

МЕЛИОРАЦИЯ, ВОДНОЕ ХОЗЯЙСТВО И АГРОФИЗИКА

Научная статья

УДК 631.6:626.8

doi: 10.31774/2712-9357-2023-13-4-40-61

Модель гидромелиоративной системы с функцией защиты сельскохозяйственных посевов от климатических рисков

Михаил Николаевич Лытов

Волгоградский филиал Всероссийского научно-исследовательского института гидротехники и мелиорации имени А. Н. Костякова, Волгоград, Российская Федерация, LytovMN@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2743-9825>

Аннотация. **Цель:** разработка модели гидромелиоративной системы с функцией защиты сельскохозяйственных посевов от климатических рисков. **Материалы и методы.** Настоящая работа проводится в развитие тех технологий, положительные результаты которых были подтверждены ранее проведенными теоретическими и экспериментальными исследованиями в области компенсации экстремально реализующихся климатических факторов при возделывании сельскохозяйственных культур. Было сделано предположение о целесообразности системного использования в этих целях ряда гидромелиоративных технологий и необходимости разработки модели технической системы с функцией защиты сельскохозяйственных посевов от климатических рисков. **Результаты.** Исследованиями разработана вариативная схема выбора гидромелиоративных технологий для компенсации климатических рисков возделывания сельскохозяйственных культур. Разработаны принципы и концептуальные задачи создания технических гидромелиоративных систем с функцией компенсации климатических рисков. Предложена объектная модель технической системы с функцией компенсации климатических рисков. Модель включает шесть функционально обособленных технических комплексов, каждый из них имеет набор технических средств, с помощью которых осуществляется технологическая функция. Отличием представленной модели является то, что здесь указана не только базовая технологическая функция того или иного технического средства, но и функции, которые необходимо добавить, а также технические средства, которые необходимо интегрировать, чтобы можно было выполнить задачу защиты растений от климатических рисков. В целом это позволяет определить вектор конструктивного совершенствования каждого из технических комплексов системы. **Выводы:** разработана модель гидромелиоративной системы с функцией защиты сельскохозяйственных посевов от климатических рисков, которая позволяет определить приоритетные направления совершенствования конструктива и разработки новых технических решений.

Ключевые слова: гидромелиоративная система, климатические риски, компенсаторная функция, гидромелиоративные технологии, концептуальная модель

Для цитирования: Лытов М. Н. Модель гидромелиоративной системы с функцией защиты сельскохозяйственных посевов от климатических рисков // Мелиорация и гидротехника. 2023. Т. 13, № 4. С. 40–61. <https://doi.org/10.31774/2712-9357-2023-13-4-40-61>.

LAND RECLAMATION, WATER MANAGEMENT AND AGROPHYSICS

Original article

Model of a hydro-reclamation system with the function of agricultural crop protection from climate risks

Mikhail N. Lytov

Volgograd branch of A. N. Kostyakov All-Russian Research Institute for Hydraulic Engineering and Land Reclamation, Volgograd, Russian Federation, LytovMN@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2743-9825>

Abstract. Purpose: to develop a model of a hydro-reclamation system with the function of agricultural crop protection from climate risks. **Materials and methods.** This work is carried out in the development of those technologies, the positive results of which were confirmed by previous theoretical and experimental studies in the field of compensation for extreme climatic factors during crop cultivation. An assumption about the expediency of the systematic use of a number of hydro-reclamation technologies for this purpose and the need to develop a technical system model of protecting agricultural crops from climate risks was made. **Results.** A variable scheme for choosing hydro-reclamation technologies to compensate for the climatic risks of cultivating agricultural crops has been developed by the research. The principles and the conceptual tasks of technical hydro-reclamation system formation with compensation for climatic risks have been developed. An object model of a technical system with the function of compensating for climatic risks is proposed. The model includes six functionally separate technical complexes and each of them has a set of technical means to carry out the technological function. The distinction of the presented model is that it indicates not only the basic technological function of this or that technical means, but also the functions that need to be added, as well as the technical means that need to be integrated to be able to perform the task of protecting plants from climate risks. In general, this makes it possible to determine the vector of constructive improvement of each of the system's technical complexes. **Conclusions:** a model of a hydro-reclamation system with the function of protecting agricultural crops from climatic risks has been developed, which makes it possible to determine priority areas for improving the design and developing new technical solutions.

Keywords: hydro-reclamation system, climate risks, compensatory function, hydro-reclamation technologies, conceptual model

For citation: Lytov M. N. Model of a hydro-reclamation system with the function of agricultural crop protection from climate risks. *Land Reclamation and Hydraulic Engineering*. 2023;13(4):40–61. (In Russ.). <https://doi.org/10.31774/2712-9357-2023-13-4-40-61>.

Введение. Современные технологии гидротехнических мелиораций предполагают создание науко- и ресурсоемкой инженерной составляющей, требующей значительных затрат как на уровне капитального строительства, так и на уровне эксплуатации в течение всего периода жизни технической системы [1–4]. Высокая потребность в ресурсах не только отражается на конкурентоспособности сельскохозяйственного производства на мелиорированных землях, но и является причиной усиления антропогенного воздействия на агробиоценозы и окружающую среду в целом. В то же время сами гидромелиоративные технологии рассматриваются как важнейший фактор стабилизации сельскохозяйственного производства в сложных при-

родно-климатических условиях, которыми отличаются большинство сельскохозяйственных регионов России, позволяют кратно повысить продуктивность сельскохозяйственных культур и обеспечить продовольственную безопасность [5–8]. Одним из значимых факторов преодоления сопутствующих рисков внедрения и использования гидромелиоративных технологий является стратегия расширения функциональных возможностей инженерных систем. Важным направлением конструктивного совершенствования мелиоративной инженерии может стать максимальное использование возможностей гидротехнических мелиораций в плане комплексного регулирования факторов жизни и защиты посевов от климатических рисков, реализация не только основной технологической функции, но и максимальное расширение функционала без увеличения числа технологических модулей и элементов системы [9, 10].

Целью исследования является разработка модели гидромелиоративной системы с функцией защиты сельскохозяйственных посевов от климатических рисков.

Материалы и методы. Настоящая работа проводится в развитие тех технологий, положительные результаты которых были подтверждены ранее проведенными теоретическими и экспериментальными исследованиями в области компенсации экстремально реализующихся климатических факторов при возделывании сельскохозяйственных культур. Известны положительные результаты исследований, подтверждающих возможность применения дождевальных систем для компенсации атмосферных заморозков [11, 12], для защиты новых посадок земляники от перегрева корне-содержащих горизонтов почвы в южных регионах России [13], применения поливов для утепления почвы [14]. Рабочей гипотезой исследований стало предположение о целесообразности системного использования ряда гидромелиоративных технологий для компенсации действия экстремально ре-

ализующихся (в рамках региональных особенностей климата) климатических факторов, несущих риски гибели сельскохозяйственных растений.

Поставленная проблема отличается многоплановостью и включает необходимость разработки целого комплекса независимых технологий, опирающихся на новые технические решения в области мелиоративной инженерии. Следует понимать, что вероятность реализации климатического риска зависит как от региональных особенностей климата, так и от возделываемой сельскохозяйственной культуры. От физической природы реализуемого климатического риска зависит, какую гидромелиоративную технологию можно использовать для сглаживания экстремума. Решить эту задачу в отношении всех возможных климатических рисков можно лишь на основе коллективных усилий, с участием в том числе региональных научных организаций или зональных филиалов федеральных институтов. Однако методологическая основа этих исследований должна быть единой, обеспечивать единообразные подходы в решении всех возникающих вопросов. В этой связи и была поставлена задача разработки модели гидромелиоративной системы с функцией защиты сельскохозяйственных посевов от климатических рисков. Основное назначение модели – это определение векторов конструктивного совершенствования всех компонентов и технических объектов гидромелиоративной системы с целью создания новой мелиоративной инженерии, обеспечивающей защиту сельскохозяйственных посевов от климатических рисков.

Объектами исследований являются гидромелиоративные системы нового поколения в части реализации новых функций комплексной протекции климатических рисков, а также посевы сельскохозяйственных культур на мелиорированных землях, рассматриваемые как объект реализации климатических рисков. Методологической основой исследований являются фундаментальные работы В. Н. Щедрина, А. В. Колганова [15, 16],

Л. В. Кирейчевой [17], Н. Н. Дубенка, Г. В. Ольгаренко [18], И. П. Айдарова [19], А. М. Дворянкина, А. И. Половинкина, А. Н. Соболева [20] в области мелиорации и создания новых технических систем.

Результаты и обсуждение. Мелиорация земель в широком смысле и гидромелиорация в частности предполагает компенсаторное действие в отношении регионально лимитирующего фактора жизни сельскохозяйственных растений для устранения доминирующего риска в производстве сельскохозяйственной продукции. Сегодня гидромелиоративные технологии реализуют стратегию управления водным режимом почвы, направлены на поддержание водообеспечения растений в оптимальных пределах. Это основная функция гидротехнических мелиораций. Говоря о расширении функционала гидромелиоративных систем в области компенсации климатических рисков, мы вообще не имеем в виду риски, связанные с нарушением водного режима почвы, считая эту проблему в той или иной степени решенной. Рассматриваются сопутствующие климатические риски, наиболее вероятные для тех климатических районов, в которых находятся мелиорированные земли. В первую очередь учитываются те климатические факторы, экстремальные выбросы которых на региональном уровне могут привести к гибели растений, снижая тем самым продуктивность агрофитоценозов и эффективность гидромелиораций. На рисунке 1 приведена вариативная схема использования гидромелиоративных технологий для реализации компенсаторного действия в отношении следующих климатических рисков:

- атмосферных заморозков;
- воздушной засухи;
- почвенных температурных минимумов;
- почвенных температурных максимумов;
- пылевых бурь.

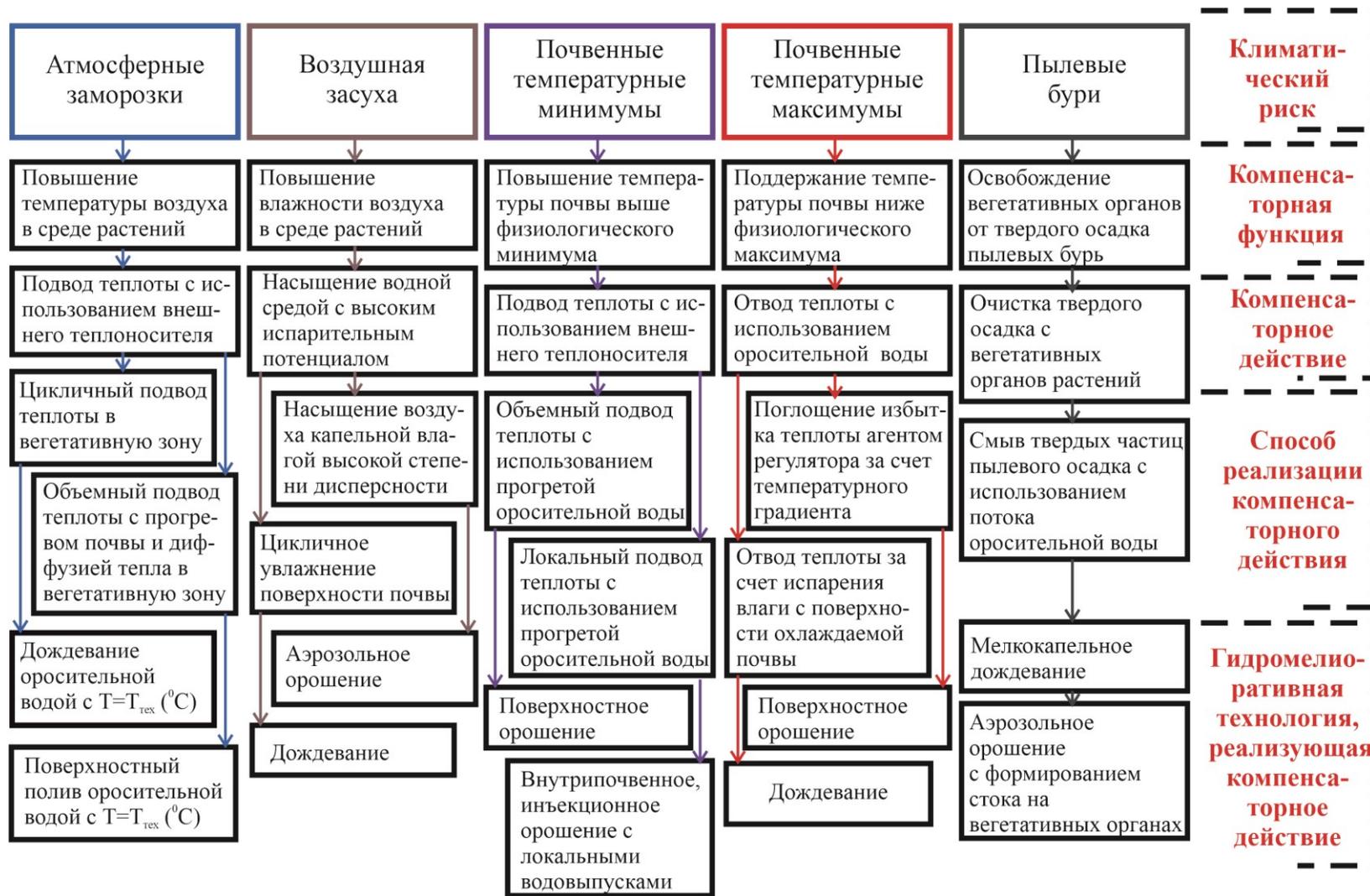


Рисунок 1 – Вариативная схема выбора гидромелиоративных технологий для защиты сельскохозяйственных посевов от климатических рисков

Figure 1 – Variable scheme for choice of hydro-reclamation technologies to protect agricultural crops from climate risk

Для защиты сельскохозяйственных растений от каждого из перечисленных климатических рисков должна быть реализована компенсаторная функция. При риске атмосферных заморозков это повышение температуры воздуха в среде растений. В случае, если риски гибели растений несет воздушная засуха, компенсаторной функцией является повышение влажности воздуха в среде растений. Соответственно, при реализации риска почвенного температурного минимума требуется повышение температуры почвы выше физиологического минимума, а при реализации риска почвенного температурного максимума требуется поддержание температуры ниже физиологического максимума. В случае реализации риска пылевых бурь может потребоваться компенсаторная функция, которая заключается в освобождении вегетативных органов растений от твердого осадка.

Компенсаторное действие определяет тот физический процесс, при помощи которого может быть осуществлена компенсаторная функция. Например, для повышения температуры воздуха в среде растений в случае реализации риска атмосферного заморозка требуется подвод теплоты с использованием внешнего теплоносителя. Подвод теплоты с использованием внешнего теплоносителя и является тем действием, с помощью которого может быть осуществлена компенсаторная функция. Для повышения влажности воздуха в среде растений необходимо насыщение этой зоны водной средой с высоким испарительным потенциалом. Для повышения или понижения температуры почвы соответственно требуется подвод или отвод теплоты с помощью подаваемой на поле оросительной воды. Компенсаторное действие, которое может потребоваться в случае реализации риска пылевых бурь, – это очистка твердого осадка с вегетативных органов растений.

Следующий уровень, который включен в вариативную схему, – это способ реализации компенсаторного действия. Безусловно, способ реализации действия может быть не один, и с этого уровня начинается ветвле-

ние вариативной схемы. На рисунке 1 приведены лишь некоторые варианты таких «способов», которые позволяют тем или иным образом реализовать функцию компенсации климатического риска. Например, компенсировать критические температурные максимумы почвы можно путем поглощения избытка теплоты агентом регулятора за счет температурного градиента либо путем отвода теплоты за счет испарения влаги с поверхности охлаждаемой почвы. Компенсировать критические понижения влажности воздуха в среде растений можно непосредственно путем насыщения этой среды водным аэрозолем либо опосредованно путем увлажнения поверхности почвы и последующего – постепенного и непрерывного – испарения влаги. Исследование таких альтернативных способов реализации компенсаторного действия в отношении вероятных климатических рисков является основой разработки технологий, при помощи которых реализуется компенсаторное действие.

Альтернативные варианты технологии компенсации риска атмосферного заморозка состоят в циклическом подводе теплоты при помощи агента регулятора – оросительной воды – в вегетативную зону либо в объемном подводе теплоты (опять же, используя оросительную воду) в почву с последующей ее диффузией в приземный слой воздуха. При воздушной засухе возможно использование технологии аэрозольного орошения для насыщения воздуха капельной влагой высокой степени дисперсности либо дождевания для периодических смачиваний поверхности почвы.

Для компенсации почвенных температурных минимумов и их влияния на сохранность растений можно использовать объемные поверхностные поливы в достаточной степени прогретой оросительной водой или внутрипочвенное орошение прогретой водой с локальными водовыпусками в прикорневую зону. Для компенсации почвенных температурных максимумов также возможно проведение объемных поверхностных поливов, когда избыточное тепло поглощается прохладной оросительной водой.

Альтернативная технология может быть реализована на основе дождевания, с помощью которого достаточно смачивать поверхность почвы и отводить избыток тепла за счет испарения влаги.

Для преодоления последствий пылевых бурь можно использовать технологию мелкокапельного дождевания (дождевой душ) или аэрозольного орошения с достаточной экспозицией включений для формирования стока на вегетативных органах растений.

Таким образом, для компенсации всех обозначенных климатических рисков могут быть использованы гидромелиоративные технологии – известные или производные технологии реализации различных способов полива. Следует понимать, что эти технологии должны выполняться технической системой в дополнение к базовой (несущей) технологии, при помощи которой осуществляется основная функция – регулирование водного режима почвы. Новая техническая система должна быть наделена дополнительными функциями, а это значит, что, возможно, потребуется конструктивное совершенствование, и эта работа должна проводиться на единых принципах. Исследованиями разработаны принципы создания технических гидромелиоративных систем с функцией компенсации климатических рисков, которые, по нашему мнению, должны сводиться к следующему:

- расширению функциональных возможностей системы или модулей системы за счет конструктивного совершенствования в противовес подключению дополнительных функциональных модулей;

- расширенному использованию возобновляемых источников энергии для обеспечения новых функций и сохранения того уровня энергонасыщенности, который свойственен несущей гидромелиоративной технологии;

- обеспечению высокого уровня технологичности и автоматизации процессов, связанных с последовательным и комбинированным использованием функций, обеспечивающих защиту растений от климатических рисков;

- обеспечению экологической безопасности и выполнению требований к утилизации технических систем по завершении жизненного цикла.

Концептуальными задачами создания технических систем с функцией защиты посевов от климатических рисков являются:

- расширение диапазона регулирования технологических параметров при осуществлении поливов известными способами;

- комбинирование способов и технологий полива;

- регулирование температуры воды, используемой для орошения и для осуществления дополнительной функции по компенсации климатических рисков;

- регулирование испарительного потенциала оросительной воды (состав водного раствора, смеси; технология водораспределения и т. д.);

- реализация возможностей использования инженерной инфраструктуры для компенсации климатических рисков на основе неводных сред в качестве агентов регулятора.

В общем виде объектная модель технической гидромелиоративной системы с функцией компенсации климатических рисков представлена на рисунке 2, в таблице 1. Техническая система включает шесть функционально обособленных технических комплексов, которые в целом присущи современным гидромелиоративным системам. Четыре из них непосредственно физически участвуют в процессах обработки и распределения воды:

- во-первых, это водозаборный технический комплекс. Основной технологической задачей этого технического комплекса является разделение потока и отбор воды из естественных или искусственно созданных водных источников, а также перенаправление его в мелиоративную сеть;

- следующим функционально обособленным техническим комплексом, непосредственно связанным с обработкой воды, является комплекс водоподготовки. Основной технологической задачей этого комплекса является обеспечение требуемых параметров качества предполагаемой к по-

следующему использованию воды. В общем случае подразумевается самый широкий набор показателей качества воды, а также предполагается возможность приготовления различного рода растворов;

- технический комплекс транспорта воды обеспечивает физическое перемещение водных ресурсов от источника к потребителю и между элементами гидромелиоративной системы. Это неотъемлемая, географически детерминированная часть технической системы, используемой для проведения гидротехнических мелиораций;

- еще одним неотъемлемым техническим комплексом гидромелиоративной системы является комплекс орошения. Данный комплекс включает совокупность технических устройств, которые непосредственно связаны с распределением воды (или приготовленных для этих целей растворов) по орошаемому участку. Данный технический комплекс детерминирован не только в пространственном отношении, но и во временном континууме.

Помимо четырех основных технических комплексов, непосредственным образом физически связанных с обработкой воды и распределением водных ресурсов, современные гидромелиоративные системы трудно представить без следующих двух, связанных опосредованно, но не менее важных:

- технический комплекс энергообеспечения имеет своей основной задачей подвод необходимых ресурсов энергии и выполнение работы, непосредственно связанной с обработкой и распределением воды. Интегрирование данного технического комплекса позволяет существенно расширить уровень приспособляемости технической системы и в значительной мере увеличить географию применения гидромелиоративных технологий;

- технический комплекс управления необходим для согласования режимов работы всех элементов технической системы, а также построения, контроля и выполнения графика технологических операций в соответствии с выбранной водной стратегией.

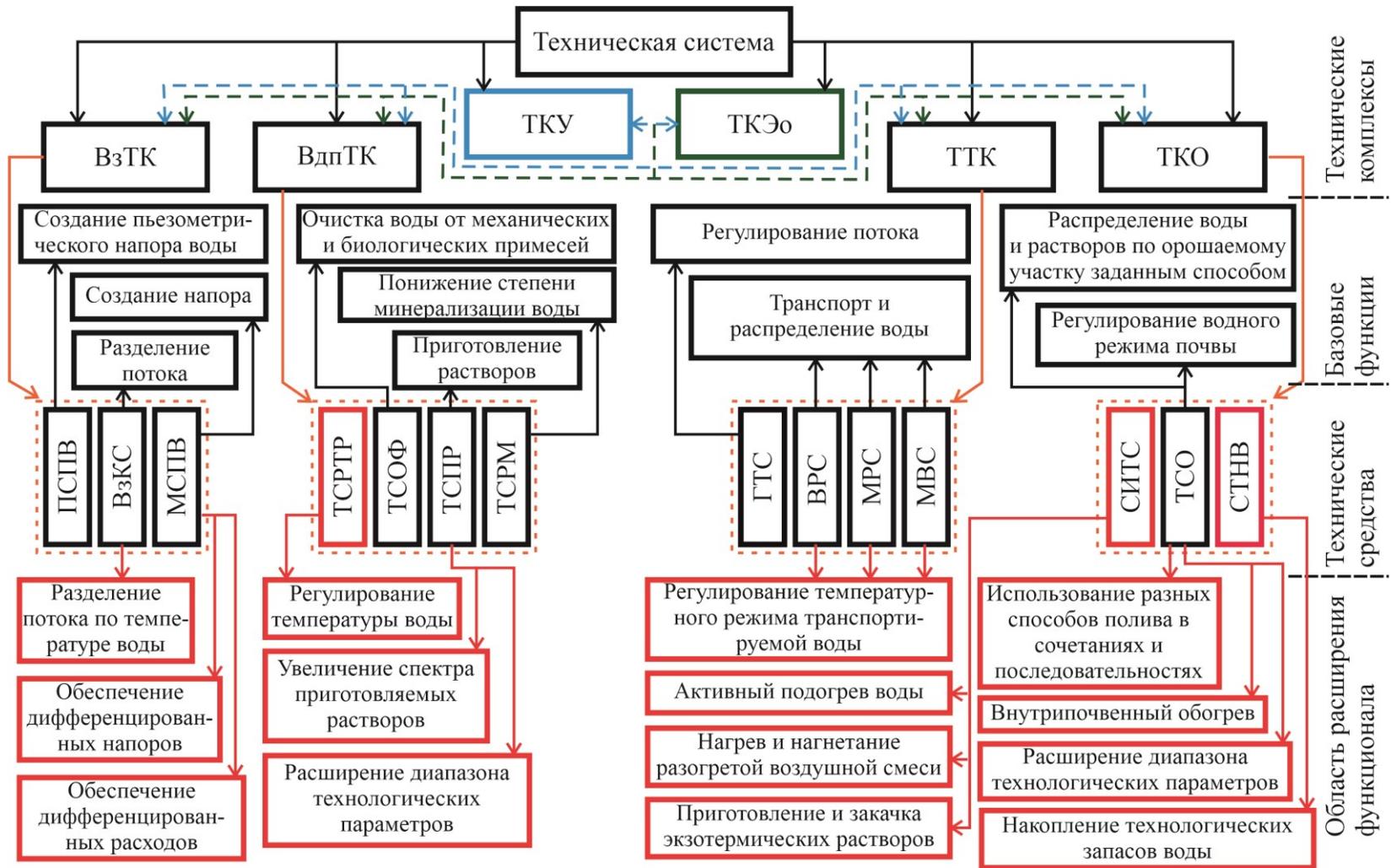


Рисунок 2 – Объектная модель гидромелиоративной системы с функцией компенсации климатических рисков возделывания орошаемых сельскохозяйственных культур

Figure 2 – Object model of hydro-reclamation system with function of compensation for climatic risks of irrigated crop cultivation

Таблица 1 – Экспликация обозначений к рисунку 2
Table 1 – Explication of symbols for Figure 2

Условное обозначение	Значение
ВзТК	Водозаборный технический комплекс
ВдпТК	Технический комплекс водоподготовки
ТТК	Технический комплекс транспорта воды
ТКО	Технический комплекс орошения
ТКЭо	Технический комплекс энергообеспечения
ТКУ	Технический комплекс управления
ПСПВ	Пассивные средства подъема воды
МСПВ	Технические средства машинного водоподъема
ВзКС	Водозаборные конструкции и сооружения
ТСОФ	Технические средства осветления и фильтрации воды
ТСПР	Технические средства приготовления растворов
ТСРМ	Технические средства регулирования минерализации
ТСРТР	Технические средства регулирования температурного режима оросительной воды
МВС	Магистральная водопроводящая сеть
МРС	Межхозяйственная распределительная сеть
ВРС	Внутрихозяйственная распределительная сеть
ГТС	Гидротехнические сооружения
МЗ	Мелиорируемые земли
СТНВ	Средства технологического водонакопления
ТСО	Технические средства орошения
СИТС	Сторонние интегрируемые технические средства

Каждый технический комплекс включает набор технических средств, выполняющих определенные технологические функции. В предложенной модели эти функции разделены на базовые и функции расширяемой области (выделено красным, рисунок 2). Базовые включают тот набор функций, которые априори реализуются современными конструкциями гидромелиоративных систем. Область расширения функционала гидромелиоративных систем в контексте решаемой проблемы включает те новые технологические функции, которые необходимы для достижения целей в области компенсации климатических рисков.

Водозаборный технический комплекс включает технические средства пассивного подъема воды, машинного подъема воды, конструкции и сооружения водозабора.

Средства пассивного подъема воды позволяют создать определенный

пьезометрический напор и за счет этого осуществлять отвод необходимых объемов без дополнительных (внешних) затрат энергии. К техническим средствам пассивного подъема воды можно отнести известные конструкции плотин, дамб, запруд. К сожалению, не всегда такие решения могут обеспечить создание напора, достаточного для выполнения технологической функции. Однако даже в случае устройства машинного водоподъема увеличение пьезометрической высоты позволяет существенно сэкономить затраты энергоресурсов.

Технические средства машинного водоподъема позволяют создать необходимый напор и осуществлять отвод воды в условиях, когда пассивных средств подъема воды недостаточно либо использование их невозможно или нецелесообразно. Это насосы и насосные станции, использующие различные (в т. ч. возобновляемые) источники энергии. Создание необходимого системе напора является базовой технологической функцией технических средств машинного водоподъема. Однако при использовании технической системы, в т. ч. и для компенсации климатических рисков возделывания сельскохозяйственных культур, может появиться необходимость дифференцирования рабочих напоров, и технические средства машинного водоподъема должны быть к этому готовы. Другой функцией технических средств машинного водоподъема из области расширения функционала является обеспечение дифференцированных расходов, или производительности насосной станции. Таким образом, уже на уровне водозаборного технического комплекса и технических средств машинного водоподъема требуется существенное расширение выполняемых функций, что формирует соответствующие требования к совершенствованию конструкций.

Водозаборные сооружения в качестве основной (базовой) технологической функции должны обеспечивать разделение водных потоков или отделение требуемых объемов воды от общих водных запасов водоема. При этом предполагается только деление объемов воды, без каких-либо

дополнительных условий. При создании технической гидромелиоративной системы с технологически реализуемой возможностью компенсации климатических рисков конструкции водозабора должны обеспечивать не только деление объемов воды (потока), но и деление по качественным признакам, в т. ч. по температуре воды. Новые требования к конструкциям водозабора регламентируют забор воды определенного диапазона температур и разделение потока воды с разной температурой.

Технический комплекс водоподготовки включает такие инструменты, как технические средства осветления и фильтрации воды, технические средства приготовления растворов, технические средства регулирования минерализации. Базовой функцией технических средств и сооружений осветления, а также фильтрации воды является очистка изъятых из водисточника объемов от механических и биологических примесей. Степень очистки регламентируется особенностями конструкции транспорта воды и орошения. Технические средства регулирования минерализации воды включают конструкции и гидротехнические сооружения, комплексы, основной функцией которых является понижение степени минерализации до технологически допустимого уровня.

Технические средства приготовления растворов предназначены для приготовления питательных растворов, растворов веществ-мелиорантов, растворов средств системной защиты растений с целью последующей подачи их в прикорневую зону растений с поливной водой. Это базовая функция технических средств приготовления растворов. При создании технической системы с функцией компенсации климатических рисков базовый функционал технических средств приготовления растворов должен быть расширен, увеличен спектр растворяемых веществ и технологий их применения. Речь может идти о приготовлении смесей поверхностно-активных веществ для контроля динамики испарения капельных форм воды при мелкодисперсном дождевании с целью регулирования фитоклимата

посевов. Возможно приготовление экзотермических растворов для регулирования температуры воды при компенсации таких климатических рисков, как заморозки. Важным направлением также является расширение диапазона технологических параметров приготовления растворов, которые в новых системах могут применяться разными, альтернативными способами.

Технический комплекс водоподготовки предполагает создание функционально нового блока технических средств для регулирования температурного режима оросительной воды (выделено красным, рисунок 2). Регулирование температуры воды – важнейшая функция технических гидромелиоративных систем с функцией компенсации климатических рисков. Вода, температурным режимом которой можно управлять, является мощным инструментом и подвода тепла в условиях заморозков, и отвода тепла при создании избыточной температурной напряженности. Температура воды имеет также большое физиологическое значение, этот фактор важен при хранении или длительном транспортировании водных ресурсов. Введение класса технических средств регулирования температурного режима оросительной воды позволит на системной основе подойти к решению этих вопросов.

Технический комплекс транспорта воды включает различного уровня водопроводящие системы и гидротехнические сооружения. Гидротехнические сооружения предназначены для регулирования водного потока и распределения его в водопроводящие сети. Магистральная водопроводящая сеть, равно как и распределительные межхозяйственные, а также внутрихозяйственные сети, имеет базовую функцию транспорта воды и водораспределения. Однако уже сегодня есть технические решения, где эти конструктивно протяженные объекты могут использоваться в качестве фундамента для систем генерации энергии. При создании технических гидромелиоративных систем с функцией компенсации климатических рисков важным ресурсом может стать использование солнечной энергии для увеличения температуры транспортируемой воды.

Технический комплекс орошения в базовом варианте включает в себя совокупность технических средств орошения, которые обеспечивают распределение оросительной воды по мелиорированному участку (массиву). При создании технической гидромелиоративной системы с функцией компенсации климатических рисков функциональность этого комплекса должна быть существенно расширена, в т. ч. за счет использования сторонних интегрируемых технических средств, а также средств технологического водонакопления (выделено красным, рисунок 2).

Технические средства орошения базовой функцией имеют распределение воды и растворов по орошаемому участку и регулирование водного режима почвы. В технической системе с функцией компенсации климатических рисков требования к исполняемым функциям технических средств орошения существенно расширяются. Технические средства орошения должны обеспечивать возможность использования разных способов полива в заданных технологией сочетаниях и последовательностях. Предполагается развитие конструкций и использование систем внутрипочвенного орошения для внутрипочвенного обогрева корнеобитаемой зоны возделываемых культур. Важным направлением является расширение технологических параметров полива в рамках одного способа, за счет чего трансформируются технологии орошения и решаются разные задачи по компенсации климатических рисков.

Сторонние интегрируемые технические средства предполагают использование активных инструментов для регулирования температурного режима оросительной воды, в т. ч. для активного подогрева, для нагрева и нагнетания разогретой воздушной смеси с целью подачи ее в среду растений посредством технических средств орошения, возможны решения с приготовлением и закачкой экзотермических растворов.

Функция накопления технологических запасов воды тоже является специфичной для технических систем с компенсацией климатических рис-

ков. Орошение в таких системах используется не только для восполнения дефицита почвенной влаги, но и для компенсации климатических экстремумов, а также для регулирования фитоклимата в среде посева. Технологические потребности в проведении поливов в этом случае значительно более вариативны, чем при регулировании только водного режима почвы. В ряде случаев продолжительное время поддерживать рабочие напоры в системе только из-за проведения кратковременных поливов в отдельных ее сегментах является нецелесообразным. Технологические запасы воды дают определенную технологическую автономность этим сегментам гидромелиоративной системы, позволяют не нагружать всю систему в целом. В то же время средства технологического накопления воды являются ситуативным решением и могут размещаться там, где необходимость этого обоснованна.

Заключение. Одним из приоритетных направлений конструктивного совершенствования мелиоративной инженерии должно стать расширение функциональных возможностей гидротехнических мелиораций в плане комплексного регулирования факторов жизни и защиты посевов от климатических рисков. Исследованиями разработана вариативная схема использования гидромелиоративных технологий для компенсации климатических рисков возделывания сельскохозяйственных культур. Разработаны принципы и концептуальные задачи создания технических гидромелиоративных систем с функцией компенсации климатических рисков. Предложена объектная модель технической гидромелиоративной системы с функцией компенсации климатических рисков. Модель технической системы включает шесть функционально обособленных технических комплексов, в т. ч. водозаборный, технический комплекс водоподготовки, комплекс транспорта воды, технический комплекс орошения, технический комплекс энергообеспечения и комплекс управления. Каждый из комплексов имеет набор технических средств, с помощью которых осуществляется технологическая функция. Отличием представленной модели является то, что

здесь указана не только базовая технологическая функция того или иного технического средства, но и функции, которые необходимо добавить, чтобы можно было выполнить задачу защиты растений от климатических рисков. Кроме области расширения функций в модели прописаны и новые технические средства, которые могли бы быть интегрированы в систему для решения задачи защиты растений от климатических рисков. В целом это позволяет определить вектор конструктивного совершенствования каждого из технических комплексов системы.

Список источников

1. Ивонин В. М. Теоретическая концепция совершенствования мелиоративных систем // Региональные геосистемы. 2022. Т. 46, № 3. С. 322–338. DOI: 10.52575/2712-7443-2022-46-3-322-338.
2. Колганов А. В. О состоянии мелиорируемых земель и задачах совершенствования гидромелиоративных систем // Мелиорация и водное хозяйство. 1995. № 6. С. 2–4.
3. Шанина Е. Н. Направления инновационно-инвестиционного развития мелиорации в сельском хозяйстве Поволжья // Экономика и бизнес: теория и практика. 2023. № 4-2(98). С. 217–221. DOI: 10.24412/2411-0450-2023-4-2-217-221.
4. Наумова Т. В. Проблемы технического состояния оросительных систем юга России и переход управления орошением на новый технологический уровень // Гидротехническое строительство. 2022. № 1. С. 2–5. <http://dx.doi.org/10.34831/EP.2022.94.58.001>.
5. Куприянова С. В. К вопросу влияния мелиорации земель на устойчивое производство сельскохозяйственной продукции // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации [Электронный ресурс]. 2019. № 4(36). С. 135–151. URL: <http://www.rosniipm-sm.ru/article?n=1022> (дата обращения: 01.07.2023). DOI: 10.31774/2222-1816-2019-4-135-151.
6. Решетов Г. Г., Рябчикова С. С. Эколого-экономическая эффективность развития орошения в Нижнем Поволжье // Вестник Саратовского государственного социально-экономического университета. 2012. № 1(40). С. 94–96.
7. Markovska O. Ye., Dudchenko V. V. Modelling irrigation regimes of different varieties of rice with aquacrop software // Ecological Engineering and Environmental Technology. 2021. Vol. 22, № 5. P. 103–109. <https://doi.org/10.12912/27197050/139312>.
8. Zhou H., Zhao W. Z. Modeling soil water balance and irrigation strategies in a flood-irrigated wheat-maize rotation system. A case in dry climate, China // Agricultural Water Management. 2019. Vol. 221. P. 286–302. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2019.05.011>.
9. Бородычев В. В., Лытов М. Н. Технологические функции технической системы для регулирования гидротермического режима агрофитоценоза и комплексной протекции посевов от климатических рисков // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2020. № 2(58). С. 307–319. DOI: 10.32786/2071-9485-2020-02-30.
10. Лытов М. Н. Целевые функции компенсации климатических рисков возделывания сельскохозяйственных культур при комплексном использовании гидротехнических мелиораций // Мелиорация и гидротехника [Электронный ресурс]. 2022. Т. 12, № 4. С. 67–85. URL: <http://www.rosniipm-sm.ru/article?n=1313> (дата обращения: 01.07.2023). DOI: 10.31774/2712-9357-2022-12-4-67-85.

11. Holybowicz T. Ochrona kwitnacych sadow przed wiosennymi przymrozkami // Sad nowoczesny. 1991. № 1. P. 5–12.
12. Ламердонов З. Г. Многофункциональные инженерно-мелиоративные системы в садоводстве и виноградарстве // Техника и оборудование для села. 2016. № 8. С. 8–9.
13. Лытов М. Н. Агробиологическая эффективность комбинированного орошения сельскохозяйственных культур в Нижнем Поволжье // Аграрная Россия. 2022. № 10. С. 3–7. DOI: 10.30906/1999-5636-2022-10-3-7.
14. Бородычев В. В., Лытов М. Н. Модель теплообмена в системе «агрофитоценоз – окружающая среда» с регуляторами // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2019. № 4(56). С. 192–203. DOI: 10.32786/2071-9485-2019-04-24.
15. Актуальные вопросы развития мелиоративной отрасли и использования водных ресурсов в АПК / В. Н. Щедрин, А. В. Колганов, Г. А. Сенчуков, В. Д. Гостищев // Мелиорация и водное хозяйство. 2021. № 4. С. 8–11.
16. Щедрин В. Н., Коржов В. И., Белоусов А. А. Подходы к формированию принципов создания современных мелиоративных систем и объектов // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации [Электронный ресурс]. 2020. № 3(39). С. 170–188. URL: <http://www.rosniipm-sm.ru/article?n=1145> (дата обращения: 01.07.2023). DOI: 10.31774/2222-1816-2020-3-170-188.
17. Кирейчева Л. В. Биосферно-экологическое обоснование комплексных мелиораций // Природообустройство. 2023. № 2. С. 15–22. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2023-2-15-22>.
18. Дубенок Н. Н., Ольгаренко Г. В. Перспективы восстановления мелиоративного комплекса Российской Федерации // Вестник российской сельскохозяйственной науки. 2021. № 2. С. 56–59. <https://doi.org/10.30850/vrsn/2021/2/56-59>.
19. Айдаров И. П. Экологические основы мелиорации земель // Природообустройство. 2022. № 3. С. 6–12. DOI: 10.26897/1997-6011-2022-3-6-12.
20. Дворянкин А. М., Половинкин А. И., Соболев А. Н. Метод поиска рациональных технических решений // Управляющие системы и машины. 1977. № 5. С. 102–107.

References

1. Ivonin V.M., 2022. *Teoreticheskaya kontseptsiya sovershenstvovaniya meliorativnykh sistem* [Theoretical concept in behalf of improvement of reclamation systems]. *Regional'nye geosistemy* [Regional Geosystems], vol. 46, no. 3, pp. 322-338, DOI: 10.52575/2712-7443-2022-46-3-322-338. (In Russian).
2. Kolganov A.V., 1995. *O sostoyanii melioriruemyykh zemel' i zadachakh sovershenstvovaniya gidromeliorativnykh sistem* [On state of reclaimed lands and the tasks of improving hydro-reclamation systems]. *Melioratsiya i vodnoe khozyaystvo* [Land Reclamation and Water Management], no. 6, pp. 2-4. (In Russian).
3. Shanina E.N., 2023. *Napravleniya innovatsionno-investitsionnogo razvitiya melioratsii v sel'skom khozyaystve Povolzh'ya* [Directions of innovative and investment development of land reclamation in agriculture of the Volga region]. *Ekonomika i biznes: teoriya i praktika* [Economy and Business: Theory and Practice], no. 4-2(98), pp. 217-221, DOI: 10.24412/2411-0450-2023-4-2-217-221. (In Russian).
4. Naumova T.V., 2022. *Problemy tekhnicheskogo sostoyaniya orositel'nykh sistem yuga Rossii i perekhod upravleniya orosheniem na novyy tekhnologicheskii uroven'* [Problems of the technical state of irrigation systems in the south of Russia and the transition of irrigation management to a new technological level]. *Gidrotekhnicheskoe stroitel'stvo* [Power Technology and Engineering], no. 1, pp. 2-5, <http://dx.doi.org/10.34831/EP.2022.94.58.001>. (In Russian).

5. Kupriyanova S.V., 2019. [On issue of the land reclamation impact on sustainable agricultural production]. *Nauchnyy zhurnal Rossiyskogo NII problem melioratsii*, no. 4(36), pp. 135-151, available: <http://www.rosniipm-sm.ru/article?n=1022> [accessed 01.07.2023], DOI: 10.31774/2222-1816-2019-4-135-151. (In Russian).

6. Reshetov G.G., Ryabchikova S.S., 2012. *Ekologo-ekonomicheskaya effektivnost' razvitiya orosheniya v Nizhnem Povolzh'e* [Ecological and economic efficiency of irrigation in the Lower Volga region]. *Vestnik Saratovskogo gosudarstvennogo sotsial'no-ekonomicheskogo universiteta* [Bulletin of Saratov State Socio-Economic University], no. 1(40), pp. 94-96. (In Russian).

7. Markovska O.Ye., Dudchenko V.V., 2021. Modelling irrigation regimes of different varieties of rice with aquacrop software. *Ecological Engineering and Environmental Technology*, vol. 22, no. 5, pp. 103-109, <https://doi.org/10.12912/27197050/139312>.

8. Zhou H., Zhao W.Z., 2019. Modeling soil water balance and irrigation strategies in a flood-irrigated wheat-maize rotation system. A case in dry climate, China. *Agricultural Water Management*, vol. 221, pp. 286-302, <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2019.05.011>.

9. Borodychev V.V., Lytov M.N., 2020. *Tekhnologicheskie funktsii tekhnicheskoy sistemy dlya regulirovaniya gidrotermicheskogo rezhima agrofytotsenoza i kompleksnoy protektsii posevov ot klimaticheskikh riskov* [Technological functions of the technical system for regulating the hydrothermal regime of agrophytocenosis and integrated crop protection from climatic risks]. *Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: nauka i vysshee professional'noe obrazovanie* [Proceedings of Lower Volga Agro-University Complex: Science and Higher Education], no. 2(58), pp. 307-319, DOI: 10.32786/2071-9485-2020-02-30. (In Russian).

10. Lytov M.N., 2022. [Goal functions for climatic risk compensation of crop cultivation at the integrated hydrotechnical reclamation use]. *Melioratsiya i gidrotekhnika*, vol. 12, no. 4, pp. 67-85, available: <http://www.rosniipm-sm.ru/article?n=1313> [accessed 01.07.2023], DOI: 10.31774/2712-9357-2022-12-4-67-85. (In Russian).

11. Holybowicz T., 1991. Ochrona kwitnacych sadow przed wiosennymi przymrozkami. *Sad nowoczesny*, no. 1, pp. 5-12. (In Polish).

12. Lamerdonov Z.G., 2016. *Mnogofunktsional'nye inzhenerno-meliorativnye sistemy v sadovodstve i vinogradarstve* [Multifunctional engineering and reclamation systems in gardening and wine growing]. *Tekhnika i oborudovanie dlya sela* [Technique and Equipment for the Village], no. 8, pp. 8-9. (In Russian).

13. Lytov M.N., 2022. *Agrobiologicheskaya effektivnost' kombinirovannogo orosheniya sel'skokhozyaystvennykh kul'tur v Nizhnem Povolzh'e* [Agrobiological efficiency of combined irrigation of agricultural crops in the Lower Volga region]. *Agrarnaya Rossiya* [Agrarian Russia], no. 10, pp. 3-7, DOI: 10.30906/1999-5636-2022-10-3-7. (In Russian).

14. Borodychev V.V., Lytov M.N., 2019. *Model' teploobmena v sisteme "agrofytotsenoz – okruzhayushchaya sreda" s regulatorami* [Heat transfer model in the system "agrophytocenosis – environment" with regulators]. *Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: nauka i vysshee professional'noe obrazovanie* [Proceedings of Lower Volga Agro-University Complex: Science and Higher Education], no. 4(56), pp. 192-203, DOI: 10.32786/2071-9485-2019-04-24. (In Russian).

15. Shchedrin V.N., Kolganov A.V., Senchukov G.A., Gostishchev V.D., 2021. *Aktual'nye voprosy razvitiya meliorativnoy otrasli i ispol'zovaniya vodnykh resursov v APK* [Topical issues of the development of the reclamation industry and the use of water resources in the agro-industrial complex]. *Melioratsiya i vodnoe khozyaystvo* [Land Reclamation and Water Management], no. 4, pp. 8-11. (In Russian).

16. Shchedrin V.N., Korzhov V.I., Belousov A.A., 2020. [Approaches to the formation of principles of modern reclamation systems and facilities]. *Nauchnyy zhurnal Rossiyskogo NII*

problem melioratsii, no. 3(39), pp. 170-188, available: <http://www.rosniipm-sm.ru/article?n=1145> [accessed 01.07.2023], DOI: 10.31774/2222-1816-2020-3-170-188. (In Russian).

17. Kireycheva L.V., 2023. *Biosferno-ekologicheskoe obosnovanie kompleksnykh melioratsiy* [Biospheric-ecological substantiation of complex land reclamation]. *Prirodooobustroystvo* [Environmental Engineering], no. 2, pp. 15-22, <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2023-2-15-22>. (In Russian).

18. Dubenok N.N., Olgarenko G.V., 2021. *Perspektivy vosstanovleniya meliorativnogo kompleksa Rossiyskoy Federatsii* [Recovery prospects for the Russian Federation reclamation complex]. *Vestnik rossiyskoy sel'skokhozyaystvennoy nauki* [Bulletin of Russian Agricultural Science], no. 2, pp. 56-59, <https://doi.org/10.30850/vrsn/2021/2/56-59>. (In Russian).

19. Aidarov I.P., 2022. *Ekologicheskie osnovy melioratsii zemel'* [Ecological bases of land reclamation]. *Prirodooobustroystvo* [Environmental Engineering], no. 3, pp. 6-12, DOI: 10.26897/1997-6011-2022-3-6-12. (In Russian).

20. Dvoryankin A.M., Polovinkin A.I., Sobolev A.N., 1977. *Metod poiska ratsional'nykh tekhnicheskikh resheniy* [Method of searching for rational technical solutions]. *Upravlyayushchie sistemy i mashiny* [Control Systems and Machines], no. 5, pp. 102-107. (In Russian).

Информация об авторе

М. Н. Лытов – ведущий научный сотрудник, исполняющий обязанности директора филиала, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, Волгоградский филиал Всероссийского научно-исследовательского института гидротехники и мелиорации имени А. Н. Костякова, Волгоград, Российская Федерация, LytovMN@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2743-9825>.

Information about the author

M. N. Lytov – Leading Researcher, Acting Director of the Branch, Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor, Volgograd branch of A. N. Kostyakov All-Russian Research Institute for Hydraulic Engineering and Land Reclamation, Volgograd, Russian Federation, LytovMN@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2743-9825>.

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

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

Статья поступила в редакцию 19.07.2023; одобрена после рецензирования 30.08.2023; принята к публикации 15.09.2023.

The article was submitted 19.07.2023; approved after reviewing 30.08.2023; accepted for publication 15.09.2023.