27.02.2024; одобрена после рецензирования 23.04.2024;
принята к публикации 23.04.2024.
The article was submitted 27.02.2024; approved after reviewing 23.04.2024; accepted for
publication 23.04.2024.*