

УДК 631.674.

## **Гидротехнические сооружения для предотвращения диффузного стока с мелиорированных земель.**

Губин В.К.<sup>1</sup>, кандидат с-х наук, ведущий научный сотрудник (ФГБНУ "ФНЦ ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова"), Колесова Н.Г.<sup>2</sup>, старший научный сотрудник, (ФГБНУ "ФНЦ ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова").

**Аннотация:** Статья содержит обзор описаний к патентам на изобретения в области разработки гидротехнических сооружений позволяющих задержать диффузный сток с мелиорированных полей, накопить и использовать его на орошение. Они могут также обеспечить его очистку перед выпуском в водоисточники для защиты их от загрязнения. Запатентованные технические решения направлены на создание мелиоративных систем учитывающих особенности ландшафта, климатических зон и требования сельскохозяйственных культур к водно-воздушному режиму корнеобитаемого слоя почвы. В статье представлены концепт-объекты отражающие основные направления в области задержания диффузного стока с мелиорированных полей. В том числе рассмотрены устройства для сбора и отведения паводкового стока, сооружения для накопления и сохранения дренажного стока, водооборотные системы, сооружения для очистки дренажного стока.

**Ключевые слова:** диффузный сток, поглотительные колодцы, дренажный сток, пруды-накопители, коллекторы–накопители, точное орошение, очистка дренажного стока, водооборотные системы.

### **Hydraulic structures to prevent diffuse runoff.**

---

<sup>1</sup> gubin.vladimir2011@yandex.ru

<sup>2</sup> natalia.kolesova.g@gmail.com

Gubin V.K.<sup>1</sup>, Leading Researcher (FSBSI "FSC VNIIGiM named after A.N. Kostyakov") Kolesova N.G.<sup>2</sup>, Senior Researcher, (FSBSI "FSC VNIIGiM named after A.N. Kostyakov"),

**Abstract:** The article contains an overview of patent descriptions for inventions in the field of development of hydraulic structures that allow to detain diffuse runoff from reclaimed fields, accumulate and use it for irrigation or ensure its purification before releasing it into water sources to protect them from pollution. Patented technical solutions are aimed at creating melioration systems that take into account the features of the landscape, climatic zones and the requirements of agricultural crops for the water-air regime of the root-inhabited soil layer. The article presents concept objects reflecting the main directions in the field of detention of diffuse runoff from reclaimed fields, including: devices for collecting and diverting flood runoff, structures for accumulation and storage of drainage runoff, water circulation systems, structures for cleaning drainage runoff.

Key words: diffuse runoff, absorption wells, drainage runoff, storage ponds, storage collectors, precision irrigation, drainage runoff treatment, water circulation systems.

**Введение:** Первого сентября 2024г. вступил в действие Водный кодекс РФ в редакции от 08.08.2024г. В статье 1. п. 19 приведён перечень вод, относящихся к сточным, включающий: дождевые, полые, инфильтрационные, поливомоечные, дренажные, отведение которых в водные объекты допускается после их очистки до нормативного уровня [1]. В этот перечень не включён диффузный сток с поверхности сельскохозяйственных полей. Между тем, установлено, что до 70% химических веществ, загрязняющих воду рек, озёр и прудов, приходится на удобрения и химикаты, выносимые с поверхностным стоком с полей [2]. Процесс образования диффузного стока можно разделить на несколько этапов. При выпадении ливневых осадков вода впитывается почвой и происходит быстрое насыщение влагой её верхнего слоя. Крупные капли дождя,

падая на поверхность почвы, разрушают комочки, образующие её водопрочную структуру. После насыщения верхнего слоя почвы влагой начинается формирование поверхностного стока, который растворяет подвижные соли, содержащиеся в почве, и увлекает мелкие илистые частицы почвы. В составе воды диффузного стока преобладают соединения азота. Соли фосфора, калия, кальция, магния и тяжёлых металлов фиксируются на поверхности илистой фракции стока. Интенсивность смыва мелкозёма с поверхности земли зависит от крутизны поверхности участка. При склонах  $1-3^{\circ}$  ежегодно смывается порядка 3т/га, а при увеличении крутизны до  $8-16^{\circ}$  выносятся до 15т/га наиболее плодородной части почвы [3]. Наблюдения показали, что за вегетационный период с дренажным стоком в объеме  $1800 \text{ м}^3/\text{га}$ , выносятся 320 кг/га элементов минерального питания растений: 220 кг кальция, 41 кг азота, 30 кг магния, 22 кг натрия и 7 кг калия [4].

**Основная часть:** Согласно ст.61 Водного кодекса РФ мелиоративные мероприятия должны проводиться одновременно с осуществлением мероприятий по охране окружающей среды, водных объектов и их водосборной площади В том числе решать задачи предотвращения и диффузного стока, а в случае невозможности предотвращения, осуществления очистки его, до нормативного уровня от взвешенных в воде илистых частиц и водорастворимых солей Данная статья посвящена изучению новых технических решений запатентованных в Российской Федерации. Эти изобретения позволяют задержать диффузный сток с мелиорированных полей, накопить и использовать его на орошение. Они могут обеспечить очистку стока перед выпуском в водоисточники.

**Методология исследований** включала изучение описаний к патентам в области разработки гидротехнических устройств для предотвращения диффузного стока с мелиорированных земель, его накопления и последующего использования на орошение. Рассматриваются так же сооружения для очистки стока в случае выпуска в водоисточники.

**Результаты исследований:** Мелиоративные сооружения, обеспечивающие возможность предотвращения поступления неочищенного диффузного стока в водоисточники, различаются по назначению и способу реализации. Выбор конструкции сооружения определяется климатическими условиями мелиорируемой территории. В зоне избыточного увлажнения, где количество осадков превышает испаряемость, строят дренажные системы для сбора и отведения стока. Большая часть изобретений в этой области связана с очисткой собираемого стока перед выпуском его в водоисточники. Так, для отведения поверхностных вод из блюдцеобразных понижений разработаны водопоглощающие колодцы из сборного или монолитного железобетона. Конструкции таких колодцев описаны в патентах №2579259, № 2714837. В патенте №2579259 представлена наиболее простая конструкция колодца-поглотителя. Эта конструкция включает корпус с крышкой и водоприемными отверстиями защищенный от плавающего мусора. В нижней части корпуса сделан отстойник для задержания песка, снабжённый промывным патрубком с краном [5]. Патент №2714837 содержит описание колодца-поглотителя, для очистки стока от более мелкой илистой фракции. Эта очистка происходит в камере – отстойнике с отведением осветлённой воды из её верхней части[6]. В патенте № 2816530 описан способ очистки стока фильтрацией через гравийно-песчаную засыпку. От пониженного бессточного участка прокладывают траншею, в которую укладывают перфорированную дренажную трубу с тонкостенным фильтром. Часть траншеи в понижении засыпают фильтрующим материалом в два слоя. Остальную часть траншеи до высоты 0,5 м от поверхности почвы засыпают гравием или крупным песком по всей длине траншеи. Верхняя часть траншеи от глубины 0,5 м до поверхности земли засыпается прерывисто песком и отрытой почвой [7]. Патент № 2812424 выдан на способ позволяющий удалить из дренажного стока химические элементы растворённые в воде. Дренажная сеть имеет дренажные колодцы, расположенные на трассе закрытых коллекторов. В колодцах производится периодический отбор проб дренажного стока для определения содержания

химических загрязнителей. По результатам анализа и учета составляют наборы съемных картриджей с сорбентом из ионитовых смол и противотриационным материалом. На выходящих сопрягающих трубах дренажных колодцев монтируют устройства для установки этих картриджей. На устьях закрытых коллекторов монтируют узлы учета расхода дренажного стока [8.] Отведение стока с поверхности мелиорируемых участков обеспечивает мелиоративная система, защищённая, патентом №2725486. Этот патент выдан на «Способ строительства осушительной системы» [9]. Согласно этому способу на участке, где проектируется строительство закрытой дренажной осушительной сети, предварительно нарезают временную осушительную сеть в виде борозд. Эти борозды выведены в канал-собираатель, подключённый к закрытому коллектору через камеру очистки. При использовании борозд для строительства временной осушительной сети предотвращение заиливания камеры очистки обеспечивает способ экранирования борозд перфорированной плёнкой [10]. Дифференцированное предотвращение стока вод с поверхности полей обеспечивает «Способ осушения минеральных почв для реализации точного земледелия» (патент РФ №255673) [11]. Для применения этого технического решения поля делят на участки, отличающиеся по экспозиции, плодородию, водному и тепловому режимам. По границам выделенных участков прокладывают сеть для перехвата поверхностного стока. Глубину закладки закрытого дренажа дифференцируют с учётом особенностей каждого участка. При наличии подстилающего водоупорного слоя, избыток воды предлагают отводить для пополнения запаса грунтовых вод. Для этой цели служит изобретение, защищённое патентом РФ №2655959 выданным на «Устройство для отведения поверхностных вод» [12]. Согласно этому изобретению для отведения поверхностных вод через слой водонепроницаемого грунта бурят вертикальные скважины до водоносного слоя. Особенностью конструкции скважин является выполнение их в виде блока из четырёх скважин соединённых с соседними скважинами горизонтальными дренами.

Каждая скважина снабжена оголовком из фильтрующего материала, что предотвращает опасность загрязнения грунтовых вод.

Для очистки дренажного стока на каналах-коллекторах найдёт применение изобретение «Система сооружений для очистки дренажного стока». Эта система включает сороудерживающую сетку, кассетоудерживающее сооружение, заполненное кассетами с сорбентом и подпорную стенку, для равномерное использование сорбирующего материала, патент № 2728365 [13].

Наиболее полно требованиям защиты от загрязнения водоисточников и окружающей среды стоком с сельскохозяйственных земель отвечают водооборотные мелиоративные системы. Эти системы обеспечивают сбор и накопление дренажного стока для использованием накопленной воды на орошение. В первой половине прошлого века получили распространение осушительно-оросительные системы. В этих системах поверхностный дренажный сток собирается сетью дренажных каналов или сетью подземных дрен, выведенных в каналы коллекторы. Для повышения их эффективности предложено использовать усовершенствованные перегораживающие сооружения. В патенте № 2233075 описана осушительно-увлажнительная система, включающая магистральный канал-накопитель дренажных вод с автоматизированными регуляторами уровня воды и отводные каналы с закрытыми дренами-собирателями дренажных вод для орошения участков, расположенных ниже по склону [14]. В аналогичной мелиоративной системе защищённой патентом № 2076918, дренажную воду накапливают в открытом канале-коллекторе. В устье такого канала размещают дренажный колодец с сифонным водовыпуском для автоматического регулирования уровня воды в канале коллекторе [15]. Использование каналов-коллекторов для накопления дренажного стока возможно только в меженный период. В половодье эта сеть служит для отведения избытка воды.

Для климатических зон с неустойчивым и недостаточным увлажнением интерес представляют мелиоративные системы включающие размещение в наиболее низких точках мелиорируемого участка прудов-накопителей дренажного стока. В эти пруды весной отводят поверхностный и дренажный сток. Летом накопленную воду забирают насосами и подают в поливные борозды или к дождевальным установка (Ав. Св. СССР №1631121) [16]. Недостатком таких прудов-накопителей дренажного стока является их большой объём. Это связано с необходимостью поддержания двухметрового мёртвого уровня заполнения препятствующего зарастанию пруда, а также учёта фильтрационных потерь воды и испарения с поверхности пруда. Эти потери снижаются при использовании осушительно-увлажнительной системы, защищённой патентом на изобретение №2663596 [17]. Согласно этому изобретению, пруд-накопитель дренажного стока снабжён защитным экраном из светонепроницаемого материала, закреплённым на тросах с поплавками и поддерживаемым с помощью лебёдок. Экран предотвращает испарение с поверхности пруда и ухудшает условия роста водных растений. Патент №2758268 выдан на пруд-накопитель дренажного стока, в котором защитный экран выполнен из двух частей соединенных контейнером, состоящим из жесткой рамы с емкостью из сетки с ячейками 1,0-1,5 мм. На раме контейнера размещена щетка с тросиками, концы которых выведены на берега пруда, где установлены наклонные желоба. С помощью тросиков щётку перемещают по дну контейнера к наклонным желобам, извлекая по ним мусор смытый с поверхности экрана. [18]. В связи со строительством мелиоративных систем с закрытыми пластмассовыми дренами началась активная разработка труб коллекторов-накопителей дренажного стока. Наиболее интересным техническим решением представляется закрытая осушительно-увлажнительная система с подземным коллектором-собирателем. Эта система оборудована дренажными колодцами, к которым подключены горизонтальные трубы-накопители, выполненные из труб большого диаметра. Такая конструкция сети позволяет увеличить объем накапливаемого дренажного стока [19].

Производственные испытания показали, что дренажные колодцы с радиальными трубчатыми накопителями, выполненными из труб большого диаметра, позволили сохранить для орошения порядка 300м<sup>3</sup>/га воды [20]. Такие запасы позволяют провести 2-3 полива с забором воды из колодцев-накопителей машинами типа ДДН-70. Как показали исследования, при орошении с использованием способа мелкодисперсного дождевания этого количества воды достаточно для защиты посевов в период засухи продолжительностью более месяца [21]. Для проведения мелкодисперсного дождевания с забором воды из колодцев-накопителей дренажного стока предложена осушительно-увлажнительная система аэрозольного дождевания [22]. На трубе-коллекторе этой системы смонтированы колодцы накопители из которых воду на орошение забирают мобильными установками мелкодисперсного дождевания. Эти установки выполнены на базе передвижных платформ, на которых установлено насосно-силовое оборудование, компрессор и аэрозольный генератор с распылителями воды. При проведении полива платформу устанавливают у дренажного колодца. Воду забирают насосом и подают в генератор аэрозоля куда нагнетают компрессором воздух, образуя аэрозоль. Распределение аэрозоля над поверхностью поля позволяет обеспечить её увлажнение с интенсивностью дождя не разрушающей структуру почвы.

При строительстве мелиоративных систем с радиальными трубчатыми накопителями необходимо дополнительно отрывать на полях значительное количество траншей с извлечением на поверхность поля малоплодородного грунта. После засыпки им траншей для восстановления плодородия требуется внесение повышенных норм удобрений. В водооборотной осушительно-увлажнительной системе (патент РФ №2655799) накопители выполняют в виде нескольких рядов вертикальных колодцев, расположенных на склоне выше мелиорируемого участка. Это позволяет располагать их за пределами мелиорируемой площади, а также перехватывать дренажный сток с верхней части площади водосбора. [23]. Новый подход к устройству

гидромелиоративной системы в агроландшафте представлен в патенте РФ № 2761875, выданным на «Способ осуществления мелиоративных мероприятий в зоне достаточного увлажнения». При реализации этого способа мелиоративную систему формируют с учетом особенности ландшафта, экспозиции полей. Регулирование паводкового стока начинают уже при формировании снежного покрова с последующим управлением процессом таяния снега и отведения талой воды в каналы-накопители для орошения в летний период. То есть мелиоративную систему встраивают в агроландшафт регулируя сток и создавая запас воды для орошения. [24].

**Обсуждение:** Рассмотренные описания к патентам на изобретения, выданным в Российской Федерации, являются, концепт-объектами отражающими основные направления в разработке технических решений в области мелиорации. Их применение позволит обеспечить при строительстве и реконструкции мелиоративных систем и сооружений соблюдение требований Водного Кодекса РФ по защите водоисточников от загрязнения. Наиболее перспективными являются мелиоративные системы и сооружения, обеспечивающие накопление и использование диффузного стока в пределах полей. Для очистки воды перед выпуском в водоисточники предложено использовать фильтры с композицией различных ионообменных смол, позволяющие выборочно удалять наиболее опасные загрязнители. В долгосрочной перспективе представляют интерес изобретения связанные с решением задачи разработки мелиоративных систем, встраиваемых в агроландшафт и обеспечивающих использование диффузного и дренажного стока в сочетании с точной подачей накопленной воды к корням растений.

### **Список литературы.**

1. Водный кодекс Российской Федерации" от 03.06.2006 N 74-ФЗ (ред. от 08.08.2024) (с изм. и доп., вступ. в силу с 01.09.2024), 3 июня 2006 года

- N 74-ФЗ [Электронный ресурс] URL: <https://normativ.kontur.ru/document?moduleId=1&documentId=477133&ysclid=m133wci0qq550605965>.
2. Слабункова А.В., Суровкина А.П. О проблеме диффузного загрязнения водных объектов // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. 2020. №2 (38). С 2.
  3. Летучий А.В. Ландшафтное земледелие // ФГБНУ ВО Саратовский ГАУ. 2016. С 3, 14.
  4. Рабочев И.С., Муромцев Н.С. Вынос питательных веществ дренажными водами // Гидротехника и мелиорация. 1980. № 9. С. 78 – 80.
  5. Патент РФ №2579259 С1, МПК E02B 11/00. Дренажный колодец-поглотитель для приема и отвода поверхностных вод. /А.А. Ксензов. – заявлено 02.02.2015; опубликовано 04.10.2016г. ,бюлл.№ 10
  6. Патент РФ №2714837 С1, МПК E02B 11/00. Дренажный колодец - поглотитель для приёма и отвода поверхностных дренажных вод. / М.И. Голубенко. – заявлено, опубликовано 19.02.2020г. бюлл. № 5.
  7. Патент РФ №[2 816 530](#) С1, МПК E02B 11/00. Способ осушения затопленных замкнутых понижений/ Р.С. Масный, Г.Т. Балакай, А.Н. Бабичев, В.А. Монастырский, В.И. Ольгаренко. – заявлено 03.04.2023; опубликовано 01.04.2024.
  8. Патент РФ №2812424 С1, МПК E02B 11/00. . Способ контроля и устройство для локальной очистки дренажного стока. /Г.И. Дрововозова, А.А. Кириленко. – заявлено 10.02.2023,опубликовано 30.01.2024г. бюлл. № 4
  9. Патент РФ №2725486 С1, МПК E02B 11/00. Способ строительства осушительной системы. / В.В. Пчелкин, Ю.Н. Никольский, И.В. Корнеев. – заявлено 20.06.2019; опубликовано 02.07.2020г. бюлл. № 19 .
  10. Безбородов, Ю. Г. Орошение сельскохозяйственных культур в аридной зоне / Ю. Г. Безбородов, А. Г. Безбородов. – Москва : Российский государственный аграрный университет - МСХА им. К.А. Тимирязева, 2013. – 545 с.

11. Патент РФ №2556732, МПК E02B 11/00. Способ осушения минеральных почв для реализации точного земледелия. / А.А. Ксензов. – заявлено 06.06.2014; опубликовано 20.10. 2015г. бюлл. № 29.
12. Патент РФ №2655959 С1, МПК E02B 11/00. Способ нагнетания поверхностной воды в землю. Немчик Эндрю. – заявлено 27.06.2014; опубликовано 30.05.2018. бюлл. №16.
13. Патент РФ № 2728365, МПК . Система сооружений для очистки дренажного стока/. В.К. Губин, Е.Э. Головинов, А.П. Соломина, Е.Б. Стрельбицкая, Л.В. Кудрявцева. – заявлено 26.12.2019; опубликовано 29.07.2020. бюлл. № 22.
14. Патент РФ №2233075, МПК A01 G 25/00. Осушительно-увлажнительная мелиоративная система /П.И. Пыленок, В.В. Бородычѳв, А.М. Салдаев. – заявлено 12.02.2003, опубликовано 27.07.2004г. бюлл.№21.
15. Патент РФ №2076918, МПК E02B 11/00. Осушительная система /В.И. Ольгаренко, Г.В. Ольгаренко. – заявлено 17.06.1994 опубликовано 20.04.2002г.
16. Ав. Св. СССР №1631121 А1, МПК E02B 11/00. Осушительно-увлажнительная система. /Б.С.Маслов, Е.И.Опарин. – заявлено 12.09.1988; опубликовано 28.02.1991г. бюлл. №8.
- 17.Патент РФ №2663596.С2, МПК E02B 11/00. Осушительно-увлажнительная система. / А.А. Поддубский, А.В. Шуравилин, П.А. Докукин, Р.Р. Гурина, К.Е. Калайджян. – заявлено 20.12.2016; опубликовано 07.08.2018. бюлл.№22.
18. Патент РФ № 2758268 С1. МПК E02B 11/00. Пруд-накопитель дренажного стока. /В.К. Губин, Л.В. Кудрявцева. – заявлено 25.02.2021; опубликовано 27.10.2021г. бюлл.№ 30.

19. А. С. СССР № 896171, МПК E02B 11/00.осушительно-увлажнительная система / И.В. Минаев. – заявлено 10.04.1979; опубликовано 07.01.1982г. бюлл № 1.
20. И.В. Минаев. А.М. Войтович, Водооборотные системы в мелиорации //Гидротехника и мелиорация. 1986. № 6. С. 36–42.
21. В.В. Бородычев, М.Ю. Храбров. Мелкодисперсное дождевание картофеля //Гидротехника и мелиорация. 1976. №6. С.75-77.
22. Патент РФ №2628341, МПК E02B 11/00.осушительно-увлажнительная система. / В. К. Губин, М. Ю. Храбров, В. П. Максименко, Л. В. Кудрявцева, А. П. Соломина, Е. Б. Стрельбицкая, И. Н. Дорофеева. - заявлено 21.04.2016; опубликовано 16.08.2017. бюлл.№ 23.
23. Патент РФ №2655799 С1, МПК E02B 11/00. Водооборотная осушительно-увлажнительная система. /В.К. Губин. – заявлено 31.08.2017; опубликовано 29.05.2018г. Бюлл. № 16
24. Патент РФ № 2761875 С1, МПК E02B 11/00. Способ регулируемой гидромелиорации почвы в агроландшафте в условиях гумидного климата при интенсивном земледелии. /Л.П. Воронина, А.А. Ермаков, Е.В. Морачевская, К.В. Павлов – заявлено 06.12.2020; опубликовано 13.12.2021г. бюлл.№35.

#### Reference list.

1. Water Code of the Russian Federation dated June 3, 2006 N 74-FZ (edited on 08.08.2024) (as amended and added, effective from 01.09.2024), June 3, 2006 N 74-FZ Retrieved from <https://normativ.kontur.ru/document?moduleId=1&documentId=477133&ysclid=m133wci0qq550605965>.

2. Slabunkova A.V., Surovkina A.P. On the problem of diffuse pollution of water bodies // Scientific Journal of the Russian Research Institute of Land Reclamation Problems. 2020. 2 (38), 2.

3. Letuchy A.V. Landscape farming // FGBNU HE Saratov GAU. 2016. 3, 14
4. Rabochev I.S., Muromtsev N.S. Removal of nutrients by drainage waters // Hydraulic engineering and land reclamation. 1980, 9, 78 – 80.
5. Patent of the Russian Federation №2579259 C1, MPK E028 11/00. Drainage well-absorber for receiving and draining surface water. /A.A. Ksenzov. – priority on 02.02.2015; published on 04.10.2016, bull. № 10
6. Patent of the Russian Federation №2714837 S1, MPK E02V 11/00. The drainage well is an absorber for receiving and diverting surface drainage water. / M.I. Golubenko. – priority published on 19.02.2020. bull. №5.
7. Patent of the Russian Federation №2 816 530 S1, MPK E02V 11/00. Method of draining flooded closed depressions/ Masny R.S., Balakai G.T., Babichev A.N., Monastyrsky V.A., Olgarenko V.I. – priority on 03.04.2023; published on 01.04.2024.
8. Patent of the Russian Federation №2812424 C1, MPK E02V 11/00. Control method and device for local treatment of drainage drain. / Drovozova T.I., Kirilenko A.A. – priority on 10.02.2023, published on 30.01.2024. bull. № 4
9. Patent of the Russian Federation №2725486 C1, MPK E02V 11/00. Method of construction of the drainage system. / Pchelkin V.V., Nikolsky Yu. N., Korneev I.V.. – priority on 20.06.2019; published on 02.07.2020 bull. № 19.
10. Bezborodov, Yu.G. Irrigation of agricultural crops in the arid zone, Bezborodov Yu.G., Bezborodov A.G. - Moscow: Russian State Agrarian University - Moscow State Agricultural University named after K.A. Timiryazeva, 2013, 545
11. Patent of the Russian Federation №2556732, MPK E02V 11/00. A method of draining mineral soils for the implementation of precision agriculture. Ksenzov A.A. - priority on 06.06.2014; published on 20.10. 2015 byll. № 29.
12. Patent of the Russian Federation №2655959 C1, MPK E02V 11/00. A method of pumping surface water into the ground. Nemchik Andrew. - priority on 06.27.2014; published on 05.30.2018. bull. №16.
13. Patent of the Russian Federation № 2728365, IPC. System of facilities for drainage drain treatment. Gubin V.K., Golovinov E.E., Solomina A.P., Strelbitskaya

E.B., Kudryavtseva L.V. – priority on 12.26.2019; published on 07.29.2020. bull. № 22.

14. Patent of the Russian Federation №2233075, IPC A01 G 25/00. Drainage and irrigation reclamation system Pylonok P.I., Borodychev V.V., Saldaev A.M. - priority on 12.02.2003, published on 27.07.2004 bull. №21.

15. Patent of the Russian Federation №2076918, MPK E02V 11/00. Drainage system Olgarenko V.I., Olgarenko G.V. - priority on June 17, 1994, published on April 20, 2002.

16. Av. St USSR №1631121 A1, MPK E02V 11/00. Drainage and irrigation system. Maslov B.S., Oparin E.I. - priority on 12.09.1988; published on 28.02.1991 bull. №8.

17. Patent of the Russian Federation №2663596. S2, MPK E02V 11/00. Drainage and irrigation system. Poddubsky A.A., Shuravilin A.V., Dokukin P.A., Gurina R.R., Kalajjyan K.E. - priority on 20.12.2016; published on 07.08.2018. bull. №22.

18. Patent of the Russian Federation № 2758268 C1. MPK E02V 11/00. Drainage drain storage pond. Gubin V.K., Kudryavtseva L.V. - priority on 25.02.2021; published on 27.10.2021. bull. № 30.

19. A. S. USSR № 896171, MPK E02V 11/00. Drainage and irrigation system Minaev I.V. - priority on 10.04.1979; published on 07.01.1982. bull № 1.

20. Minaev I.V., Voitovich A.M., Water circulation systems in land reclamation // Hydrotechnics and land reclamation. 1986. № 6. 36–42.

21. Borodychev V.V., Chrabrov M.Yu. Finely dispersed sprinkling irrigation of potatoes //Hydrotechnics and land reclamation. 1976. №6. 75-77.

22. Patent of the Russian Federation №2628341, MPK E02V 11/00. Drainage and irrigation system. Gubin V.K., Khrabrov M.Yu., Maksimenko V.P., Kudryavtseva L.V., Solomina A.P., Strelbitskaya E.B., Dorofeeva I.N.. – priority on 21.04.2016; published on 16.08.2017. bull. № 23.

23. Patent of the Russian Federation №2655799 S1, MPK E02V 11/00. Water circulation drainage and irrigation system. Gubin V.K. – priority on 31.08.2017; published on 29.05.2018. Bull. № 16

24 Patent of the Russian Federation № 2761875 S1, МПК E02V 11/00. A method of regulated soil hydromelioration in an agricultural landscape in a humid climate with intensive agriculture. Voronina L.P., Ermakov A.A., Morachevskaya E.V., Pavlov K.V. - priority on 06.12.2020; published on 13.12.2021.

Губин Владимир Константинович, кандидат с-х наук, ведущий научный сотрудник (ФГБНУ "ФНЦ ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова"), Контактный телефон: 8(903)015-08-34.

Колесова Наталья.Георгиевна, старший научный сотрудник, (ФГБНУ "ФНЦ ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова").Контактный телефон: 8(963)618-78-98.











УДК 626-315.3

**«Фильтрация в неоднородном основании гидротехнических сооружений  
со сложным подземным контуром»**

**"Filtration in a heterogeneous base of hydraulic structures with a complex  
underground contour"**

*Александр Евгеньевич Качаев, Сергей Сергеевич Турапин*

**Ключевые слова:** фильтрация, потери напора, неоднородный грунт, флютбет, элемент, гидротехническое сооружение, плотина.

**Keywords:** filtration, pressure loss, heterogeneous soil, flutebet, element, hydraulic structure, dam.

**Аннотация.** При анализе процесса фильтрации в неоднородном основании гидротехнических сооружений со сложным подземным контуром определено, что во входном элементе изначально фильтрационный поток направлен перпендикулярно нижним слоям основания сооружения, затем постепенно отклоняется в сторону нижнего бьефа, при этом коэффициент фильтрации изменяется от  $k'_B$  до  $k'_Г$  в выходном элементе фильтрационный поток в начале имеет горизонтальное направление, затем постепенно приближается к вертикальному, то есть – от  $k'_Г$  до  $k'_B$ . Предложена схема к определению закономерности изменения коэффициента фильтрации, который во входном элементе зависит от направления потока относительно слоев подземного основания сооружения. Установлено, что при различных значениях  $k_{ср}$  во входном и выходном элементах и  $k_{вх}$  разницей между ними можно пренебречь. Получены выражения коэффициентов фильтрации в шпунтовом элементе по горизонтальному и вертикальному направлению слоев основания. Установлены зависимости для расчета длин горизонтальных элементов, соответственно, для плоских оснований и оснований со шпунтовыми элементами. Получены выражения для определения предельных расчетных глубин неоднородного основания со сложным подземным контуром, соответственно, для горизонтального и

ШПУНТОВОГО ЭЛЕМЕНТОВ.

**Abstract.** When analyzing the filtration process in a heterogeneous foundation of hydraulic structures with a complex underground contour, it was determined that in the inlet element the filtration flow is initially directed perpendicular to the lower layers of the structure foundation, then gradually deviates towards the tailwater, while the filtration coefficient changes from  $k'_B$  to  $k'_T$ ; in the outlet element the filtration flow initially has a horizontal direction, then gradually approaches the vertical, that is, from  $k'_T$  to  $k'_B$ . A scheme is proposed for determining the pattern of change in the filtration coefficient, which in the inlet element depends on the direction of the flow relative to the layers of the underground foundation of the structure. It is found that for different values of  $k_{cp}$  in the inlet and outlet elements and  $k_{ex}$ , the difference between them can be neglected. Expressions are obtained for the filtration coefficients in the sheet pile element along the horizontal and vertical directions of the foundation layers. Dependencies are established for calculating the lengths of horizontal elements, respectively, for flat foundations and foundations with sheet pile elements. Expressions are obtained for determining the maximum design depths of a heterogeneous foundation with a complex underground contour, respectively, for horizontal and sheet pile elements.

**Введение.** Эксплуатационные характеристики грунтовых плотин являются главным фактором рационального проектирования и оценки их технического состояния на протяжении всего их жизненного цикла. Вопросы эксплуатации гидротехнических сооружений, построенных насыпным или намывным способом, являются весьма актуальными в контексте растущего перечня объектов гидротехнического назначения, подлежащих капитальному ремонту или реконструкции. В этой связи все факторы, которые тем или иным образом снижают надежность и устойчивость элементов грунтовых плотин в процессе их эксплуатации, требуют изучения. Так, например, для обследования гидротехнических сооружений используются возможности информационного моделирования сооружений гидротехнического

назначения. Создание цифровых моделей, или двойников, гидротехнических сооружений также поможет ответить на вопросы, связанные с фильтрацией влаги в основании сооружения сложной геометрии [1].

Одним из главных параметров, определяющих надежную эксплуатацию на протяжении всего жизненного цикла грунтовых плотин в мелиоративном хозяйстве, является фильтрационная способность грунтовых материалов, из которых она построена [2]. Параметрические особенности самого гидротехнического сооружения, характеристики грунтов, особенности рельефа, системы инженерных коммуникаций сооружения тоже влияют на надежность в процессе его эксплуатации. При этом все эти показатели связаны с фильтрацией, с ее стационарностью или нестационарностью [3].

Уникальность каждого сооружения из грунтовых материалов с целью подпора воды в водохранилищах для мелиоративных целей и рыбного хозяйства показывает особенности фильтрации в зависимости от всех вышеперечисленных параметров. Специфика устройства оснований таких сооружений с учетом особенностей грунтов требует специальных подходов к аналитическому и имитационному (информационному) моделированию процесса фильтрации в них. Особое внимание в аналитических исследованиях вопросов, связанных с фильтрационной способностью грунтовых плотин, надо уделить анизотропности грунтов [3] и конструктивному устройству основания таких сооружений [4, 5].

Зачастую сложный рельеф местности, на которой располагается плотина или предлагается к проектированию, накладывает на разработку проекта ряд сложностей, связанных одновременно и с геометрией и конструкцией сооружения, и с особенностями грунтов. Поэтому тема исследования, связанная с аналитическим расчетом фильтрации в неоднородном основании гидротехнических сооружений со сложным подземным контуром, является весьма актуальной. Поставленный, таким образом, вопрос исследования позволит верифицировать информационные модели грунтовых плотин со сложным подземным контуром, созданные в

различных программных комплексах систем автоматизированного проектирования и расчета.

**Целью исследования** является разработка методики расчета фильтрации в неоднородном основании гидротехнических сооружений со сложным подземным контуром.

Вопросами фильтрационной способности грунтовых плотин различной конструкции в нашей стране и за рубежом в разное время занимались М.М. Гришин, Н.Н. Павловский, Л.Н. Рассказов, С.М. Слисский, Р.Р. Чугаев, В.Г. Орехов, А.Н. Анискин, В.В. Толстикова, Салямова К.Дж. и др. В исследованиях ряда авторов [6-9] не рассматривался вопрос неоднородности основания (грунта) со сложной геометрией подземной части гидротехнического сооружения. Авторы настоящего исследования считают необходимым рассмотреть поставленный вопрос в исследовании на основе существующей теоретической базы расчета коэффициентов фильтрации для слоистых грунтовых структур и их неоднородности с учетом геометрических особенностей подземного контура плотины.

**Методы и объект исследования.** Для разработки методики расчета фильтрации в неоднородном основании гидротехнических сооружений со сложным подземным контуром воспользуемся аналитический подходом к исследованию. Такой подход связан с научным анализом имеющейся по данному вопросу информации, которая позволит разобраться в сложных явлениях и процессах при фильтрации воды через основание плотины со сложной геометрией. Аналитический метод направлен на сбор, сравнение и интерпретацию данных с целью получения информации, установления закономерностей и понимания сути объекта исследования, которым является грунтовая плотина со сложным подземным контуром. Исследования авторов связаны с теоретическим обоснованием расчета процесса фильтрации в неоднородном основании грунтовой плотины, которая имеет сложный подземный контур.

Своего рода аналитическое моделирование процесса фильтрации для рассматриваемого гидротехнического сооружения позволяет создать схему модели, отражающую реальные процессы фильтрации в неоднородном основании плотины со сложным контуром. Объектом теоретического анализа процесса фильтрации в настоящем исследовании является грунтовая плотина со сложным подземным контуром (со шпунтовыми элементами).

**Основная часть.** Рассмотрим общую схему подземного контура сооружения (рис. 1). В основании сооружения залегает неоднородный грунт из различных по проницаемости слоев. Грунт в каждом слое однородный с коэффициентом фильтрации  $k_{\phi i}$ , толщина слоя  $d_i$ . Пользуясь методом коэффициентов сопротивления Р.Р. Чугаева [10] и применяя его к расчету ламинарного фильтрационного потока Н.Н. Павловского записываем формулу для фильтрационного расхода в виде [11]:

$$q = \frac{H}{\lambda_{\text{вх}} + \sum \lambda_{\Gamma} + \sum \lambda_{\text{ш}} + \lambda_{\text{вых}}}, \quad (1)$$

где  $\lambda_{\text{вх}}$ ,  $\lambda_{\Gamma}$ ,  $\lambda_{\text{ш}}$ ,  $\lambda_{\text{вых}}$  - сопротивления, соответственно, входного, горизонтального, шпунтового и выходного элементов основания. Данные коэффициенты определяются из соотношений (2 – 5) настоящего исследования:

$$\lambda_{\text{вх}} = \frac{\zeta_{\text{вх}}}{k_{\text{вх}}}, \quad (2)$$

$$\lambda_{\Gamma} = \frac{\zeta_{\Gamma}}{k_{\Gamma}}, \quad (3)$$

$$\lambda_{\text{ш}} = \frac{\zeta_{\text{ш}}}{k_{\text{ш}}}, \quad (4)$$

$$\lambda_{\text{вых}} = \frac{\zeta_{\text{вых}}}{k_{\text{вых}}}. \quad (5)$$

здесь  $\zeta_{\text{вх}}$ ,  $\zeta_{\Gamma}$ ,  $\zeta_{\text{ш}}$ ,  $\zeta_{\text{вых}}$  – коэффициенты (гидродинамического) сопротивления входного, горизонтального, шпунтового и выходного

элементов;  $k_{вх}$ ,  $k_{Г}$ ,  $k_{Ш}$ ,  $k_{вых}$  – коэффициенты фильтрации элементов. В общем случае в подземном контуре могут быть несколько горизонтальных и шпунтованных элементов.

Для численного определения приведенных выше сопротивляемостей рассмотрим схему плоского флюتبета (рис. 2). Формулу расхода (1) можно переписать в виде:

$$q = \frac{H}{\lambda'_{вх} + \lambda'_{Г} + \lambda'_{вых}}, \quad (6)$$

где  $\lambda'_{вх}$ ,  $\lambda'_{Г}$ ,  $\lambda'_{вых}$  – сопротивляемости, соответственно, входного, горизонтального и выходного элементов без шпунтов.

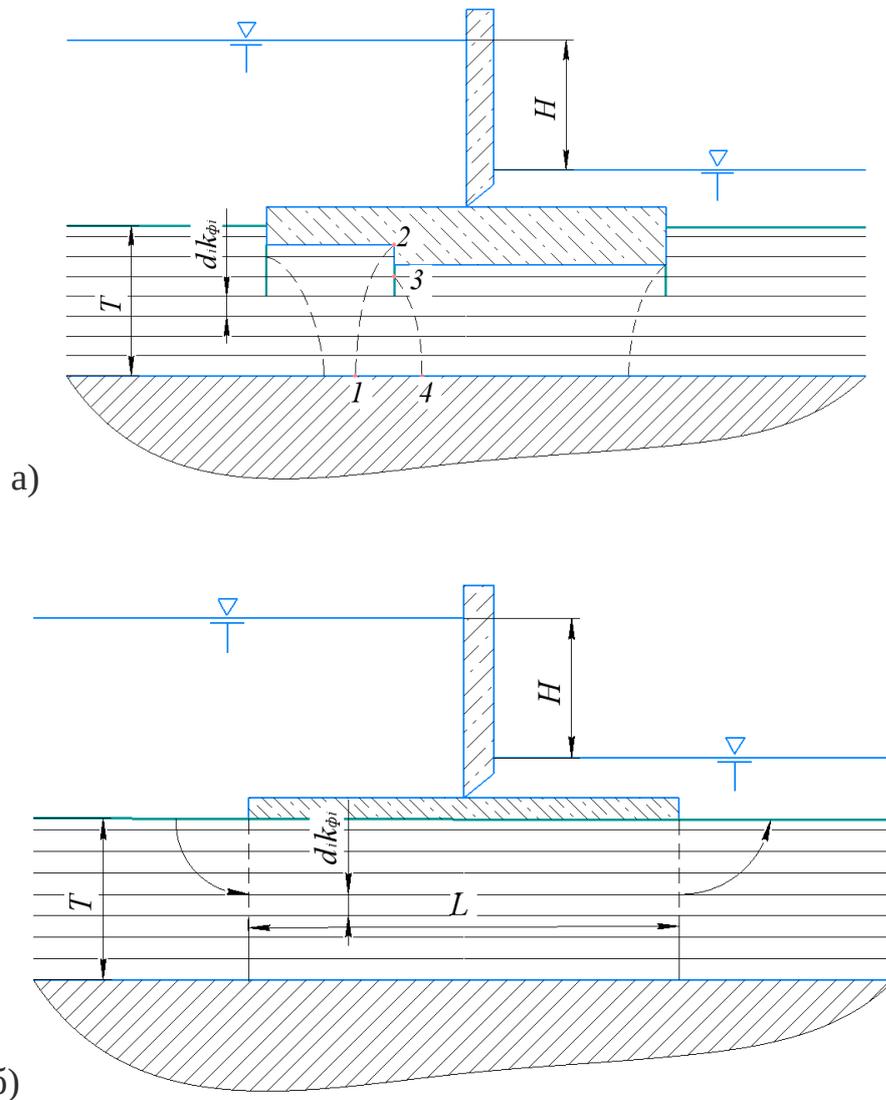


Рис. 1 Схема подземного контура: а) – со шпунтом; б) – без шпунта.

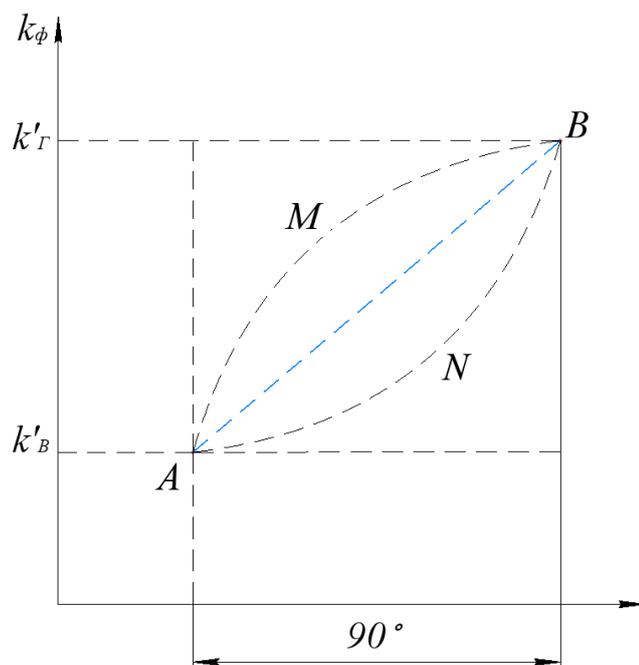


Рис. 2 Схема изменения коэффициентов фильтрации

Как известно, для водоносного пласта, состоящего из горизонтальных слоев, как показано на рис. 1 б, средний коэффициент фильтрации по горизонтальному направлению определяется по формуле [12]:

$$k'_\Gamma = \frac{\sum k_{\phi i} \cdot d_i}{\sum d_i}. \quad (7)$$

Когда направление фильтрации перпендикулярно слоям (в данном случае - вертикальное), формула для среднего коэффициента фильтрации, отнесенная в выражении (7), будет иметь вид:

$$k'_\Gamma = \frac{\sum d_i}{\sum \frac{d_i}{k_{\phi i}}} = \frac{T}{\sum \frac{d_i}{k_{\phi i}}}, \quad (8)$$

где  $T$  – толщина основания, состоящая из множества слоев  $k_{\phi i} \cdot d_i$ , м.

Ясно, что только для области, находящейся непосредственно под сооружением, где фильтрационный поток горизонтальный можно принимать коэффициент фильтрации в зависимости от уравнения (3):

$$k_\Gamma = k'_\Gamma = \frac{\sum k_{\phi i} \cdot d_i}{T}. \quad (9)$$

Естественно, формула (9) применима для фильтрационных расчетов

горизонтальных элементов, показанных на рис. 1 а. Формула (8) устанавливает основную зависимость различных показателей в фильтрации через неоднородный грунт.

Что касается входного и выходного элементов, то здесь, как указывалось выше, фильтрационный поток поворачивается на  $90^\circ$ . Во входном элементе он сначала направлен перпендикулярно нижним слоям, а далее постепенно отклоняется в сторону нижнего бьефа и становится параллельным осям, т. е. коэффициент фильтрации изменяется от  $k'_B$  до  $k'_Г$ . В выходном элементе фильтрационный поток вначале имеет горизонтальное направление, затем постепенно приближается к вертикальному вверх. В этом элементе коэффициент фильтрации изменяется, наоборот, от  $k'_Г$  до  $k'_B$ .

Эти изменения изображены на рис. 2, где коэффициент фильтрации во входном элементе зависит от направления потока относительно слоев от точки  $A$  до  $B$ , а в выходном элементе - от  $B$  до  $A$ . Закон изменения коэффициента фильтрации от  $A$  до  $B$  или в обратном направлении в данном случае не ясен, но он может быть изображен только выпуклой плавной кривой  $AMB$  или вогнутой плавной кривой  $ANB$ . В частности, возможна прямая линия  $AB$ .

Определить средний коэффициент фильтрации слоистого (анизотропного) грунта можно из выражения, близкого по смыслу выражению (8):

$$k_{cp} = k'_Г = \frac{k'_Г + k'_B}{2}. \quad (10)$$

Устанавливаем при этом, что значение  $k_{cp}$  во входном и выходном элементах может быть либо  $k_Г > k_{вх}$  (или)  $\geq k_{cp}$ ;  $k_{cp} > k_{вх}$  (или  $k_{вых}$ )  $> k_B$ . Хотя коэффициенты фильтрации  $k_{вх}$  и  $k_{вых}$  могут быть больше или меньше  $k_{cp}$ , их разность невелика. Учитывая наличие других неточностей, которые нельзя избежать при вычислении коэффициентов фильтрации и толщины слоев, полагаем, что разность между  $k_{cp}$  и  $k_{вх}$  (или  $k_{вых}$ ) можно пренебречь.

Следовательно, коэффициент фильтрации во входном и выходном

элементах можно принять равным друг другу на основании выражения (10):

$$k_{\text{ex}} = k_{\text{вых}} = \frac{\sum \frac{d_i}{k_{\phi i}} (\sum k_{\phi i} \cdot d_i + T^2)}{T \sum \frac{d_i}{k_{\phi i}}}. \quad (11)$$

Из формул (9) и (11) закономерно следует, что в частном случае при  $k_{\phi i} = k$  (случай однородного грунта) коэффициента фильтрации оказываются равным  $k_{\text{ex}} = k_{\text{вых}} = k_{\Gamma} = k$ . Для определения коэффициентов сопротивления заменим действительный грунт горизонтального элемента под сооружением однородным воображаемым грунтом, коэффициент фильтрации которого равен  $k_{\text{ex}} = k_{\text{вых}}$ .

Используя такой подход для сохранения неизменных величин расхода  $q$ , напора  $H$  и толщины  $T$  нужно заменить действительную длину флютбета  $L$  (рис. 1, б) виртуальной длиной  $L_B$ , определенной по формуле:

$$L_B = \frac{k_{\text{ex}}}{k_{\text{вых}}} L. \quad (12)$$

В результате получим воображаемое сооружение с коэффициентом фильтрации однородного грунта основания  $k_{\text{ex}}$  и длиной флютбета  $L_B$ . В данном случае формулу для расхода можно записать в виде:

$$q = \frac{k_{\text{ex}} \cdot H}{0,44 + \frac{L_B}{T} + 0,44}. \quad (13)$$

Подставляя выражение (12) в (13), получаем:

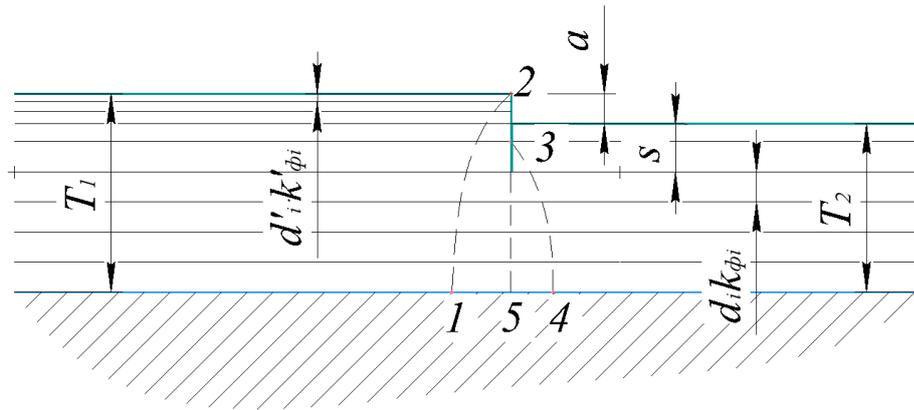
$$q = \frac{H}{\frac{0,44}{k_{\text{ex}}} + \frac{L_B}{T} + \frac{0,44}{k_{\text{вых}}}}. \quad (14)$$

Сопоставляя равенства (6) и (14), нетрудно определить коэффициенты сопротивления для плоского флютбета:

$$\zeta'_{\text{ex}} = \zeta'_{\text{вых}} = 0,44; \zeta'_{\Gamma} = \frac{L}{T}. \quad (15)$$

Для установления коэффициента фильтрации шпунтового элемента  $k_{\text{ш}}$

рассмотрим расчетную схему на рис. 3, в которой  $T_1 = T_2 + a$ . Предположим, что в ленте  $T_2$  имеются некоторые слои  $k_{\phi i} \cdot d_i$ , а в ленте  $a = T_1 - T_2 - k_{\phi i} \cdot d_i$ .



**Рис. 3 Расчетная схема для установления коэффициента фильтрации шпунтового элемента**

Итак, в области  $T_1$ , находящейся слева от шпунта, коэффициент фильтрации, соответственно, по горизонтальному и вертикальному направлениям будет определяться их следующей системы дифференциальных уравнений:

$$\left\{ k_{\Gamma}'' = \frac{\sum k_{\phi i} \cdot d_i + k'_{\phi i} \cdot d'_i}{T_2 + a}, \right.$$

(16)

В области  $T_2$ , находящейся справа от шпунта, формулы для определения коэффициентов фильтрации имеют вид:

$$\left\{ k_{\Gamma}''' = \frac{\sum k_{\phi i} \cdot d_i}{T_2}, \right.$$

(17)

Принимая толщину  $a$  незначительной по сравнению с  $T_1$  и  $T_2$ , части площади шпунтового элемента, расположенные слева и с права от шпунта

125 и 534 (рис. 3) можно считать равными.

Следовательно, коэффициенты фильтрации в шпунтовом элементе 1234 (рис. 3) по горизонтальному и вертикальному направлению будут определяться из следующей системы уравнений:

$$\left\{ k_{\Gamma}^w = \frac{k_{\Gamma}'' + k_{\Gamma}'''}{2} = \frac{\sum k_{\phi_i} \cdot d_i + k_{\phi_i}' \cdot d_i'}{2(T_2 + a)} + \frac{\sum k_{\phi_i} \cdot d_i}{2T_2}, \right. \quad (18)$$

При  $T_1 = T_2$  ( $a=0$ ) ...  $\sum \frac{d_i'}{k_{\phi_i}'} = 0$ , поэтому формула (18) становится идентичной формуле (17).

**Результаты и обсуждения.** Рассматривая явление фильтрации в шпунтовом элементе, видим, что при  $\frac{s+a}{T_1} = 0$ , т.е. при  $s = a = 0$  (без уступа и шпунта), направление фильтрационного потока горизонтальное. Поэтому коэффициент фильтрации шпунтового элемента  $k_w = k_r^w$ . В случае, когда

соотношение  $\frac{s+a}{T_1}$  приближается к единице (но не равно единице), т.е.  $s+a \approx T_1$ , фильтрационный поток имеет вертикальное направление (вниз в области слева от шпунта и вверх в области справа от шпунта). Тогда, естественно,  $k_w = k_B^w$ .

Из предыдущего анализа ясно, что коэффициент фильтрации шпунтового элемента зависит от  $\frac{s+a}{T_1}$  и изменяется от  $k_r^w$  при  $\frac{s+a}{T_1} = 0$  до

$k_B^w$  при  $\frac{s+a}{T_1} \approx 1$ . Учитывая это, можно найти коэффициент фильтрации шпунтового элемента по формуле:

$$k_{ш} = (k_B^w - k_\Gamma^w) \frac{s+a}{T_1} + k_\Gamma^w, \quad (19)$$

где  $k_\Gamma^w$  и  $k_B^w$  определяются по выражению (18).

Зная значения сопротивляемостей  $\lambda_i$ , легко рассчитываем расход фильтрации в неоднородном основании по формуле (1).

Потери напора в соответствующих элементах подземного контура вычисляем по формулам [10]:

$$\left\{ \begin{aligned} h_{вх} - h_{вых} &= \lambda_{вх} q = \frac{\zeta_{вх}}{k_{вх}} q, \\ h_{г} - h_{г} &= \lambda_{г} q = \frac{\zeta_{г}}{k_{г}} q, \end{aligned} \right. \quad (20)$$

Для определения предельной расчетной глубины  $T_p$  проницаемого основания по напору при расчете коэффициентов сопротивления горизонтальных и шпунтовых элементов  $\zeta_\Gamma$  и  $\zeta_{ш}$  заменим действительные элементы соответственно воображаемыми горизонтальными элементами плоского флютбета, находящегося над однородным основанием с коэффициентом фильтрации  $k'_\phi$  и толщиной  $T' = T_p$ . Пользуясь виртуальным способом, для сохранения неизменных величин расхода  $\bar{q}$  и напора  $H$  получаем формулы для расчета виртуальных длин и воображаемых горизонтальных элементов, соответственно, для действительных и шпунтовых элементов в виде:

$$\left\{ L'_\Gamma = \frac{k'_\phi}{k_\Gamma} \zeta_\Gamma \cdot T_p, \right. \quad (21)$$

Используя понятие активной зоны фильтрации по напору из работы [10], можно определить предельную расчетную глубину основания,

соответственно, для горизонтального и шпунтового элементов:

$$\left\{ T_p^{\Gamma} = 0,5L_{\Gamma}^{\prime}, \dots \right. \quad (22)$$

где  $L_{\Gamma}^{\prime}$  и  $L_{Ш}^{\prime}$  находим по формулам (21). Так как величины  $\zeta_{вх}$ ,  $\zeta_{\Gamma}$ ,  $\zeta_{Ш}$ ,  $\zeta_{вых}$ ,  $k_{\Gamma}$ ,  $k_{Ш}$  в формулах (21) зависят от  $T_p$ , необходимо установить  $T_p$ , решив уравнение (17). При определении расхода фильтрации по формуле (1) предполагается, что расчетный водоупор совпадает с действительным водоупором, т. е.  $T_p = T$ . Известно, что при больших действительных глубинах  $T$  величина расхода преувеличена, а при вычислении потери напора по формуле (20) использование расчетной глубины  $T_p$  по формуле (22) уместно только при  $T_p \leq T$ . В противном случае ( $T < T_p$ ) расчетная глубина принимается равной действительной глубине.

**Выводы.** В процессе аналитического исследования цели настоящей работы можно заключить следующее. При анализе процесса фильтрации в неоднородном основании гидротехнических сооружений со сложным подземным контуром определено, что во входном элементе изначально фильтрационный поток направлен перпендикулярно нижним слоям основания сооружения, затем постепенно отклоняется в сторону нижнего бьефа, при этом коэффициент фильтрации изменяется от  $k'_{в}$  до  $k'_{\Gamma}$ ; в выходном элементе фильтрационный поток в начале имеет горизонтальное направление, затем постепенно приближается к вертикальному, то есть - от  $k'_{\Gamma}$  до  $k'_{в}$ . Предложена схема к определению закономерности изменения коэффициента фильтрации, который во входном элементе зависит от направления потока относительно слоев подземного основания сооружения. Установлено, что при различных значениях  $k_{ср}$  во входном и выходном элементах и  $k_{вх}$  разницей между ними можно пренебречь. Получены выражения коэффициентов фильтрации в шпунтовом элементе по горизонтальному и вертикальному направлению слоев основания.

Установлены зависимости для расчета длин горизонтальных

элементов, соответственно, для плоских оснований и оснований со шпунтовыми элементами. Получены выражения для определения предельных расчетных глубин неоднородного основания со сложным подземным контуром, соответственно, для горизонтального и шпунтового элементов.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Скляренко Е. О., Матюшенко П. С. Методика исследований фильтрации через основание грунтовой плотины с устройством противотрационных завес методом ЭГДА // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. 2018. № 2(70). С. 181-189.

2. Ладенко С. Ю., Иванова Т. В., Абрамов Н. А. Признаки развития деструктивных процессов в теле и основании грунтовой плотины, связанные с изменением фильтрационного режима // Известия Всероссийского научно-исследовательского института гидротехники им. Б.Е. Веденеева. 2020. Т. 297. С. 11-21.

3. Мирсаидов М.М., Султанов Т.З., Юлдошев Б.Ш. Методы оценки напряженного состояния грунтовых плотин с учетом влажностных свойств грунта. Ташкент: «Adabiyot uchqunlari». 2020. 156 с.

4. Рассказов Л. Н., Орехов В. Г., Анискин Н. А., Малаханов В. В., Бестужева А. С., Саинов М. П., Солдатов П. В., Толстикова В. В. Гидротехнические сооружения. Часть 1: учебник для вузов // Издание второе, исправленное и дополненное. Москва: АСВ, 2011. 536 с.

5. Ахмедов М.А., Салямова К. Дж. Анализ и оценка повреждений гидротехнических сооружений // Ташкент: «Фан ва технология», 2016, 160 с.

6. Орехов Г.В., Кыюнг Ч. Анализ фильтрации через земляную плотину с диафрагмой на непроницаемом основании с помощью программы PLAXIS 2D. // Вестник МГСУ. 2024. Т.19(2). С.281-293.

7. Aniskin N. A., Sergeev F. A., Bokov I. A. Filtration and Temperature Regime of a Frozen-Type Soil Dam in the Cryolithozone // International Journal

for Computational Civil and Structural Engineering. – 2024. – Vol. 20, No. 1. – Pp. 143-153. – DOI 10.22337/2587-9618-2024-20-1-143-153.

8. Салямова К.Д., Турдикулов Х.Х., Мифтахова И.Р. Расчет высокой грунтовой плотины с учетом напряженного состояния и порового давления (с учетом данных натуральных наблюдений) // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2019. № 7. С. 24–32. DOI: 10.34031/article\_5d35d0b7694ea7.79490804

9. Анискин Н.А., Рассказов Л.Н., Ядгоров Ё.Х. Фильтрация и поровое давление в ядре каменно-земляной плотины // Гидротехническое строительство. 2016. №6. С. 16–22.

10. Чугаев Р.Р. Подземный контур гидротехнических сооружений // 2-е издание, переработанное. Л.: Энергия, 1974. 237 с., ил.

11. Баламирзоев А. Г. Определение параметров для гидротехнических сооружений со сложным подземным контуром // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Технические науки. 2003. № 2. С. 82-87.

12. Анискин Н.А., Сергеев С.А. Устойчивость откоса грунтовой плотины при сработке водохранилища // Строительство: наука и образование. 2022. Т. 12. Вып. 3. Ст. 1. – С. 6-17. DOI: 10.22227/2305-5502.2022.3.1

## REFERENCES

1. Sklyarenko E. O., Matyushenko P. S. Methodology for studying filtration through the base of an earth dam with the device of anti-filtration curtains using the EGDA method // Ways to improve the efficiency of irrigated agriculture. 2018. No. 2 (70). Pp. 181-189.

2. Ladenko S. Yu., Ivanova T. V., Abramov N. A. Signs of the development of destructive processes in the body and base of an earth dam associated with a change in the filtration regime // Bulletin of the All-Russian Research Institute of Hydraulic Engineering named after B.E. Vedeneyev. 2020. Vol. 297. Pp. 11-21.

3. Mirsaidov M. M., Sultanov T. Z., Yuldoshev B. Sh. Methods for assessing the stress state of earth dams taking into account the moisture properties of the soil. Tashkent: "Adabiyot uchqunlari". 2020. 156 p.

4. Rasskazov L. N., Orekhov V. G., Aniskina N. A., Malakhanov V. V., Bestuzheva A. S., Sainov M. P., Soldatov P. V., Tolstikov V. V. Hydraulic structures. Part 1: textbook for universities // Second edition, revised and supplemented. Moscow: ASV, 2011. 536 p.

5. Akhmedov M. A., Salyamova K. J. Analysis and assessment of damage to hydraulic structures // Tashkent: "Fan va technology", 2016, 160 p.

6. Orekhov G. V., Kyong C. Analysis of filtration through an earth dam with a diaphragm on an impermeable foundation using the PLAXIS 2D program. // Bulletin of MGSU. 2024. Vol. 19(2). Pp. 281-293.

7. Aniskin N. A., Sergeev F. A., Bokov I. A. Filtration and Temperature Regime of a Frozen-Type Soil Dam in the Cryolithozone // International Journal for Computational Civil and Structural Engineering. 2024. Vol. 20, No. 1. Pp. 143-153. – DOI 10.22337/2587-9618-2024-20-1-143-153.

8. Salyamova K.D., Turdikulov H.Kh., Miftakhova I.R. Calculation of a high earth dam taking into account the stress state and pore pressure (taking into account field observations) // Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2019. No. 7. Pp. 24–32. DOI: 10.34031/article\_5d35d0b7694ea7.79490804

9. Aniskine N.A., Rasskazov L.N., Yadgorov E.Kh. Filtration and pore pressure in the core of a rock-earth dam // Hydrotechnical construction. 2016. No. 6. Pp. 16–22.

10. Chugaev R.R. Underground contour of hydraulic structures // 2nd edition, revised. L.: Energia, 1974. 237 p.

11. Balamirzoev A. G. Determination of parameters for hydraulic structures with a complex underground contour // News of higher educational institutions. North Caucasian region. Technical sciences. 2003. No. 2. Pp. 82-87.

12. Aniskin N.A., Sergeev S.A. Stability of the slope of an earth dam during reservoir depletion // Construction: science and education. 2022. Vol. 12. Issue 3. Article 1. – Pp. 6-17. DOI: 10.22227/2305-5502.2022.3.1

### ***Информация об авторах***

А.Е. Качаев – научный сотрудник отдела сельхозводоснабжения, Всероссийский научно-исследовательский институт систем орошения и сельхозводоснабжения "Радуга", Коломна, Российская Федерация; doctor\_cement@mail.ru,

С.С. Турапин – временно исполняющий обязанности директора, кандидат технических наук, Всероссийский научно-исследовательский институт систем орошения и сельхозводоснабжения "Радуга", Коломна, Российская Федерация, prraduga@yandex.ru

### ***About the authors***

A.E. Kachaev - Researcher, Water Supply Department, All-Russian Research Institute of Irrigation Systems and Agricultural Water Supply "Raduga", Kolomna, Russian Federation; doctor\_cement@mail.ru

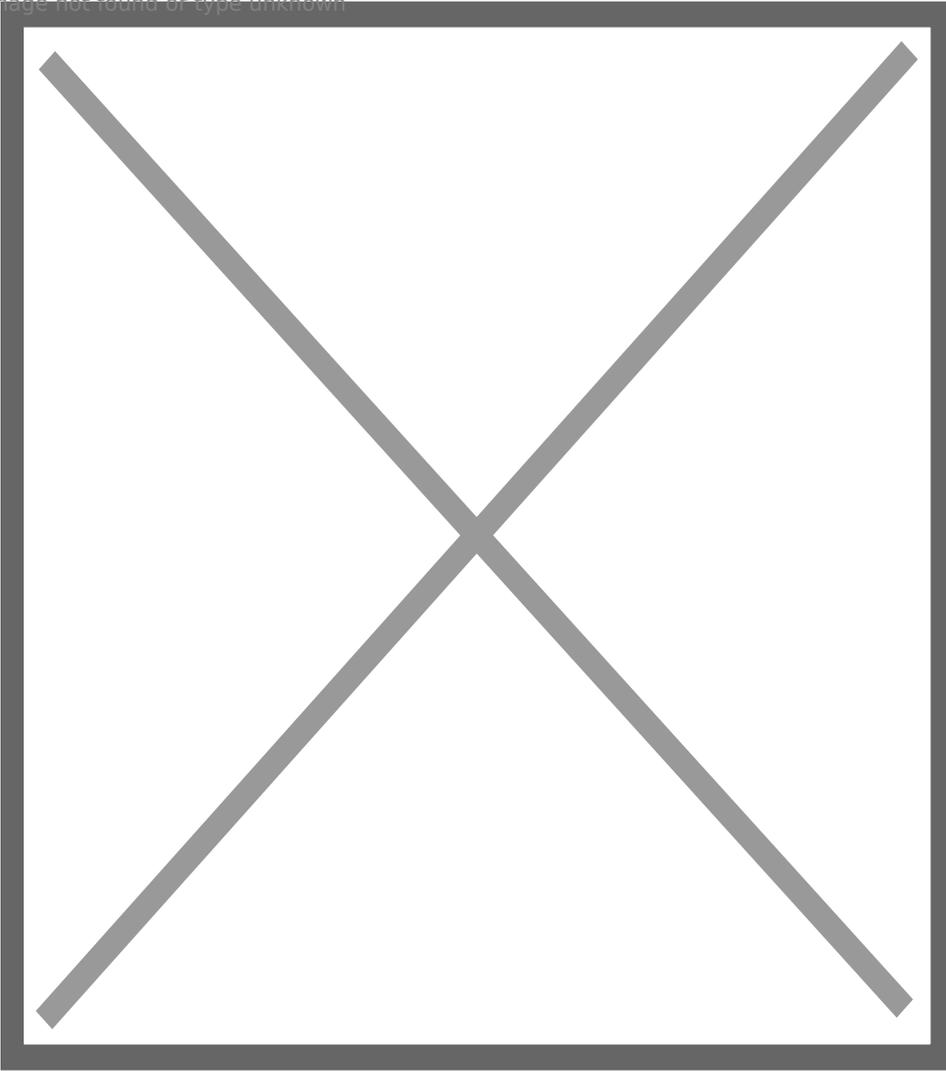
S.S. Turapin – Acting Director, PhD in Engineering, All-Russian Research Institute of Irrigation Systems and Agricultural Water Supply "Raduga", Kolomna, Russian Federation, prraduga@yandex.ru





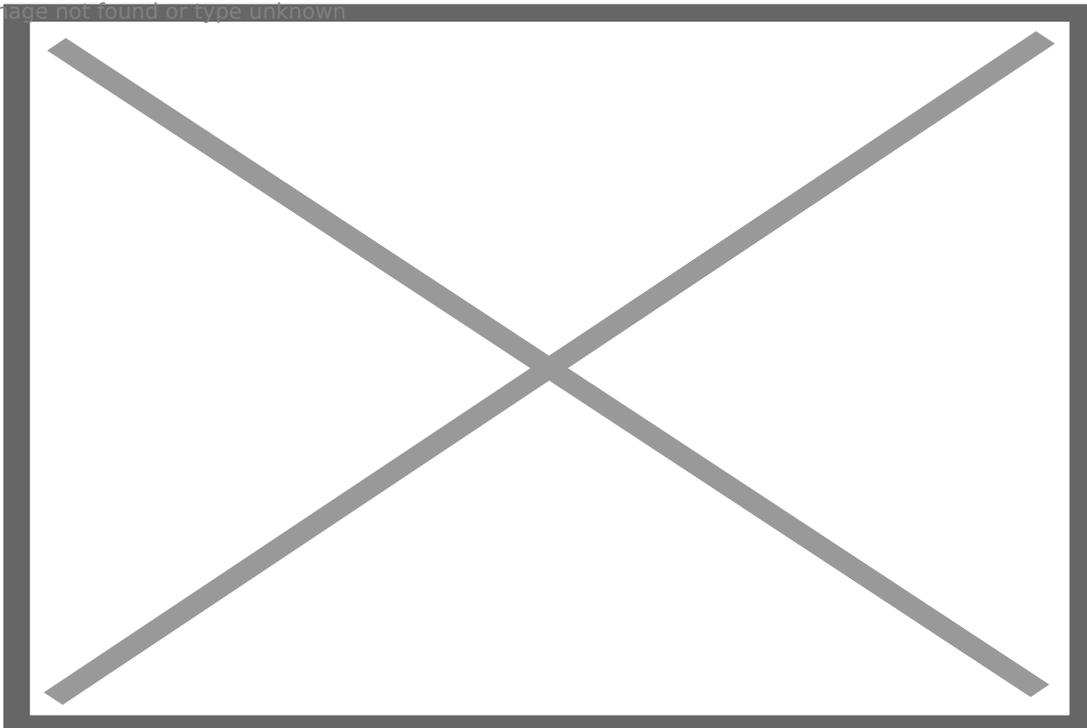


Image not found or type unknown



???. I ????? ?????????? ?????????: ?) – ?? ?????????; ?) – ??? ???????.

Image not found or type unknown

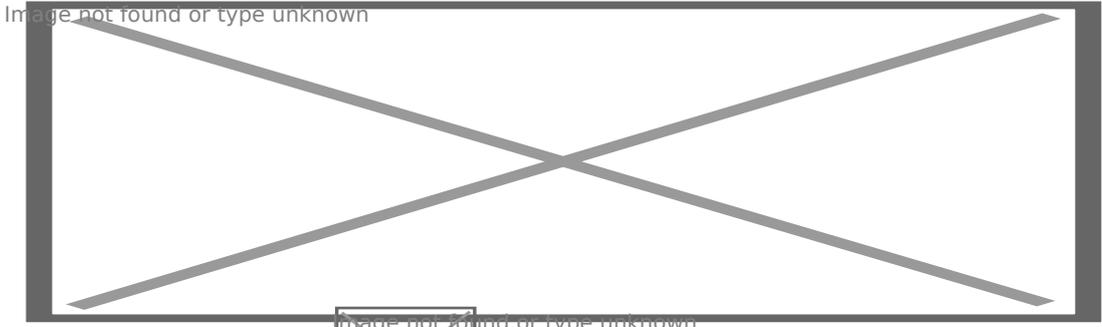


..... – ????? ?????????? ?????????????? ????????????









???  $T1 = T2$  ( $a=0$ ) ... , ?????? ?????? (18) ?????????? ?????????? ?????????? (17).

????????????? ? ?????????????? ?????????????? ?????????? ?????????????? ? ?????????????? ??????????, ?????,



??? ??? , ??. ???  $s = a = 0$  (??? ?????? ? ??????), ?????????????? ??????????????????

?????? ??????????????????. ?????????? ?????????????????? ?????????????? ?????????? ... ..? ?



??????, ?????? ?????????????? ?????????????????? ? ?????????? (?? ?? ?????? ?????????), ??.

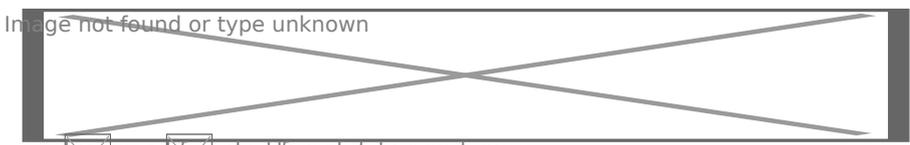
, ?????????????????? ?????? ?????? ?????????????????? ?????????????????? (???? ? ?????????? ?????? ?? ?????? ?  
????? ? ?????????? ?????? ?? ??????). ?????, ??????????????,  $k? = k??$ .

?? ?????????????????? ?????????? ?????, ?? ?????????????????? ?????????????????? ?????????????? ?????????? ??



? ?????????????????? ??  $k??$  ???  $k??$  ???  $k??$  . ?????????? ???, ?????? ??????

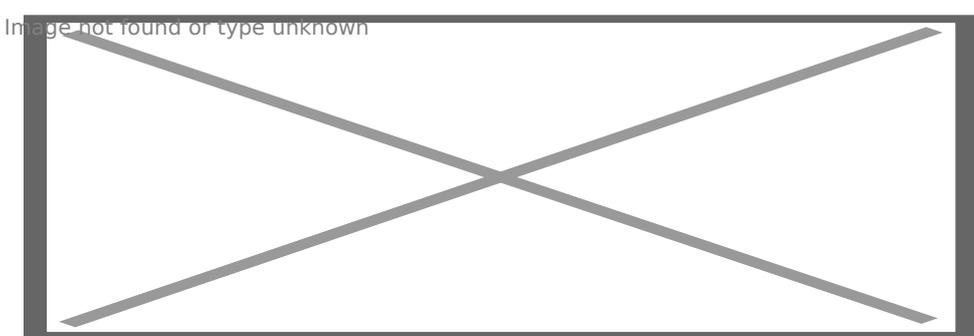
????????????????? ?????????????????? ?????????????????? ?????????????? ?? ??????????:



??? ? ?????????????????? ?? ?????????????????? (18).

????? ?????????? ?????????????????????????????? !., ?????? ?????????????????? ?????????? ??????????????????  
????????????? ?? ?????????? (1).

????????? ?????? ? ?????????????????????????????? ?????????????? ?????????????? ?????????????? ?? ?????????? [10]:



??? ?????????????????? ?????????????????? ?????????????? ?????????? ? , ?????????????????? ?????????????? ?? ?????????? ??  
????????????? ?????????????????????? ?????????????????????? ?????????????????????? ? ?????????????? ?????????????? ? , ? , ??????????  
????????????????????? ?????????????? ?????????????????????? ?????????????????????? ?????????????????????? ??????????????????





УДК 504.53.06:631.6.02

## ОЦЕНКА ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ДИАЗОТРОФОВ И СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ РАСТЕНИЙ ПРИ ОБОСНОВАНИИ КОМПЛЕКСНЫХ МЕЛИОРАЦИЙ

С.А. Максимов, Е.Б. Стрельбицкая, И.А. Ремез

ФГБНУ «ФНЦ Всероссийский научно-исследовательский институт гидротехники и мелиорации имени А. Н. Костякова», г. Москва, Россия

### EVALUATION OF THE INTERACTION OF DIAZOTROPHS AND AGRICULTURAL PLANTS IN THE JUSTIFICATION OF COMPLEX LAND RECLAMATION

S.A. Maksimov, E.B. Strelbitskaya, I.A. Remez

Federal State Budgetary Scientific Research Center All-Russian Scientific Research Institute of Hydraulic Engineering and Land Reclamation named after A. N. Kostyakov, Moscow, Russia

**Аннотация.** В статье рассматривается необходимость использования уникальной способности ризосферных микроорганизмов фиксировать атмосферный азот и являться источником биологического азота для сельскохозяйственных растений. Проанализированы имеющиеся данные о механизмах ассоциативной азотфиксации, масштабах и значении этого процесса при микробно-растительных взаимоотношениях. Детально изучены и систематизированы факторы, оказывающие существенное влияние на процесс азотфиксации и определяющие активность деятельности ассоциативных diaзотрофов, эффективность всего процесса азотфиксации. Представлена функциональная схема растительно-микробных взаимодействий в почве, раскрывающая основные механизмы этого процесса, а также схема комплекса математических моделей микробиологических процессов для описания биогеохимической трансформации, накопления или расходования веществ в почве. Исследования закономерностей и особенностей взаимодействия diaзотрофов с растениями, моделирование и анализ изменений количественных показателей их развития под влиянием различных факторов, включение алгоритмов этих моделей в комплексные модели продуктивности агроэкосистем позволят более грамотно и обоснованно подходить к планированию мелиоративных режимов, разработке агробиологических технологий и регулированию почвенного плодородия на мелиорируемых землях.

**Ключевые слова:** ризосферные микроорганизмы, diaзотрофы, ассоциативная азотфиксация, взаимодействие diaзотрофов с растениями, математическое моделирование.

**Annotation.** The article discusses the need to use the unique ability of rhizosphere microorganisms to fix atmospheric nitrogen and be a source of biological nitrogen for agricultural plants. The available data on the mechanisms of associative nitrogen fixation, the scale and significance of this process in microbial-plant relationships are analyzed. The factors that have a significant impact on the process of nitrogen fixation and determine the activity of associative diazotrophs, the efficiency of the entire process of nitrogen fixation are studied in detail and systematized. A functional scheme of plant-microbial interactions in the soil is presented, revealing the main mechanisms of this process, as well as a scheme of a complex of mathematical models of microbiological processes to describe biogeochemical transformation, accumulation or consumption of substances in the soil. Research into the patterns and characteristics of interactions between diazotrophs and plants, modeling and analysis of changes in quantitative indicators of their development under the influence of various factors, and the inclusion of algorithms of these models in complex models of agroecosystem productivity will allow for a more competent and reasoned approach to planning melioration regimes, developing agrobiological technologies, and regulating soil fertility on reclaimed lands.

**Key words:** rhizosphere microorganisms, diazotrophs, associative nitrogen fixation, interaction of diazotrophs with plants, mathematical modeling.

**Введение.** В современных условиях развития сельского хозяйства России при широком использовании адаптивно-ландшафтных систем земледелия неизменно растет интерес к дополнительным источникам элементов питания растений, особенно азотного [1]. Величина урожаев сельскохозяйственных культур, наряду с другими лимитирующими

факторами, в значительной степени определяется обеспеченностью растений азотом. Основные запасы азота (75...80%) сосредоточены в атмосфере в молекулярном виде и недоступны растениям. Наибольшая часть природного азота вовлекается в круговорот за счет симбиотической и несимбиотической фиксации в процессе жизнедеятельности азотфиксирующих микроорганизмов, обеспечивая в значительной мере жизнь на нашей планете. Масштаб биологической фиксации азота на земной суше составляет до 200 млн т в год (для сравнения: за счет химической промышленности в мире производится всего 84 млн т азотных удобрений). Сельскохозяйственные растения получают 2/3 необходимого им азота из азотного резерва почв, созданного и поддерживаемого деятельностью микроорганизмов-дiazотрофов [2]. Вклад биологической азотфиксации в сельское хозяйство достаточно высок, примерно вдвое превосходит вклад химических азотных удобрений, а в ежегодном потоке азота на земной суше почти в 3 раза больше, чем вклад азота минеральных удобрений [1].

Недостаток азота минеральных удобрений и необходимость увеличения продуктивности сельскохозяйственных культур при стремлении снизить энергетические затраты на производство продукции растениеводства требуют комплексного применения минерального и биологического азота. Еще в середине XX века Д.Н. Прянишников обращал внимание на то, что построение бездефицитного баланса в земледелии должно состоять в сочетании двух путей: 1) первоочередное обеспечение техническим азотом наиболее ценных культур; 2) покрытие недостающей потребности сельскохозяйственных культур «за счет увеличения других источников прихода азота, главным образом азота биологического» [3].

В первой половине 20 в. наблюдался неуклонный рост научно-исследовательских работ по исследованию микробиологических процессов и созданию перспективных микробных препаратов для различных культур. Однако после второй мировой войны бурное развитие химической промышленности и решение вопросов технологии выращивания сельскохозяйственных культур с использованием химических удобрений отодвинули эти исследования на второй план. Но в последние годы в связи с возникновением проблемы экологизации сельскохозяйственного производства наступил период переосмысления методов и стратегии использования биологических и химических источников азотного питания сельскохозяйственных растений [4], поиска новых микробно-растительных азотфиксирующих сообществ, разработки комплекса агробиологических технологий с целью повышения продуктивности азотфиксации в растениеводстве, роль которых и практическая значимость до настоящего времени недооценивается.

Учитывая глобальное значение биологической фиксации в круговороте азота в биосфере (до 70...90% азота в пахотных почвах фиксируется из атмосферного воздуха симбиотическими, ассоциативными и свободноживущими микроорганизмами [5]), а также уникальность биохимических и физико-химических процессов фиксации азота микроорганизмами, внимание специалистов биологов, биохимиков и представителей сельскохозяйственных наук должна быть сфокусированы на всестороннем и глубоком исследовании явления азотфиксации, механизмов взаимоотношения растений и азотфиксирующих микроорганизмов, в том числе с использованием методов математического моделирования.

#### **Материалы и методы.**

Целью мелиорации сельскохозяйственных земель является расширенное воспроизводство плодородия почвы, получение рациональной урожайности сельскохозяйственных культур при экономном расходовании всех видов вовлеченных ресурсов и недопущении или компенсации ущерба окружающей среде.

Сущность мелиорации сельскохозяйственных земель заключается в качественном целенаправленном изменении состава и свойств почв и управлении почвенными процессами. Традиционно при проведении мероприятий по улучшению земель уделяется доминирующее внимание гидромелиорации, совершенно справедливо учитывая ее комплексное воздействие на почвы, ландшафты, природу. Совершенно очевидно, что эффективность мелиоративного воздействия зависит от точного регулирования мелиоративного режима почв, земель,

агроландшафтов, что становится возможным при создании независимых от естественных причин условий, для максимально возможного проявления пищевого, энергетического и водного факторов существования, трансформации и развития, сохранения агроценозов, обладающих нужными для человека свойствами. В последние годы в мелиоративном научном сообществе уделяется внимание развитию направлений, связанных с изучением биотической составляющей протекающих в почве процессов, которые фактически и определяют важнейшее свойство почвы – плодородие. Почвенная биота (растения, грибы, бактерии, водоросли, микроорганизмы, простейшие, инфузории, жгутиковые, членистоногие насекомые, черви, моллюски и другие) участвует во множестве биогеохимических процессов переноса, трансформации, минерализации, гумификации, накопления, перераспределения биогенных элементов и веществ в почве, структурируя и формируя ее важнейшие свойства. Настоящая статья посвящена вопросам ассоциативной биотической фиксации азота живущими в почве бактериями диазотрофами и разработке подходов к установлению значений показателей мелиоративного режима, обеспечивающих накопление этого биогена, обеспечивающего высокий уровень плодородия почвы.

Концептуальной базой статьи является принципиально новый научный подход к обоснованию методов мелиорации и рекультивации земель с учетом современных представлений о совокупности процессов при мелиорации, протекающих в агроландшафтах. В частности, механизмов взаимодействия растений и азотфиксирующих микроорганизмов диазотрофов, физических и физико-химико-биологических основ явления азотфиксации. По нашему мнению, это также необходимо для поиска новых микробно-растительных азотфиксирующих сообществ, разработки комплекса агробиологических технологий для повышения продуктивности азотфиксации в растениеводстве и для повышения продуктивности сельскохозяйственных земель.

Для изучения основных аспектов взаимодействия ассоциативных диазотрофов с сельскохозяйственными растениями при осуществлении мелиоративной деятельности были применены информационно-аналитические методы исследования, которые включали комплексный анализ, структуризацию научной информации.

**Результаты и обсуждение.** Известно, что 70...75% азота в составе биомассы урожая сельскохозяйственных культур имеет биотический источник своего происхождения (это азот, фиксированный диазотрофами, и азот минерализованной части органического вещества почвы также преимущественно микробиологического происхождения). В связи с этим азотфиксация выделена, наряду с фотосинтезом, в ряд основных физиологических процессов, а биологический азот рассматривается как фактор сохранения плодородия почвы и формирования продуктивности сельскохозяйственных культур [1].

В наибольших масштабах азот фиксируется в ходе ассоциативной фиксации, при взаимодействии бактерий и растений, не образующих специализированных органов (клубеньков) на корнях и стеблях. Ассоциативные азотфиксирующие бактерии широко распространены в почвах различных климатических зон, что дает возможность их широкого использования в сельском хозяйстве. Установлена высокая отзывчивость ряда сельскохозяйственных культур на обработку их биопрепаратами азотфиксаторов [3].

Биологический азот имеет и важное экологическое значение, так как поступает в почву постепенно, в течение всей вегетации, что исключает избыточное его накопление и снижает опасность загрязнения растениеводческой продукции и окружающей среды. Экологической составляющей азотфиксации является и то, что азот, получаемый в результате микробной фиксации из атмосферного воздуха, не может загрязнять окружающую среду (почвы, водоемы), поскольку поступает в метаболические пути и используется для биосинтеза азотсодержащих соединений [1]. Преимущество биологического азота не только в безвредности. Для его накопления требуются относительно небольшие затраты энергии на активацию азотфиксирующих микроорганизмов. При биологической фиксации источником энергии является, как правило, продукты фотосинтеза, фиксированный азот усваивается растениями практически полностью [5].

Населяющие ризосферу и ризоплану бактерии образуют с корневой системой растений прочные ассоциации и формируют специфические ризосферные бактериальные сообщества, образуя многокомпонентную интегральную систему с новыми свойствами, детерминированными взаимодействием партнеров.

Установлено, что около 30...50% продуктов фотосинтеза растения оставляют в ризосфере в виде корневых экссудатов и ризодепозитов. Корневые выделения и корневой опад растений являются энергетическим субстратом для ассоциативных бактерий-дiazотрофов. Повышение азотфиксирующей активности микроорганизмов в ризосфере растений обеспечивает депонирование доступного для растений азота в большинстве природных экосистем. Уже к середине 80-х годов было продемонстрировано широкое распространение ассоциативной азотфиксации в ризосфере растений различных семейств и в различных почвенно-климатических условиях: этот процесс протекает практически во всех почвах в ризосфере растений самых разных мест обитания и осуществляется многими представителями родов *Azospirillum*, *Azotobacter*, *Agrobacterium*, *Acetobacter*, *Klebsiella*, *Enterobacter*, *Flavobacterium*, *Pseudomonas*, *Bacillus*, *Clostridium* и др. [6]. Вышеперечисленные бактерии характеризуются наличием одинакового ферментного комплекса – нитрогеназы, который выступает катализатором процесса азотфиксации [1, 3].

Микроорганизмы, усваивающие молекулярный азот, или diaзотрофы имеют сходный биохимический механизм фиксации молекулярного азота воздуха, в основе которого лежит процесс восстановления  $N_2$  по уравнению:  $N_2 + 6e^- + 6H^+ \rightarrow 2NH_3$ .

При использовании ассоциативных diaзотрофов в зависимости от почвенно-климатических условий в агроценозы вовлекается 30...60 кг/га азота из воздуха [1]. По другим источникам [6] масштабы ассоциативной азотфиксации в зоне умеренного климата достигают 50...150 кг/га молекулярного азота за вегетационный период, в тропических широтах – 170...600 кг азота на гектар в год. Кроме того, интродуцируемые микроорганизмы, применяемые для инокуляции семян сельскохозяйственных культур, стимулируют рост и развитие растений, повышают их устойчивость к биотическим и абиотическим факторам, в том числе ограничивают рост фитопатогенов, регулируют поступление загрязнителей из окружающей среды в продукцию сельскохозяйственного производства [5]. По обобщенным данным разных исследований применение биопрепаратов, созданных на основе штаммов ассоциативных микроорганизмов, приводит к росту урожайности зерновых в среднем на 15...20%, овощных и других сельскохозяйственных культур – на 20...30% [1].

Использование во второй половине XX века высокочувствительных и точных методов регистрации активности азотфиксации в почве (изотопный и ацетиленовый методы) позволило выявить новые группы микроорганизмов, обитающих в ризосфере растений и участвующих в этом процессе, а также дала возможность найти решение в управлении активностью ассоциации растение–азотфиксирующие бактерии, что открыло большие возможности для применения ассоциативной азотфиксации в сельском хозяйстве [3]. Установлено, что нитрогеназная активность выявлена у более 50% бактерий, выделенных из ризосферы небобовых растений, обнаружена повышенная активность азотфиксации в фитоплане (ризосфере и филлосфере) небобовых растений. Среди сельскохозяйственных культур наиболее изучена ассоциативная фиксация азота в ризоплане сахарного тростника, пшеницы, ржи, ячменя, кукурузы, сорго, овсяницы луговой, ежи сборной, овощных культур. Установлена высокая отзывчивость ряда сельскохозяйственных культур (особенно злаковые растения) на обработку биопрепаратами азотфиксаторов. Положительное действие на рост и продуктивность растений установлено для многих штаммов бактерий, относящихся к разным систематическим группам, причем механизм этого действия не всегда известен [1, 3].

Ассоциативная азотфиксация проходит в ризосфере небобовых растений во всех типах почв, но с различной скоростью. В исследованиях количественные параметры несимбиотической азотфиксации постоянно подвергались существенной переоценке. По результатам исследований третьей четверти XX века размеры несимбиотической

азотфиксации под различными культурами (зерновыми, коноплей, хлопчатником) и на разных типах почв (дерново-подзолистых, серых лесных, черноземных почвах и сероземах) составили 30...40 азота на гектар в год. В дерново-подзолистых почвах при наличии активно вегетирующей растительности (ячменя, злаковых трав) суммарная продуктивная ассоциативная и несимбиотическая азотфиксация оценивается на уровне 40...55 кг азота на гектар, в парующей почве – 10...13 кг азота на гектар в год. В почве рисовых полей за счет несимбиотической фиксации атмосферного азота ежегодно накапливается до 60...70 кг азота на гектар. В посевах яровой пшеницы за счет ассоциативной азотфиксации ежегодное поступление азота достигает 20...30 кг азота на гектар [1].

Видно, что поступление атмосферного азота при формировании биомассы сельскохозяйственных растений за счет ассоциативной азотфиксации значительно варьирует на разных почвах и в различных климатических условиях. Очевидно также, что поступление ассоциативного азота в конкретный агроценоз определяется видом возделываемой культуры и условиями ее выращивания, которые оказывают существенное влияние как на состав diaзотрофов, так и на их азотфиксирующую активность [3]. Действие растений на ассоциативную фиксацию азота заключается в обеспеченности последних продуктами экзосмоса и корневого опада: до 1/3 всего углерода фотосинтеза прижизненно выделяется растениями в почву в виде богатых энергией, легкодоступных для микроорганизмов углеводов, стимулирующих азотфиксацию вне зависимости от свойств почв. Количество прижизненного легкодоступного для diaзотрофов органического опада и выделений растений, поступающих в прикорневую зону, варьирует в пределах 10...30% всех продуктов фотосинтеза [1,3].

Факторы, определяющие эффективность ассоциативной азотфиксации и особенности функционирования системы растение – ассоциативные diaзотрофы можно условно разделить на энергетический фактор, водный фактор и пищевой фактор.

Фиксация молекулярного азота ассоциативными микроорганизмами осуществляется при постоянном притоке энергии и наличии источников электронов, необходимых для функционирования нитрогеназного комплекса. В посевах уровень азотфиксации в почве значительно выше, чем при отсутствии посевов, поскольку корневые выделения и корневой опад растений являются энергетическим субстратом для ассоциативных бактерий-diazотрофов. Кроме того, в ризоплане создаются благоприятные условия для поддержания высокой активности нитрогеназы, корни растений быстро поглощают азотсодержащие метаболиты азотфиксаторов, а муцигель защищает нитрогеназу от избытка кислорода. Изменения интенсивности фотосинтеза в течение онтогенеза растений является причиной изменений величины азотфиксации на протяжении вегетационного периода [3, 6].

Важным условием, эффективной ассоциативной азотфиксации, является применение биологических препаратов, созданных на основе активных штаммов микроорганизмов, обладающих повышенной способностью к ассоциации с культурными растениями и интенсивной азотфиксацией. Инокуляция сельскохозяйственных растений микроорганизмами позволяет повысить продуктивность посевов во всех регионах РФ (однако при недостатке увлажнения в период вегетации урожайность от инокуляции не изменяется). Применение ряда препаратов в благоприятные по погодным условиям годы обеспечивает получение урожайности злаковых культур в таких же размерах, как внесение азотного удобрения из расчета 30...45 кг азота на гектар. [7]. При количестве осадков, близком к среднемноголетней норме, применение ассоциативных биопрепаратов эквивалентно внесению азотного удобрения под озимые пшеницу, рожь и тритикале, а также ячмень и овес из расчета 30 кг азота на гектар, под яровую пшеницу – 30...45 кг азота на гектар, под кукурузу – 45...60 кг азота на гектар и под картофель 40...45 кг азота на гектар [1, 3]. Положительные результаты от инокуляции препаратами *Azospirillum*, выраженные прибавкой урожая на 5...40%, получены зарубежными исследователями. Наибольшую прибавку урожайности зерна яровой пшеницы и ячменя от инокуляции биопрепаратами ассоциативных diaзотрофов (3 и 2,2 ц/га соответственно) на фоне РК-удобрений можно

получить при содержании гумуса в почве 2,5...2,7%, нейтральной реакции почвенной среды ( $pH_{KCl}$  6,5...6,7 и 6,1...6,7 соответственно) и оптимальном увлажнении (ГТК за май = 1,0...1,3 и ГТК за май–июнь = 1,3...1,8). При недостатке влаги (ГТК за май < 0,8) или повышенном увлажнении (ГТК за май > 1,8) эффективность препаратов на основе ризосферных ассоциативных diaзотрофов снижается [1]. Установлено, что внесение в почву активных штаммов ризосферных микроорганизмов, несмотря на большую вариабельность показателей, в подавляющем большинстве случаев обеспечивает существенный рост интенсивности связывания атмосферного азота [8].

Активность ассоциативных diaзотрофов и в целом процесса азотфиксации определяются естественными природными условиями или теми условиями, которые обеспечиваются мелиоративными приемами:

- климат, температурный режим и свойства атмосферного воздуха;
- тип почвы, воднофизические и биохимические свойства почвы;
  - содержание, качественный состав и распределение органического вещества по профилю почвы;
  - наличие и содержание в почве подвижных соединений азота, фосфора и калия;
  - реакция почвенной среды;
  - численность, состав и взаимодействие микробных сообществ;
- влажность почвы, интенсивность выпадения осадков, положение уровня грунтовых вод, химические и электролитические свойства осадков, почвенной влаги и грунтовых вод.

На рисунке 1 представлена функциональная схема растительно-микробно-диазотрофного взаимодействия в почве.

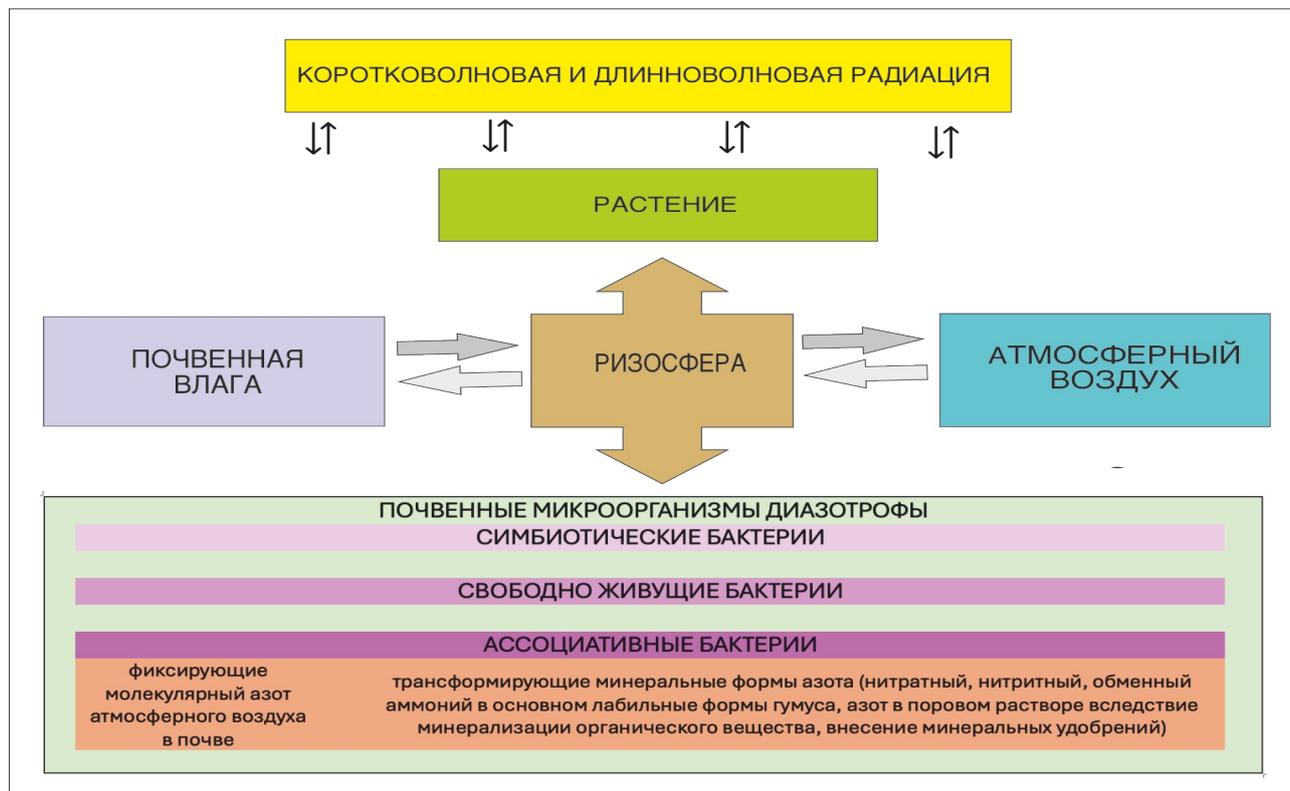


Рис. 1. Схема растительно-микробно-диазотрофного взаимодействия в почве.

Уровень активности фиксирования атмосферного азота diaзотрофами снижается в ряду черноземы – серые лесные – дерново-подзолистые почвы, что обусловлено структурой микробиоценоза (21...26 – видов diaзотрофов в черноземах, около 15 – в серых лесных почвах, 2...4 вида diaзотрофов в подзолистых почвах) [8]. По мере увеличения влажности почвы интенсивность связывания атмосферного азота diaзотрофами возрастает, при полной водонасыщенности (вследствие развития негативных анаэробных процессов) – снижается.

Потенциальная активность азотфиксации больше на известкованных почвах, границы реакции почвенного раствора, в которых ассоциативные diaзотрофы имеют наиболее благоприятные условия для развития, находится в пределах  $pH_{KCl}$  5,8...7,0. Температура верхнего слоя 0...10 см почвы в течение вегетации слабо влияет на азотфиксацию, однако существует большая зависимость ассоциативной азотфиксации в филлосфере от изменений температуры воздуха, оптимальная величина которой находится в пределах 20...34°C [1].

Органические вещества, образующиеся при разложении растительных остатков, также в значительной мере регулируют состав и численность почвенной микрофлоры, в том числе diaзотрофов [6]. Активизация азотфиксации происходит и при внесении в почву соломы и других растительных остатков. Она более активна при соотношении углерода к азоту в растительных остатках и имеет большие значения при более узком соотношении C/N [1].

Интересно, что растения и микроорганизмы легко усваивают минеральный азот, но с повышением его содержания в почве активность ассоциативной азотфиксации, как правило, снижается. Распространено мнение, что минеральный азот в почве тормозит процесс ассоциативной азотфиксации, вместе с тем по другим данным, только высокие дозы азотных удобрений (100...150 кг/га) могут кратковременно подавлять ассоциативную азотфиксацию, а на фоне применения «стартовых» доз азотных удобрений азотфиксация на 30...45% больше, чем без них. Внесение азота в дозах, не превышающих физиологическую потребность растений (30...80 кг/га в зависимости от культуры), усиливает азотфиксацию и участие биологического азота в питании растений [1, 3].

Несмотря на значительные успехи в исследованиях процессов накопления, выноса, трансформации различных форм азота в почве, ассоциативной азотфиксации в агроценозах, до настоящего времени отсутствуют надежные количественные оценки размеров поступления фиксированного азота почвы в конкретных условиях [9], поэтому разработка современных методов количественной оценки этих процессов, основанных на многофакторных математических биогеохимических моделях, является актуальной. Такие модели необходимы для познания потенциала взаимовыгодной интеграции растений и микроорганизмов, происходящей в ризосфере, в зависимости от скорости выделения углеродного субстрата корнями растений и конкурентных взаимоотношений с нефиксирующей азот частью ризосферной микрофлоры, определения степени влияния на эти взаимодействия микробиологического, растительного и почвенного факторов.

На рис. 2. представлен комплекс математических моделей микробиологических процессов для описания биогеохимической трансформации, накопления или расходования веществ в почве.



Рис. 2. Комплекс математических моделей микробиологических процессов.

Характер интеграционных процессов в микробном ценозе ризосферы является важным показателем степени и направленности изменения почвенных условий при возделывании различных сельскохозяйственных культур, а, следовательно, может служить основанием для разработки путей их регулирования. Разработка такого рода моделей создает основы для регулирования роста ризобактерий при широком варьировании различных кинетических параметров роста микроорганизмов и почвенных условий, оценки поведения интродуцируемых штаммов ассоциативных азотфиксаторов в почвенных условиях в ризосфере различных растений и в итоге могут использоваться при разработке предложений для конструирования высокопродуктивных растительно-микробных сообществ, поскольку до настоящего времени при создании современных технологий в земледелии не учитываются пути использования почвенной микрофлоры и способы влияния на их эффективность дополнительного углерода, непрерывно выделяемого во внешнюю среду растениями в процессе своей жизнедеятельности (более 30% от всего углерода, ассимилированного растением).

Из множества необходимых для жизнедеятельности пищевых компонентов, субстратов, потребляемых организмами исследуемой популяции, субстрат, находящийся в наименьшей доступности и лимитирующий ростовые процессы, определяет скорость размножения. Этот принцип известен как принцип минимума Либиха.

Основное уравнение роста популяции представляет собой дифференциальное уравнение первого порядка с разделяющимися переменными, которое можно записать в виде:

$$\frac{dX}{dt} = \mu X$$

где  $X$  – концентрация биомассы, г/л;  $t$  – время, ч;  $\mu$  – удельная скорость роста микроорганизмов, ч<sup>-1</sup>.

Решением этого уравнения является выражение, позволяющее рассчитывать накопление биомассы в экспоненциальной фазе роста:

$$X(t) = X_0 e^{\mu t} .$$

Для полноценного использования и подбора моделей роста популяции азотфиксирующих бактерий в почве необходима полноценная параметризация, основанная

на проведении натуральных исследований в различных условиях для конкретных агробиоценозов.

При моделировании динамики роста микробиологического сообщества азотфиксирующих бактерий в почве используется принцип лимитирующего фактора роста. При этом, принимается следующая логика: если при небольшом увеличении фактора наблюдается ответное увеличение удельной скорости роста, то данный фактор лимитирует рост; в противном случае фактор не является лимитирующим. Рост может быть лимитирован по одному или нескольким компонентам питательной среды, соответственно, говорят об однофакторном и многофакторном лимитировании.

Рост, лимитированный по концентрации одного из субстратов, описывается уравнением Моно:

$$\mu = \frac{\mu_{max} \cdot S}{K_s + S}.$$

Уравнение Моно может быть распространено и для случая многофакторного лимитирования роста. Например, для нитрифицирующих бактерий, осуществляющих биоокисление аммонийного азота кислородом, справедливо уравнение:

$$\mu = \frac{\mu_{max} \cdot C_N \cdot C_O}{(K_N + C_N) \cdot (K_O + C_O)},$$

где  $C_N \cdot C_O$  - концентрации аммонийного азота и растворенного кислорода в среде;  $K_N \cdot K_O$  - константы Моно по азоту и кислороду.

На рис. 3. представлена удельная скорость роста популяции азотфиксирующих бактерий в почве (для многофакторного лимитирующего роста бактерий, при увеличении в поровом растворе почвы концентрации аммонийного азота от 0,48 до 12 мг/л и кислорода от 0,08 до 2,0 мг/л) ( $ч^{-1}$ ).

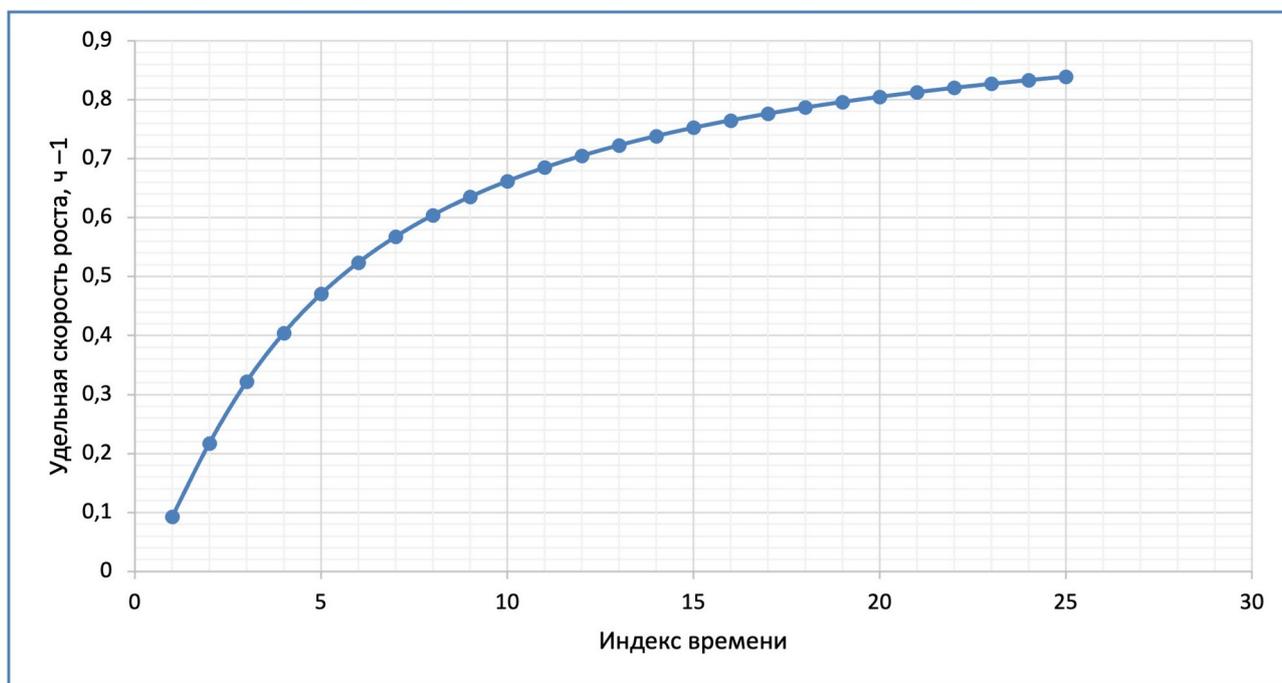


Рис. 3. Удельная скорость роста популяции азотфиксирующих бактерий в почве.

Константы Моно для бактерий имеют очень небольшие значения. Для гетеротрофов типичные значения константы Моно по органическому субстрату,  $K_s=1...10$  мг/л, а по кислороду (для аэробов)  $K_O=0,1...0,2$  мг/л. Для бактерий диазотрофов, относящихся к автотрофам,  $K_N=1$  мг/л. (в расчетах, значения констант приняты по данным из открытых источников информации).

Удельная скорость роста азотфиксирующих бактерий (для многофакторного лимитирующего роста бактерий, при увеличении в поровом растворе почвы концентрации амонийного азота от 0,48 до 12 мг/л и кислорода от 0,08 до 2,0 мг/л), ч<sup>-1</sup>.

### **Выводы**

1. Исследование таких аспектов жизнедеятельности почвенных микроорганизмов, как биологическая фиксация азота и взаимоотношения с высшими растениями, в том числе с использованием методов математического моделирования, будут способствовать более грамотному и обоснованному планированию мелиоративных режимов, регулированию почвенного плодородия и продуктивности сельскохозяйственных культур.
2. Модели позволяют концентрировать и развивать фундаментальные знания о изучаемых процессах, осуществлять количественную оценку и прогнозировать развитие процессов во времени, разрабатывать на их основе новых микробиологических препаратов, методов и дозировки их внесения в почву, установления требуемых значений показателей мелиоративного режима.

### Библиографический список

1. Завалин А.А. Ассоциативная азотфиксация и практика применения биопрепаратов в посевах сельскохозяйственных культур / А. А. Завалин, А. А. Алферов, Л. С. Чернова // АГРОХИМИЯ, 2019, № 8, с. 83–96.
2. Умаров М.М. Азотфиксация в ассоциациях организмов // Проблемы агрохимии и экологии, 2009. № 2. – С. 22–26.
3. Алферов А.А. Ассоциативный азот, урожай и устойчивость агроэкосистемы. – М.: РАН, 2020. – 184 с.
4. Игнатов В.В. Биологическая фиксация азота и азотфиксаторы // Соросовский образовательный журнал, № 9, 1998. – С. 28-33.
5. Тихонович И.А. Перспективы использования азотфиксирующих и фитостимулирующих микроорганизмов для повышения эффективности агропромышленного комплекса и улучшения агроэкологической ситуации РФ / И.А. Тихонович, А.А. Завалин // Плодородие, 2016.– № 5. – С. 28–32.
6. Феоктистова Н.В., Марданова А.М., Хадиева Г.Ф., Шарипова М.Р. Ризосферные бактерии // Учен. зап. Казан. ун-та. Сер. Естеств. науки. – 2016. – Т. 158, кн. 2. – С. 207–224.
7. Карашаева А. С. Ассоциативные диазотрофы и их взаимодействие с растениями // Молодой ученый. 2016. № 6 (110). – С. 350-353. – URL: <https://moluch.ru/archive/110/26656/> (дата обращения: 20.11.2023).
8. Шотт П.Р. Биологическая фиксация азота в однолетних агроценозах лесостепной зоны Западной Сибири: Автореф. дисс. на соискание уч. степени доктора сельскохозяйственных наук. – Барнаул, 2007. – 39 с.
9. Кравченко Л.В. Роль корневых экзометаболитов в интеграции микроорганизмов с растениями: Автореф. дисс. на соискание уч. степени доктора биол. наук. – М., 2000. – 51 с.

### Bibliographic list

1. Zavalin A.A. Associative nitrogen fixation and the practice of using biopreparations in agricultural crops / A. A. Zavalin, A. A. Alferov, L. S. Chernova // AGROCHEMISTRY, 2019, No. 8, pp. 83–96.
2. Umarov M.M. Nitrogen fixation in associations of organisms // Problems of agrochemistry and ecology, 2009. No. 2. – P. 22–26.
3. Alferov A.A. Associative nitrogen, yield and sustainability of agroecosystems. – Moscow: RAS, 2020. – 184 p.
4. Ignatov V.V. Biological nitrogen fixation and nitrogen fixers // Soros educational journal, No. 9, 1998. – P. 28-33.
5. Tikhonovich I.A. Prospects for the use of nitrogen-fixing and phytostimulating microorganisms to increase the efficiency of the agro-industrial complex and improve the agroecological situation of the Russian Federation / I.A. Tikhonovich, A.A. Zavalin // Fertility, 2016.– No. 5. – P. 28–32.
6. Feoktistova N.V., Mardanova A.M., Khadieva G.F., Sharipova M.R. Rhizosphere bacteria // Uchen. zap. Kazan. University. Ser. Natural. sciences. – 2016. – Vol. 158, book 2. – P. 207–224.
7. Karashaeva A. S. Associative diazotrophs and their interaction with plants // Young scientist. 2016. No. 6 (110). - P. 350-353. - URL: <https://moluch.ru/archive/110/26656/> (date of access: 20.11.2023).
8. Schott P.R. Biological nitrogen fixation in annual agrocenoses of the forest-steppe zone of Western Siberia: Abstract of a dissertation for the degree of Doctor of Agricultural Sciences. - Barnaul, 2007. - 39 p.
9. Kravchenko L.V. The role of root exometabolites in the integration of microorganisms with plants: Abstract of a dissertation for the degree of Doctor of Biological Sciences. – M., 2000. –

### **Информация об авторах**

**Максимов Сергей Алексеевич**, доктор технических наук, заведующий отделом мелиорации земель ФГБНУ ФНЦ «Всероссийский научно-исследовательский институт гидротехники и мелиорации имени А. Н. Костякова», 125008, г. Москва, ул. Б. Академическая, 44; тел. 8(499) ; e-mail: [s.a.maksimov@mail.ru](mailto:s.a.maksimov@mail.ru)

**Стрельбицкая Елена Брониславовна**, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник ФГБНУ ФНЦ «Всероссийский научно-исследовательский институт гидротехники и мелиорации имени А. Н. Костякова», 125008, г. Москва, ул. Б. Академическая, 44; тел. 8(499)1530691; e-mail: [strelbitskaya.elena@mail.ru](mailto:strelbitskaya.elena@mail.ru)

**Ремез Иван Александрович**, инженер отдела мелиорации земель ФГБНУ ФНЦ «Всероссийский научно-исследовательский институт гидротехники и мелиорации имени А. Н. Костякова», 125008, г. Москва, ул. Б. Академическая, 44; тел. 8(499)1530691; e-mail: [ivanrem.gian@mail.ru](mailto:ivanrem.gian@mail.ru).













התוצאה היא (30% מההוצאה, ההוצאה הכוללת היא 100%).

ההוצאה היא 100%, ההכנסה היא 30%, ההוצאה הנותרת היא 70%. ההוצאה הנותרת היא 70% מההוצאה הכוללת, שהיא 70% מ-100, כלומר 70.

ההוצאה הנותרת היא 70%, ההכנסה היא 30%, ההוצאה הנותרת היא 40%. ההוצאה הנותרת היא 40% מההוצאה הכוללת, שהיא 40% מ-100, כלומר 40.



ההוצאה הנותרת היא 40%.

ההוצאה הנותרת היא 40%, ההכנסה היא 30%, ההוצאה הנותרת היא 10%. ההוצאה הנותרת היא 10% מההוצאה הכוללת, שהיא 10% מ-100, כלומר 10.

$X_t = X_0 e^{-t}$   .

ההוצאה הנותרת היא 10%, ההכנסה היא 30%, ההוצאה הנותרת היא 20%. ההוצאה הנותרת היא 20% מההוצאה הכוללת, שהיא 20% מ-100, כלומר 20.

ההוצאה הנותרת היא 20%, ההכנסה היא 30%, ההוצאה הנותרת היא 10%. ההוצאה הנותרת היא 10% מההוצאה הכוללת, שהיא 10% מ-100, כלומר 10.

ההוצאה הנותרת היא 10%, ההכנסה היא 30%, ההוצאה הנותרת היא 20%. ההוצאה הנותרת היא 20% מההוצאה הכוללת, שהיא 20% מ-100, כלומר 20.





## Прогноз урожайности картофеля по значению индекса NDVI на эродированных землях

### Forecast of potato yield by NDVI index value on eroded lands

*М.С. Зверьков, С.С. Смелова, Т.Г. Степанова*

*M.S. Zverkov, S.S. Smelova, S.S. Turapin, T.G. Stepanova*

**Ключевые слова:** урожайность, вегетационный индекс, NDVI, прогноз, спутниковый снимок, дистанционное зондирование, эрозия почвы

**Keywords:** yield, vegetation index, NDVI, forecast, satellite image, remote sensing, soil erosion

**Аннотация.** В статье приводится пример прогноза урожайности культуры среднеспелого орошаемого картофеля (*Solanum tuberosum* L.) по динамике индекса NDVI в пиковую фазу вегетации. Для прогноза использовался набор спектральных изображений спутника Sentinel-2 (Европейского космического агентства). Расчеты выполнены в геоинформационной системе QGIS и SAGA GIS. По данным прогноза урожайность *Solanum tuberosum* L. составила 358,66 ц/га, ошибка прогноза по сравнению с фактически полученной – 5,5%. Приводится расчет экономического риска потери урожая от эрозии почвы.

**Abstract.** An example of the forecast of the yield of the crop of medium-ripened irrigated potatoes (*Solanum tuberosum* L.) on the dynamics of the NDVI index during the peak phase of vegetation is considered in the article. For the forecast, a set of spectral images of the Sentinel-2 satellite (European Space Agency) was used. Calculations are performed in the geoinformation system u SAGA GIS. According to the forecast, the yield of *Solanum tuberosum* L. was 358.66 c/ha, the forecast error compared to the actual one was 5.5%. Calculation of economic risk of crop loss from soil erosion is given.

**Введение.** Динамика урожайности сельскохозяйственных культур крайне важна для планирования и ведения устойчивого аграрного производства. Эта информация необходима ученым и фермерам для выявления аномалий урожайности, вызванных изменением условий окружающей среды в течение вегетационного периода. Также эти данные играют ключевую роль для решения вопросов продовольственной безопасности, государственной аграрной политики и экспорта продукции агропромышленного комплекса. В настоящее время для этих целей обычно используются данные Росстата, осредненные для регионов и в масштабах Российской Федерации за прошедший период. Но, не смотря на грубое осреднение, эти данные позволяют анализировать ключевые тренды развития отрасли. Вместе с тем, как отмечается в [1, 2, 3] подобная официальная статистика урожайности не подходит для установления различий, вызванных местными условиями окружающей среды.

Достоверная и своевременная информация о состоянии посевов и почвенного покрова, оценка качества и количества будущего урожая и, как следствие, прогноз цен на аграрную продукцию оказывают существенное влияние как на экономику отдельного региона, так и мировую торговлю в целом. Концепцией государственного мониторинга земель сельскохозяйственного назначения до 2020 года было предусмотрено решение задачи по получению объективной картины состояния почвенного и растительного покрова сельскохозяйственных земель путем развития дистанционного зондирования как наиболее оперативного и объективного источника информации о плодородии земель сельскохозяйственного назначения. Прогнозирование урожайности и валового сбора сельскохозяйственных культур являются важным звеном в системе поддержки принятия управленческих решений в аграрном секторе, способствующих увеличению выручки от реализации сельскохозяйственной продукции. Это повышает требования к их точности и заблаговременности.

Перед Минсельхозом России в настоящее время стоит серьезный вызов по внедрению цифровых сервисов, позволяющих в оперативном режиме оценивать, в частности, состояние мелиорируемых земель и сельскохозяйственных культур [4, 5]. В этой связи использование современных методов мониторинга и оценки урожайности посевов является актуальным инструментом оптимизации ресурсов. Урожайность является интегральным показателем состояния сельскохозяйственных земель. Внедрение технологий дистанционного мониторинга позволяет не только оптимизировать расходы на производство и повысить урожайность, но также снизить

экологическую нагрузку на окружающую среду. Данные дистанционного зондирования Земли на регулярной основе позволяют проводить наблюдения за динамикой развития сельскохозяйственных культур и составлять прогнозы урожайности. Спутниковые методы прогнозирования урожайности являются наиболее перспективными среди других методов в связи с их объективностью, оперативностью и возможностью охвата больших территорий.

Исследователи используют разные расчетные индексы для мониторинга состояния посевов. Наибольшее распространение получили так называемые вегетационные индексы. Исследователи отмечают, что эти индексы могут быть успешно использованы в эмпирических моделях урожайности с коэффициентом детерминации  $R^2$  в диапазоне от 0,14 до 0,88 [6, 7, 8]. Одним из достоинств этих моделей является их высокое пространственное разрешение. Наибольшее распространение получил Normalized difference vegetation index (NDVI) – нормализованный разностный вегетационный индекс. Временные ряды NDVI на разных стадиях роста сельскохозяйственных культур или в течение всего вегетационного периода являются хорошим предиктором в моделях урожайности сельскохозяйственных культур [9].

**Цель исследования** заключалась в прогнозе урожайности культуры среднеспелого орошаемого картофеля (*Solanum tuberosum* L.) по динамике индекса NDVI в пиковую фазу вегетации.

**Материалы и методы исследований.** Мелиорируемый участок расположен на землях АО «Северка» в Коломенском городском округе Московской области в с. Шкинъ. В соответствии со схемой севооборота в 2024 году на опытном участке площадью 6,34 га выращивали картофель сорта Прайм. Полив осуществляли дождеванием широкозахватной дождевальнoй машиной кругового действия. Для посева использовали семена репродукции РС-1 (первая, посадочный материал, фракция 35...45). Сорт среднеспелый, клубень овальный, круглый. Глазки мелкие, кожура и мякоть желтые. Устойчив к раку, патотип I и к золотистой картофельной нематоде (R01). Включен в Госреестр по Центральному (3) региону. Схема посадки: глубина посадки 17 см, расстояние между клубнями 24 см, ширина междурядья 75 см, ширина гребня 60 см. Расход посадочного материала – 3368,27 кг/га. Начало и конец посадки соответственно 18.05.2024 г. и 19.05.2024 г. Начало и конец уборки соответственно 12.09.2024 г. и 01.10.2024 г. Учетная урожайность (хозяйственная) составила 340 ц/га.

Пиковая фаза вегетации – цветение растений, критический период формирования качества клубней и накопления примерно 75% их массы. По фенологическим наблюдениям эта фаза в среднем наступила на 65–70 день после посадки, что соответствует биологическим срокам. На пиковую фазу вегетации отсутствуют безоблачные снимки. Наиболее релевантными снимками является набор спектральных изображений спутника Sentinel-2 (Европейского космического агентства) за 27.07.2024 г. Для построения графика хода вегетационных индексов, изучения состояния посевов дополнительно использовались снимки на 03.05, 20.05, 30.05, 12.06, 19.06, 04.07, 17.07, 27.07, 16.08, 28.08, 07.09, 20.09, 25.09.

Расчет NDVI выполнен по методу микширования исходных геопривязанных растровых изображений ближнего инфракрасного (NIR, B08) и красного (RED, B04) областей спектра снимков Sentinel-2 с использованием программы QGIS (ver. 3.28.1 «Firenze»). Исходные растры имеют метаданные драйвера GDAL – GeoTIFF, тип данных – Byte (8-битное беззнаковое целое), система координат EPSG:4326 – WGS 84. Векторизация итогового растра NDVI выполнена в среде геоинформационной системы SAGA GIS 9.3.1. Оценка площадей выполнена с помощью функции геометрии полигонального объекта \$area.

Потенциальная урожайность за счет поступления фотосинтетически активной радиации (ФАР) рассчитана по формуле А.А. Ничипоровича. Суммарная ФАР для оценки потенциальной продуктивности оценена по сумме прямой и рассеянной солнечной радиации по справочным данным согласно [10]. Накопленный посевами *Solanum tuberosum* L. приход ФАР за период вегетации культуры составил 20,71 ккал/см<sup>2</sup>.

Корректировка потенциальной урожайности по приходу ФАР и с учетом ординат NDVI выполнена по авторской методике. Зная значения  $U_{FAR}$ ,  $U_{ст.вл.}$  и график хода вегетационного индекса NDVI, можно составить прогноз урожайности сельскохозяйственных культур. Для точного прогнозирования урожайности необходимо брать в расчет значение NDVI, приходящееся на момент пика созревания культуры, то есть максимальное значение. После векторизации растра для каждой фенофазы на протяжении вегетационного периода получен набор атрибутивных данных со значениями NDVI. Эти данные используются в прогнозе урожайности  $U_{пр}$  по зависимости:

$$U_{пр,i} = f(NDVI_i(x_i; y_i); U_{ст.вл.}),$$

где NDVI<sub>i</sub> – значение вегетационного индекса в векторизованном участке поля с координатами центра ( $x_i; y_i$ ).

Последовательно вычисляя значение урожайности  $U_{пр,i}$  в каждом векторизованном участке поля с координатами центра ( $x_i$ ;  $y_i$ ) получают набор данных, размер которого соответствует исходному набору атрибутивной информации NDVI. Полученные значения  $U_{пр,i}$  используются для построения карты зон продуктивности поля.

Зональная статистика NDVI (медиана *median*, минимальные *min* и максимальные *max* значения) рассчитывалась в среде программы QGIS (ver. 3.28.1 «Firenze»). Обработка данных по методу группировки интервалов, расчета частот (с графиком накопления частот – интегральным %), и графическое оформление результатов исследования выполнены в электронных таблицах Microsoft Office Excel (ver. 16.10 Build 180124 (2018)). Уровень статистической значимости принят 0,05, рассчитывалось стандартное отклонение  $s$  и доверительный интервал медианы.

Наблюдение за метеорологическими параметрами на опытном участке организовано с помощью цифровой метеорологической станции Davis Vantage Pro2 6152CEU.

При расчете экономического риска эрозии  $C$  приняты следующие допущения: сумма эколого-экономических ущербов за пределами изучаемого участка отсутствует. А сумма локальных эффектов из-за риска эрозии выражается только недобором урожая из-за неэффективного использования площади участка. Тогда стоимость ущерба  $C_c$  от потери урожая составит:

$$C_c = C(Y_{пот}) - C(Y) = C_y(Y_{пот} - Y), \quad (1)$$

где  $C(Y_{пот})$  – потенциально возможный доход (экономический эффект, прибыль) от реализации урожая;  $C(Y)$  – доход за реально собранным урожаем;  $C_y$  – цена реализации единицы урожая.

Для условий расчета значение  $C_y = 29002,95$  руб./т принято по средней для Московской области (за ноябрь 2024 г.) цене производителей сельскохозяйственной продукции на картофель по данным Росстата.

**Результаты и обсуждение.** На рисунке 1а показан график хронологического хода NDVI для *Solanum tuberosum* L., на рисунке 1б – гистограмма распределения значений вегетационного индекса в пиковой фазе вегетации. Медианное значение вегетационного индекса *median* составило  $0,86 \pm 0,04$  ( $s = 0,15$ ), *min* – 0,38, *max* – 0,90. Коэффициент вариации равен 0,19, то есть статистически ряд данных характеризуется как достаточно однородный.

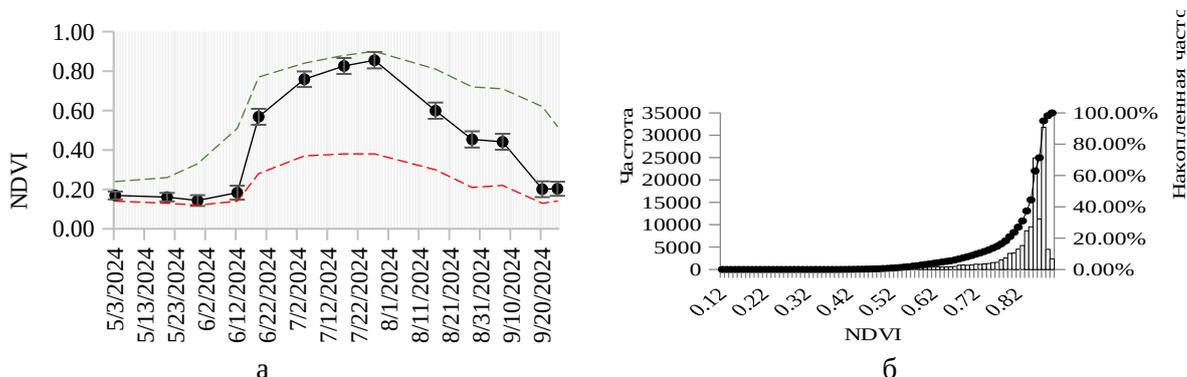


Рис. 1. График хронологического хода (а) и гистограмма за 27.07.2024 г. (б) значений NDVI для *Solanum tuberosum* L. на опытном участке: —○— – значения NDVI; - - - - и - · - · - соответственно максимальные и минимальные значения NDVI

По методике А.А. Ничипоровича потенциальная урожайность по приходу ФАР (3% использования) составила 417,04 ц/га при соотношении основной и побочной продукции соответственно как 1:0,7 и стандартной влажности 80%. Прогнозная урожайность основной продукции составила 358,66 ц/га. Отклонение фактически собранного картофеля (хозяйственной урожайности) составило 5,5% (ошибка прогноза).

На рисунке 2 приведены карты NDVI (а) за 27.07.2024 г., рассчитанные на ее основе зоны продуктивности (б) и граница эрозионных процессов (в). Из анализа рисунков 2а и 2б следует, что флуктуации зоны пониженной продуктивности (< 200 ц/га) приурочены к контурам деградационных процессов (эрозии по направлению стока и в зонах «вымочек») и составляет по площади не более 0,01 га (0,25%). Однако эрозионные процессы на снимке (рисунок 2в) визуализируется на большей площади. Высокие значения NDVI в этой зоне обусловлены засоренностью посевов.

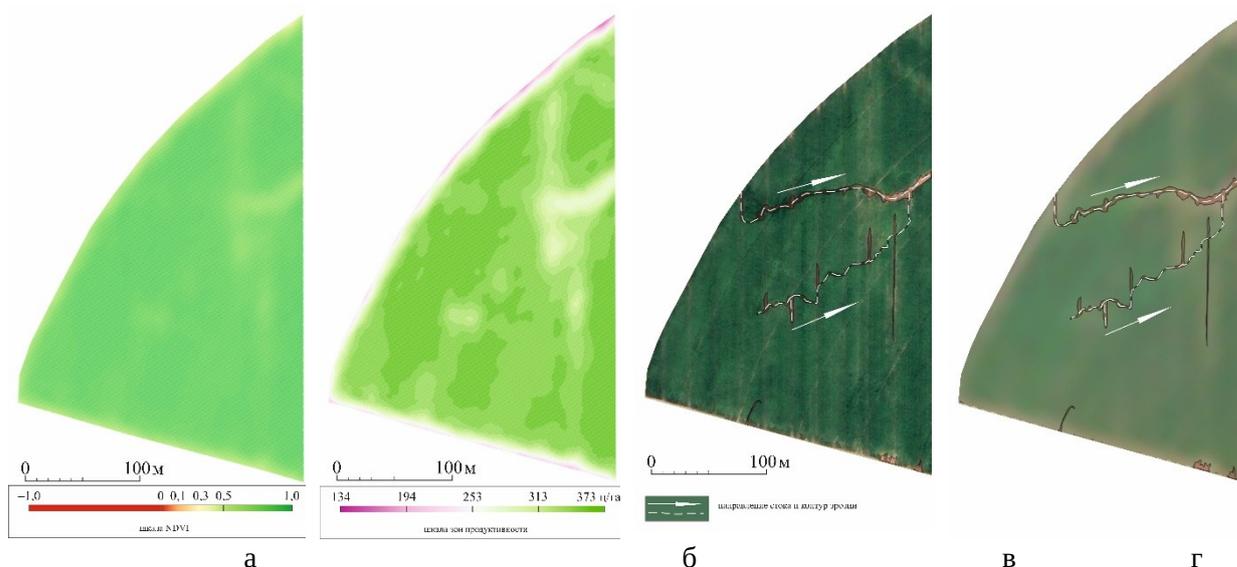


Рис. 2. Карты NDVI (а), зон продуктивности (б), эрозионных процессов (в и г соответственно за 27.07.2024 г. и 04.07.2024 г.)

В целях определения площади эрозионных зон проводились натурные обследования участка. Установлено, что в результате проявления ирригационной эрозии, обусловленной топографическими особенностями поверхности участка в первой декаде июля 2024 г., наблюдалось отставание в развитии культуры картофеля. Для картографирования эродированного участка использован снимок Sentinel-2 (Европейского космического агентства) за 04.07.2024 г. (в статье не приводится), на котором отчетливо визуализируются эродированные участки. К этому периоду растения активно наращивают наземную вегетативную массу (кустятся) перед вступлением в фазу бутонизации. На снимке за 27 июля эрозия визуализируется слабо, наиболее отчетливо только на оголенном участке с явно выраженным процессом. Обследование участка в условиях *in situ* показало, что русло стока в основном заросло сорной растительностью, из-за чего карта NDVI эрозионную обстановку явным образом не характеризует (рисунок 2а). По результатам картографирования установлено, что зона эрозии составляет 0,15 га (2,41% от общей площади). Дифференцированная оценка экономического риска потери урожайности картофеля от эрозии почвы по формуле (1) составляет 494242,7 руб. без учета прямых затрат на собственные семена, операций по технологической карте на возделывание культуры.

### Заключение

В результате проведенного исследования показан пример прогноза урожайности культуры среднеспелого орошаемого картофеля (*Solanum tuberosum* L.) сорта Прайм по динамике индекса NDVI в пиковую фазу вегетации. Научно-практическая значимость результатов исследования состоит в том, что методика, представленная в исследовании, может быть адаптирована для фенологических наблюдений и изучения продуктивности посевов *Solanum tuberosum* L. в других условиях.

### Библиографический список

1. Vannoppen A., Gobin A. Estimating Yield from NDVI, Weather Data, and Soil Water Depletion for Sugar Beet and Potato in Northern Belgium // Water. 2022. Vol. 14, 1188. doi: 10.3390/w14081188.
2. Agroclimatic Conditions in Europe under Climate Change / Trnka M., Olesen J.E., Kersebaum K.C. et al. // Glob. Chang. Biol. 2011. Vol. 17, P. 2298–2318.
3. Coincidence of Variation in Yield and Climate in Europe / Peltonen-Sainio P., Jauhiainen L., Trnka M. et al. // Agric. Ecosyst. Environ. 2010. Vol. 139. P. 483–489.
4. Оценка коэффициента земельного использования методами дистанционного зондирования на мелиоративной системе Московской области / С.В. Брыль, А.Е. Беденко // Экология и строительство. 2024. № 1. С. 35–42. doi: 10.35688/2413-8452-2024-01-005.
5. Анализ и интегральная оценка технико-экологического состояния мелиоративного комплекса Российской Федерации / Г.В. Ольгаренко, Т.А. Капустина // Экология и строительство. 2024. № 4. С. 43–51. doi: 10.35688/2413-8452-2024-04-006.

6. Weiss M., Jacob F., Duveiller G. Remote Sensing for Agricultural Applications: A Meta-Review // *Remote Sens. Environ.* 2020. Vol. 236, 111402.
7. The ARYA Crop Yield Forecasting Algorithm: Application to the Main Wheat Exporting Countries / Franch B., Vermote E., Skakun S. et al. // *Int. J. Appl. Earth Obs. Geoinf.* 2021. Vol. 104, 102552.
8. Synergistic Integration of Optical and Microwave Satellite Data for Crop Yield Estimation / Mateo-Sanchis A., Piles M., Muñoz-Marí J. et al. // *Remote Sens. Environ.* 2019. Vol. 234, 111460.
9. A Systematic Review of Vegetation Indices for Potato Growth Monitoring and Tuber Yield Prediction from Remote Sensing / Mukiibi A., Machakaire A.T.B., Franke A.C. et al. // *Potato Res.* 2025. Vol. 68, P. 409–448. doi: 10.1007/s11540-024-09748-7
10. Биоклиматический потенциал России: методы мониторинга в условиях изменяющегося климата / А.Д. Клещенко, Б.А. Черняков, О.Д. Сиротенко [и др.]; Под редакцией А.В. Гордеева. М: Типография Россельхозакадемии, 2007. 236 с.

### References

1. Vannoppen A., Gobin A. Estimating Yield from NDVI, Weather Data, and Soil Water Depletion for Sugar Beet and Potato in Northern Belgium // *Water.* 2022. Vol. 14, 1188. doi: 10.3390/w14081188.
2. Agroclimatic Conditions in Europe under Climate Change / Trnka M., Olesen J.E., Kersebaum K.C. et al. // *Glob. Chang. Biol.* 2011. Vol. 17, P. 2298–2318.
3. Coincidence of Variation in Yield and Climate in Europe / Peltonen-Sainio P., Jauhiainen L., Trnka M. et al. // *Agric. Ecosyst. Environ.* 2010. Vol. 139. P. 483–489.
4. Otsenka koeffitsienta zemel'nogo ispol'zovaniya metodami distantsionnogo zondirovaniya na meliorativnoi sisteme Moskovskoi oblasti / S.V. Bryl', A.E. Bedenko // *Ekologiya i stroitel'stvo.* 2024. № 1. S. 35–42. doi: 10.35688/2413-8452-2024-01-005.
5. Analiz i integral'naya otsenka tekhniko-ekologicheskogo sostoyaniya meliorativnogo kompleksa Rossiiskoi Federatsii / G.V. Ol'garenko, T.A. Kapustina // *Ekologiya i stroitel'stvo.* 2024. № 4. S. 43–51. doi: 10.35688/2413-8452-2024-04-006.
6. Weiss M., Jacob F., Duveiller G. Remote Sensing for Agricultural Applications: A Meta-Review // *Remote Sens. Environ.* 2020. Vol. 236, 111402.
7. The ARYA Crop Yield Forecasting Algorithm: Application to the Main Wheat Exporting Countries / Franch B., Vermote E., Skakun S. et al. // *Int. J. Appl. Earth Obs. Geoinf.* 2021. Vol. 104, 102552.
8. Synergistic Integration of Optical and Microwave Satellite Data for Crop Yield Estimation / Mateo-Sanchis A., Piles M., Muñoz-Marí J. et al. // *Remote Sens. Environ.* 2019. Vol. 234, 111460.
9. A Systematic Review of Vegetation Indices for Potato Growth Monitoring and Tuber Yield Prediction from Remote Sensing / Mukiibi A., Machakaire A.T.B., Franke A.C. et al. // *Potato Res.* 2025. Vol. 68, P. 409–448. doi: 10.1007/s11540-024-09748-7
10. Биоклиматический потенциал России: методы мониторинга в условиях изменяющегося климата / А.Д. Клещенко, В.А. Черняков, О.Д. Сиротенко [и др.]; Под редакцией А.В. Гордеева. М: Типография Россельхозакадемии, 2007. 236 с.

**Зверьков Михаил Сергеевич**, канд. техн. наук, ведущий научный сотрудник, ORCID: 0000000283484391, Scopus 57221661750, РИНЦ AuthorID: 751258; **Смелова Светлана Станиславовна**, канд. биол. наук, доцент, старший научный сотрудник, ORCID: 0009000917170026, Scopus 6504283625, РИНЦ AuthorID: 651060; **Степанова Татьяна Георгиевна**, канд. техн. наук, ведущий научный сотрудник (Всероссийский НИИ систем орошения и сельскохозяйственного водоснабжения «Радуга», Московская область, Коломна).

**Zverkov Mikhail Sergeevich**, candidate of technical sciences, leading researcher, ORCID: 0000000283484391, Scopus 57221661750, РИНЦ AuthorID: 751258; **Smelova Svetlana Stanislavovna**, candidate of biological sciences, associate professor, senior researcher, ORCID: 0009000917170026, Scopus 6504283625, РИНЦ AuthorID: 651060; **Stepanova Tatyana Georgievna**, candidate of technical sciences, leading researcher, (All-Russian Research Institute of Irrigation and Agricultural Water Supply Systems "Raduga," Moscow Region, Kolomna).







УДК 633+631.6

**УПРАВЛЕНИЕ МЕЛИОРАТИВНЫМ РЕЖИМОМ С  
ПРОГРАММИРОВАНИЕМ УРОЖАЯ НА ТОРФЯНЫХ ПОЧВАХ**

*П.И. Пыленок, Р.О. Ефремов*

*ФГБНУ «ФНЦ ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова» - Мещерский филиал, г. Рязань*

MELIORATION REGIME MANAGEMENT WITH CROP PROGRAMMING ON  
PEAT SOILS

Pylenok P.I., Efremov R. O.

**Ключевые слова:** мелиоративный режим, программирование урожая капусты, торфяные почвы, ресурсоемкость, экологические ограничения.

**Keywords:** land reclamation regime, cabbage harvest programming, peat soils, resource intensity, environmental restrictions.

**Аннотация.** На основе системного анализа и балансового метода исследовано совместное управление мелиоративным режимом торфяной почвы с программированием урожайности капусты, включающее расчеты прогнозируемой урожайности, режима увлажнения дренажными водами и норм внесения минеральных удобрений с учетом экологических и ресурсных ограничений. Предложено фактические нормы минеральных удобрений для внесения под программируемый урожай на рециклинговых мелиоративных системах увеличивать на количество выноса с инфильтрационными водами и уменьшать на количество поступающих с капиллярными и поливными (дренажными) водами в корнеобитаемый слой элементами питания. Апробация технологии в производственных условиях на двух участка по 50 га каждый показала, что при фактической урожайности капусты 30-33 т/га водопотребление составило 305-335 мм, из которых 50 % покрывалось за счет атмосферных осадков и продуктивных влагозапасов почвы, 43 % за счет увлажнения дренажными водами и 7% за счет капиллярного притока влаги от грунтовых вод. Ресурсоемкость по расходу оросительной воды снижалась от 43,3 м<sup>3</sup>/т на первом участке до 34,8 м<sup>3</sup>/т на втором участке. Ресурсоемкость по затратам агрохимикатов была меньше на первом участке - 13,2 кг/т, чем на втором - 15,1 кг/т. Для получения урожая капусты белокочанной на торфяной почве более 30 т/га в условиях умеренно жаркого и средне засушливого вегетационного периода рекомендуется максимальная оросительная норма 115 мм и максимальная доза минеральных удобрений до 400 кг/га.

**Abstract.** Based on a systematic analysis and the balance method, the joint management of the peat soil reclamation regime with cabbage yield programming, including calculations of projected yields, drainage water moisture regime, and mineral fertilizer application rates, taking into account environmental and resource constraints, has been studied. It is proposed to increase the actual rates of mineral fertilizers for application under a programmable crop on recycling reclamation systems by the amount of removal from infiltration waters and reduce by the amount of nutrients supplied from capillary and irrigation (drainage) waters to the root layer. Testing of the technology in production conditions on two plots of 50 hectares each showed that with an actual cabbage yield of 30-33 t/ha, water consumption was 305-335 mm, of which 50% was covered by precipitation and productive soil moisture reserves, 43% by moistening with drainage waters and 7% by capillary influx of moisture from groundwater. The resource consumption of irrigation water decreased from 43.3 m<sup>3</sup>/t in the first section to 34.8 m<sup>3</sup>/t in the second section. The resource intensity of agrochemicals was lower at the first site (13.2 kg/t) than at the second site (15.1 kg/t). A maximum irrigation rate of 115 mm and a maximum dose of mineral fertilizers up to 400 kg/ha are recommended for harvesting white cabbage on peat soil of more than 30 t/ha in a moderately hot and moderately arid growing season.

**Введение.** Продуктивность мелиорируемых земель зависит от многих факторов, среди которых водный и пищевой режимы наиболее доступны для непосредственного управления. Научные основы программирования урожая безотносительно условий мелиоративного режима заложены в работах Шатилова И.С., Каюмова М.К., Добрачева Ю.П., Образцова А.С. и др. [5,6,7,8,9,13,14]. Применительно к мелиорируемым землям они нуждаются в определенной корректировке, чем определяется актуальность и задачи настоящих исследований. Программирование урожая на мелиорируемых землях имеет определенные преимущества в связи с возможностью управления мелиоративным режимом, включающим факторы почвообразования, роста растений и воздействия на окружающую природную среду (ОПС). Одновременно возникают и дополнительные сложности, связанные, например, для торфяных почв с противоречием между ростом урожайности и потерями органического вещества торфа, а также загрязнением атмосферы диоксидом углерода. Мелиоративный режим при этом рассматривается как совокупность требований к управляемым факторам почвообразования, роста растений и воздействия на окружающую среду, которые должна обеспечить система мелиоративных мероприятий для достижения поставленной цели [2,4,11].

Роль мелиоративного режима возрастает в связи с проблемой управления отходами мелиоративной отрасли, к которым в первую очередь относятся дренажный сток и потоки продуктов минерализации органического вещества торфа в водные объекты и атмосферу. Загрязнение дренажного стока зависит не только от интенсивности мелиоративного воздействия, но в значительной мере еще от агротехнологий, их интенсивности и норм внесения агрохимикатов. Вопрос апробации совместного взаимодействия технологий управления мелиоративным режимом и программирования урожая изучен недостаточно.

**Материалы и методы.** Методической основой работы являются натурные исследования, системный анализ, балансовый метод, отражающий закон сохранения вещества и энергии, законы земледелия и агроэкологии [1,4,10,12].

Преимущества в случае программирования продуктивности мелиорируемых агроландшафтов достигаются благодаря возможности гарантировано поддерживать оптимальный водный режим корнеобитаемого слоя почвы путем осушения и увлажнения. При этом целесообразны определенные ограничения по расходу воды на увлажнение, например, на основе предельной экологически обоснованной оросительной нормы, которая определяется по формуле (1) с учетом гидротермического коэффициента (ГТК), или индекса сухости по Будыко М.И., и не должна превышать количество влаги, которое вместе с осадками может быть ассимилировано в процессе фотосинтеза [2,10,11]:

$$M \leq \frac{(1 + \varepsilon)R}{L} - P - g, \quad (1)$$

где  $M$  – оросительная норма, мм;  $\bar{R}$  – гидротермический коэффициент;  $R$  – радиационный баланс поверхности почвы, кДж/см<sup>2</sup>;  $\varepsilon$  – доля увеличения  $R$  от мелиораций;  $L$  – скрытая теплота парообразования, кДж/см<sup>2</sup> в год на 1 мм слоя воды;  $P$  – атмосферные осадки, впитавшиеся в почву, мм;  $g$  – влагообмен корнеобитаемого слоя почвы с грунтовыми водами (положительное направление вверх), мм.

Ограничения максимальных значений оросительных норм для южной части Нечерноземной зоны были определены нами ранее для оптимального диапазона значений ГТК и приведены в табл.1 [10,11]. Ограничение размера прогнозного уровня урожайности может быть достигнуто с учетом требования оптимальной ресурсоемкости в отношении расхода оросительной воды, агрохимикатов и других потребляемых ресурсов, определяемой по формуле (2) [10]:

$$R_{pe} = \frac{B_n}{V_n} \rightarrow \min \quad (2)$$

где  $R_{pe}$  – ресурсоемкость или удельный расход природного ресурса на единицу валовой продукции;  $B_n$  – расход природного ресурса, ед. массы или объема;  $V_n$  – объем валовой продукции, ед. массы или объема.

Таблица 1 - Предельные значения оросительных норм (мм) для оптимального диапазона гидротермического режима ( $0,9 \geq \bar{R} \leq 1,1$ )

Гидротермический коэффициент, $\bar{R}$	Гидротермическая характеристика лет		
	влажный и холодный	средний	засушливый и жаркий
0,9	0	90	225
1,0	0	25	155
1,1	0	0	100

Такая оптимизация по фактору увлажнения позволяет получать более реальные размеры потенциальной продуктивности и избежать ошибок программирования завышенной урожайности. Для целей программирования урожайности на мелиорируемых землях кроме регулярного агрохимического обследования почв также необходимо осуществлять анализ химического состава дренажных вод, которые используются для увлажнения.

Сроки полива назначались расчетным способом с применением уравнения водного баланса корнеобитаемого слоя почвы [2,3,10,12].

Дозы минеральных удобрений рассчитываются на величину программируемой урожайности балансовым методом по И.С.Шатилову и М.К.Каюмову по формуле (3) [6,14]:

$$D_m = \frac{100 \left[ Y \cdot K_y - \left( \frac{Q_n \cdot h \cdot V \cdot K_n}{100} + \frac{D_{орг} \cdot Q_{орг} \cdot K_{орг}}{10} \right) \right]}{K_m}, \quad (3)$$

где  $D_m$  – доза минерального удобрения, кг д.в./га;  $Y$  – планируемая урожайность основной продукции, т/га;  $K_y$  – коэффициент выноса элемента питания с урожаем в расчете на тонну основной продукции, кг/т;  $Q_n$  – содержание элемента питания в почве, мг/100 г почвы;  $h$  – мощность пахотного слоя, см;  $V$  – плотность почвы, г/см<sup>3</sup>;  $K_n$  – коэффициент выноса элемента питания из почвы, %;  $D_{орг}$  – доза органических удобрений, т/га;  $Q_{орг}$  – содержание элемента питания в органическом удобрении, %;  $K_{орг}$  – коэффициент использования элемента питания из органического удобрения, %;  $K_m$  – коэффициент использования элемента питания из минерального удобрения, %.

Апробация управления мелиоративным режимом и программирования урожая выполнена в производственных условиях на мелиорируемой торфяно-болотной почве в Мещерской низменности с применением рециклинговой гидромелиоративной технологии. Торф осоковый и осоково-древесный, pH 4,8-5,5, степень разложения 33-40%, зольность 8%, плотность 0,14-0,17 г/см<sup>3</sup>, плотность твердой фазы 1,40-1,46 г/см<sup>3</sup>. Почвы хорошо обеспечены азотом, слабо фосфором и бедны калием.

**Результаты и обсуждение.** Дренажные воды торфяных почв, используемые для увлажнения, относятся в основном к карбонатно-щелочному классу, содержание ионов в них изменяется 130-250 мг/л. При этом наибольший вынос биогенных элементов происходит в виде иона HCO<sub>3</sub>. Суммарная концентрация нитратного и аммонийного азота в дренажных водах, используемых для увлажнения, изменяется в пределах 2,1-3,8 мг/л и в основном не превышает ПДК, за исключением их всплесков в отдельные периоды. Особенности водного режима мелиорируемых земель Нечерноземной зоны России в целом, а торфяно-болотных в особенности, состоят в неглубоком залегании грунтовых вод и периодическом промывном характере водного режима. В этих условиях фактические нормы минеральных удобрений для внесения под программируемый урожай на осушительно-увлажнительных мелиоративных системах следует увеличивать на количество выноса с инфильтрационными водами и уменьшать на количество поступающих с

поливными (дренажными водами) в корнеобитаемый слой элементов питания по формуле (4):

$$D_e = D_m \pm D_g - D_o, \quad (4)$$

где  $D_e$  – доза внесения минерального удобрения, кг д.в./га;  $D_g$  – количество удобрений, вымываемых инфильтрационными водами (+) при осушении, или количество минерального удобрения, поступающего с капиллярным притоком грунтовых вод в корнеобитаемый слой почвы (-);  $D_o$  – количество минерального удобрения, возвращаемая с поливной водой, кг д.в./га.

Количество питательных веществ, возвращаемое с поливной водой, определяется по формуле (5) умножением ожидаемой оросительной нормы на концентрацию элемента питания в дренажной или оросительной воде, включая и подкормку с поливной водой:

$$D_o = 10^{-2} \sum_{i=1}^k m_i C_{mi} \quad (5)$$

где  $m_i$  – поливная норма, мм;  $C_{mi}$  – концентрация элемента питания в поливной воде, мг/л;  $k$  – число поливов за сезон.

Аналогично может быть определено и количество питательных веществ, поступающих с атмосферными осадками.

Количество питательных веществ, поступающих в корнеобитаемую зону с раствором поровых вод при подпитывании, и вымываемых из нее при инфильтрации, определяется соответственно по зависимостям (6) и (7), которые запишем отдельно.

$$D_{g\uparrow} = 10^{-2} \sum_{i=1}^m g_{\uparrow i} C_{\uparrow i} \quad (6)$$

$$D_{g\downarrow} = 10^{-2} \sum_{i=1}^n g_{\downarrow i} C_{\downarrow i} \quad (7)$$

где  $D_g$ ,  $g$ , и  $C$  со стрелкой вверх ( $\uparrow$ ) соответственно количество питательных веществ, приток влаги от грунтовых вод в корнеобитаемый слой почвы (мм) и концентрации в них питательных веществ (мг/л), а со стрелкой вниз ( $\downarrow$ ) те же показатели для случая инфильтрации почвенной влаги в грунтовые воды.

Вегетационный период по гидротермическим условиям характеризовался как умеренно жаркий и средне засушливый. Орошение осуществлялось дождевальными машинами ДКШ-64 «Волжанка», водозабор дренажных вод из проводящей сети производился насосной станцией СНП 75-100. Полив назначался при достижении влажности в расчетном слое почвы предполивного порога, равного 60% полной влагоемкости. Расчетный слой увлажнения изменялся от 0,2 м в первый месяц вегетации капусты до 0,4 м в последующие месяцы.

Предварительно были произведены расчеты выноса питательных веществ с урожаем по методике, изложенной в литературе [3]. Результаты расчета для основных культур севооборота, включающих зерновые культуры, картофель и овощные культуры, в среднемноголетнем разрезе представлены в табл. 2.

Дальнейший расчет норм удобрений проводился с учетом выноса элементов питания с планируемым урожаем капусты, а так же с учетом содержания в корнеобитаемом слое мелиорируемой торфяной почвы доступных форм азота, фосфора и калия. Учитывая низкую обеспеченность торфяной почвы фосфором и калием, норма их внесения увеличивалась для компенсации выноса и урожаем и для повышения почвенного плодородия. Окончательное значение внесения минеральных удобрений корректировалось с учетом поступления питательных веществ с оросительной водой и капиллярным притоком влаги от грунтовых вод или их выноса инфильтрационными водами.

Таблица 2 - Вынос питательных веществ с урожаем

Культуры	Урожайность, т/га	Вынос на 1 т урожая, кг			Вынос с урожаем, кг/га			
		N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	Всего
Зерновые	2,86	30,0	13,0	25,0	85,8	37,2	71,5	194,5
Картофель	16,6	5,0	1,8	7,5	83,0	29,9	124,5	237,4
Овощи	24,5	3,4	1,3	4,4	83,3	31,9	107,8	223,0

В результате для двух производственных участков по 50 га каждый были определены нормы минеральных удобрений, составившие для первого участка: азота - 70 фосфора - 200 и калия - 125 кг/га, а для второго участка, соответственно 105, 250 и 145 кг/га.

Внесение удобрений осуществлялось в три приема. Доза под основную обработку весной составляла 60 % расчетной нормы. Остальную часть нормы вносили в равных дозах в виде подкормок в начале и в конце июля.

Сроки полива назначались расчетным способом на основе водного баланса корнеобитаемого слоя почвы с прямым измерением на участке атмосферных осадков и глубины залегания грунтовых вод в скважинах на каждом из двух участков. Расчет водопотребления капусты производился биоклиматическим методом, а водообмен почвы с грунтовыми водами определялся расчетом в зависимости от глубины залегания вод и недостатка или избытка влаги в корнеобитаемом слое почвы относительно равновесного влагосодержания по разработанной ранее нами расчетной зависимости [10,11].

Оросительная норма для первого участка составила 130 мм, было проведено 4 вегетационных полива нормой 30 мм и один приживочный нормой 10 мм. На втором участке оросительная норма составила 115 мм, было проведено 3 вегетационных полива нормой 35 мм и один приживочный послепосадочный полив. При этом размер фактических оросительных норм не превысил предельного экологического значения, определяемого по табл. 1 ( $90 \text{ мм} \leq M_{\text{ф}} \leq 155 \text{ мм}$ ). Наибольшее водопотребление капусты 5 мм/сут отмечалось в период формирования кочана, в целом сезонное водопотребление капусты составило 305-335 мм. В засушливые периоды приток капиллярной влаги от грунтовых вод, залегающих в среднем за вегетацию на глубине 0,9-1,4 м от поверхности, достигал 15-18 %.

Водопотребление капусты на 50 % покрывалось за счет атмосферных осадков и продуктивных влагозапасов почвы, на 43 % за счет увлажнения дренажными водами и на 7% за счет капиллярного притока влаги от грунтовых вод. Структура источников водопотребления в мм слоя воды показана на рис. 1.

Фактическая производственная урожайность капусты составила 30-33 т/га, что превышало среднюю урожайность по хозяйству в предшествующие годы более чем на 30 %. Ресурсоемкость по водопотреблению на обоих участка была близка и составила около 102 м<sup>3</sup>/т. Ресурсоемкость по расходу оросительной воды была больше 43,3 м<sup>3</sup>/т на первом участке, чем на втором - 34,8 м<sup>3</sup>/т. Ресурсоемкость по затратам агрохимикатов (NPK) на первом участке составила 13,2 кг/т, а на втором 15,1 кг/т (табл. 3).

Таблица 3 – Основные показатели эффективности программирования урожая на мелиорируемой торфяной почве

Показатели	Участок 1	Участок 2
Урожайность, т/га	30	33
Водопотребление, мм	305	335
Оросительная норма, мм	130	115
Норма удобрений, кг/га	395	500
Ресурсоемкость по оросительной воде, м <sup>3</sup> /т	43,3	34,8
Ресурсоемкость по водопотреблению, м <sup>3</sup> /т	101,7	101,5
Ресурсоемкость по NPK, кг/т	13,2	15,1



Рисунок 1 – Структура источников водопотребления капусты в мм на торфяной почве

Таким образом, управление мелиоративным режимом с учетом экологических и ресурсных ограничений и применением программирования урожая для регулирования пищевого режима показало, что первый вариант технологии был более ресурсосберегающим по удобрениям, а второй вариант

технологии был более ресурсосберегающим по оросительной воде. Применение технология программирования урожая позволяет более рационально использовать оросительную воду и минеральные удобрения на мелиорируемых торфяно-болотных почвах.

## **Заключение**

В полевых натурных исследованиях с применением системного анализа, балансового метода и законов агроэкологии определена оценка совместного управления мелиоративным режимом и программированием урожая на мелиорируемой торфяной почве с целью снижения отходов агромелиоративного производства и снижения ресурсоемкости за счет применения для увлажнения дренажных вод и внесения минеральных удобрений под программируемый урожай.

Установлено, что программирование урожая на торфяных почвах имеет свои особенности, связанные с необходимостью учета выноса питательных веществ инфильтрационными водами и их дополнительного поступления с капиллярным потоком влаги от грунтовых вод, а также и с дренажными водами, используемыми для увлажнения осушаемых земель.

Наибольшее водопотребление капусты 5 мм/сут отмечалось в период формирования кочана, в целом сезонное водопотребление капусты составило 305-335 мм. Водопотребление капусты на 50 % покрывалось за счет атмосферных осадков и продуктивных влагозапасов почвы, на 43 % за счет увлажнения дренажными водами и на 7% за счет капиллярного притока влаги от грунтовых вод.

Фактическая урожайность капусты изменялась в диапазоне 30-33 т/га, что превышало среднюю урожайность по хозяйству в предшествующие годы более чем на 30 %. Ресурсоемкость по водопотреблению на обоих участка была близка и составила около 102 м<sup>3</sup>/т. Ресурсоемкость по расходу оросительной воды была больше на первом участке (43,3 м<sup>3</sup>/т), чем на втором участке (34,8 м<sup>3</sup>/т). Ресурсоемкость по затратам агрохимикатов (NPK) на первом участке составила 13,2 кг/т, а на втором 15,1 кг/т.

Сравнительный анализ двух вариантов, в первом из которых была больше норма орошения, а в другом норма удобрений, показал, что для получения урожая капусты белокочанной на торфяной почве более 30 т/га в условиях умеренно жаркого и средне засушливого вегетационного периода можно рекомендовать максимальную дозу удобрений до 400 кг/га и максимальную оросительную норму 115 мм.

## **Литература**

1. Агроэкология /В. А. Черников, Р. М. Алексахин, А. В. Голубев [и др.]; Под ред. В. А. Черникова, А. И. Чекереса. – М.: Колос, 2000.- 536 с.

2. Айдаров И. П. Оптимизация мелиоративных режимов орошаемых и осушаемых сельскохозяйственных земель/ И. П. Айдаров, А. И. Голованов, Ю. Н. Никольский– М.: Агропромиздат, 1990 – 60 с.
3. Агрехимия. Учебник/В.Г. Минеев, В.Г. Сычев, Г.П. Гамзиков и др.; под ред. В.Г. Минеева. - М.: Изд-во ВНИИА им. Д.Н. Прянишникова, 2017. — 854 с.
4. Голованов, А.И. Мелиорация земель / А.И. Голованов, И.П. Айдаров, М.С. Григоров [и др.]; Под ред. А.И. Голованова. - М.: КолосС, 2011. - 824 с. - ISBN 978-5-9532-0752-2.
5. Добрачев Ю.П. Результаты прогнозирования урожайности и сроков созревания озимой пшеницы в краснодарском крае // Вестник сельскохозяйственной науки. 1985. № 8. С. 62.
6. Каюмов М.К. Программирование продуктивности полевых культур: Справочник/ М.К. Каюмов. – 2-е изд., перераб. и доп. - М.:Росагропромиздат, 1989. – 368 с.
7. Маслов Б.С. Итоги внедрения программирования урожаев сельскохозяйственных культур на орошаемых землях/ Б.С.Маслов, А.Г. Галушкин, Ю.П. Добрачев, Ю.С. Пунинский // В сборнике: Технология орошения и программирования урожая. Сборник научных трудов. Москва, 1986. С. 11-15.
8. Образцов А.С. О научных основах прогнозирования и программирования урожая (состояние и перспективы исследований) / А.С.Образцов, В.М. Ковалев, Ю.П. Добрачев, В.Г. Головатый А.И., Живлов // Сельскохозяйственная биология. 1980. Т. 15. № 6. С. 820.
9. Осин А.А. Программирование урожайности полевых культур / А.А. Осин, В.С. Осина, В.В.Коломейченко // В сб.: Продукционные процессы и устойчивость растений. - Орел, 2017. С. 228-243.
10. Пыленок П. И. Агромелиоративное природопользование. Научно-технологические и экологические основы: монография.- М.: ВНИИГиМ 2022– 215 с. DOI: [10.37738/VNIIGIM.2022.94.88.001](https://doi.org/10.37738/VNIIGIM.2022.94.88.001).
11. Пыленок П. И. Природоохранные мелиоративные режимы и технологии/ П.И. Пыленок, И.В. Сидоров. – М, Россельхозакадемия, 2004. - 323 с.
12. Пыленок П. И., Ресурсосберегающая технология увлажнения осушаемых торфяных почв дренажными водами / П. И. Пыленок, Р.О. Ефремов // Вестник мелиоративной науки. 2024. № 1. С. 37-4
13. Соловьев А.В. К вопросу теоретических основ программирования урожаев сельскохозяйственных культур // Вестник Российского государственного аграрного заочного университета. 2023. № 44 (49). С. 87-91.
14. Шатилов И.С. Научные основы программирования урожаев сельскохозяйственных культур / И.С. Шатилов, М.К. Каюмов. - М.: Колос, 1978 - 335 с.

15. Шахова О.А. Программирование урожаев сельскохозяйственных культур в условиях северного Зауралья // Мир Инноваций. 2020. № 4. С. 34-39.

## References

1. Agroekologiya /V. A. Chernikov, R. M. Aleksahin, A. V. Golubev [i dr.]; Pod red. V. A. Chernikova, A. I. Chekeresa. – M.: Kolos, 2000.- 536 s.
2. Ajdarov I. P. Optimizaciya meliorativnyh rezhimov oroshaemyh i osushaemyh sel'skohozyajstvennyh zemel'/ I. P. Ajdarov, A. I. Golovanov, Yu. N. Nikol'skij– M.: Agropromizdat, 1990 – 60 s.
3. Agrohimiya. Uchebnik/V.G. Mineev, V.G. Sychev, G.P. Gamzikov i dr.; pod red. V.G. Mineeva. - M.: Izd-vo VNIIA im. D.N. Pryanishnikova, 2017. — 854 s.
4. Golovanov, A.I. Melioraciya zemel' / A.I. Golovanov, I.P. Ajdarov, M.S. Grigorov [i dr.]; Pod red. A.I. Golovanova. - M.: KolosS, 2011. - 824 s. - ISVN 978-5-9532-0752-2.
5. Dobrachev Yu.P. Rezul'taty prognozirovaniya urozhajnosti i srokov sozrevaniya ozimoy psheicy v krasnodarskom krae // Vestnik sel'skohozyajstvennoj nauki. 1985. № 8. S. 62.
6. Kayumov M.K. Programmirovaniye produktivnosti polevyh kul'tur: Spravochnik/ M.K. Kayumov. – 2-e izd., pererab. i dop. - M.:Rosagropromizdat, 1989. – 368 s.
7. Maslov B.S. Itogi vnedreniya programmirovaniya urozhayev sel'skohozyajstvennyh kul'tur na oroshaemyh zemlyah/ B.S.Maslov, A.G. Galushkin, Yu.P. Dobrachev, Yu.S. Puninskij // V sbornike: Tekhnologiya orosheniya i programmirovaniya urozhaya. Sbornik nauchnyh trudov. Moskva, 1986. S. 11-15.
8. Obrazcov A.S. O nauchnyh osnovah prognozirovaniya i programmirovaniya urozhaya (sostoyanie i perspektivy issledovaniy) / A.S.Obrazcov, V.M. Kovalev, Yu.P. Dobrachev, V.G. Golovatyj A.I., Zhivlov // Sel'skohozyajstvennaya biologiya. 1980. T. 15. № 6. S. 820.
9. Osin A.A. Programmirovaniye urozhajnosti polevyh kul'tur / A.A. Osin, V.S. Osina, V.V.Kolomejchenko // V sb.: Produkcionnye processy i ustojchivost' rastenij. - Orel, 2017. S. 228-243.
10. Pylenok P. I. Agromeliorativnoe prirodoopol'zovanie. Nauchno-tekhnologicheskie i ekologicheskie osnovy: monografiya.- M.: VNIIGiM 2022– 215 s. DOI: 10.37738/VNIIGIM.2022.94.88.001.
11. Pylenok P. I. Prirodoohrannyye meliorativnyye rezhimy i tekhnologii/ P.I. Pylenok, I.V. Sidorov. – M, Rossel'hozakademiya, 2004. -323 s.
12. Pylenok P. I., Resursosberegayushchaya tekhnologiya uvlazhneniya osushaemyh torfyanyh pochv drenazhnymi vodami / P. I. Pylenok, R.O. Efremov // Vestnik meliorativnoj nauki. 2024. № 1. S. 37-4

13. Solov'ev A.V. K voprosu teoreticheskikh osnov programmirovaniya urozhaev sel'skohozyajstvennykh kul'tur // Vestnik Rossijskogo gosudarstvennogo agrarnogo zaochnogo universiteta. 2023. № 44 (49). S. 87-91.
14. Shatilov I.S. Nauchnye osnovy programmirovaniya urozhaev sel'skohozyajstvennykh kul'tur / I.S. Shatilov, M.K. Kayumov. - M.: Kolos, 1978 - 335 s.
15. Shahova O.A. Programmirovaniye urozhaev sel'skohozyajstvennykh kul'tur v usloviyah severnogo Zaural'ya // Mir Innovacij. 2020. № 4. S. 34-39.

*Пыленок Петр Иванович, доктор техн. наук, ст. науч. сотрудник, доцент  
Главный научн. сотрудник - Мещерский филиал, г. Рязань*

*Ефремов Руслан Олегович, инженер, аспирант ФГБНУ «ФНЦ ВНИИГиМ им.  
А.Н. Костякова»*











התאמה בין התוצאות של המבחנים לבין המצב האמיתי של המערכת. המבחנים נערכו באמצעות שימוש במדגמים מייצגים, וכל תוצאה ניתנת לפרשנות בהתאם לשיטות הסטנדרטיות. המבחנים נערכו באמצעות שימוש במדגמים מייצגים, וכל תוצאה ניתנת לפרשנות בהתאם לשיטות הסטנדרטיות.

התאמה בין התוצאות של המבחנים לבין המצב האמיתי של המערכת. המבחנים נערכו באמצעות שימוש במדגמים מייצגים, וכל תוצאה ניתנת לפרשנות בהתאם לשיטות הסטנדרטיות. המבחנים נערכו באמצעות שימוש במדגמים מייצגים, וכל תוצאה ניתנת לפרשנות בהתאם לשיטות הסטנדרטיות.

התאמה בין התוצאות של המבחנים לבין המצב האמיתי של המערכת. המבחנים נערכו באמצעות שימוש במדגמים מייצגים, וכל תוצאה ניתנת לפרשנות בהתאם לשיטות הסטנדרטיות. המבחנים נערכו באמצעות שימוש במדגמים מייצגים, וכל תוצאה ניתנת לפרשנות בהתאם לשיטות הסטנדרטיות.

התאמה בין התוצאות של המבחנים לבין המצב האמיתי של המערכת. המבחנים נערכו באמצעות שימוש במדגמים מייצגים, וכל תוצאה ניתנת לפרשנות בהתאם לשיטות הסטנדרטיות. המבחנים נערכו באמצעות שימוש במדגמים מייצגים, וכל תוצאה ניתנת לפרשנות בהתאם לשיטות הסטנדרטיות.

УДК 631.611:631.431.1

4.1.5. Мелиорация, водное хозяйство и агрофизика (технические науки)

**Влияние способов заделки удобрений на плотность почвы и  
продуктивность озимой пшеницы**

**Виктор Александрович ШЕВЧЕНКО,**

**Алексей Малахович СОЛОВЬЕВ,**

**Галина Ивановна БОНДАРЕВА,**

**Наталья Павловна ПОПОВА,**

**Андрей Юрьевич КУЛЬЧЕВ**

ФГБНУ «ФНЦ ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова», Москва, Россия

**Аннотация.** Исследования выполнены в ООО «Ручьевское-1» Ржевского района Тверской области на повторно освоенных дерново-подзолистых землях легкосуглинистого гранулометрического состава. Опыты проведены на посевах озимой пшеницы в период с 2015 по 2019 г. г.

Установлено, что минимальная обработка обеспечивает достоверное разуплотнение только посевного слоя почвы 0–10 см, с которой отмечена сильная корреляционная сопряженность ( $r = 0,71...0,76$  ед.); отвальная вспашка способствует устойчивому снижению плотности пахотного горизонта 0–20 см ( $r = 0,82...0,87$  ед.), а чизелевание снижает плотность корнеобитаемого слоя 0–40 см ( $r = 0,74...0,79$  ед.). Максимальная урожайность зерна озимой пшеницы получена при внесении расчетных доз минеральных удобрений по фону чизелевания – 4,506 т/га.

**Ключевые слова:** мелиорация, дерново-подзолистая почва, механическая обработка почвы, плотность почвы, Нечерноземная зона.

**The effect of mechanical fertilization methods on soil density and productivity  
of winter wheat**

**Victor A. SHEVCHENKO,**

**Alexey M. SOLOVYOV,**

**Galina I. BONDAREVA,**

**Natalia P. POPOVA,**

**Andrey Yu. KULCHEV**

VNIIGiM named after A.N. Kostyakov, Moscow, Russia

**Abstract.** The research was carried out at «Ruchevskoye-I» in the Rzhevsky district of the Tver region on newly developed sod-podzolic lands of light loamy granulometric composition. The experiments were conducted on winter wheat crops in the period from 2015 to 2019.

It has been established that minimal tillage provides reliable decompression of only the sown soil layer of 0-10 cm, with which a strong correlation is noted ( $r = 0.71...0.76$ ); dump plowing contributes to a steady decrease in the density of the arable horizon of 0-20 cm ( $r = 0.82...0.87$ ), and chiseling reduces the density of the root layer of 0-40 cm ( $r = 0.74...0.79$ ). The maximum yield of winter wheat grain was obtained by applying calculated doses of mineral fertilizers according to the chiseling background – 4,506 t/ha.

**Keywords:** melioration, sod-podzolic soil, mechanical tillage, soil density, Non-chernozem zone.

**Введение.** Важнейшим условием повышения продуктивности сельскохозяйственных культур при возделывании на повторно осваиваемых деградированных землях Нечерноземной зоны является увеличения энергетического потенциала пахотного слоя, что достигается заделкой в корнеобитаемый горизонт соломисто-познивных остатков выращиваемых растений, а также всех видов органических и минеральных удобрений [1,2].

В поддержании энергетической устойчивости агроэкосистемы на таких землях важная роль отводится приемам механической обработки почвы, которые должны обеспечивать равномерное распределение по профилю

почвы поступающих органических и минеральных веществ, создавать оптимальные условия для нормализации питательного, температурного и водно-воздушного режимов, отвечающих биологическим требованиям сельскохозяйственных культур [3].

К важнейшим агрофизическим показателям почвенного плодородия, которые оказывают значительное влияние на рост, развитие и урожайность посевов, относится плотность почвы. Этот показатель имеет важное производственное значение, поскольку он определяет плотность твердой фазы, скважность, а также общий и продуктивный запас влаги в пахотном слое. Для оптимального формирования зерновой продуктивности озимой пшеницы плотность почвы должна находиться в интервале 1,05...1,30 г/см<sup>3</sup> [4].

**Цель исследований.** Изучить влияние способов механической заделки удобрений на плотность почвы осваиваемых земель и урожайность зерна озимой пшеницы в условиях Нечерноземной зоны России.

**Место и методика исследований.** Опыты проводили в I<sup>ой</sup> ротации плодосменного зернопропашного севооборота в период с 2015 по 2019 гг. на повторно освоенных землях ООО «Ручьевское-1» Ржевского района, Тверской области, вышедших из оборота в 1994 г. В 2011 г. были проведены культуртехнические мероприятия, восстановлена открытая мелиоративная система, выполнено раскисление почвы до рН 5,5 ед., дважды (2013 и 2014 гг.) осуществлен посев вико-овсяной смеси с заделкой её на сидерат для выравнивания плодородия осваиваемых земель. Агрохимическая характеристика почвы: содержание гумуса 1,76...1,78 мг/кг – очень низкое; P<sub>205</sub> 106..109 мг/кг – повышенное; K<sub>20</sub> 90...100 мг/кг – среднее; рН<sub>КС1</sub> 4,88... 5,00 ед. – слабокислая.

Расчет доз минеральных удобрений под запланированную урожайность (для озимой пшеницы-сорт Скипетр – 4,5 т/га) выполнен по методике М.К. Каюмова [5], которые вносили дробно: под основную обработку – 50%, при посеве – 25% и в подкормки – 25%. Жидкие стоки в дозе 80 м<sup>3</sup>/га заделывали

с помощью технологии гибких шланговых систем под предпосевную обработку. Твердую фракцию навоза с нормой 40 т/га распределяли по делянкам при помощи прицепа-разбрасывателя ПРТ–10. Все виды удобрений вносили по фону измельченных соломисто-пожнивных остатков предшественника и заделывали в пахотный слой осваиваемых земель тремя способами: дисковыми луцильниками на глубине 7–10 см, отвальными плугами на 18–20 см и чизельными орудиями на 27–30 см.

Жидкие стоки в среднем содержали: сухие вещества – 3,0%, азот общий – 0,1%; фосфор подвижный – 0,03 %; калий обменный – 0,28%; рН – 7,4 ед. Твердая фракция навоза имела: сухие вещества – 35...40%; азот общий – 0,54%; фосфор подвижный – 0,29%; калий обменный – 0,60 %; рН – 7,9 ед.

Опыт заложен в 4-х кратной повторности методом рандомизированных повторений. Площадь посевной делянки – 240 м<sup>2</sup>, учетной 180 м<sup>2</sup>.

Учет урожая проведен сплошным способом с каждой учетной делянки и пересчитан на стандартную влажность: для зерна – 14%, для побочной продукции – 16%. Статистическая обработка полученных данных осуществлена методом дисперсионного и корреляционного анализов в изложении Б.А. Доспехова [6].

**Результат исследований.** Изучена динамика плотности почвы за ротацию 5-ти польного севооборота на посевах озимой пшеницы, идущей после кукурузы на силос, при разных системах удобрения и способах их заделки. Результаты приведены в табл. 1, где числитель – исходное значение плотности почвы, а знаменатель – в конце ротации.

Установлено, что способы механической заделки удобрительных средств оказывают большее влияние на плотность почвы по слоям корнеобитаемого горизонта, чем система удобрения. Вместе с тем следует отметить, что максимальное снижение плотности почвы в посевном слое 0–10 см наблюдается при минимальной обработке дисковыми орудиями на глубину 7–10 см. Однако достоверное уменьшение данного показателя (-0,09–0,10 г/см<sup>3</sup>) характерно при заделке в качестве основного удобрения

органических отходов свиного комплекса в безопасных дозах. На контрольном варианте, где вносились только измельченные соломисто-пожнивные остатки предшественника (кукуруза на силос), а также при заделке расчетных доз минеральных удобрений на запланированную урожайность снижение плотности почвы в слое 0–10 см укладывается в статистическую погрешность опыта (-0,05...-0,06 г/см<sup>3</sup> при НСР<sub>05</sub>=0,06...0,07 г/см<sup>3</sup>).

Также установлено, что заделка всех видов удобрений дисковыми орудиями вызывает тенденцию увеличения плотности почвы по мере углубления почвенных горизонтов. Так, в слое 10–20 см плотность почвы возросла относительно исходного значения на 0,01...0,04 г/см<sup>3</sup>, в слое 20–30 см на 0,01...0,05 и в слое 30–40 см на 0,03...0,07 г/см<sup>3</sup> при НСР<sub>05</sub> = 0,7...0,9 г/см<sup>3</sup>.

На основании анализа данных, полученных по фону отвальной вспашки можно заключить, что при таком способе заделки соломисто-пожнивных остатков и удобрений отчетливое снижение плотности почвы характерно для пахотного слоя 0–20 см, которое составило: в слое 0–10 см - 0,03...-0,04 г/см<sup>3</sup> и в слое 10–20 см -0,01...-0,04 г/см<sup>3</sup>. В слое 20–30 см уменьшение данного показателя на -0,04 г/см<sup>3</sup> обнаружено лишь при заделке твердой фракции навоза, в то время как внесение жидких стоков свиноводческого комплекса и расчетных доз минеральных удобрений способствовало увеличению плотности почвы на 0,01...0,02 г/см<sup>3</sup> по сравнению с первоначальным показателем.

**Таблица 1. Комплексное влияние способов механической заделки и удобрений на плотность почвы (г/см<sup>3</sup>)**

Система удобрения (фактор А)	Способ заделки (фактор В)											
	Минимальная обработка на 7–10 см				Отвальная вспашка на 18–20 см				Чизелевание на 27–30 см			
	0-10	10-20	20-30	30-40	0-10	10-20	20-30	30-40	0-10	10-20	20-30	30-40
1. Контроль без удобрений	1,24	1,36	1,39	1,42	1,24	1,36	1,39	1,42	1,24	1,36	1,39	1,42
	1,18	1,40	1,44	1,49	1,21	1,32	1,42	1,45	1,22	1,34	1,36	1,40

2. Расчетные дозы минеральных удобрений +P <sub>10</sub> при посеве		$\frac{1,23}{1,18}$	$\frac{1,39}{1,40}$	$\frac{1,40}{1,44}$	$\frac{1,43}{1,50}$	$\frac{1,23}{1,20}$	$\frac{1,39}{1,36}$	$\frac{1,40}{1,42}$	$\frac{1,43}{1,45}$	$\frac{1,23}{1,22}$	$\frac{1,39}{1,37}$	$\frac{1,40}{1,39}$	$\frac{1,43}{1,40}$
3. Жидкие стоки 80 м <sup>3</sup> /га +P <sub>10</sub> при посеве		$\frac{1,27}{1,17}$	$\frac{1,37}{1,38}$	$\frac{1,39}{1,42}$	$\frac{1,46}{1,49}$	$\frac{1,27}{1,23}$	$\frac{1,37}{1,36}$	$\frac{1,39}{1,40}$	$\frac{1,46}{1,47}$	$\frac{1,27}{1,23}$	$\frac{1,37}{1,35}$	$\frac{1,39}{1,38}$	$\frac{1,46}{1,43}$
Твердая фракция навоза 40 т/га +P <sub>10</sub> при посеве		$\frac{1,26}{1,17}$	$\frac{1,36}{1,37}$	$\frac{1,42}{1,43}$	$\frac{1,45}{1,48}$	$\frac{1,26}{1,22}$	$\frac{1,36}{1,34}$	$\frac{1,42}{1,38}$	$\frac{1,45}{1,45}$	$\frac{1,26}{1,23}$	$\frac{1,36}{1,32}$	$\frac{1,42}{1,36}$	$\frac{1,45}{1,39}$
НСР <sub>05</sub>	Для А	0,07	0,08	0,08	0,09								
	Для В	0,06	0,07	0,07	0,08								
	Для АВ	0,11	0,13	0,13	0,15								

В слое 30–40 см при отвальной вспашке повышение плотности почвы отмечено по всем фонам заделки удобрений (+0,01...+0,03 г/см<sup>3</sup>) за исключением внесения твердой фракции навоза, где данный показатель остался на уровне исходного значения.

Применение глубокого безотвального рыхления на 27–30 см с помощью чизелевания обеспечивает уменьшение плотности почвы по всему корнеобитаемому слою. Так, на контрольном варианте снижения составило в пахотном горизонте 0–20 см -0,02 г/см<sup>3</sup>, а в подпахотном 20–40 см -0,02...-0,03 г/см<sup>3</sup>; при заделке расчетных доз минеральных удобрений, соответственно -0,01...-0,02 и -0,01...-0,03 г/см<sup>3</sup> при внесении жидких стоков -0,02...-0,04 и -0,01...-0,03 г/см<sup>3</sup>; при запашке твердой фракции навоза -0,03...-0,04 и -0,04...-0,06 г/см<sup>3</sup>.

Следовательно, наибольшее положительное влияние на снижение плотности подпахотного слоя осваиваемых залежных земель оказывает чизелевание по фону внесения твердой фракции навоза.

На основании расчета коррелятивной зависимости между плотностью корнеобитаемого слоя и системой удобрения доказано, что глубина заделки

удобрительных средств оказывает различное влияние на степень сопряженности между ними.

Наибольшее значение в оптимизации плотности почвы корнеобитаемого слоя по фону изученных систем удобрения оказывает способ заделки удобрений. Так, при использовании минимальной обработки сильная степень сопряженности обнаружена лишь в посевном слое 0–10 см ( $r = 0,71...0,76$  ед.), в то время как в нижележащих почвенных горизонтах она находилась на уровне слабой отрицательной зависимости ( $r = -0,08...-0,12$  ед.)

Применение отвальной вспашки обеспечивает сильную положительную коррелятивную зависимость лишь в пахотном слое 0–20 см ( $r = 0,82...0,87$  ед.), в то время как в подпахотном слое она снизилась до  $r = 0,10...0,25$  ед.

Чизельная обработка способствует разуплотнению всего корнеобитаемого слоя 0–40 см при  $r = 0,74...0,79$  ед.

Минимальная урожайность зерна озимой пшеницы в среднем за ротацию севооборота получена на контрольном варианте без внесения удобрений при минимальной обработке – 1,506 т/га. По мере углубления обработки отмечена тенденция увеличения урожайности, которая составила 1,552 т/га на фоне традиционной отвальной вспашки (+0,046 т/га к минимальной) и 1,578 т/га с применением чизелевания (+0,072 т/га), что при  $НСР_{05} = 0,211$  т/га является недостоверной величиной.

Таким образом можно заключить, что продуктивность посевов озимой пшеницы, при всех способах обработки почвы в значительной степени зависит от системы удобрения. Так, по фонам изученных обработок урожайность зерна при разных уровнях минерального питания растений увеличилась относительно контроля в 2,5...2,9 раза, что во всех случаях явилось существенной прибавкой. Среди способов обработки лучшие результаты достигнуты от применения чизелевания на глубину 27–30 см, однако достоверных различий между вариантами заделки удобрительных средств в пахотный горизонт осваиваемых земель нами не установлено,

поскольку не была достигнута оптимальная плотность пахотного (1,1...1,2 г/см<sup>3</sup>) и подпахотного (1,3...1,4 г/см<sup>3</sup>) слоев почвы.

В табл. 2 приведены результаты влияния способов заделки и удобрений на плотность слоя почвы 0–40 см (знаменатель) и урожайность зерна озимой пшеницы (числитель). В среднем за ротацию севооборота максимальная урожайность зерна стандартной влажности получена при её возделывании с внесением расчетных доз минеральных удобрений по фону чизелевания – 4,506 т/га. При такой же системе удобрения, но с применением минимальной обработки дисковыми орудиями урожайность зерна составила 4,317 т/га (-0,189 т/га), а с использованием отвальной вспашки – 4,467 т/га (-0,039 т/га к чизельной обработке), что при  $НСР_{05} = 0,211$  т/га укладывается в статистическую погрешность опыта.

Внесение в качестве основного удобрения жидких стоков свиноводческого комплекса в дозе 80 м<sup>3</sup>/га в сочетании с припосевным внесением Р<sub>10</sub> кг д. в./га позволило также получить высокую урожайность зерна этой культуры при их заделке чизельными орудиями – 4,237 т/га. При заделке твердой фракции навоза чизельными орудиями урожайность составила – 4,039 т/га, что на 0,095 т/га выше, чем от применения отвальной вспашки и на 0,201 т/га по сравнению с минимальной обработкой. Тем не менее, существенной разницы между заделкой жидких стоков и внесением под основную обработку почвы твердой фракции навоза не установлено, поскольку при всех способах обработки отклонения по урожайности зерна составили -0,185...-0,209 т/га, что соответствует ошибке опыта.

Таблица 2. Влияние способов механической заделки и удобрений на плотность слоя почвы 0–40 см (г/см<sup>3</sup>) и урожайность зерна озимой пшеницы (т/га)

Система удобрения (фактор А)	Способы заделки (фактор В)		
	Минимальная обработка на 7-10 см	Отвальная вспашка на 18-20 см	Чизелевание на 27-30 см

1. Контроль (без удобрений)		$\frac{1,38}{1,506}$	$\frac{1,35}{1,552}$	$\frac{1,33}{1,578}$
2. Расчеты дозы минеральный удобрений + P <sub>10</sub> при посеве		$\frac{1,38}{4,317}$	$\frac{1,36}{4,467}$	$\frac{1,35}{4,506}$
3. Жидкие стоки 80 м <sup>3</sup> /га + P <sub>10</sub> при посеве		$\frac{1,37}{4,047}$	$\frac{1,37}{4,112}$	$\frac{1,35}{4,237}$
4. Твердая фракция навоза + P <sub>10</sub> при посеве		$\frac{1,36}{3,838}$	$\frac{1,35}{3,944}$	$\frac{1,33}{4,039}$
НСР <sub>05</sub>	Для А	0,250		
	Для В	0,093		
	Для АВ	0,305		

На основании расчета коррелятивной зависимости в условиях Нечерноземной зоны с достаточной влагообеспеченностью не установлено достоверной степени сопряженности между плотностью корнеобитаемого слоя 0–40 см и урожайностью зерна озимой пшеницы ( $r = 0,11 \dots 0,18$  ед.). По нашим расчетам зерновая продуктивность этой культуры зависит в основном от обеспеченности посевов доступными формами азота, поскольку коэффициент корреляции между продуктивностью пшеницы и обеспеченностью посевов доступным азотом в среднем по фонам заделки составляет  $0,76 \dots 0,79$  ед.

### **Выводы**

1. При освоении малопродуктивных дерново-подзолистых земель Нечерноземной зоны, легкосуглинистых по гранулометрическому составу установлено, что способ механической заделки удобрений оказывает более значимое положительное влияние на разуплотнение корнеобитаемого слоя, чем система удобрения. При этом максимальное снижение плотности посевного слоя 0–10 см ( $-0,05 \dots -0,10$  г/см<sup>3</sup>) отмечено при минимальной обработке дисковыми орудиями на глубину 7–10 см, в то время как применение отвальной вспашки на 18–20 см обеспечивает уменьшение плотности пахотного горизонта на  $-0,01 \dots -0,04$  г/см<sup>3</sup>, а чизелевание

способствует разуплотнению всего корнеобитаемого слоя на  $-0,01\dots-0,02$  г/см<sup>3</sup> относительно исходного значения.

2. Наиболее положительное влияние на снижение плотности корнеобитаемого слоя 0–40 см оказывает чизельная обработка по фону внесения твердой фракции навоза, при которой установлена сильная степень сопряженности ( $r = 0,74\dots0,79$  ед.).

3. Максимальная урожайность зерна озимой пшеницы стандартной влажности получена при её возделывании с внесением расчетных доз минеральных удобрений по фону чизелевания – 4,506 т/га. Тем не менее, зерновая продуктивность этой культуры зависит в основном от обеспеченности посевов доступными формами азота, между которыми установлено наличие сильной корреляционной зависимости ( $r = 0,76\dots0,79$  ед.).

#### **Список источников**

1. Вовлечение в производственный цикл выбывших из оборота земель сельскохозяйственного назначения Нечерноземной зоны: научно-практические рекомендации / В. А. Шевченко, А. М. Соловьев, Г. И. Бондарева [и др.]. — М.: ФНЦ ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова, 2023. — 20 с. — ISBN 978-5-907464-48-3.

2. Кирейчева Л.В., Хохлова О.Б. Оценка энергетического ресурса деградированных почв сельскохозяйственных угодий // Агрехимический вестник. — 2019. — №3. — С. 21-27

3. Шевченко В.А., Матюк Н.С., Соловьев А.М., Бондарева Г.И., Попова Н.П. Регулирование баланса потоков биогенных элементов в агроэкосистемах осваиваемых и старопахотных земель Нечерноземной зоны. — М.: ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова. — 2022. — 161 с.

4. Максименко В.П. Комплексная мелиорация уплотненных почв на орошаемых землях / В.П. Максименко. — М.: ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова, 2022. — 277 с. — ISBN 978-5-907464-16-2.

5. Каюмов М.К. Справочник по программированию урожаев. — М.: Россельхозиздат. — 1977. — 188 с.

6. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). — 6-е изд., стереотип. — М.: ИД Альянс, 2011. — 352 с., ил.

По вопросам оформления и редактирования статьи: [andreikulchev@yandex.ru](mailto:andreikulchev@yandex.ru)

+7 (903) 115-51-04 Кульчев Андрей Юрьевич



?????????: ?????????? ?????????????? ?? ??????? 7–10 ??, ??????????? ??????? ?? 18–20 ?? ?  
?????????? ?????????? ?? 27–30 ??.

????? ???? ? ?????? ??????????: ????? ????????? – 3,0%, ??? ????? – 0,1%; ?????  
????????? – 0,03 %; ????? ?????????? – 0,28%; ?? – 7,4 ??. ?????? ??????? ?????? ??????:  
????? ?????????? – 35...40%; ??? ?????? – 0,54%; ?????? ?????????? – 0,29%; ?????? ?????????? –  
0,60 %; ?? – 7,9 ??.

???? ??????? ? 4-? ?????? ?????????????? ??????? ?????????????????????? ??????????. ???????  
????????????????? – 240 ?<sup>2</sup>, ??????? 180 ?<sup>2</sup>.

???? ?????? ?????????? ?????????? ?????????? ? ?????? ?????????? ??????? ? ??????????? ?  
????????????????? ??????????: ?? ?????? – 14%, ?? ?????????? ?????????? – 16%. ??????????????????  
????????????? ?????????? ?????? ?????????????????? ??????? ?????????????????? ? ??????????????????  
????????? ? ?????????? ??.? ?????????? [6].

**?????????? ????????????????.** ?????? ?????????? ?????????? ?????? ?? ??????? 5-? ?????????  
????????????? ?? ?????????? ??????????, ?????? ?????? ?????????? ?? ?????, ?? ?????? ??????????  
????????????? ? ?????????? ?? ??????. **????????????? ?????????? ? ????. 1, ?? ?????????? – ??????????**  
**????????? ?????????? ?????, ? ?????????? – ? ??????????**.

?????????????, ?? ?????? ?????????????? ??????? ?????????????????? ??????? ?????????? ???????  
????????? ?? ?????????? ?????? ?? ?????? ?????????????????? ??????????, ?? ?????? ??????????.  
????? ? ?? ?????? ??????????, ?? ?????????????? ?????????? ?????????? ?????? ? ?????????? ?????  
0–10 ?? ?????????? ?? ?????????????? ?????????? ?????????? ?????????? ?? ??????? 7–10 ??.  
????? ?????????????? ?????????? ??????? ?????????????? (-0,09–0,10 ?/?<sup>3</sup>) ?????????????? ??  
????????? ? ?????????? ?????????? ?????????? ?????????? ?????????? ?????????? ?????????? ??????????  
?????. ?? ?????????????? ?????????, ?? ?????????? ?????? ?????????????? ??????????-?????????  
????????? ?????????????????? (????????? ?? ?????), ? ?????? ?? ?????????? ?????????? ?? ??????????????  
????????? ?? ?????????????????? ?????????? ?????? ?????????? ?????? ? ????? 0–10 ??  
????????????? ? ?????????????????? ?????????????? ?????? (-0,05...-0,06 ?/?<sup>3</sup> ?? ??<sub>05</sub>=0,06...0,07  
?/?<sup>3</sup>).

????? ??????????????, ?? ?????? ?????? ?????? ?????????? ?????????? ?????????? ?????????? ??????????  
????????????? ?????????? ?????? ?? ?????? ?????????????? ?????????? ?????????? ??????. ??, ? ????? 10–20 ??  
????????? ?????? ?????????? ?????????? ?????????? ?????????? ?? 0,01...0,04 ?/?<sup>3</sup>, ? ?????  
20–30 ?? ?? 0,01...0,05 ? ? ????? 30–40 ?? ?? 0,03...0,07 ?/?<sup>3</sup> ?? ??<sub>05</sub> = 0,7...0,9 ?/?<sup>3</sup>.

?? ?????????? ?????????? ?????????, ?????????? ?? ?????? ?????????? ?????????? ?????????? ??????????  
????? ?????? ?????? ?????????????-????????? ?????????? ? ?????????? ?????????? ??????????  
????????? ?????? ?????????? ?????? ?????? ?????? 0–20 ??, ??????? ??????????: ? ????? 0–10 ?? -

0,03...-0,04  $\mu/\mu^3$  ? ? ??? 10-20 ?? -0,01...-0,04  $\mu/\mu^3$ . ? ??? 20-30 ?? ?????????? ???????  
 ?????????? ?? -0,04  $\mu/\mu^3$  ?????????? ??? ???? ?????????? ?????????? ?????????? ? ???? ???? ????  
 ?????????? ?????? ?????? ?????????????????? ?????????? ? ?????????? ??? ?????????????? ??????????  
 ?????????????????? ?????????????? ?????????????? ?????? ?? 0,01...0,02  $\mu/\mu^3$  ?? ?????????? ?  
 ?????????????????? ??????????????

**???????? 1. ?????????????? ?????????? ?????????? ?????????? ?????????? ? ?????????? ?? ??????????**  
**????? ( $\mu/\mu^3$ )**

???????? ?????????? (?????? ?)	?????? ??????? (?????? ?)									
	????????????? ?????????? ?? 7-10 ??				????????????? ?????????? ?? 18-20 ??				????????????? ??	
	0-10	10-20	20-30	30-40	0-10	10-20	20-30	30-40	0-10	10-20
1. ?????????? ??? ?????????????	1,24 1,18 	1,361,40	1,391,44 	1,421,49	1,241,21	1,361,32	1,39 1,42	1,42 1,45	1,24 1,22	1,36 1,34
2. ?????????? ??? ????????????? ?????????? +? <sub>10</sub> ??? ??????	1,23 1,18	1,391,40	1,401,44	1,431,50	1,231,20	1,391,36	1,40 1,42	1,43 1,45	1,23 1,22	1,39 1,37
3. ?????? ????? 80 $\mu^3$ /? +? <sub>10</sub> ??? ??????	1,27 1,17	1,371,38	1,391,42	1,461,49	1,271,23	1,371,36	1,39 1,40	1,46 1,47	1,27 1,23	1,37 1,35
???????? ?????????? ?????? 40 $\mu/\mu^3$ +? <sub>10</sub> ??? ??????	1,26 1,17	1,361,37	1,421,43	1,451,48	1,261,22	1,361,34	1,42 1,38	1,45 1,45	1,26 1,23	1,36 1,32
?? <sub>05</sub> ??? ?	0,07	0,08	0,08	0,09						
?? ?	0,06	0,07	0,07	0,08						
?? ?	0,11	0,13	0,13	0,15						

? ??? 30-40 ?? ?? ?????????? ?????????? ?????????? ?????????? ?????????? ???? ?????????? ????  
 ?????????? ?????????? (+0,01...+0,03  $\mu/\mu^3$ ) ?? ?????????? ?????????? ?????????? ?????????? ???????,  
 ??? ?????? ?????????????? ?????????? ? ?????????? ?????????? ??????????

????????????? ?????????????? ?????????????????? ?????????? ?? 27-30 ?? ? ?????????? ??????????????  
 ?????????????????? ?????????????????? ?????????????????? ?????? ?? ?????? ?????????????????????????????? ???? ???? ????  
 ?????????? ?????????? ?????????? ? ?????????? ?????????? 0-20 ?? -0,02  $\mu/\mu^3$ , ? ? ??????????????  
 20-40 ?? -0,02...-0,03  $\mu/\mu^3$ ; ??? ?????????? ?????????? ??? ?????????????????? ??????????????,  
 ?????????????????? -0,01...-0,02 ? -0,01...0,03  $\mu/\mu^3$  ??? ?????????? ?????????? ?????????? -0,02...-0,04 ? -  
 0,01...-0,03  $\mu/\mu^3$ ; ??? ?????????? ?????????? ?????????? ?????????? -0,03...-0,04 ? -0,04...-0,06  $\mu/\mu^3$ .



התוצאה של החישוב היא  $-4,506$  ש"ח. החישוב נעשה על ידי חיבור כלל הוצאות הפיקוד (כולל הוצאות הפיקוד הממומן) פחות כלל הכנסות הפיקוד (כולל הכנסות הפיקוד הממומן). החישוב נעשה לפי הנתונים הבאים:

הכנסות הפיקוד (כולל הכנסות הפיקוד הממומן)  $4,317$  ש"ח ( $-0,189$  ש"ח), הוצאות הפיקוד (כולל הוצאות הפיקוד הממומן)  $-4,467$  ש"ח ( $-0,039$  ש"ח) וכן  $r_{05} = 0,211$  ש"ח.

התוצאה של החישוב היא  $80$  ש"ח. החישוב נעשה על ידי חיבור כלל הוצאות הפיקוד (כולל הוצאות הפיקוד הממומן) פחות כלל הכנסות הפיקוד (כולל הכנסות הפיקוד הממומן). החישוב נעשה לפי הנתונים הבאים:

הכנסות הפיקוד (כולל הכנסות הפיקוד הממומן)  $10$  ש"ח, הוצאות הפיקוד (כולל הוצאות הפיקוד הממומן)  $-4,237$  ש"ח, הכנסות הפיקוד הממומן  $-4,039$  ש"ח, הוצאות הפיקוד הממומן  $0,095$  ש"ח, וכן  $r_{10} = 0,201$  ש"ח.

התוצאה של החישוב היא  $-0,185$  עד  $-0,209$  ש"ח, וכן  $r_{05} = 0,211$  ש"ח.

**2. חישוב ההוצאות הפיקודיות והכנסות הפיקודיות (ש"ח) (ר/ר<sup>3</sup>)**

תיאור (ש"ח)	הוצאות פיקודיות (ש"ח)		
	7-10	18-20	27-30
1. הוצאות פיקוד (כולל הוצאות פיקוד ממומן)	1,381,506	1,351,552	1,331,578
2. הוצאות פיקוד ממומן + $r_{10}$ הוצאות פיקוד	1,384,317	1,364,467	1,354,506
3. הוצאות פיקוד $80$ ש"ח + $r_{10}$ הוצאות פיקוד	1,374,047	1,374,112	1,354,237
4. הוצאות פיקוד ממומן + $r_{10}$ הוצאות פיקוד	1,363,838	1,353,944	1,334,039
$r_{05}$ הוצאות פיקוד		0,250	
הוצאות פיקוד		0,093	
הוצאות פיקוד		0,305	

התוצאה של החישוב היא  $0-40$  ש"ח. החישוב נעשה על ידי חיבור כלל הוצאות הפיקוד (כולל הוצאות הפיקוד הממומן) פחות כלל הכנסות הפיקוד (כולל הכנסות הפיקוד הממומן). החישוב נעשה לפי הנתונים הבאים:



## Оценка эффективности использования беспилотных авиационных систем при мониторинге мелиоративных объектов

### Assessment of the using efficiency of unmanned aerial systems in monitoring of reclamation facilities

М.С. Зверьков, С.С. Смелова, С.С. Турапин, Т.Г. Степанова

M.S. Zverkov, S.S. Smelova, S.S. Turapin, T.G. Stepanova

**Ключевые слова:** мелиорация, беспилотные авиационные системы, мониторинг

**Keywords:** land reclamation, unmanned aircraft systems, monitoring

**Аннотация.** В статье рассматривается вопрос разработки методического подхода и перечня параметров оценки эффективности использования беспилотных авиационных систем при мониторинге мелиоративных объектов. Предлагаемая интегральная оценка позволит получить расчетным методом количественные параметры возможности решения частных целевых задач с учетом потребности мелиоративных организаций.

**Abstract.** The issue of developing a methodological approach and a list of parameters for assessing the effectiveness of the use of unmanned aerial systems in monitoring reclamation facilities is considered in the article. The proposed integral assessment will make it possible to obtain quantitative estimates of the possibility of solving private target tasks by calculation, taking into account the needs of reclamation organizations.

**Введение.** Применение беспилотных авиационных систем (БАС) различного класса и целевого назначения в мелиорации в настоящее время является особенно актуальным и имеет практическую значимость в связи с активной цифровизацией отрасли. В научной и специальной литературе наиболее часто рассматривается вопрос практического многофункционального использования БАС при решении ряда задач как оценки технического и экологического состояния мелиоративных систем и отдельно расположенных гидротехнических сооружений, так и при мониторинге и оценке продуктивности сельскохозяйственных культур на мелиорируемых угодьях. При этом мало освещенным остается вопрос интегральной оценки эффективности решения как отдельных, так и набора целевых задач с применением БАС с учетом их приоритетности и ряда других факторов. Цифровизация отрасли для автоматизации многих рутинных задач мониторинга требует применение различных систем дистанционного зондирования Земли, в том числе ближнего и БАС [4, 5, 6, 7, 8]. Так, в работе [3] оценку эффективности применения БАС рекомендуется проводить с учетом передачи оперативной информации мобильным устройствам, особенностей оптико-электронной системы цифрового аэрофотосъемочного оборудования, особенностей бортовой радиолокационной станции.

**Цель настоящей работы** заключалась в формулировании методического подхода и перечня параметров оценки эффективности использования БАС при мониторинге мелиоративных объектов.

**Материалы и методы исследований.** Для научно-технического поиска по проблематике статьи использовались базы данных «Российский индекс научного цитирования» (РИНЦ), Google Scholar, Scopus и фонды научно-технической библиотеки ФГБНУ ВНИИ «Радуга», отвечающих цели настоящей работы. Также применялся накопленный авторами практический опыт использования БАС при обследовании мелиоративных объектов в рамках государственного задания Минсельхоза России, выданного ФГБНУ ВНИИ «Радуга» в 2020–2022 гг.

Существенной особенностью процессов функционирования БАС является их случайность, вызываемая неполной определенностью условий, в которых эти процессы протекают, а также различными случайными отклонениями и ошибками, возникающими при сборе информации, выработке управляющих сигналов и их исполнении [1]. Таким образом, результат  $R$  функционирования БАС при мониторинге мелиоративных объектов является случайным и с количественной стороны характеризуется законами распределения параметров  $r_i$ , выражающих этот результат, т.е.:

$$R = \square_{i=1}^n r_i p_i,$$

где  $p_i$  – вероятность возникновения отклонения случайного параметра  $r_i$  эффективности функционирования БАС;  $i$  – порядковый номер случайного параметра;  $n$  – количество случайных параметров.

Сложность решения этой задачи заключается в необходимости определения вероятности  $p_i$  возникновения условий, при которых параметры  $r_i$  будут иметь отклонение от целевых значений. В исследовании [2] отмечается, что эффективная эксплуатация специализированных БАС обеспечивается рациональным выбором вариантов решения по подбору рабочих параметров. Поэтому в настоящей работе на предварительном этапе предлагается сравнительный метод оценки ключевых функциональных возможностей, параметров эксплуатации и обслуживания рассматриваемых БАС. В этом случае отпадает необходимость вычисления вероятности событий, которые влияют на эффективность работы БАС при мониторинге мелиоративных объектов.

На предварительном этапе, например, при выборе конкретного устройства из существующего парка БАС или при его формировании, авторы предлагают вычислять интегральную бальную оценку  $K$ , определяемую суммированием баллов  $k_i$  за каждый  $i$ -ый показатель эффективности. Общее количество параметров эффективности –  $n$ , тогда:

$$K = \sum_{i=1}^n k_i.$$

**Результаты и обсуждение.** При разработке методики оценки рекомендуется учитывать следующие  $i$ -ые из  $n$  показателей эффективности:

- наличие или отсутствие функциональной возможности передачи оперативной информации мобильным устройствам различного назначения (планшет, смартфон и др.), в том числе управление БПЛА, получение фото- и видеосигнала, фото- и видеофиксация ситуации в режиме онлайн;
- разрешающая способность штатного съемочного оборудования в режиме «true color» (естественные цвета), разрешение пикселя;
- необходимость геодезической привязки;
- возможность установки нейтрально-серых (в том числе с переменной плотностью) и других светофильтров (в том числе ультрафиолетовых и поляризационных) для повышения качества съемки, защиты объектива и др. целей;
- наличие или отсутствие возможности программирования полетного задания на этапе разработки индивидуального технического задания на обследование или мониторинг мелиоративного объекта, в том числе в оригинальном программном обеспечении для БАС и стороннем;
- штатная возможность определения всех показателей экологического и технического состояния мелиоративных систем и объектов согласно ГОСТ Р 70611-2022 «Мелиорация земель. Методика оценки дистанционными методами технического и экологического состояния», в том числе возможность съемки в различных спектральных каналах, а также соответствие функциональных возможностей БАС другим ключевым отраслевым нормативным правовым документам;
- расширенная возможность навигации с помощью бортовой ГНСС (англ. Global Navigation Satellite System – глобальной навигационной спутниковой системы), в том числе устанавливаемой на БАС дополнительно;
- возможность подключения штатной или установленной на БАС ГНСС к базовой сети станций (совокупности постоянно действующих спутниковых базовых станций, установленных на местности по определенной схеме и объединенных каналами коммуникаций) в режиме RTK (получение поправок и коррекция GPS-координат по базовым станциям) в целях проведения съемки с геодезической точностью и повышения качества создания ортофотоснимков;
- максимальная высота полета;
- максимальная дальность полета;
- максимальная площадь покрытия за один полет;
- ветроустойчивость;
- максимальное время эксплуатации до разряда батареи;
- возможность установки дополнительной полезной нагрузки, в том числе лидара для построения трехмерных карт и объектов;
- взлетная масса;
- эксплуатация в ночное время;
- эксплуатация в период с отрицательными температурами;
- эксплуатация в дождь и туман;

- возможность запуска и посадки БАС на необорудованных площадках, в том числе с руки оператора;
- необходимость оборудования взлетно-посадочных площадок для эксплуатации БАС;
- число операторов и обслуживающего персонала;
- необходимость оборудования специальных мест хранения БАС, в том числе специальных помещений (зданий);
- наличие или отсутствие штатной системы защиты БАС от падения при разрядке батареи;
- финансовые затраты на проведение единичного мероприятия мониторинга;
- финансовые затраты обслуживание БАС после единичного мониторинга;
- другие показатели.

Для использования данных параметров в расчете необходимо предварительно определить их значения (баллы). Возможны два варианта. Например, присвоение каждому показателю одного и того же значения или выделение специализированных и универсальных показателей для решения конкретных задач мониторинга мелиоративных объектов. В последнем случае потребуется оценивать весовые значения каждого  $i$ -ого показателя эффективности, учитывающие их вклад в решении поставленной задачи. В обоих случаях расчет может быть автоматизирован посредством электронных таблиц MsExcel или разработки программы для ЭВМ.

При расчете интегральной бальной оценки  $K_j$  для БАС с порядковым номером  $j$  учитываются все показатели, которые не равны 0, также рассчитывается интегральная оценка  $K_{j+1}$  для БАС с порядковым номером  $j+1$  и интегральная оценка для БАС с порядковым  $N$ , участвующих в подборе или определении той БАС, которая будет решать поставленную задачу мониторинга. Сравнивая полученные оценки, выбирают ту БАС, которая имеет наибольшее значение интегральной бальной оценки  $K_{res}$ , т.е.

$$K_{res} = K_j \geq K_{j+1}, \text{ или } K_{res} = K_j \geq K_N.$$

В общем случае оценка эффективности БАС может быть представлена в виде следующего алгоритма (см. рисунок). Расчет выполняется для выбранной группы БАС из существующего парка или из предварительного списка при его формировании. При этом для каждого из них вычисляются интегральные бальные оценки  $K_j$ , которые сравниваются между собой. Допускается, что на предварительном этапе оценки эффективности БАС значения  $K_j$  могут совпадать. В этом случае оба устройства считаются эффективными. На основе проведенного сравнения формируется список (картотека) БАС по степени их эффективности для решения задач мониторинга мелиоративных объектов. БАС с максимальным значением  $K_j$  может считаться универсальным.



**Алгоритм оценки эффективности БАС для мониторинга мелиоративных объектов**

### Заключение

Использование предлагаемого подхода для оценки эффективности БАС позволит уже на этапе формирования технического задания на мониторинг получить расчетным методом количественные оценки возможности решения частных целевых задач с учетом предполагаемого состава БАС (целевые нагрузки в виде камер, геодезических приемников, сканеров, комплекса средств связи и др.). Интегральная оценка эффективности БАС обеспечит для организаций, подведомственных

Депмелиорации Минсельхоза России, условия планирования и формирования рационального состава парка БАС, с учетом региональной специфики и структуры их государственного задания.

#### Библиографический список

1. Показатели эффективности беспилотного авиационного комплекса / А.С. Бенкафо // Системный анализ и прикладная информатика. 2014. № 1-3. С. 17–22. EDN UGLOFN.
2. Двухступенчатый метод оптимизации эффективности беспилотного авиационного комплекса озонметрических измерений / А. Б. г. Асланова // Информация и космос. – 2021. – № 2. – С. 117-121. – EDN BQPBYI.
3. Пантенков Д.Г. Методический подход к интегральной оценке эффективности применения авиационных комплексов с БПЛА. Часть 1. Методики оценки эффективности решения задач радиосвязи и дистанционного мониторинга // Труды учебных заведений связи. 2020. Т. 6. № 2. С. 60–78. doi: 10.31854/1813-324X-2020-6-2-60-78.
4. Кочарли С.А., Мустафаев М.Г., Ахмедзаде Э.М., Велиева З.М., Алиева Ф.Н. Спектральная отражательная способность почв Мильской степи Азербайджана в зависимости от их химических и физических свойств // Экология и строительство. 2025. № 1. С. 4–11. DOI: 10.35688/2413-8452-2025-01-001.
5. Оценка площади и объема полигона твердых бытовых отходов с использованием данных дистанционного зондирования Земли / Маклашин Д.И., Вагизов М.Р., Бобровская Р.М. // Экология и строительство. 2025. №2. doi: 10.35688/2413-8452-2025-02-005.
6. Смелова С.С. Алгоритм геоботанических исследований на мелиоративных объектах с использованием данных беспилотных летательных аппаратов // Экология и строительство. 2021. # 3. С. 9–16. DOI: 10.35688/2413-8452-2021-03-004.
7. Kondo S., Yoshimoto N., Nakayama Y. Farm Monitoring System with Drones and Optical Camera Communication // Sensors. 2024. Vol. 24, 6146. doi: 10.3390/s24186146.
8. Abderahman R., Alireza A., Karim R., Horst T. Drones in agriculture: A review and bibliometric analysis // Computers and Electronics in Agriculture. 2022. Vol. 198, 107017. doi: 10.1016/j.compag.2022.107017.

#### References

1. Pokazateli effektivnosti bespilotnogo aviatsionnogo kompleksa / A.S. Benkafo // Sistemnyi analiz i prikladnaya informatika. 2014. № 1-3. S. 17–22. EDN UGLOFN.
2. Dvukhstupenchatyi metod optimizatsii effektivnosti bespilotnogo aviatsionnogo kompleksa ozonometricheskikh izmerenii / A. B. g. Aslanova // Informatsiya i kosmos. – 2021. – № 2. – S. 117-121. – EDN BQPBYI.
3. Pantenkov D.G. Metodicheskii podkhod k integral'noi otsenke effektivnosti primeneniya aviatsionnykh kompleksov s BPLA. Chast' 1. Metodiki otsenki effektivnosti resheniya zadach radiosvyazi i distantsionnogo monitoringa // Trudy uchebnykh zavedenii svyazi. 2020. T. 6. № 2. S. 60–78. doi: 10.31854/1813-324X-2020-6-2-60-78.
4. Kocharli S.A., Mustafaev M.G., Akhmedzade E.M., Velieva Z.M., Alieva F.N. Spektral'naya otrazhatel'naya sposobnost' pochv Mil'skoi stepi Azerbaidzhana v zavisimosti ot ikh khimicheskikh i fizicheskikh svoistv // Ekologiya i stroitel'stvo. 2025. № 1. С. 4–11. DOI: 10.35688/2413-8452-2025-01-001.
5. Otsenka ploshchadi i ob"ema poligona tverdykh bytovykh otkhodov s ispol'zovaniem dannykh distantsionnogo zondirovaniya Zemli / Maklashin D.I., Vagizov M.R., Bobrovskaya R.M. // Ekologiya i stroitel'stvo. 2025. №2. doi: 10.35688/2413-8452-2025-02-005.
6. Smelova S.S. Algoritm geobotanicheskikh issledovaniy na meliorativnykh ob"ektakh s ispol'zovaniem dannykh bespilotnykh letatel'nykh apparatov // Ekologiya i stroitel'stvo. 2021. # 3. С. 9–16. DOI: 10.35688/2413-8452-2021-03-004.
7. Kondo S., Yoshimoto N., Nakayama Y. Farm Monitoring System with Drones and Optical Camera Communication // Sensors. 2024. Vol. 24, 6146. doi: 10.3390/s24186146.
8. Abderahman R., Alireza A., Karim R., Horst T. Drones in agriculture: A review and bibliometric analysis // Computers and Electronics in Agriculture. 2022. Vol. 198, 107017. doi: 10.1016/j.compag.2022.107017.

**Зверьков Михаил Сергеевич**, канд. техн. наук, ведущий научный сотрудник, ORCID: 0000000283484391, Scopus 57221661750, РИНЦ AuthorID: 751258; **Смелова Светлана Станиславовна**, канд. биол. наук, доцент, старший научный сотрудник, ORCID: 0009000917170026, Scopus 6504283625, РИНЦ AuthorID: 651060; **Турапин Сергей Сергеевич**, канд. техн. наук, врио директора; **Степанова Татьяна Георгиевна**, канд. техн. наук, ведущий научный сотрудник (Всероссийский НИИ систем орошения и сельскохозяйственного водоснабжения «Радуга», Московская область, Коломна).

**Zverkov Mikhail Sergeevich**, candidate of technical sciences, leading researcher, ORCID: 0000000283484391, Scopus 57221661750, РИНЦ AuthorID: 751258; **Smelova Svetlana Stanislavovna**, candidate of biological sciences, associate professor, senior researcher, ORCID: 0009000917170026, Scopus 6504283625, РИНЦ AuthorID: 651060; **Turapin Sergei Sergeevich**, candidate of technical sciences, acting director; **Stepanova Tatyana Georgievna**, candidate of technical sciences, leading researcher, (All-Russian Research Institute of Irrigation and Agricultural Water Supply Systems "Raduga," Moscow Region, Kolomna).







УДК 631.6

**ЦИФРОВИЗАЦИЯ СИСТЕМНОГО ВОДОРАСПРЕДЕЛЕНИЯ:  
ОПТИМИЗАЦИЯ, АВТОМАТИЗАЦИЯ, ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ**  
**Д.А. Рогачев**

**Аннотация.** Актуальность цифровой трансформации процесса водораспределения на межхозяйственных оросительных системах обусловлена потребностью практики в научно обоснованных методологических решениях по эффективному управлению водопользованием. Организация и проведение водопользования требуют также оперативности принятия решений и автоматизации рутинных вычислений и операций. Цель исследования: разработка и внедрение эффективных методов управления и технологических решений по рациональному распределению поливной воды между пользователями, учитывающих в напряженных природно – хозяйственных условиях интересы каждого из участников процесса водопользования. Материалом исследований служили: научные публикации и фондовые материалы, отчёты и др. сведения от организаций - разработчиков технологических решений по водопользованию и эксплуатационных организаций, нормативно-правовые акты, стандарты, экспертные заключения, интервью специалистов. В качестве приоритетных методов приняты: анализ, систематизация и обобщение информации по тематике НИР. Изучены информационные потоки водохозяйственных организации мелиоративного сектора АПК, выявлены проблемы управления водораспределением в сложных природно-хозяйственных условиях. Разработаны модели и алгоритмы для решения приоритетных задач водопользования, включая задачу рационального водораспределения при дефиците водных ресурсов с использованием многокритериальной модели в качестве функции цели. Реализована оптимизация модели методом эволюционно генетического программирования – одного из ведущих методов искусственного интеллекта. Создано специализированное программное обеспечение для автоматизированной системы управления водопользованием (АСУ «Водораспределение»). Тестирование АСУ на примере материалов службы эксплуатации Городищенской оросительной системы ФГБУ «Волгоградмелиоводхоз» показало рост эффективности водораспределения на 10% по сравнению с традиционными методами назначения управляющих воздействий.

**Ключевые слова:** цифровизация, оптимизация, автоматизация, искусственный интеллект, водораспределение

**DIGITALIZATION OF SYSTEM WATER DISTRIBUTION:  
OPTIMIZATION, AUTOMATION, ARTIFICIAL INTELLIGENCE**  
**D.A. Rogachev**

**Abstract.** The relevance of the digital transformation of the water distribution process in inter-farm irrigation systems is determined by the need for practice in scientifically based methodological solutions for effective water use management. The organization and conduct of water use also require prompt decision-making and automation of routine calculations and operations. The purpose of the study is to develop and implement effective management methods and technological solutions for the rational distribution of irrigation water between users, taking into account the interests of each participant in the water use process in stressful natural and economic conditions. The research materials included scientific publications and stock materials, reports, and other information from organizations developing technological solutions for water use and operating organizations, regulatory legal acts, standards, expert

opinions, and interviews with specialists. The following methods have been adopted as priority methods: analysis, systematization and generalization of information on research topics. The information flows of the water management organizations of the reclamation sector of the agro-industrial complex are studied, the problems of water distribution management in difficult natural and economic conditions are revealed. Models and algorithms have been developed to solve priority water use problems, including the problem of rational water distribution in case of water scarcity using a multi-criteria model as a goal function. The optimization of the model by the method of evolutionary genetic programming, one of the leading methods of artificial intelligence, is implemented. Specialized software has been created for the automated water management system (ACS "Water Distribution"). Testing of automated control systems using the example of materials from the Gorodishchenskaya irrigation system maintenance service of the Volgogradmeliovodkhoz Federal State Budgetary Institution showed a 10% increase in water distribution efficiency compared to traditional methods of assigning control actions.

**Keywords:** digitalization, optimization, automation, artificial intelligence, water distribution

**Введение.** В современном мире, где технологии стремительно развиваются и проникают во все сферы жизни, цифровизация становится ключевым фактором успеха и конкурентоспособности предприятия, организации, сектора экономики и т.п. структуры. Особую актуальность цифровая трансформация производства приобретает в сфере водопользования мелиоративного водохозяйственного комплекса, так как эффективность использования водных ресурсов является залогом успешности как экономики, так и экологии [1-3].

Цифровизация системного водораспределения дает возможность комплексного подхода к оптимизации, автоматизации и внедрению искусственного интеллекта в процессы управления водными ресурсами. Это направление объединяет передовые технологии и методы, направленные на повышение эффективности использования воды, снижение потерь и обеспечение устойчивого развития агропроизводства на орошении [4,5,].

Ключевым аспектом цифровизации системного водораспределения является оптимизация управления водопользованием. Она включает в себя анализ данных о водопотреблении, определение величины водозабора, формирование критериев эффективности водопользования, обеспечение своевременной и стабильной водоподачи пользователям, равноправное и справедливое распределение поливной воды между пользователями, назначение рациональных управляющих воздействий, выявление «узких мест» системы водораспределения и разработку мер по их устранению. Оптимизация позволяет снизить затраты на водоподачу и водоотвод, а также повысить качество предоставляемых услуг.

К следующему важному этапу цифровизации водораспределения относится автоматизация процессов назначения управляющих воздействий, что позволяет снизить влияние человеческого фактора на процессы принятия решений, повысить точность и оперативность управления водопользованием. Автоматизация предусматривает внедрение систем дистанционного управления, использование датчиков и систем мониторинга, а также разработку алгоритмов управления на основе искусственного интеллекта.

Искусственный интеллект (ИИ) представляет собой наиболее перспективное направление цифровизации водораспределения на межхозяйственных оросительных системах. Методы ИИ позволяют анализировать большие объёмы данных, выявлять закономерности и тенденции технологических процессов, а также прогнозировать поведение управляемых систем [13-15]. Цифровизация системного водораспределения имеет преимущества в части эффективности водораспределения перед традиционными методами управления водопользованием, в составе которого вышеуказанные инновационные подходы, как правило, не практикуются [6,7].

В работе представлены результаты проектирования, разработки, тестирования и апробации подсистемы «Водораспределение», полученные учеными ФГБНУ «Федеральный научный центр гидротехники и мелиорации им А.Н. Костякова» в составе исследований по созданию автоматизированной системы управления водопользованием государственных оросительных систем АСУ «Водопользование ОС».

**Материалы и методы.** Материалом исследований служили:

- научные публикации и статьи, посвящённые цифровизации систем водопользования, оптимизации технологических процессов водораспределения, автоматизации и применению искусственного интеллекта в данной области;
- отчёты и исследования отечественных и зарубежных организаций, занимавшихся вопросами водоподачи и водоотведения;
- нормативно-правовые акты и стандарты, регулирующие сферу водопользования в России и за рубежом;
- экспертные заключения и интервью специалистов в области цифровизации систем водораспределения.

В качестве методов исследований использованы: анализ литературных и фондовых материалов, а также нормативно – правовых актов по теме исследований; сравнительный анализ действующих подходов к цифровизации систем

водораспределения и примеров успешных проектов в данной области; систематизация и обобщение информации.

**Результаты и обсуждение.** Выполненные исследования и анализ методологических и технологических подходов к управлению системным водопользованием, сформированных в основном в 70-80 г. г. прошлого столетия, выявили необходимость их развития и совершенствования в соответствии с требованиями становления конкурентоспособного и устойчивого отечественного агропроизводства [2,8,9]. По мнению экспертов сферы мелиорации приоритетными направлениями трансформации управления водопользованием государственных оросительных систем должны стать: [2,4-5,10-11]

- учет изменившихся социально-экономических условий и отношений в агропромышленном секторе, сформировавшихся за последнее время. К ним относятся: изменение структуры собственности, внедрение новых технологий, усиление конкуренции, а также изменения в государственной политике и регулирование рынка;

- повышение достоверности и масштабов прогнозируемых параметров, служащих исходной информацией и данными для управления водопользованием: планируемая водообеспеченность оросительной системы, урожайность и структура орошаемых земель, затрат водохозяйственной организации и т. п. факторов;

- совершенствование и формирование новых подходов и методов, алгоритмов и процедур управления водораспределением, включая планирование водоподачи в условиях дефицита водных ресурсов. Последнее, практически не регламентируется действующими нормативно – методическими документами;

- разработка показателей и мультикритериальной целевой функции оценки эффективности технологических процессов и организации водопользования, интегрирующей монокритерии, обусловленные разнообразными, порой противоречивыми требованиями к оптимальности управления водопользованием различных аспектов его организации и функционирования: бизнеса, экономики, экологии; социума;

- реализация методов искусственного интеллекта для решения задач оптимизации и прогнозирования результатов и параметров управления водопользования, существенно повышающих точность расчетов и достоверность планируемых результатов;

- автоматизация процедур назначения управляющих воздействий, выполнения трудоемких вычислений, оформления отчетной документации, отсутствие которых

сдерживает использование эффективных, но трудоемких решений, и как следствие снижает производительность управленческой деятельности и качество эксплуатационных мероприятий.

Решение этих проблем достигается цифровой трансформацией управления водопользованием государственных оросительных систем, интерес к которой актуализировался в последнее время, в том числе и у специалистов ФНЦ «ВНИИГиМ им. А. Н. Костякова» [1,5,7,12]. Функциональная структура подсистемы «Водораспределение» автоматизированной системы АСУ «Водопользования ОС» (далее по тексту система «Водораспределение»), разработанная во ВНИИГиМ, позволяет:

- осуществлять планирование годовой/сезонной) и/или декадной/суточной водоподачи;
- оптимизировать распределение ограниченного объёма воды между потребителями, участками и отводами водопроводящей сети, водовыделами;
- получать оперативную информацию для эффективного управления процессом распределения воды;
- проводить аудит качества водораспределения и формировать детальные отчеты для повышения прозрачности и эффективности управления водными ресурсами.
- автоматизировать процесс работы с информацией, данными, документами, процедурами принятия управляющих воздействий;
- повысить производительность труда через автоматизацию рутинных задач и вычислений.

В условиях достаточной водообеспеченности планирование системного водораспределения выполняется согласно заявкам потребителей. Водораспределение в условиях дефицита воды осуществляется на основе экономико-математического оптимизационного моделирования с использованием методов искусственного интеллекта. Эффективно сбалансированное распределение водных ресурсов достигается последовательным улучшением решения с помощью генетического алгоритма, который имитирует эволюционные процессы. В качестве локальных критериев для многокритериальной функции цели оптимизационной задачи планирования приняты: валовая стоимость продукции растениеводства на орошении, площадь орошаемых земель, доход водохозяйственной организации [7]. Результаты работы модели визуализируются с помощью геоинформационной системы (ГИС),

интегрированной в АСУ, что позволяет оценить распределение воды на картографической основе. Предложенный подход обеспечивает комплексное решение проблем системного водораспределения, учитывая потребности и предпочтения всех участников процесса. Это способствует устойчивости агропроизводства на орошаемых землях. Алгоритм автоматизированного планирования водораспределения на межхозяйственной оросительной системе представлен на рисунке 1.



**Рисунок 1. - Алгоритм автоматизированного планирования системного водораспределения**

Программный комплекс «Водораспределение» обеспечивает системе функциональность, удобство использования, надежность, взаимодействие с внешними системами и устройствами, масштабируемость, адаптацию к изменениям объема данных и пользователей, быстрдействие, соответствие законодательству, гибкость и

т.п. свойства, отвечающие ключевым требованиям к работоспособности и интерфейсу автоматизированных систем.

Операции по планированию технологическими процессами водопользования ОС объединены в специализированные блоки, которые реализуют определенные этапы процесса управления. Выделены подготовительный блок, блок планирования годовой и сезонной водоподдачи; блоки декадного, оперативного и суточного водораспределения; справочный блок. Каждый из них имеет свои структурные разделы, интерфейс для функционирования и взаимодействия с пользователем и другими блоками системы.

Структурные элементы подготовительного этапа включают следующие разделы: определение площадей полива и норм орошения для культур, расчет сезонного потребления воды, анализ водообеспеченности, передача предварительных лимитов водоподдачи потребителям.

Этап годового /сезонного планирования представлен разделами: сбор, обобщение и анализ заявок на воду, балансовые расчеты водопользования с учетом лимитов водозабора и режима источника орошения, передача данных потребителям.

В составе этапа декадного/суточного планирования выделяются разделы: формирования заявок водопотребителей, мониторинг водоподдачи и планирование транзитов, выявление дополнительных источников воды, расчет водоподдачи по элементам инфраструктуры, информирование потребителей о плане водораспределения.

Укрупненная структура базы данных подсистемы «Водораспределение» на уровне объектов метаданных конфигурации 1С-Предприятие приведена в таблице.

Таблица . Структура объектов системы Водораспределение в конфигурации 1С-Предприятие

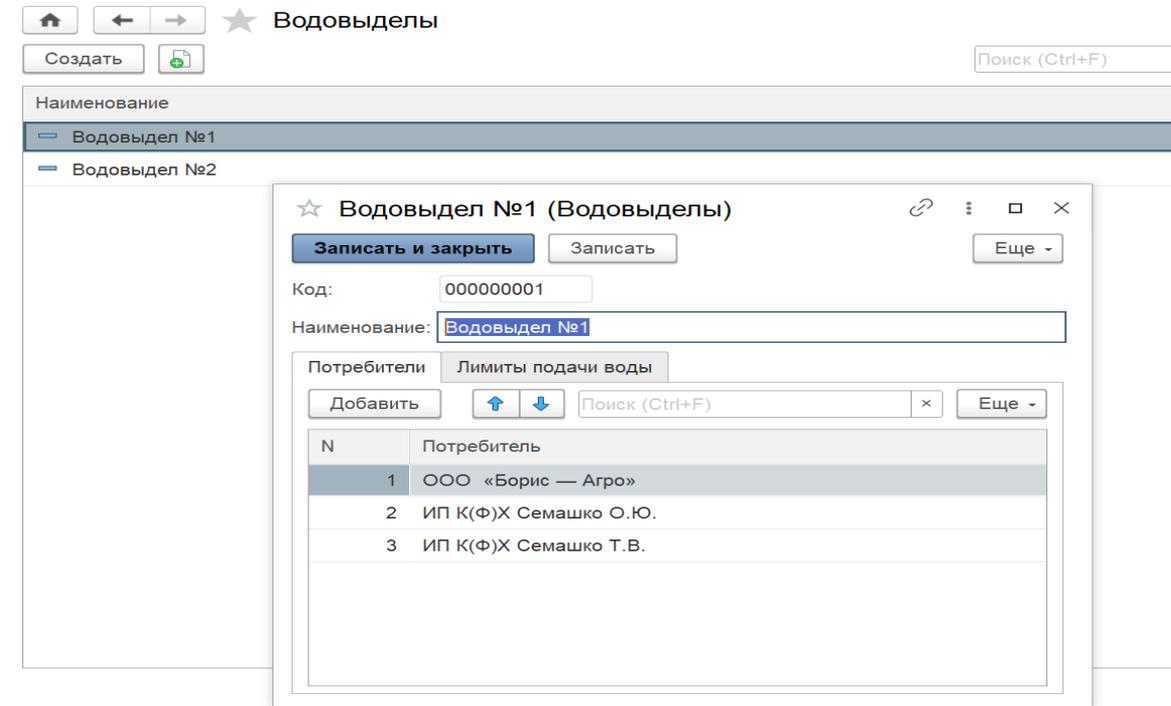
<b>Группа объектов / Объект</b>	<b>Тип объекта</b>
<b>Справочники</b>	
«Водовыделы»	Описывает структуру сети, связи орошаемых участков потребителей с водовыделами на оросительной системе, позволяет определять лимиты подачи воды по водовыделам и в целом по системе для установленных периодов планирования

«Периоды планирования водоподачи»	Хранит информацию о периодах планирования водоподачи: год, месяц, декада, день и т.п.
«Потребители»	Характеризует природно-хозяйственные условия хозяйств водопотребителей, перечень возделываемых культур; технико-экономические параметры орошения: площадь, структура орошаемых земель, оросительные нормы и пр.
«Культуры»	Позволяет собирать и хранить сведения об оросительных нормах, урожайности на поливе и на богаре, стоимости и затратах на производство продукции и прочих показателях, связанных с растениеводством.
<b>Документы</b>	
«Заявки потребителей»	Обеспечивает сбор, хранение обработку и подготовку к использованию данных заявок на водоподачу от хозяйств – потребителей по периодам планирования системного водораспределения.
«Планы подачи воды»	Осуществляет консолидацию заявок потребителей в разрезе водовыделов, выполняет анализ возможности обеспечения всех заявок или необходимости их корректировки с учетом дефицита водообеспеченности системы.
<b>Отчеты</b>	
«Сводные планы водоподачи»	Позволяет формировать выходные формы сводных планов водоподачи с возможностью различных отборов и группировок.
«Сводные отчеты по фактической водоподаче»	Позволяет формировать выходные формы по фактической водоподаче в различных разрезах, с возможностью отчетов и группировок.
<b>Сервис</b>	
«Карта»	Позволяет визуализировать на географической карте атрибутивные данные, связанные с потребителями воды, получать доступ к атрибутивным данным.

Интерфейс главного меню системы «Водораспределение» представлен разделами «Справочники», «Документы», «Отчеты».

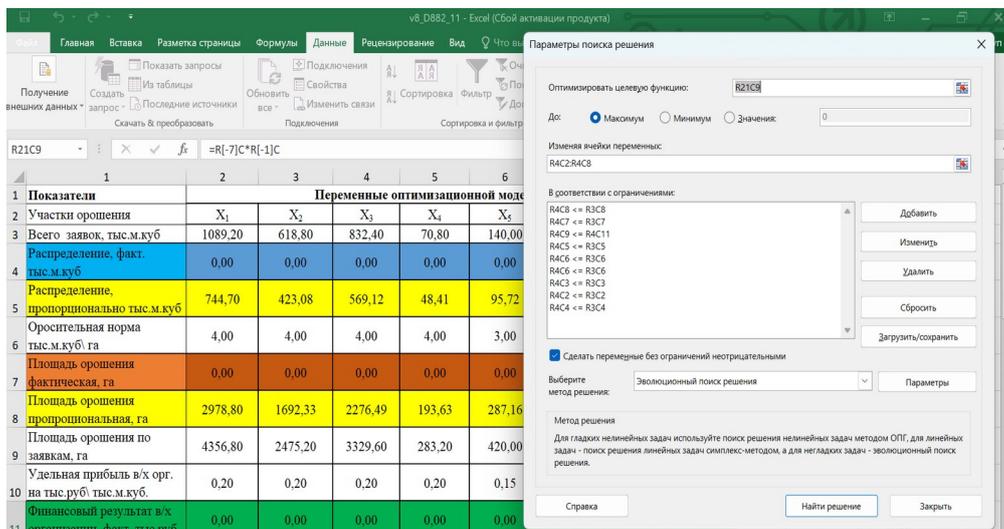
Объекты раздела «Справочники» хранят статическую информацию, «Документы» — данные с датами и периодичностью, «Отчеты» и «Сервисы» — формируют выходные формы для обработки данных средствами 1С - Предприятие. Эффективность и удобство взаимодействия оператора с автоматизированной системой

обеспечивается «дружелюбностью» интерфейса. Интерфейс форм объектов системы «Водораспределение» иллюстрируются на рисунках 2-4. На рисунке 2 в качестве примера интерфейса раздела «Справочники» представлена форма объекта «Водовыделы».



**Рисунок 2. – Интерфейс формы объекта - Справочник «Водовыделы»**

Интерфейс раздела «Документы» демонстрируется на примере объекта «План подачи воды». На рисунке 3 приведена форма для реализации процедуры «Оптимизировать в условиях дефицита», которая применяется в ситуации недостаточной водообеспеченности ОС.



### Рисунок 3. - Параметры запуска оптимизации многокритериальной целевой функции с использованием методов эволюционно-генетического программирования

Формирование выходных документов планирования водораспределения с учетом различных критериев отбора и группировки данных осуществляется в разделе «Отчеты» в табличной, графической и картографической формах, необходимых для подготовки оперативной и/или статистической отчетности. Наличие ГИС-подсистемы позволяет получить различные (гибко настраиваемые на уровне пользователей) визуализации параметров потребителей. На рисунке 4 представлены примеры визуализации параметров хозяйств водопотребителей и доступ к атрибутивным данным с использованием географической карты.

В рамках исследований разработаны и зарегистрированы база данных и комплекс программных продуктов, обеспечивающих реализации АСУ «Водораспределение». Апробация и внедрение разработанных решений осуществлено в ФГБУ «Волгоградмелиоводхоз» и его Городищенском филиале. Использование модели оптимизации распределения поливной воды в 2023-2024 г. обеспечило экономию ресурсов по сравнению с традиционными способами планирования свыше 10%.

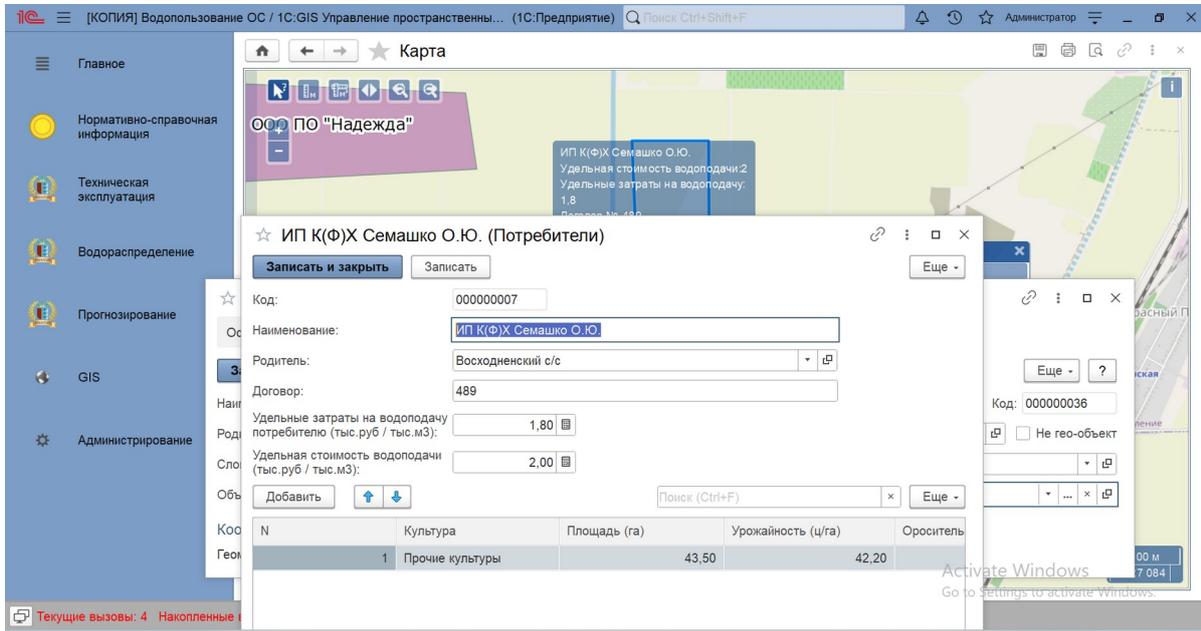


Рисунок 4. -Доступ к атрибутивным данным потребителей с использованием географической карты

### Заключение

Результаты разработки и апробации технологии планирования водораспределения на межхозяйственных оросительных системах, сочетающей

оптимизацию управления с методами искусственного интеллекта и автоматизацией, подтверждают целесообразность применения цифровизации для повышения эффективности использования водных ресурсов и управления водопользованием.

Использование имеющихся решений, как и дальнейшее совершенствование технологий управления водопользованием в практике организаций мелиоративного сектора будет способствовать росту конкурентоспособности и успешности отечественного АПК в процессах становления устойчивого агропроизводства, соответствующего мировым стандартам.

### Литература

1. Кирейчева, Л. В. Основные направления водосбережения в орошаемом земледелии России / Л. В. Кирейчева // Мелиорация и водное хозяйство. – 2024. – № 4. – С. 79-82. – EDN LJTZCL.
2. Принципы применения информационных технологий при организации и проведении планирования водопользования на оросительных системах / В. И. Ольгаренко, И. В. Ольгаренко, И. В. Коржов, В. И. Ольгаренко // Мелиорация и гидротехника. – 2024. – Т. 14, № 3. – С. 100-115. – DOI 10.31774/2712-9357-2024-14-3-100-115. – EDN URAPHZ.
3. Использование мобильных IT-приложений для решения задач водопользования на внутрихозяйственной оросительной сети / Е. А. Волкова, Д. А. Кудравец, В. И. Коржов, И. В. Коржов // Мелиорация и гидротехника. 2023. Т. 13, № 3. С. 30–47. <https://doi.org/10.31774/2712-9357-2023-13-3-30-47>.
4. Мелихова, Е. В. Реализация методов искусственного интеллекта и глубоких нейронных сетей в задачах сельскохозяйственных мелиораций / Е. В. Мелихова, И. С. Белоусов // Научное обоснование стратегии цифрового развития АПК и сельских территорий : материалы Национальной научно-практической конференции, Волгоград, 09 ноября 2022 года / Волгоградский государственный аграрный университет. Том I. – Волгоград: Волгоградский государственный аграрный университет, 2023. – С. 302-307. – EDN QXWTEK.
5. Интеллектуальная система поддержки принятия решений для управления мелиоративно-водохозяйственным комплексом : К 100-летию Всероссийского научно-исследовательского института гидротехники и мелиорации им. А.Н. Костякова / С. Д. Исаева, Э. Б. Дедова, А. В. Матвеев [и др.]. – Москва : Всероссийский научно-исследовательский институт гидротехники и мелиорации им. А.Н. Костякова, 2024. – 204 с. – ISBN 978-5-907464-78-0. – DOI 10.37738/VNIIGIM.2024.19.62.001. – EDN ZTXNHM.
6. Ресурсы агромелиоративных систем: Научно-практическое издание / В. Н. Щедрин, А. Н. Бабичев, Ю. Е. Домашенко [и др.]. – Москва: Российский научно-исследовательский институт информации и технико-экономических исследований по инженерно-техническому обеспечению агропромышленного комплекса, 2021. – 312 с. – ISBN 978-5-7367-1673-9. – EDN JXLZJB.
7. Рогачев, Д. А. Управление системным водораспределением на основе экономико-математического моделирования и методов искусственного

- интеллекта / Д. А. Рогачев, И. Ф. Юрченко, А. Ф. Рогачев // Мелиорация и гидротехника. – 2023. – Т. 13, № 3. – С. 87-106. – DOI 10.31774/2712-9357-2023-13-3-87-106. – EDN YPTZVK.
8. Годовой технический отчет за 2017г. Городищенского филиала ФГБУ «Управление «Волгоградмелиоводхоз».
  9. Годовой отчет по технической эксплуатации за 2022 год Красногвардейского филиала. Раздел II. Водопользование и гидрометрия. Государственного бюджетного учреждения Республики Крым «Крымское управление водного хозяйства и мелиорации».
  10. ГОСТ Р 58376-2019 "Мелиоративные системы и гидротехнические сооружения. Эксплуатация. Общие требования" [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200163279> (дата обращения 24.12.2024 г.).
  11. Федеральный закон о мелиорации земель. Принят Государственной Думой 8 декабря 1995 г. (редакция с поправками от 2022 г.).
  12. Технология управления системным водопользованием с применением методов искусственного интеллекта и моделей - двойников организации / Д. А. Рогачев, Л. В. Кирейчева, И. Ф. Юрченко, А. Ф. Рогачев // Международный сельскохозяйственный журнал. – 2024. – № 4(400). – С. 404-410. – DOI 10.55186/25876740\_2024\_67\_4\_404. – EDN WCANWT.
  13. Sharma, S., Pathak, B.K. & Kumar, R. Multi-objective Service Composition Optimization Smart Agriculture Using Fuzzy-Evolutionary Algorithm. Oper. Res. Forum 5, 43 (2024). <https://doi.org/10.1007/s43069-024-00319-7>.
  14. Salotagi, S., Mallapur, J.D. Multi-objective modified emperor penguin optimization for resource allocation in internet of things agriculture applications. Multimed Tools Appl 83, 61139–61164 (2024). <https://doi.org/10.1007/s11042-023-18064-0>
  15. Alaimo, L. S. Sustainable development goals indicators at territorial level: Conceptual and methodological issues – the Italian perspective / L. S. Alaimo, F. Maggino // Social Indicators Research. – 2020. – Vol. 147. – P. 383–419.

#### Literature

1. Kireicheva, L. V. The main directions of water conservation in irrigated agriculture in Russia / L. V. Kireicheva // Land reclamation and water management. – 2024. – No. 4. – pp. 79-82. – EDN LJTZCL.
2. Principles of the use of information technologies in the organization and planning of water use in irrigation systems / V. I. Olgarenko, I. V. Olgarenko, I. V. Korzhov, V. I. Olgarenko // Land reclamation and hydraulic engineering. – 2024. – Vol. 14, No. 3. – pp. 100-115. – DOI 10.31774/2712-9357-2024-14-3-100-115. – EDN URAPHZ.
3. The use of mobile IT applications to solve water use problems on an on-farm irrigation network / E. A. Volkova, D. A. Kudravets, V. I. Korzhov, I. V. Korzhov // Land reclamation and hydraulic engineering. 2023. Vol. 13, No. 3. pp. 30-47. <https://doi.org/10.31774/2712-9357-2023-13-3-30-47>.
4. Melikhova, E. V. Implementation of artificial intelligence methods and deep neural networks in the tasks of agricultural land reclamation / E. V. Melikhova, I. S. Belousov // Scientific justification of the strategy of digital development of agriculture and rural areas : materials of the National Scientific and Practical Conference, Volgograd, November 09, 2022 / Volgograd State Agrarian University. Volume I. Volgograd: Volgograd State Agricultural University, 2023. pp. 302-307. EDN QXWTEK.

5. An intelligent decision support system for managing the irrigation and water management complex : On the 100th anniversary of the A.N. Kostyakovs All-Russian Scientific Research Institute of Hydraulic Engineering and Land Reclamation / S. D. Isaeva, E. B. Dedova, A.V. Matveev [et al.]. - Moscow : Vserossiyskiy A.N. Kostyakov Moscow Scientific Research Institute of Hydraulic Engineering and Land Reclamation, 2024. - 204 p. – ISBN 978-5-907464-78-0. – DOI 10.37738/VNIIGiM.2024.19.62.001. – EDN ZTXNHM.
6. Resources of agro-reclamation systems: Scientific and practical edition / V. N. Shchedrin, A. N. Babichev, Yu. E. Domashenko [et al.]. - Moscow: Russian Scientific Research Institute of Information and Technical and Economic Research on engineering and technical support of the agro-industrial complex, 2021. – 312 p. - ISBN 978-5-7367-1673-9. – EDN JXLZJB.
7. Rogachev, D. A. Management of systemic water distribution based on economic and mathematical modeling and artificial intelligence methods / D. A. Rogachev, I. F. Yurchenko, A. F. Rogachev // Land reclamation and hydraulic engineering. – 2023. – Vol. 13, No. 3. – pp. 87-106. – DOI 10.31774/2712-9357-2023-13-3-87-106. – EDN YPTZVK.
8. Annual Technical Report for 2017. Gorodishchensk branch of the Federal State Budgetary Institution Volgogradmeliovodkhoz.
9. Annual report on technical operation for 2022 of the Krasnogvardeysky branch. Section II. Water use and hydrometry. The State Budgetary Institution of the Republic of Crimea "Crimean Department of Water Management and Land Reclamation".
10. GOST R 58376-2019 "Reclamation systems and hydraulic structures. Exploitation. General requirements" [Electronic resource]. - Access mode: <https://docs.cntd.ru/document/1200163279> (date of application: 12/24/2024).
11. Federal Law on Land Reclamation. Adopted by the State Duma on December 8, 1995 (as amended in 2022).
12. Technology of management of systemic water use using artificial intelligence methods and organization twin models / D. A. Rogachev, L. V. Kireicheva, I. F. Yurchenko, A. F. Rogachev // International Agricultural Journal. – 2024. – № 4(400). – Pp. 404-410. – DOI 10.55186/25876740\_2024\_67\_4\_404. – EDN WCANWT.
13. Sharma, S., Pathak, B.K. & Kumar, R. Multi-objective Service Composition Optimization Smart Agriculture Using Fuzzy-Evolutionary Algorithm. Oper. Res. Forum 5, 43 (2024). <https://doi.org/10.1007/s43069-024-00319-7>.
14. Salotagi, S., Mallapur, J.D. Multi-objective modified emperor penguin optimization for resource allocation in internet of things agriculture applications. Multimed Tools Appl 83, 61139–61164 (2024). <https://doi.org/10.1007/s11042-023-18064-0>
15. Alaimo, L. S. Sustainable development goals indicators at territorial level: Conceptual and methodological issues – the Italian perspective / L. S. Alaimo, F. Maggino // Social Indicators Research. – 2020. – Vol. 147. – P. 383–419.

#### ***Информация об авторе***

Д. А. Рогачев – кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник ФГБНУ «ФНЦ ВНИИГиМ им. А. Н. Костякова», (127 550 Москва, ул. Большая Академическая, дом 44 , стр.2), ORCID: <http://orcid.org/0009-0003-4014-4770>, [Rogachev.soft@gmail.com](mailto:Rogachev.soft@gmail.com)

#### ***Information about the author***

D. A. Rogachev, Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher at the Kostyakov Federal State Budgetary Scientific Research Center VNIIGiM, (127 550 Moscow,

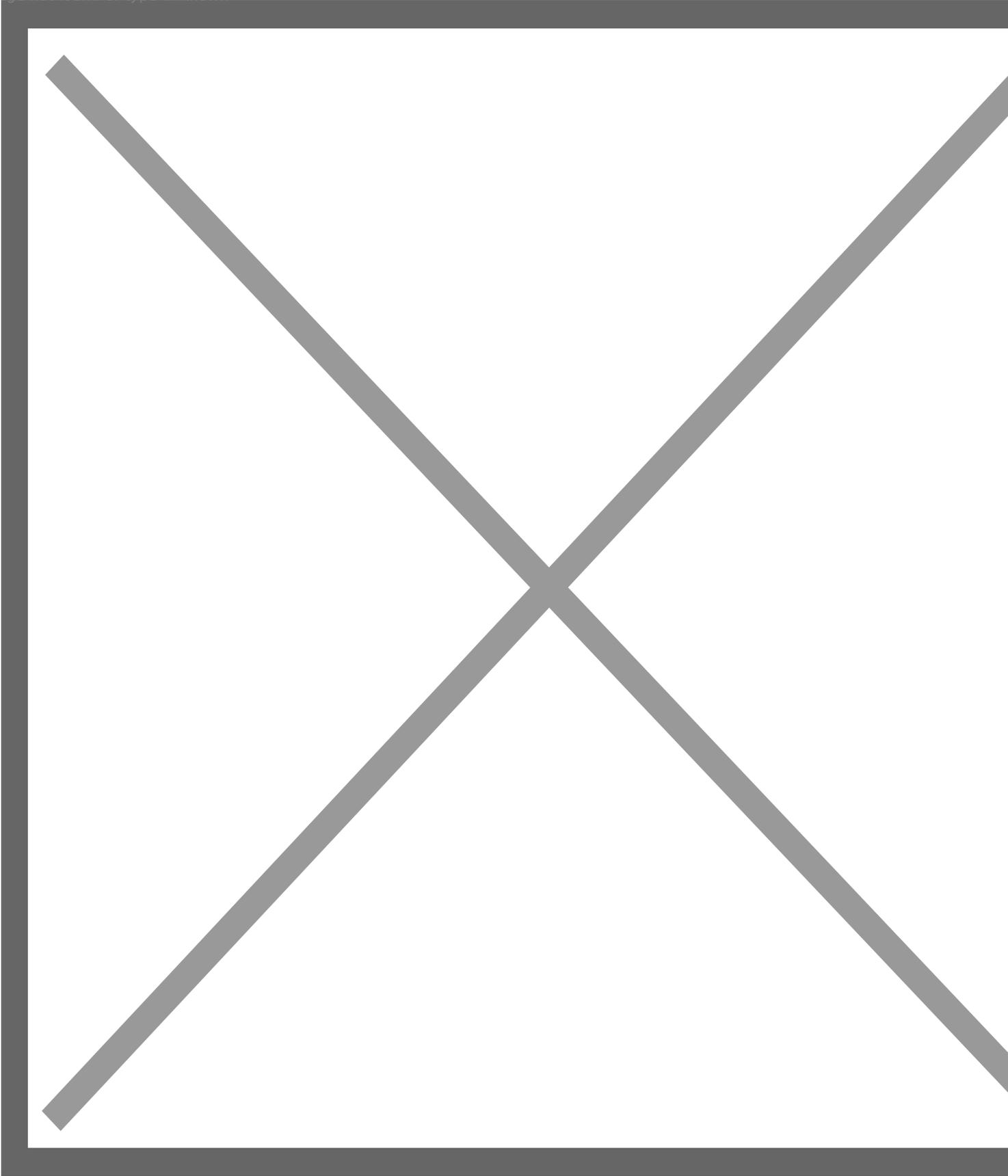
Bolshaya Akademicheskaya str., 44, building 2), ORCID: [http://orcid.org / 0009-0003-4014-4770](http://orcid.org/0009-0003-4014-4770), Rogachev.soft@ gmail.com







Image not found or type unknown



**?????? 1. - ??????? ?????????????????????? ????????????? ???????????**  
**??????????????????????**

?????????? ??????? «????????????????????» ????????????? ??????? ?????????????????????, ?????????  
????????????????????, ???????????, ????????????????????? ? ????????? ??????????? ? ?????????????????????, ?????????????????????, ?





Image not found or type unknown



**?????? 2. – ????????? ???? ????? - ?????????? «?????????»**

???????? ???? «?????» ?????????????? ? ???? ???? «??? ???? ????». ? ???? **3**  
???????? ???? ? ????????? ?????????? «????????????? ? ?????? ?????????», ?????? ?????????? ?  
???????? ?????????????? ?????????????????? ?.





УДК 504.75

**Пути уменьшения негативного воздействия водным биоресурсам при выполнении руслорегулирующих и культуртехнических работ на реке Актаныш**

Сунгатуллин Р.Х. - генеральный директор ОАО Тростовая компания «Татмелиорация»;  
Хисматуллин М.М. - директор ФГБУ «Управление «Приволжскмелиоводхоз», доктор с.-х. наук;

Сабиров А.М. - доктор с/х наук, профессор Казанского ГАУ, главный специалист ОАО Тростовая компания «Татмелиорация.

Хазыров Э.Н., аспирант, Казанский государственный аграрный университет, г. Казань.

Николаев А.Ю., аспирант, Казанский государственный аграрный университет, г. Казань.

**Аннотация.** В статье дана краткая характеристика району проведения работ и реке Актаныш. Также приведены сведения по намечаемым работам, гидрологической и рыбохозяйственной характеристике р. Актаныш, содержащая сведения по кормовой базе рыб, составу ихтиофауны на участке планируемых работ.

По представленным проектным материалам проанализированы факторы негативного воздействия на водные биоресурсы при запроектированных работах.

Анализ материалов технического задания, проекта организации строительства и действующих нормативных документов, позволили установить возможные последствия воздействия планируемых работ на водные биоресурсы.

**Ключевые слова:** р. Актаныш, водные биоресурсы, расчистка русла, оценка воздействия, культуртехнические работы, разработка грунта.

**WAYS TO REDUCE THE NEGATIVE IMPACT TO AQUATIC BIOLOGICAL RESOURCES WHEN PERFORMING RIVERBED REGULATION AND CULTURAL WORKS ON THE AKTANYSH RIVER**

R.H. Sungatullin - General Director of JSC Tatmelioration Trust Company;

M.M. Khismatullin - Director of the Federal State Budgetary Institution "Privolzhskmeliiovodkhoz Management", Doctor of Agricultural Sciences;

Sabirov A.M. - Doctor of Agricultural Sciences, Professor of Kazan State Agrarian University, Chief Specialist of JSC Tatmelioration Trust Company.

E.N. Khazyrov, PhD student, Kazan State Agrarian University, Kazan.

Nikolaev A.Y., postgraduate student, Kazan State Agrarian University, Kazan.

**Annotation.** The article provides a brief description of the area of work and the Aktanysh River. It also provides information on the planned work, hydrological and fisheries characteristics of the Aktanysh

River, containing information on the fish food supply, the composition of the ichthyofauna at the site of the planned work.

Based on the presented design materials, the factors of negative impact on aquatic biological resources during the projected work are analyzed.

The analysis of the materials of the technical assignment, the construction project and the current regulatory documents allowed us to establish the possible consequences of the impact of the planned work on aquatic biological resources.

**Keywords:** the Aktanysh River, aquatic bioresources, riverbed clearing, impact assessment, cultural engineering, soil development.

**Введение.** Актанышский муниципальный район расположен на северо-западе Республики Татарстан и характеризуется развитой сетью рек и водоемов. Площадь муниципального района составляет около 2000 квадратных километров, а численность населения - около 20 тысяч человек (по данным на 2023 год). В населении района представлены разнообразные этнические группы, включая татар, русских и представителей других национальностей. Административным центром является город Актаныш, а также в состав района входят несколько сельских поселений, таких как Тазлы, Старый Кендер и Новые Челны.

В административном отношении объект строительства находится на территории Актанышского сельского поселения Актанышского муниципального района Республики Татарстан. Площадка строительства расположена на р. Актаныш (рис. 1).

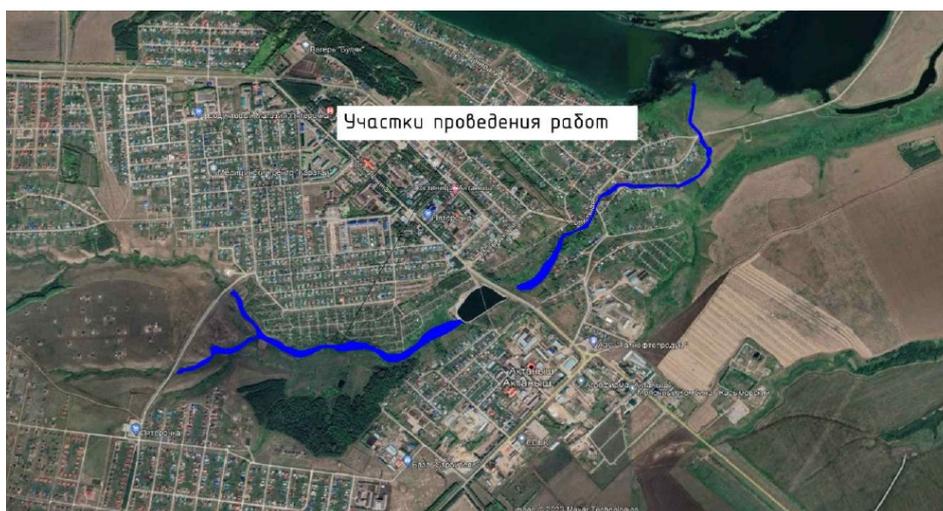


Рис. 1 – Участок проведения руслорегулирующих работ на р. Актаныш

**Состояние водного объекта:** на обследуемом участке русла водотоков сильно заилены, береговая зона заросла древесно-кустарниковой растительностью, стволы поваленных деревьев в русле также уменьшают пропускную способность, способствуют подъему воды во время паводков и затоплению её пойменной части. Наличие

вышеуказанных факторов замедляет прохождение весенних талых вод по руслу реки и приводит к подтоплению жилых домов.

Целью исследований явилось определение путей уменьшения негативного воздействия водным биоресурсам при выполнении руслорегулирующих и культуртехнических работ на реке Актаныш.

**Рыбохозяйственная характеристика водного объекта.** Река Актаныш – река в Восточном Закамье, протекает с запада на восток через с. Актаныш Актанышского муниципального района Республики Татарстан и впадает в озеро Искеидель (старица р. Белая).

Протяженность реки Актаныш составляет 11,8 км, ширина водоохраной зоны реки Актаныш в соответствии со статьей 65 Водного кодекса РФ от 3 июня 2006 года № 74-ФЗ составляет 100 м. Река имеет несколько безымянных притоков. Среднее течение реки зарегулировано плотиной, образован пруд.

Водный режим р. Актаныш характеризуется четко выраженным весенним половодьем, летне-осенними дождевым паводками и длительной устойчивой зимней меженью. Весеннее половодье начинается в начале апреля и продолжается около 15 дней. Весеннее половодье сменяется летне-осенней меженью, изредка прерываемой дождевыми паводками. Зимняя межень обычно устойчивая и характеризуется наиболее низкими уровнями в году.

Основным источником питания реки является снеговое, доля которого в годовом объеме стока составляет 85-90%, доля дождевого питания 5-10%, подземного около 5%. Наибольшая часть годового стока проходит во время весеннего половодья до 70-75% годового стока, в летне-осенний период –20% и в зимний – 5-10% годового стока.

Вода в реке жёсткая (6–9 мг-экв/л) весной и очень жёсткая (9–12 мг-экв/л) зимой и летом. Общая минерализация 400–500 мг/л весной и 1000 мг/л зимой и летом.

До проведения расчистки скорость течения воды в реке составляла 0,59 м/сек, глубина воды – 0,4 м, ширина реки – 2,1 м.

Флора р. Актаныш представлена древесно-кустарниковой растительностью, видовой состав которой включает клен американский (*Acer negundo*), ольху черную (*Alnus glutinosa*), разнообразие ив (*Salix* sp.) и травянистыми формами. Среди прибрежных трав встречаются осоки (*Carex* sp.), камыш лесной (*Scirpus sylvaticus*), дербенник иволистный (*Lythrum salicaria*), вербейник обыкновенный (*Lysimachia vulgaris*), полевица побегообразующая (*Agrostis stolonifera*), зюзник европейский (*Lycopus europaeus*) и некоторые другие виды макрофитов. Погруженная и полупогруженная растительность представлена ежеголовником

(*Sparganium* sp.), сусаком зонтичным (*Butomus umbellatus*), на запруженном участке встречается ряска малая (*Lemna minor*).

В составе фитопланктона р. Актаныш было идентифицировано 24 таксонов микроводорослей, относящихся к 4 таксономическим группам. Распределение таксономического состава было следующим: Bacillariophyta 14 таксонов (58 %), Chlorophyta – 6 (25 %), Chrysophyta – 3 (13 %), Cryptophyta – 1 (4 %). Численность фитопланктона составила 687 млн. кл./м<sup>3</sup>. Доминирующим видом по численности выступала диатомовая водоросль *Navicula radiosa* Kützing 1844 ее доля в общей численности составляла 20 %. Биомасса фитопланктона в водотоке составляла 0,61 г/м<sup>3</sup>. Доминирующим видом по биомассе также выступала крупная диатомовая водоросль *Navicula radiosa* Kützing 1844 биомасса которой составляла 53 % от общей.

В пробе зоопланктона в данном водотоке отмечено 13 таксонов, из которых 11 относились к планктонным беспозвоночным типов Rotifera и Arthropoda и 2 таксона, – к группе «прочие» (личинки насекомых хирономид и олигохеты). Фауна Rotifera включала 9 таксона из 4 семейств: Brachionidae (6), Asplanchnidae (1), Trichotriidae (1) и Trochosphaeridae (1). Членистоногие были представлены ветвистоусыми (Cladocera, 1) и веслоногими (Copepoda, 1) ракообразными. Группа ветвистоусых ракообразных включала представителей из 1 семейства Bosminidae (1). Веслоногие ракообразные включали особей науплиальных стадий развития подсемейства Cyclopiinae (1). Численность зоопланктона из данного водотока составляла 37,0 тыс. экз/м<sup>3</sup>. Доминирующим видом выступали коловратки *Brachionus calyciflorus* Pallas, 1776 (86 %). Биомасса в пробе составила 0,065 г/м<sup>3</sup>. Доминирующим видом по биомассе выступали коловратки *B. calyciflorus* (86 %).

Фауна донных беспозвоночных на рассматриваемом водотоке включала представителей из 3-х групп: Oligochaeta, Ephemeroptera и Diptera. Наиболее богато были представлены двукрылые насекомые. Всего было обнаружено в пробе 7 таксонов с общей численностью 920 экз./м<sup>2</sup> и биомассой – 2,41 г/м<sup>2</sup>. По вкладу в количественные показатели преобладали двукрылые насекомые (более 81,0%).

В составе рыбного населения реки встречаются следующие виды рыб:

- карповые (Cyprinidae): пескарь обыкновенный (*Gobio gobio*);
- балиторовые (Balitoridae): усатый голец (*Barbatula barbatula*);
- сем. Вьюновые (Cobitidae): щиповка (*Cobitis taenia*).

В пруду также обитают:

- окуневые (Percidae): окунь (*Perca fluviatilis*);
- карповые (Cyprinidae): плотва (*Rutilus rutilus*), карась серебряный (*Carassius auratus*).

В водотоке имеются места естественного воспроизводства и нагула туводной ихтиофауны. Рыбопродуктивность пойменных нерестилищ на участке работ составляет 5,5 кг/га, русловых – 2,8 кг/га. Общая рыбопродуктивность реки составляет 6,7 кг/га.

В соответствии с Правилами рыболовства для Волжско-Каспийского рыбохозяйственного бассейна (Приказ Минсельхоза от 13.10.2022 г. №695), на р. Актаныш зимовальные ямы и нерестовые участки ценных видов рыб не зарегистрированы.

Промышленное рыболовство (добыча) водных биоресурсов на реке не осуществляется, локально водоём используется рыбаками-любителями.

Согласно акту Средневолжского ТУ Росрыболовства от 18.07.2013 г. №11, р. Актаныш соответствует водным объектам рыбохозяйственного значения второй категории.

Ручей без названия – правый приток р. Актаныш, протекает в северо-восточном направлении по территории н.п. Актаныш Актанышского муниципального района Республики Татарстан. Протяженность ручья 1,4 км.

Сток ручья временный, отмечается в период весеннего половодья и дождевых паводков. В меженный период пересыхает, в зимний период – промерзает. Долина ручья U-образной формы, склоны пологие. Русло ручья в меру извилистое, разветвленное.

В связи с маловодностью и периодическим пересыханием данного водного объекта, развитие планктонных и бентосных организмов, а также ихтиофауны наблюдается только в его устьевом участке.

Фитопланктонное сообщество устьевого участка ручья образуют представители зеленых и эвгленовых водорослей. В составе зоопланктона встречены коловратки и науплиальные стадии планктонных рачков. В составе зообентоса зарегистрированы ручейники, поденки и хирономиды.

Ихтиофауна устьевого участка ручья представлена следующими видами рыб:

- сем. Карповые (сем. Cyprinidae): пескарь *Gobio gobio*;

- сем. Вьюновые (Cobitidae): щиповка *Cobitis taenia*.

Промышленный вылов (добыча) ВБР в ручье не осуществляется, в целях любительского рыболовства водоток не используется.

Ширина водоохраной зоны ручья без названия, в соответствии со статьей 65 Водного кодекса РФ от 3 июня 2006 года № 74-ФЗ, составляет 50 м.

Согласно Постановлению Правительства РФ от 28.02.2019 № 206 «Об утверждении Положения об отнесении водного объекта или части водного объекта к водным объектам рыбохозяйственного значения и определении категорий водных объектов рыбохозяйственного значения», ручей без названия соответствует водным объектам рыбохозяйственного значения второй категории.

**Положения, принимаемые при оценке воздействия и расчете ущерба водным биоресурсам.** Для объективного рассмотрения негативного воздействия планируемых работ, согласно действующей Методике («Об утверждении Методики определения последствий негативного воздействия...», 2020), принимаем следующие положения и данные:

- для фитопланктона: 50%-ная гибель планктонных организмов происходит при концентрациях взвешенного вещества от 20 мг/л до 100 мг/л; 100%-ная гибель планктонных организмов происходит при концентрациях взвешенного вещества свыше 100 мг/л;

- для зоопланктона: 50%-ная гибель планктонных организмов происходит при концентрациях взвешенного вещества от 20 мг/л до 100 мг/л; 100%-ная гибель планктонных организмов происходит при концентрациях взвешенного вещества свыше 100 мг/л;

- для ихтиопланктона: 50%-ная гибель ихтиопланктонных организмов происходит при концентрациях взвешенного вещества от 20 мг/л до 100 мг/л; 100%-ная гибель ихтиопланктонных организмов происходит при концентрациях взвешенного вещества свыше 100 мг/л;

- для рыб: 100%-ная гибель организмов происходит при концентрациях взвешенного вещества свыше 6500 мг/л.

- для бентосных организмов: 50%-ная гибель организмов бентоса происходит при толщине донных отложений от 1 до 5 см; 100%-ная гибель организмов бентоса происходит при толщине донных отложений более 5 см.

Основными негативными факторами, отрицательно влияющими на условия существования водных биоресурсов в их среде обитания являются смыв почвы и мусора со склонов, дноуглубительные работы, строительство мостов, прокладка нефте-газо-продуктопроводов, кабелей связи, сброс сточных вод, забор водных масс для хозяйственных нужд и т.д.

Согласно Закону «Об охране окружающей среды» (2002 г) при строительстве объектов и проведении разного рода работ на акватории, в пойме и прибрежной полосе рыбохозяйственных водоемов, на этапе планирования должны предусматриваться мероприятия, максимально предотвращающие неблагоприятное воздействие на водную экосистему. Они должны обеспечить сохранение нормальных условий обитания и воспроизводства ценных водных биоресурсов, включая рыб и их кормовую базу.

Если эти мероприятия не позволяют избежать негативного воздействия на водные объекты и обеспечить сохранность и нормальное воспроизводство в них рыбных запасов, производится оценка наносимого ущерба и разработка компенсационных мероприятий.

#### **Основные технические решения.**

**Отвод земель под временную полосу отвода:** земли под руслорегулирующие и культуртехнические работы, устройство строительной площадки, временных отвалов инертных материалов и временные съезды отводятся во временное пользование на период строительства.

Согласно СН474-75 "Нормы отвода земель для мелиоративных каналов" ширина полосы отвода земель принимается (ПОС, п.1.2):

- на землях населенных пунктов с учетом стесненных условий производства работ- 10 м (по 5 м по обеими сторонам русла реки);

- на землях сельхозназначения без стесненных условий - 32 м (по 16 м по обеими сторонам русла реки).

Проектом не предусматривается переустройство инженерных коммуникаций – сетей связи и т.д.

Общая площадь полосы отвода, отводимая для руслорегулирующих мероприятий согласно расчетам составляет  $4000 \times 32 = 128000 + 5000$  (стройплощадка) =  $133000,0 \text{ м}^2 = 13,3$  га.

Согласно проекту работы по руслорегулированию производятся согласно утвержденной ведомости объемов работ в следующей последовательности (табл. 1):

- культуртехнические работы;
- строительство временных технологических съездов с разворотными площадками (точек погрузки) для осуществления разделки деревьев, транспортировки некачественного грунта;
- расчистка русла от донного грунта, уполаживание и уширение русла реки;
- засыпка староречья;
- крепление берегов водотока на местах поворота.

**Руслорегулирующие и культуртехнические работы.** Все строительно-монтажные работы в т.ч. движение строительной техники, производятся только в пределах полосы отвода.

Общая протяжённость руслорегулирующих мероприятий р. Актаныш с правым притоком в с. Актаныш составляет 4203 м до впадения в озеро Старая Белая (Искеидель). Протяженность расчистки р. Актаныш -3696 м, правого притока - 507 м.

Таблица 1 - Ведомость объемов работ по объекту: «Руслорегулирующие мероприятия на р. Актаныш Актанышского муниципального района Республики Татарстан».

№ п/п	Наименование работ	Ед. изм.	Кол-во
	Культуртехнические работы		
1	Валка, корчевка и дробление древеснокустарниковой растительности в щепу	га	20
2	Валка деревьев мягких пород диаметром до 16 см с измельчением в	шт..	4400

	щепу 80%		
3	Валка деревьев мягких пород диаметром до 20 см с измельчением в щепу 70%	шт.	3600
4	Валка деревьев мягких пород диаметром до 24 см с измельчением в щепу 60%	шт.	3200
5	Валка деревьев мягких пород диаметром до 28 см с измельчением в щепу 50%	шт.	2400
6	Валка деревьев мягких пород диаметром до 32 см с измельчением в щепу 40%	шт.	1904
7	Валка деревьев мягких пород диаметром более 32 см с измельчением в щепу 30%	шт.	496
8	Разделка древесины мягких пород, полученной от валки деревьев, диаметром до 16 см	шт.	880
9	Разделка древесины мягких пород, полученной от валки деревьев, диаметром до 20 см	шт.	1080
10	Разделка древесины мягких пород, полученной от валки деревьев, диаметром до 24 см	шт.	1280
11	Разделка древесины мягких пород, полученной от валки деревьев, диаметром до 28 см	шт.	1200
12	Разделка древесины мягких пород, полученной от валки деревьев, диаметром до 32 см	шт.	1142
13	Разделка древесины мягких пород, полученной от валки деревьев, диаметром более 32 см	шт.	347
14	Корчевка пней диаметром до 24 см	шт.	8000
15	Корчевка пней диаметром до 32 см	шт.	5600
16	Корчевка пней диаметром свыше 32 см	шт.	2400
17	Обивка земли с выкорчеванных пней диаметром до 24 см	шт.	8000
18	Обивка земли с выкорчеванных пней диаметром свыше 32 см	шт.	8000
19	Засыпка ям подкоренных	шт.	16000
20	Планировка площадей бульдозером	м2	99000
	Утилизация отходов ТБО		
1	Утилизация твердых бытовых отходов (пни) на полигон ТБО	м3	2171,6
	Руслорегулирующие мероприятия		
	От ул.Б.Давлетова до ул.Колхозная:		
1	Разработка мокрого грунта II гр. экскаватором в отвал	м3	22268
2	Разработка разрыхленного мокрого грунта экскаватором в отвал (с перекидкой 10 раз к точкам погрузки)	м3	80136
3	Разработка с погрузкой разрыхленного мокрого грунта (из них 1094 м3 перевозка до 600 м на засыпку старого русла, 21174 м3 перевозка до 3,5 км на засыпку понижений)	м3	22268
4	Работа на отвале	м3	22268
5	Уполаживание дна и откосов экскаватором	м2	24000
6	Укрепление существующих откосов семенами газонных трав	м2	12175
7	Укрепление существующих откосов бутовым камнем М600 фр.250-500 мм t=0.5 м	м3	206
	От ул.Колхозная до оз. Искеидель:		
1	Разработка мокрого грунта II гр. экскаватором в отвал	м3	10410
2	Разработка с погрузкой разрыхленного мокрого грунта (из них 1407 м3 перевозка до 600 м на засыпку старого русла, 9003 м3 перевозка до 3,5 км на засыпку понижений)	м3	10410
3	Работа на отвале	м3	10410

4	Уполаживание дна и откосов экскаватором	м2	11224
5	Укрепление существующих откосов семенами газонных трав	м2	5628
6	Укрепление существующих откосов бутовым камнем М600 фр.250-500 мм t=0.5 м	м3	128
	Временные технологические съезды 30x4,5м в кол-ве 12 шт.		
1	Планировка поверхности земляного полотна бульдозером	м2	1620
2	Разработка грунта II гр. под стальную емкость экскаватором во временный отвал (с возвратом)	м3	36
3	Установка/демонтаж стальной емкости У=2м3 (12 раз)	шт./ тн	1/0,31 4
4	Установка/демонтаж водонепроницаемой пленки (12 раз)	м2	135
5	Установка/демонтаж плит 2 ПЗ0.18-30 (12 раз)	шт.	20
6	Работа насоса для водопонижения	час	6
	Защита кабеля связи ПАО «Таттелеком»		
1	Разработка грунта II гр. t=1 м вручную в отвал (с обратной засыпкой)	м3	16
2	Укладка футляра из стальной трубы диаметром 57x4 мм	м	8
3	Пропенивание стыков футляра из стальной трубы диаметром 57 мм	м	16

Руслорегулирующие мероприятия на р. Актаныш и ее правого притока будут выполняться с существующих дорог и с временных технологических съездов на твердом водонепроницаемом основании, оборудованном системой сбора, накопления и утилизации стоков (утилизация в составе хозяйственно-бытовых стоков). Протяженность временных технологических дорог и съездов пределах ВОЗ составляет - 30м x 12шт.=360 м. Ширина временных технологических проездов– 4,5 м. В проекте предусматривается 12 точек погрузки с временными технологическими съездами. Площадь каждого съезда 30x4,5м =135 м<sup>2</sup>.

**Водоснабжение и водоотведение:** источником воды для хозяйственно-бытовых, технологических нужд является техническая привозная вода из с. Актаныш по договору со специализированной организацией. В период эксплуатации водоснабжение объекта не требуется. Отработанные стоки по мере производства работ подлежат накоплению и последующей утилизации на очистные сооружения с. Актаныш по договору со специализированной организацией. Забор воды из естественных поверхностных источников проектом не предусмотрен.

**Продолжительность работ:** общая продолжительность работ составляет 8 месяцев, в т.ч. подготовительный период – 1,1 мес. Строительные работы в пределах акватории водного объекта, его пойменной части и водоохранной зоны исключаются в период нереста рыб (с 15.04 по 15.06) (табл. 2).

Таблица 2 - Календарный график производства работ по объекту: «Руслорегулирующие мероприятия на р. Актаныш Актанышского муниципального района Республики Татарстан»

№	Наименование	Распределение капвложений, СМР по периодам строительства
---	--------------	--

п/п	объектов, участков	2024 г.						2025 г.	
		июль	август	сентябрь	октябрь	ноябрь	декабрь	январь	февраль
		1	2	3	4	5	6	7	8
1	Культуртехнические мероприятия								
2	Руслорегулирующие мероприятия								
3	Временные технологические съезды								
4	Кабель связи								

Примечание:

- Руслорегулирующие мероприятия будут осуществляться с 1 июля по 28 февраля, т.е. в летне-осенне-зимний период;
- в водоохранной зоне культуртехнические работы будут проводиться с 1 июля по 31 август.

	- на участке в это время работы не выполняются;
	- работы в нерестовый период с 15 апреля по 15 июня не проводятся;
	- период выполнения работ.

Принятые проектом условия проведения руслорегулирующих и культуртехнических работ являются основополагающими путями уменьшения негативного воздействия водным биоресурсам на р. Актаныш.

**Определение затрат и восстановительных мероприятий.** Восстановительные мероприятия разрабатываются с учетом (п.32 Методики):

- объемов прогнозируемых потерь водных биоресурсов и их отдельных видов;
- продолжительности негативного воздействия на водные биоресурсы с учетом возможности и сроков, необходимых для их естественного восстановления;
- целесообразности и возможности выполнения восстановительных мероприятий, наличия технологий искусственного воспроизводства, состояния запасов водных биоресурсов и их кормовой базы;
- наличия действующих или строящихся производственных мощностей по искусственному воспроизводству водных биоресурсов;
- целесообразности и возможности осуществления рыбохозяйственной мелиорации водных объектов в рыбохозяйственном бассейне или регионе планируемой деятельности;
- экономической оценки вариантов восстановительных мероприятий.
- восстановительных мероприятий в полном объеме.

Вред водным биоресурсам при производстве работ по объекту: «Руслорегулирующие мероприятия на р. Актаныш Актанышского муниципального района Республики Татарстан» будет складываться из характера воздействий которые приведены в таблице 3.

Таблица 3 - Определение величины ущерба

Объект негативного воздействия	Характер гибели	Характер воздействия	Величина ущерба, кг
Зоопланктон	Мутность	Временный	144,14
Бентос	Мех. повр. дна + заиление	Временный	67,35
	Мех. повр. дна	<i>Постоянный</i>	49,33
Нерестилища	Механическое повреждение	Временный	42,65
		<i>Постоянный</i>	31,21
Водосбор в пределах ВОЗ	Механическое повреждение	Временный	3,9
		<i>Постоянный</i>	0,4
Ухудшение нагула на пойме		Временный	0,58
		<i>Постоянный</i>	0,67
Итого временный:			258,62
Итого постоянный:			81,61
<b>Итого:</b>			<b>340,23</b>

Исходя из характера и масштаба последствий негативного воздействия, с учетом данных п.32 Методики определяем единовременное проведение восстановительного мероприятия, а именно - искусственное воспроизводство водных биоресурсов.

В соответствии с рекомендациями, представленными в Приложении 4 к протоколу №6 заседания биологической секции Ученого совета ФГБНУ «ВНИРО» от 15.02.2024 г., в целях формирования ежегодных планов проведения мероприятий по искусственному воспроизводству водных биоресурсов Волжско-Каспийского рыбохозяйственного бассейна на 2025-2027 годы, для компенсации рассчитанного ущерба рекомендуется выпуск в Нижнекамское водохранилище (в пределах Республики Татарстан) посадочного материала в виде молоди стерляди, навеской 3 г.

Расчет количества молоди рыб, необходимого для восстановления нарушаемого состояния водных биоресурсов ( $N_M$ ) посредством их искусственного воспроизводства, выполняется по формуле (12):

$$N_M = N / (p \times K_1) \times 100, \text{ где:}$$

$N_M$  - количество молоди рыб, экз.;

$N$  - суммарные потери (размер вреда) водных биоресурсов за период воздействия планируемой деятельности (включая период восстановления водных биоресурсов по окончании воздействия), кг или т;

p - средняя масса одной воспроизводимой особи рыб (или других объектов воспроизводства) в промысловом возврате, которая определяется исходя из соотношения самок и самцов 1:1, кг;

$K_1$  - величина пополнения промыслового запаса (промысловый возврат), в %, которая определяется в соответствии с приложением № 2 к приказу Минсельхоза России № 167.

Для стерляди, в дальнейший расчет принимается:

- средняя масса одной воспроизводимой особи в промысловом возврате – 1,0 кг (Приказ Минсельхоза России от 30.01.2015 №25, ближайший субъект – Нижегородская область);

- навеска молоди – 3 г (Выписка из протокола заседания Биологической секции Ученого совета ФГБНУ «ВНИРО» от 28.02.2023 г. №9);

- промысловый возврат – 5,5 % (Методика, прил. 2).

Таблица 4 - Расчет количества выпускаемой молоди

Вид	Средняя масса воспроизводимой особи, кг	Ущерб, кг	Навеска, г	Коэффиц. промвозврата, %	Количество выпускаемой молоди, экз.
Стерлядь	1,0	340,23	3	5,5	6186

Ущерб водным биологическим ресурсам при работах по объекту: «Руслорегулирующие мероприятия на р. Актаныш Актанышского муниципального района Республики Татарстан» составит 340,23 кг.

В целях возмещения негативного воздействия водным биологическим ресурсам рекомендован единовременный выпуск в акваторию Нижнекамского водохранилища (в пределах Республики Татарстан) молоди стерляди (средней массой 3 г) в количестве 6186 экз.

Вид мероприятия, планируемого для возмещения вреда водным биоресурсам (искусственное воспроизводство), конкретные сроки производства работ и место зарыбления, исходя из необходимости сохранения водных биоресурсов и условий их воспроизводства, для обеспечения возмещения нанесенного ущерба в полном объеме согласовывается с Волго-Камским территориальным управлением Росрыболовства (г. Самара).

#### **Выводы и рекомендации**

1. Все руслорегулирующие и культуртехнические работы, в т.ч. движение строительной техники, производятся только в пределах полосы отвода. Общая протяжённость руслорегулирующих мероприятий р. Актаныш с правым притоком в с. Актаныш составляет 4203 м до впадения в озеро Старая Белая (Искеидель). Протяженность

расчистки р. Актаныш -3696 м, правого притока - 507 м. Общая площадь полосы отвода, отводимая для руслорегулирующих мероприятий согласно расчетам составляет  $4000 \times 32 = 128000 + 5000$  (стройплощадка)  $= 133000,0 \text{ м}^2 = 13,3$  га.

2. Согласно проекту все руслорегулирующие и культуртехнические работы производятся в последовательности согласно утвержденной ведомости объемов работ (табл. 1).

3. Руслорегулирующие мероприятия на р. Актаныш и ее правого притока будут выполняться с существующих дорог и с временных технологических съездов на твердом водонепроницаемом основании, оборудованном системой сбора, накопления и утилизации стоков (утилизация в составе хозяйственно-бытовых стоков).

4. Источником воды для хозяйственно-бытовых, технологических нужд является техническая привозная вода из с. Актаныш по договору со специализированной организацией. Отработанные стоки по мере производства работ подлежат накоплению и последующей утилизации на очистные сооружения с. Актаныш по договору со специализированной организацией.

5. Строительные работы в пределах акватории водного объекта, его пойменной части и водоохранной зоны исключаются в период нереста рыб (с 15.04 по 15.06). Общая продолжительность работ составляет 8 месяцев, в т.ч. подготовительный период – 1,1 мес.

Принятые проектом условия проведения руслорегулирующих и культуртехнических работ являются основополагающими путями уменьшения негативного воздействия водным биоресурсам на р. Актаныш.

#### **Список литературы**

1. Атлас пресноводных рыб России: В 2 т. / Под ред. Ю.С. Решетникова. - М.: Наука. 2003.- 379 с.
2. Водный кодекс Российской Федерации от 03.06.2006 №74 (ред. от 25.12.2023 с изм. и доп., вступ. в силу с 30.12.2023);
3. Выписка (выдержка) из протокола заседания Биологической секции Ученого совета ФГБНУ «ВНИРО» от 15.02.2024 г. №6 «О рекомендациях по предельно допустимым объемам выпуска водных биологических ресурсов в целях формирования ежегодных планов проведения мероприятий по искусственному воспроизводству водных биологических ресурсов в водных объектах Волжско-Каспийского рыбохозяйственного бассейна на 2025-2027 годы».
4. Залаков А.М., Файзрахманов Д.И., Хисматуллин М.М., Сабиров А.М., Зарипов А.Ш. Состояние мелиоративной отрасли в Республике Татарстан и основные пути её развития./ Научный журнал «Вестник Казанского ГАУ, 2015, № 4(38). -С. 10-15.

5. Кузнецов В.А. Рыбы Волжско-Камского края. – Казань, 2005. – 208 с.
6. Методика расчета дополнительной мутности и вторичного загрязнения воды при производстве дноуглубительных работ и добыче НСМ на реках и водоемах. Ленгипроречтранс. 1990.
7. Научно-прикладной справочник: Основные гидрологические характеристики рек бассейна Камы / Коллектив авторов; под редакцией Георгиевского В.Ю. Ливны: Издатель Мухаметов Г.В., 2015. – 135 с.
8. Понкратов С.Ф. Определение зоны мутности при выемке и перемещении грунта в руслах крупных рек // Сб. научных трудов гос. НИИ озern. и реч. рыбн. хоз. Росрыбхоза. 1989. Вып.296. С. 148-157.
9. Постановление Правительства Российской Федерации №380 от 29.04.2013 г. «Об утверждении Положения о мерах по сохранению водных биологических ресурсов и среды их обитания»;
10. Приказ Министерства сельского хозяйства Российской Федерации №167 от 31.03.2020 г. «Об утверждении Методики исчисления размера вреда, причиненного водным биологическим ресурсам».
11. Приказ Министерства сельского хозяйства Российской Федерации №25 от 30.01.2015 г. «Об утверждении Методики расчета объема добычи (вылова) водных биологических ресурсов, необходимого для обеспечения сохранения водных биологических ресурсов и обеспечения деятельности рыбоводных хозяйств, при осуществлении рыболовства в целях аквакультуры (рыбоводства)».
12. Сабиров А.М., Джумаева Г.Ш. Применение железобетонных труб в гидромелиорации и водоотведении./ Проблемы, идеи и инновации в агропромышленном комплексе: международная научно-практическая конференция (г. Чистополь, 16-17 декабря 2013 г.). –Казань.: Казанский университет, 2014. –С. 157-162.
13. Сабиров А.М., Корольков В.А., Нуруллин А.А., Хисматуллин М.М. Состояние плотин в РТ./ Наука и практика. Проблемы, идеи, инновации.// 4 международная научно-практическая конференция.// Сборник материалов. –Чистополь. Изд-во ОАО Альмедиа, 2009. –С.326-328.
14. Сунгатуллин Р.Х., Сабиров А.М., Хазыров Э.Н., Николаев А.Ю. Использование экологических условий при капитальном ремонте плотины у с. Поисево Актанышского муниципального района/ РИНЦ Электрон. В сборнике: Современная аграрная экономика: концепции и модели инновационного развития. Материалы II Международной научно-практической конференции, посвященной 90-летию доктора экономических наук, профессора Л.М. Рабиновича. Казань, 2024. С. 189-193.

15. Сунгатуллин Р.Х., Хисматуллин М.М., Валиев А.Р., Сабиров А.М. Эффективность реконструкции оросительной системы ООО Агрофирма «Чистопольская»/ ВАК, К1 /Мелиорация и водное хозяйство. 2023. № 5. С. 52-57.

**Авторы:**

1. Открытое акционерное общество "Трастовая компания "Татмелиорация" (ОАО ТК «Татмелиорация»  
Генеральный директор Сунгатуллин Рустем Хизбуллович  
e-mail: [info@tatmeleo.ru](mailto:info@tatmeleo.ru)



Open Joint Stock Company "Trust Company "Tatmelioration" (JSC TC "Tatmelioration" General Director Sungatullin Rustem Khizbullovich

2. Федеральное государственное бюджетное учреждение "Управление мелиорации земель и сельскохозяйственного водоснабжения по Приволжскому федеральному округу" (ФГБУ "Управление "Приволжскмелиоводхоз").  
E-mail: [rezi-almet@yandex.ru](mailto:rezi-almet@yandex.ru)  
Директор Хисматуллин Марс Мансурович



Federal State Budgetary Institution "Management of Land Reclamation and Agricultural Water Supply in the Volga Federal District" (Federal State Budgetary Institution "Management "Privolzhskmeliiovodkhoz") Director Mars Mansurovich Hismatullin

3. Доктор сельскохозяйственных наук, профессор Казанского ГАУ, главный специалист ОАО Тростовая компания «Татмелиорация - Сабиров Айрат Мансурович  
e-mail: [sabairat@mail.ru](mailto:sabairat@mail.ru)



Doctor of Agricultural Sciences, Professor of Kazan State Agrarian University, Chief Specialist of JSC Trust Company "Tatmelioration - Sabirov Ayrat Mansurovich

4. Хазыров Эмиль Наилевич, аспирант, Казанский государственный аграрный университет, Казань.

Emil Nailevich Khazyrov, PhD student, Kazan State Agrarian University, Kazan.

E-mail: [Khazyrov2017@yandex.ru](mailto:Khazyrov2017@yandex.ru).

5. Николаев Артем Юрьевич, аспирант, Казанский государственный аграрный университет, г. Казань.

Nikolaev Artem Yurievich, postgraduate student, Kazan State Agrarian University, Kazan.

E-mail: [artem.niki-yuri@mail.ru](mailto:artem.niki-yuri@mail.ru)











3	????? ?????????? ?????? ?????? ?????????? ?? 20 ?? ? ?????????????? ? ??? 70%	??.	3600
4	????? ?????????? ?????? ?????? ?????????? ?? 24 ?? ? ?????????????? ? ??? 60%	??.	3200
5	????? ?????????? ?????? ?????? ?????????? ?? 28 ?? ? ?????????????? ? ??? 50%	??.	2400
6	????? ?????????? ?????? ?????? ?????????? ?? 32 ?? ? ?????????????? ? ??? 40%	??.	1904
7	????? ?????????? ?????? ?????? ?????????? ?????? 32 ?? ? ?????????????? ? ??? 30%	??.	496
8	????????? ?????????? ?????? ??????, ?????????? ?? ?????? ??????????, ?????????? ?? 16 ??	??.	880
9	????????? ?????????? ?????? ??????, ?????????? ?? ?????? ??????????, ?????????? ?? 20 ??	??.	1080
10	????????? ?????????? ?????? ??????, ?????????? ?? ?????? ??????????, ?????????? ?? 24 ??	??.	1280
11	????????? ?????????? ?????? ??????, ?????????? ?? ?????? ??????????, ?????????? ?? 28 ??	??.	1200
12	????????? ?????????? ?????? ??????, ?????????? ?? ?????? ??????????, ?????????? ?? 32 ??	??.	1142
13	????????? ?????????? ?????? ??????, ?????????? ?? ?????? ??????????, ?????????? ?????? 32 ??	??.	347
14	????????? ?????? ?????????? ?? 24 ??	??.	8000
15	????????? ?????? ?????????? ?? 32 ??	??.	5600
16	????????? ?????? ?????????? ?????? 32 ??	??.	2400
17	?????? ?????? ? ?????????????????? ?????? ?????????? ?? 24 ??	??.	8000
18	?????? ?????? ? ?????????????????? ?????? ?????????? ?????? 32 ??	??.	8000
19	????????? ?? ??????????????	??.	16000
20	????????????? ?????????? ??????????????	?2	99000

????????????? ?????????? ???

1	????????????? ?????????? ?????????? ?????????? (???) ?? ?????????? ??? ????????????????????????? ?????????????? ?? ??..????????????? ?? ??..?????????????	?3	2171,6
1	????????????? ?????????? ??????? II ??.. ?????????????? ? ??????	?3	22268
2	????????????? ?????????????????? ?????????? ?????????? ?????????????????? ? ?????? (? ?????????????? 10 ?? ? ??????? ??????????)	?3	80136
3	????????????? ? ?????????????? ?????????????????? ?????????? ??????? (?? ?? 1094 ?3 ????????????? ?? 600 ? ?? ?????????? ?????????? ??????, 21174 ?3 ?????????????? ?? 3,5 ?? ?? ????????? ??????????????)	?3	22268











УДК 626.824.004.94:626.86

**Алгоритм моделирования режимов водоподачи в контуре регулирования «Система» на мелиоративных системах двойного регулирования**

А. Л. Кожанов, О. В. Воеводин  
Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, Новочеркасск, Российская Федерация

**Algorithm for modeling water supply modes in the control loop, the «System» on land reclamation dual regulation systems**

A. L. Kozhanov, O. V. Voevodin  
Russian Research Institute for Land Reclamation Problems, Novocherkassk, Russian Federation

Целью исследований являлась разработка алгоритма моделирования режимов водоподачи в контуре регулирования «Система» на мелиоративных системах двойного регулирования для дальнейшей разработки программных или информационных средств. Объектом исследований принят процесс водораспределения на мелиоративных системах двойного регулирования водного режима (МСДР). Для моделирования в данном контуре регулирования «Система» применяли принцип обеспечения системного подхода к регулированию режимов водоподачи на всех предыдущих уровнях регулирования («Водопотребители» – «Группы водопотребителей» – «Участки системы»). Для возможности моделирования в данном контуре разработана схема, включающая регулируемую емкость для приема дренажных вод в паводковый период и подачи для увлажнения в вегетационный период, головное сооружение, регулирующее подачу воду в систему, открытую (или закрытую), распределительную сеть и вододелительные узлы, которые имеют регулирующие сооружения различного порядка, а также потребителей водных ресурсов и устьевое сооружение. Определена исходная информация необходимая для моделирования диспетчерского графика в контуре «Система». На основании схемы и исходных данных разработан алгоритм моделирования диспетчерского графика водораспределения в контуре регулирования «Система» на МСДР. Алгоритм состоит из трех основных модулей: подготовка к моделированию, само моделирование распределения и соответственно результаты моделирования. При этом модуль «моделирование распределения» состоит из «расчета режима работы вододелительных узлов» и «реализации водораспределения». Предложенная система моделирования с разработанным алгоритмом позволяет проводить динамическое управление подачей воды, создать программное обеспечение и программный комплекс информационно-технологической поддержки моделирования режимов регулирования водных ресурсов на МСДР.

Ключевые слова: мелиоративная система, двойное регулирование, моделирование, контур регулирования, водный режим, водные ресурсы, регулирующая емкость

The purpose of the research was to develop an algorithm for modeling water supply modes in the «System» control loop on reclamation dual-control systems for further development of software or information tools. The object of research is the process of water distribution on reclamation systems of dual regulation of the water regime (MSDR). For modeling in this «System» control loop, the principle of ensuring a systematic approach to regulating water supply regimes at all previous levels of regulation was applied («Water consumers» – «Groups of water consumers» – «System sections»). For the possibility of modeling in this circuit, a scheme has been developed that includes a regulating tank for receiving drainage

water during the flood period and supplying it for humidification during the growing season, a head structure regulating the supply of water to the system, open (or closed), a distribution network and water separation nodes that have regulating structures of various orders, as well as consumers of water resources and an estuarine structure. The initial information necessary for modeling the dispatcher schedule in the «System» contour has been determined. Based on the scheme and the initial data, an algorithm has been developed for modeling the dispatcher schedule of water distribution in the control loop «System» on the MSDR. The algorithm consists of three main modules: preparation for modeling, the distribution modeling itself, and, accordingly, the simulation results. At the same time, the module «distribution modeling» consists of «calculation of the mode of operation of water separation units» and «implementation of water distribution». The proposed modeling system with the developed algorithm makes it possible to dynamically control the water supply, create software and a software package for information technology support for modeling water resource management modes on the MSDR.

Keywords: reclamation system, dual regulation, modeling, control loop, water regime, water resources, regulating capacity

### **Введение.**

Рассматривая процесс водораспределения на мелиоративных системах двойного регулирования (МСДР) видим, что данный процесс представляет из себя транспортирование водных ресурсов различным каналам или трубопроводам с конечной целью – подачи водопотребителю в нормированных объемах, но также могут применяться ненормированный и комбинированный способы [1–2].

При разработке планов водопользования строят графики нормированной водоподдачи между потребителями, но для этого определяются лимиты и наличие водных ресурсов как за пределами системы (забор воды из крупных водохранилищ), так и может учитываться и наличие водных ресурсов внутри системы двойного регулирования [3–5].

Рассматривая сам процесс водораспределения можно сделать вывод, что он является многозадачным и ручное управление затруднено, в связи с чем необходимо использовать систему автоматизированного управления. Участие человека эксплуатирующего систему также необходимо сводить к нулю, оставляя ему функцию настройки системы автоматизированного водораспределения [6–7].

В век, когда направление информационных технологий очень сильно развивается и происходит многочисленное использование «гаджетов», которые позволяют использовать программное обеспечение для расчета различных задач в мелиорации [8–11] то и в области водораспределения водных ресурсов систем двойного регулирования необходима разработка программного комплекса информационно-технологической поддержки моделирования режимов регулирования водных ресурсов [12–13].

Процесс распределения водных ресурсов на МСДР выражается в решении сложной задачи, так как имеется осушительная часть системы для отвода дренажного стока в регулирующие емкости и оросительная – для подачи воды на увлажнение [12, 14, 15].

Анализируя процесс моделирования распределения водных ресурсов на МСДР наиболее рациональным и целесообразным является принцип моделирования по контурам регулирования: водопотребитель (мелиорируемое поле) – группа водопотребителей – участок системы, включающие несколько водопотребителей – и конечный контур – это «Система» [12]. Ранее авторами уже рассматривались основные контуры регулирования [4, 13, 16], что говорит о необходимости рассмотрения контур «система» с разработкой алгоритма моделирования диспетчерского графика водораспределения в контуре регулирования «Система».

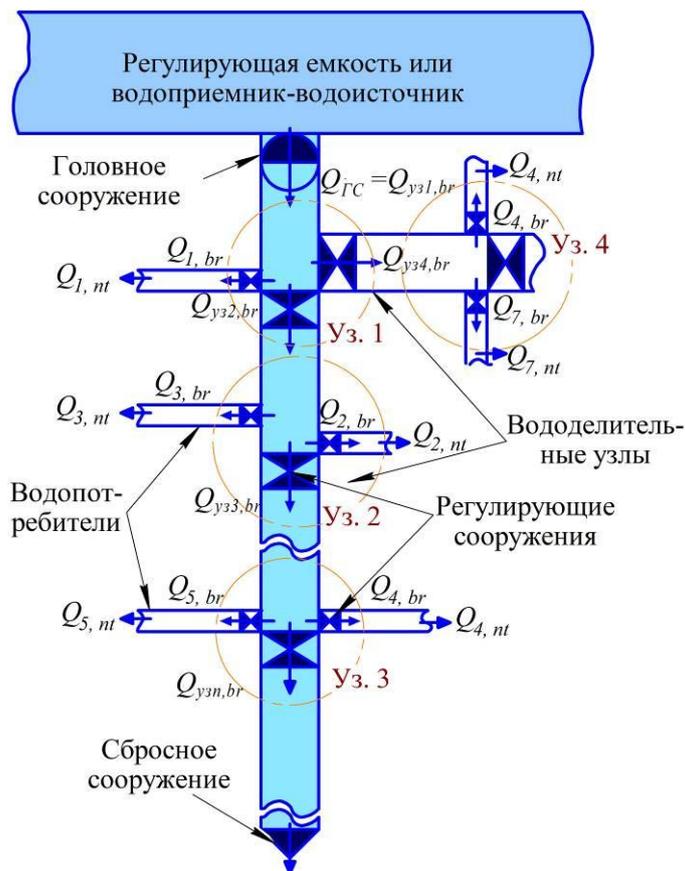
Исходя из этого, целью настоящих исследований является разработка алгоритма моделирования диспетчерского графика водораспределения в контуре регулирования «Система» для МСДР. При этом МСДР включает закрытый дренаж и расположенной регулирующей емкости (водоприемника-водоисточника) на более высоких отметках.

**Материалы и методы.** Информационное ядро работы для моделирования режима водораспределения в контуре «Система» составили положения по информационным технологиям на автоматизированные системы, методы обработки и систематизации информации, а также правилам водораспределения на мелиоративных системах [13].

Для моделирования в данном контуре регулирования «Система» применяли принцип обеспечения системного подхода к регулированию режимов водоподдачи на всех предыдущих уровнях регулирования («Водопотребители» – «Группы водопотребителей» – «Участки системы») [9, 12].

При этом необходимо решить задачи определения режимов работы: головного водозаборного сооружения, вододелительных узлов, подпорно-регулирующих сооружений, подающих воду водопользователям водовыделов и др. [17]. Эти задачи должны решаться исходя из имеющейся структуры распределительной сети, ее эксплуатационных характеристик, оперативно изменяющихся режимов заборов воды водопользователями, установленных лимитов водопользования и т.п. На действующих МСДР эти задачи, как правило, решаются диспетчерскими службами. В этой связи, процедура моделирования управления водными ресурсами на этом уровне должна сводиться к моделированию диспетчерского управления водораспределением.

Укрупненная схема моделирования приведена на рисунке 1.



**Рисунок 1 – Укрупненная схема моделирования режимов управления водораспределения в контуре «Система»**

Предложенная схема моделирования в контуре «Система» включает регулирующую емкость для приема дренажных вод в паводковый период и подачи для увлажнения в вегетационный период, головное сооружение, регулирующее подачу воду в систему, открытую (или закрытую), распределительную сеть и вододелительные узлы, которые имеют регулирующие сооружения различного порядка, а также потребителей водных ресурсов и устьевое сооружение.

При моделировании диспетчерского графика в качестве исходной информации для контура «Система» используют следующие исходные данные:

- а) схема водораспределения на МСДР.
- б) характеристики элементов МСДР:
  - обозначения водопользователей;
  - КПД ее элементов  $k_i$ ;
  - пропускные способности сооружений МСДР  $Q_{max,i}$ , м<sup>3</sup>/с
- в) заявки водопотребителей на воду:
  - сроки начала подачи  $t_{нач,i}$ , ч;

– сроки окончания подачи  $t_{кон,i}$ , ч;

– расходы  $Q_{в/н,i}$ , м<sup>3</sup>/с

г) лимиты водопотребления: расходы  $Q_{лим,i}$ , м<sup>3</sup>/с и объемы  $W_{лим,i}$ , м<sup>3</sup>

д) интервалы регулирования  $\Delta t_{рег,i}$ , ч.

### **Результаты и обсуждение.**

На основе исходной информации и существующих принципов водораспределения разработан алгоритм моделирования диспетчерского графика водораспределения в контуре регулирования «Система» на МСДР, изображенный на рисунке 2.

Рассматривая разработанный алгоритм видим модуль «подготовка к моделированию» включающий три основных операции на которых производятся следующие действия: определяются основные характеристики (параметры) МСДР, в том числе по контурам регулирования более низкого уровня, такие как «участок системы», «группа водопотребителей» или «водопотребители», согласно [12] (блок 1). Далее устанавливаются лимиты на водопользование (если такие существуют) и/или пропускные способности каналов и сооружений МСДР (блок 2). В конце вводятся заявки водопотребителей на воду (блок 3) как в виде отдельных водопотребителей, так и в виде ранее определенных контуров регулирования «группа водопотребителей» и/или «участок системы».

Процесс моделирования на всей МСДР (группа блоков 4–12 «Моделирование водораспределения») в простейшем случае сводится к последовательному регулированию работы ее вододелительных узлов (группа подблоков 4–8 «Расчет режимов работы вододелительных узлов»).

В начале определяется  $i$ -ый вододелительный узел, для которого необходимо совершить регулирование, представленный блоком 4. Для этого узла производится:

– расчет суммарного водопотребления всех водопотребителей данного узла  $Q_{в/н,\Sigma}$ , м<sup>3</sup>/с, с учетом возможных потерь, в алгоритме это блок 5;

– расчет суммарного водопотребления всех нижележащих вододелительных узлов  $Q_{в/н,\Sigma}$ , м<sup>3</sup>/с, с учетом возможных потерь в алгоритме это блок 6;



**Рисунок 2- Алгоритм моделирования диспетчерского графика водораспределения в контуре регулирования «Система» на МСДР**

- расчет общего водопотребления узла  $Q_{y3,i}$ , м<sup>3</sup>/с, в алгоритме это блок 7;
- выбор следующего  $i+1$ -го вододелительного узла (блок 8) и процедура регулирования для этого узла повторяется, начиная с блока 4.

При этом если расчеты по всем вододелительным узлам проведены (т. е. узлы закончились) и согласно блока 8, при отсутствии следующего узла то переходят к определению режимов подачи воды в систему (группа блоков 9–12 «Реализация водораспределения»).

На начальном этапе «реализации водораспределения» рассчитываются расходы на головном сооружении системы  $Q_{зс,\Sigma}$ , м<sup>3</sup>/с, в алгоритме это блок 9.

Полученные результаты сравниваются с пропускными способностями каналов и сооружений и установленными лимитами на водопользование (блоки 10 и 11 алгоритма).

При этом если дальнейшее регулирование невозможно, то производится корректировка (согласование) режимов водоподачи (блок 12 алгоритма) и проводится повторное рассмотрение заявок водопотребителей и повторяются блоки алгоритма 4–11.

А если дальнейшая работа возможна, то производится переход к следующему этапу моделирования (блок 13).

После завершения процедуры моделирования всех регулирующих сооружений производится оценка результатов моделирования (группа блоков 14–15 «Результаты моделирования»)

Для визуальной оценки ситуации на системе при моделировании должны отображаться:

- номограмма, отображающая смоделированные заборы воды водопотребителями и пропускные способности подающих им воду каналов и сооружений;
- номограмма, отображающая смоделированные расходы на вододелительных узлах МСДР и их пропускные способности;
- график забора воды из системы и установленных лимитов на водопользование.

Вид экранной формы программы моделирования диспетчерского графика водоподачи в контуре регулирования «Система» приведен на рисунке 3.

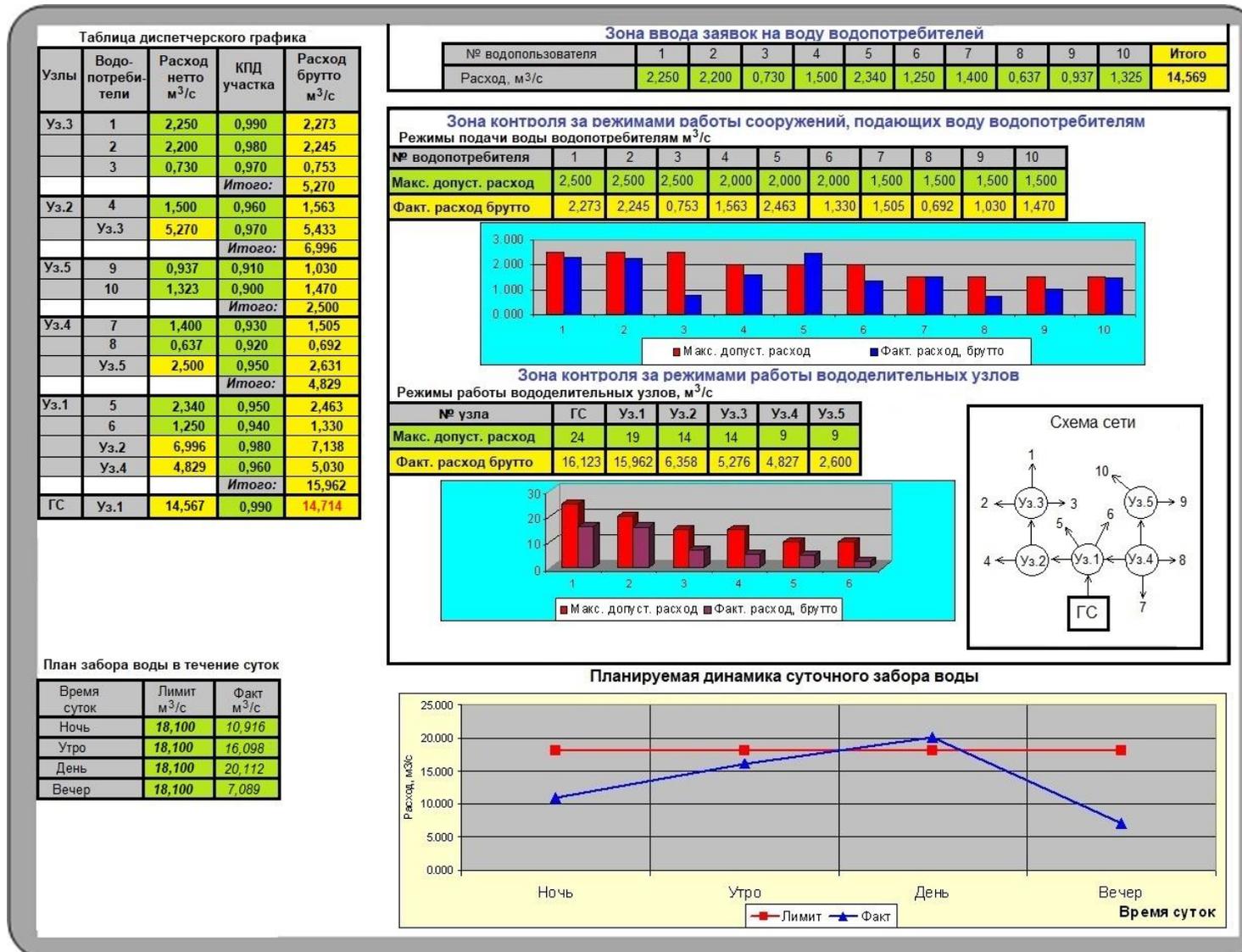


Рисунок 3 – Вид экранной формы программы моделирования диспетчерского графика водоподачи в контуре регулирования «Система»

## **Выводы.**

Рассматривая процесс водораспределения на мелиоративных системах двойного регулирования (МСДР) видим, что данный процесс представляет из себя транспортирование водных ресурсов различным каналам или трубопроводам с конечной целью – подачи водопотребителю в нормированных объемах, но также могут применяться ненормированный и комбинированный способы. При разработке планов водопользования строят графики нормированной водоподачи между потребителями, но для этого определяются лимиты и наличие водных ресурсов как за пределами системы (забор воды из крупных водохранилищ), так и может учитываться и наличие водных ресурсов внутри системы двойного регулирования. Анализируя процесс моделирования распределения водных ресурсов на МСДР наиболее рациональным и целесообразным является принцип моделирования по контурам регулирования: водопотребитель (мелиорируемое поле) – группа водопотребителей – участок системы, включающие несколько водопотребителей – и конечный контур – это «Система».

Задачей моделирования диспетчерского графика водораспределения в контуре регулирования «Система» на МСДР принято определение распределения воды из вод источника, являющегося и приемником дренажного стока, по нескольким группам регулирования «участок системы», представленных каждая из нескольких контуров «группы водопотребителей».

Разработанный алгоритм моделирования диспетчерского графика водораспределения в контуре регулирования «Система» на МСДР состоит из трех основных модулей: подготовка к моделированию, само моделирование распределения и соответственно результаты моделирования. При этом модуль «моделирование распределения» состоит из «расчета режима работы вододелительных узлов» и «реализации водораспределения».

Первый модуль включает определение основных характеристик и лимитов на водопользование МСДР и сбор заявок водопотребителей. Блок второго модуля «расчет режима работы вододелительных узлов» включает в себя основные расчеты показателей водораспределения такие как водопотребление водопотребителей  $i$ -го узла, водопотребление нижележащего  $i+1$  узла и общее водопотребление узла. Блок второго модуля «реализация водораспределения» включает в себя расчет расхода на головном сооружении, при этом сравнивая с пропускными способностями сети и установленными лимитами с возможностью корректировки режима водоподачи при необходимости. Третий модуль «результаты моделирования» содержит окончательные результаты расчета

показателей регулирования и определения эксплуатационных мероприятий по обеспечению регулирования всем контуром регулирования «Система» на МСДР.

### **Заключение.**

Предложенная система моделирования режимов распределения водных ресурсов на МСДР в контуре «Система» с разработанным алгоритмом позволяет проводить динамическое управление подачей воды из регулирующего резервуара. Это позволяет эффективно адаптироваться к быстро меняющимся потребностям в воде в контурах «Водопотребитель», «Группа водопотребителей» и «Участок системы» минимизируя потери воды и оптимизируя ее использование в системах мелиоративного осушения и орошения (МСДР). Предложенный алгоритм может быть использован как основа для создания программного обеспечения, которое станет важным инструментом при эксплуатации современных мелиоративных систем, а также дальнейшего создания программного комплекса информационно-технологической поддержки моделирования режимов регулирования водных ресурсов на МСДР.

### **Список использованных источников**

1. Ткачев А. А., Иваненко Ю. Г., Зарубин В. В. Управление водораспределением на магистральных каналах оросительных систем в современных условиях. Новочеркасск: ООО «Лик», 2024. 180 с. ISBN 978-5-907708-63-1. EDN СТТФТТ.
2. Ольгаренко В. И., Ольгаренко И. В., Польский А. В., Тихий С. В. Информационные технологии планирования водопользования в орошаемых хозяйствах // Мелиорация как драйвер модернизации АПК в условиях изменения климата: Материалы V Международной научно-практ. интернет-конф. Новочеркасск, 22–24 апреля 2024 года. Новочеркасск: Лик, 2024. С. 89-94. EDN JNHZQB.
3. Злодеев Ю. Г., Ялалова Г. Х. Опытная эксплуатация цифровой технологии поддержки управления водораспределением на орошении // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. № 4(72). 2018 С. 12–19. EDN: YPEQXZ.
4. Щедрин В. Н., Коржов В. И., Кожанов А. Л., Черемисова В. Б. Моделирование водного режима почв на полях мелиоративных систем двойного регулирования // Мелиорация и гидротехника. [Электронный ресурс]. 2022. Т. 12. № 1. С. 1–17. URL: [http://www.rosniipm-sm.ru/dl\\_files/udb\\_files/udb4-rec1257-field12.pdf](http://www.rosniipm-sm.ru/dl_files/udb_files/udb4-rec1257-field12.pdf). DOI: 10.31774/2712-9357-2022-12-1-1-17. EDN: GWLIDT.
5. Коржов В. И., Белоусов А. А. Средства имитационного моделирования режимов водозабора и водораспределения на оросительной системе при использовании схемы регулирования по верхнему бьефу // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. 2019. № 1(73). С. 132–138. EDN: LYILQZ.
6. Коржов В. И., Сорокина О. В., Матвиенко Г. О., Коржов И. В. Мобильные средства поддержки управления водораспределением для условий реальной эксплуатации оросительной системы // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации [Электронный ресурс]. 2018. № 4 (32). С. 38–59. URL: [http://www.rosniipm-sm.ru/dl\\_files/udb\\_files/udb4-rec952-field12.pdf](http://www.rosniipm-sm.ru/dl_files/udb_files/udb4-rec952-field12.pdf). DOI: 10.31774/2222-1816-2018-4-38-59. EDN: YOZHON.
7. Коржов В. И., Сорокина О. В., Коржова Т. В., Матвиенко Г. О. Вариант имитационного моделирования водораспределения по контурам регулирования // Мелио-

рация и водное хозяйство. Пути повышения эффективности и экологической безопасности мелиораций земель юга России. Мат-лы Всерос. научно-практ. конф-ции (Шумаковские чтения) НИМИ имени А. К. Кортунова. Новочеркасск. 2017. Вып.15. Ч. I. С. 85–92.

8. Меньшикова С. А., Максименко В. П., Евграфов А. В., Волчкова Т. Л. Методические положения по обоснованию количественных характеристик элементов водного баланса при регулировании режимов влажности почвы на осушительно-увлажнительных системах // Сбор. науч. трудов: Основные результаты научных исследований института за 2018 год. М. 2019. С. 215–221. DOI: 10.37738/VNIIGiM.2020.23.79.017.

9. Юрченко И. Ф., Трунин В. В. Методология и компьютерная технология поддержки решений при оперативном управлении водораспределением на межхозяйственных оросительных системах // Мелиорация и водное хозяйство. 2012. № 2. С. 6–10. EDN: OXGZNN.

10. Palau C. V., Arviza J., Balbastre I., Manzaño J. DIMSUB, a computer program for designing microirrigation subunits. Tool definition and case studies // SCIENTIA AGRICOLA. 2020. Vol. 77. № 3. 8 p. DOI: 10.1590/1678-992X-2018-0184. EDN: OALQEG.

11. Carrión F., Montero J., Tarjuelo J. M., Moreño M. A. Design of Sprinkler Irrigation Subunit of Minimum Cost with Proper Operation. Application at Corn Crop in Spain // Water Resources Management. 2014. № 14. Vol. 28. P. 5073–5089. <https://doi.org/10.1007/s11269-014-0793-x>. EDN: ALAJIE.

12. Щедрин В. Н., Кожанов А. Л., Коржов В. И., Коржов И. В. Особенности моделирования распределения водных ресурсов на системах двойного регулирования водного режима почв // Мелиорация и водное хозяйство. № 3. 2022. С. 31–35. DOI: 10.32962/0235-2524-2021-6-38-43. EDN: YKAXRS.

13. Кожанов, А. Л. Моделирование режимов распределения водных ресурсов мелиоративных систем двойного регулирования / А. Л. Кожанов // Мелиорация и водное хозяйство. 2024. № 3. С. 28-36. DOI 10.32962/0235-2524-2024-3-28-36. EDN EBJDXQ.

14. Рогачев Д. А., Юрченко И. Ф. Моделирование и оптимизация системного водораспределения в условиях дефицита водных ресурсов // International agricultural journal. 2022. № 5. С. 474–491. DOI: 10.55186/25876740\_2022\_6\_5\_31. EDN: MQNTRQ.

15. Кожанов А. Л. Обзор осушительно-увлажнительных систем с максимальным использованием возобновляемых природных ресурсов // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. 2020. № 2(38). С. 105–123. DOI 10.31774/2222-1816-2020-2-105-123. EDN VJNPAG.

16. Кожанов А. Л. Моделирование режимов распределения водных ресурсов мелиоративных систем двойного регулирования в контуре «группа водопотребителей» // Мелиорация и водное хозяйство. № 3. 2022. С. 31–35. DOI: 10.32962/0235-2524-2022-3-31-36. EDN: YKAXRS.

17. Кисаров О. П., Поворов В. А., Канцуров А. А. Диспетчерское регулирование водораспределения по расчетному приращению объемов // Вестник сельскохозяйственной науки. Вып. 2. М.: Агропромиздат, 1986. С. 131–134.

#### **List of sources used**

1. Tkachev A. A., Ivanenko Yu. G., Zarubin V. V. Water distribution management on main channels of irrigation systems in modern conditions. Novocherkassk: LLC «Lik», 2024. 180 p. ISBN 978-5-907708-63-1. EDN CTTFTT.

2. Olgarenko V. I., Olgarenko I. V., Polsky A.V., Tikhy S. V. Information

technologies for planning water use in irrigated farms // Irrigation as a driver of agricultural modernization in the context of climate change: Proceedings of the V International Scientific and Practical Conference. Internet conference. Novochoerkassk, April 22–24, 2024-yes. Novochoerkassk: Lik, 2024. pp. 89-94. EDN JNHZQB.

3. Villainev Yu. G., Yalalova G. H. Pilot operation of digital technology for supporting water distribution management in irrigation // Ways to increase the efficiency of irrigated agriculture. №. 4(72). 2018 pp. 12–19. EDN: YPEQXZ.

4. Shchedrin V. N., Korzhov V. I., KozhaNov A. L., Cheremisova V. B. Modeling the water regime of soils in the fields of reclamation systems of dual regulation // Land reclamation and hydraulic engineering. [electronic resource]. 2022. Vol. 12. №. 1. pp. 1-17. URL: [http://www.rosniipm-sm.ru/dl\\_files/udb\\_files/udb4-rec1257-field12.pdf](http://www.rosniipm-sm.ru/dl_files/udb_files/udb4-rec1257-field12.pdf). DOI: 10.31774/2712-9357-2022-12-1-1-17. EDN: GWLIDT.

5. Korzhov V. I., Belousov A. A. Means of simulation of water intake and water distribution regimes in an irrigation system using an upstream control scheme // Ways to increase the efficiency of irrigated agriculture. 2019. №. 1(73). PP. 132-138. EDN: LYILQZ.

6. Korzhov V. I., Sorokina O. V., Matvienko G. O., Korzhov I. V. Mobile water distribution management support tools for the conditions of real operation of the irrigation system // Scientific Journal of the Russian Research Institute of Land Reclamation Problems [Electronic resource]. 2018. №. 4 (32). pp. 38-59. URL: [http://www.rosniipm-sm.ru/dl\\_files/udb\\_files/udb4-rec952-field12.pdf](http://www.rosniipm-sm.ru/dl_files/udb_files/udb4-rec952-field12.pdf). DOI: 10.31774/2222-1816-2018-4-38-59. EDN: YOZH OH.

7. Korzhov V. I., Sorokina O. V., Korzhova T. V., Matvienko G. O. A variant of simulation modeling of water distribution by control contours // Land reclamation and water management. Ways to increase the efficiency and environmental safety of land reclamation in the South of Russia. Materials of the All-Russian Scientific and Practical Conference (Shumakov readings) named after A. K. KortuNov. Novochoerkassk. 2017. Issue 15. Part I. pp. 85–92.

8. Menshikova S. A., Maksimenko V. P., Evgrafov A.V., Volchkova T. L. Methodological provisions on substantiating the quantitative characteristics of water balance elements in regulating soil moisture regimes in drainage and humidification systems // Collection of scientific papers: The main results of scientific research of the Institute for 2018. 2019. pp. 215–221. DOI: 10.37738/VNIIGiM.2020.23.79.017.

9. Yurchenko I. F., Trunin V. V. Methodology and computer technology for decision support in the operational management of water distribution in inter-household irrigation systems // Land reclamation and water management. 2012. №. 2. pp. 6-10. EDN: OXGZNN.

10. Palau C. V., Arviza J., Balbastre I., Manzano J. DIMSUB, a computer program for designing microirrigation subunits. Tool definition and case studies // SCIENTIA AGRICOLA. 2020. Vol. 77. № 3. 8 p. DOI: 10.1590/1678-992X-2018-0184. EDN: OALQEG.

11. Carrión F., Montero J., Tarjuelo J. M., Moreno M. A. Design of Sprinkler Irrigation Subunit of Minimum Cost with Proper Operation. Application at Corn Crop in Spain // Water Resources Management. 2014. № 14. Vol. 28. P. 5073–5089. <https://doi.org/10.1007/s11269-014-0793-x>. EDN: ALAJIE.

12. Shchedrin V. N., KozhaNov A. L., Korzhov V. I., Korzhov I. V. Features of modeling the distribution of water resources on systems of dual regulation of the water regime of soils // Melioration and water management. №. 3. 2022. pp. 31–35. DOI: 10.32962/0235-2524-2021-6-38-43. EDN: YKAXRS.

13. KozhaNov, A. L. Modeling of modes of distribution of water resources of reclamation systems of dual regulation / A. L. KozhaNov // Land reclamation and water management. 2024. №. 3. pp. 28-36. DOI 10.32962/0235-2524-2024-3-28-36. EDN EBJDXQ.

14. Rogachev D. A., Yurchenko I. F. Modeling and optimization of systemic water

distribution in conditions of water scarcity // International agricultural journal. 2022. №. 5. pp. 474-491. DOI: 10.55186/25876740\_2022\_6\_5\_31. EDN: MQNTRQ.

15. Kozhanov A. L. Review of dehumidification and humidification systems with maximum use of renewable natural resources // Scientific Journal of the Russian Research Institute of Land Reclamation Problems. 2020. №. 2(38). pp. 105–123. DOI 10.31774/2222-1816-2020-2-105-123. EDN VJNPAG.

16. Kozhanov A. L. Modeling of water resource distribution modes of reclamation dual regulation systems in the "group of water consumers" circuit // Melioration and water management. №. 3. 2022. pp. 31-35. DOI: 10.32962/0235-2524-2022-3-31-36. EDN: YKAXRS.

17. Kisarov O. P., Povorov V. A., Kanzurov A. A. Dispatcher regulation of water distribution by calculated volume increment // Bulletin of Agricultural Science. Issue 2. Moscow: Agropromizdat, 1986. pp. 131–134.

Кожанов Антон Леонидович, Канд. техн. наук, ведущий научный сотрудник сектора нормативно-методического обеспечения ФГБНУ «РосНИИПМ»,  
[AntonKozhanov1983@yandex.ru](mailto:AntonKozhanov1983@yandex.ru)

Воеводин Олег Владимирович, Канд. с.-х. наук, ведущий научный сотрудник сектора нормативно-методического обеспечения ФГБНУ «РосНИИПМ»,  
[vovteh@yandex.ru](mailto:vovteh@yandex.ru)