



УДК 631.6

DOI 10.52575/2712-7443-2022-46-3-322-338

Теоретическая концепция совершенствования мелиоративных систем

Ивонин В.М.

Новочеркасский инженерно-мелиоративный институт имени А.К. Кортунова –
филиал Донского государственного аграрного университета,
Россия, 346428, г. Новочеркасск, Пушкинская, 111,
E-mail: Ivoninfores@yandex.ru

Аннотация. По дисциплине «Мелиорация земель» необходима разработка общей системно-ориентированной теоретической концепции совершенствования наиболее распространенных в степной зоне гидромелиоративных (ГМС) и агролесомелиоративных (АЛМС) природно-антропогенных систем. Отсутствие такой концепции затрудняет создание/модернизацию мелиоративных систем с учетом экологической ситуации и возможных деградиционных процессов. Поэтому целью исследований стала система взглядов, раскрывающая логико-теоретические представления о совершенствовании ГМС и АЛМС. Методология основана на визуализации научных знаний. В результате определены основные направления совершенствования: структура систем, мелиоративные технологии, адаптивность к окружающей среде и экологическая безопасность. Направления совершенствования ГМС подразделили на группы: экологическая безопасность, технический и технологический уровни, агроресурсный потенциал и управляемость. Основа экологической безопасности – биологизация технических компонентов. Технический и технологический уровень ГМС – ее надежность, точность, ремонтпригодность, управляемость, соблюдение требований эксплуатации и наилучшие доступные технологии. Климат, почвы, воды, биоразнообразие и биопродуктивность определяют агроресурсный потенциал. Управляемость, в основном, обеспечивают диспетчеризация, автоматика и телемеханика. Представлены следующие показатели совершенствования АЛМС: территориальная организация, содействие природоподобию, гармония компонентов, потенциал. Лесные насаждения – ведущий фактор природоподобия. Гармония определяется оптимумом соотношений между лесом, пашней и лугом. Потенциал проявлен через мелиоративные, почвозащитные, водоохранные, пастбищезащитные и глобальные функции. Результаты исследований представляют теоретическую концепцию совершенствования ГМС и АЛМС в степных сельскохозяйственных регионах страны.

Ключевые слова: гидромелиорация, агролесомелиорация, совершенствование систем мелиорации, экологическая безопасность, наилучшие доступные технологии

Для цитирования: Ивонин В.М. 2022. Теоретическая концепция совершенствования мелиоративных систем. Региональные геосистемы, 46(3): 322–338. DOI: 10.52575/2712-7443-2022-46-3-322-338

Theoretical Concept in Behalf of Improvement Ameliorative Systems

Vladimir M. Ivonin

Novocherkassk Engineering and Land Reclamation Institute –
branch of the Don State Agrarian University,
111 Pushkinskaya St, Novocherkassk 346428, Russia
E-mail: Ivoninfores@yandex.ru

Abstract. In the discipline "Land reclamation", it is necessary to develop a general system-oriented theoretical concept for improving the most common hydro-reclamation (HMS) and agroforestry (ALMS) natural-anthropogenic systems in the steppe zone. The absence of such a concept makes it difficult to

create/modernize reclamation systems, taking into account the environmental situation and possible degradation processes. Therefore, the purpose of the research was a system of views that reveals the logical and theoretical ideas about the improvement of HMS and ALMS. The methodology is based on the visualization of scientific knowledge. As a result, the main directions of improvement were determined: the structure of systems, land reclamation technologies, adaptability to the environment and environmental safety. Directions for improving the HMS were divided into groups: environmental safety, technical and technological levels, agro-resource potential and manageability. The basis of environmental safety is the biologization of technical components. The technical and technological level of HMS is its reliability, accuracy, maintainability, controllability, compliance with operating requirements and the best available technologies. Climate, soils, waters, biodiversity and bioproductivity determine the agro-resource potential. Manageability is mainly provided by dispatching, automation and telemechanics. The following indicators of ALMS improvement are presented: territorial organization, promotion of nature-likeness, harmony of components, potential. Forest plantations are the leading factor of nature similarity. Harmony is determined by the optimum ratio between forest, arable land and meadow. The potential is manifested through reclamation, soil protection, water protection, pasture protection and global functions. The research results present a theoretical concept for improving HMS and ALMS in the steppe agricultural regions of the country.

Keywords: hydromelioration, agroforestry, improvement of land reclamation systems, environmental safety, best available technologies

For citation: Ivonin V.M. 2022. Theoretical Concept in Behalf of Improvement Ameliorative Systems. Regional Geosystems, 46(3): 322–338 (in Russian). DOI: 10.52575/2712-7443-2022-46-3-322-338

Введение

Совершенствование мелиоративных систем (достижение поставленных целей) проводят с учетом физико-географического процесса и сотворчества человека с природой, направленного на возрастание хозяйственного и сбережение природного потенциалов. Это происходит при технических улучшениях, увязанных с почвенным плодородием и сельскохозяйственными технологиями [Щедрин и др., 2012]. При этом непрерывно совершенствуют методологию создания технически совершенных мелиоративных систем [Щедрин, Васильев, 2017].

Основными целями создания мелиоративных систем являются: сохранение и воспроизводство плодородия почв, возрастание продуктивности земель, экономное использование природных и трудовых ресурсов, сохранение природной среды.

Зарубежные исследователи для обоснования устойчивого орошения сельскохозяйственных земель проводят исследования [Velasco-Muñoz et al., 2019], связанные с изменениями климата, воздействием на среду, сохранением природных ресурсов, инновациями и совершенствованием ирригационных технологий, эффективностью водопользования и др. При этом в США отдают предпочтение урожайности сельскохозяйственных культур, альтернативному сельскому хозяйству, построению численных моделей, продовольственной безопасности, водному балансу, очистке сточных вод, доступности воды, сохранению природных ресурсов, воздействию на среду, уровням грунтовых вод и др. В Испании – энергоэффективности, совершенствованию оросительной сети, системам поддержки принятия решений, энергетическим ресурсам и др. В Китае – альтернативному сельскому хозяйству, изучению районов орошения, испарению с поверхности почвы, защите окружающей среды, гидрологическому моделированию, экологии, рельефу, влажности почвы, системному подходу и др.

Оправдана необходимость устойчивого использования воды для выращивания культур при автоматическом поливе, основанном на теории управления [Romero et al., 2012]. Разработана интеллектуальная оросительная система, способная дистанционно управлять орошением и контролировать влажность почвы [Ismaila, Olatunji, 2019].

Обсуждается важность условий дренажа на сельскохозяйственных землях в связи с плохим управлением орошением, и излагаются результаты исследований, необходимых для проектирования и эксплуатации дренажа, связанные с анализом данных в области почвоведения, геологии, топографии, сведений о динамике подземных вод, количестве и интенсивности осадков, поверхностном стоке с осушаемой территории, климатических показателях и стадиях развития сельскохозяйственных культур [Gurovich, Oyarce, 2015].

Стремление к совершенству привело к определению экологических принципов создания мелиоративных систем на основе сбалансированности потоков веществ и энергии. При этом модернизацию мелиоративных систем осуществляют на основе глубокого анализа состояния природных ресурсов, общей экологической обстановки и выявляют причины развития деградационных процессов с учетом технического состояния систем, вероятностных изменений климатических, почвенных, гидрогеологических, геохимических, хозяйственных, социально-экономических условий функционирования, мелиорированных агроландшафтов [Краснощеков, Ольгаренко, 2016].

Мелиоративная система, содержащая природные, хозяйственные и технические элементы, преобразует ландшафты при сохранении установленных человеком экологических ограничений, которые предупреждают опасность хозяйству, природе и обществу. Это определяет мелиоративную систему как природный и общественный объект, согласованный с географическими и социальными законами [Напрасников, 2018].

Для повышения экологической безопасности мелиоративных систем нового поколения предложена обобщенная концептуальная модель, включающая теоретическое и методологическое обеспечение экологической безопасности эксплуатации с использованием инновационных природоохранных и ресурсосберегающих технологий [Карпенко, 2016].

Считают, что в экологически совершенных технических мелиоративных системах природные и антропогенные элементы находятся в оптимальном соотношении [Бадмаева, Макушкин, 2010]. Формирование и развитие мелиоративных систем рассматривают в территориальном (учет региональных условий развития рационального природопользования), инновационном (внедрение новейших достижений науки и практики с обеспечением охраны природной среды) и других аспектах [Александровская, 2018].

Предложены меры предупреждения негативных последствий создания мелиоративных систем. В области орошения – это совершенствование способов полива и оптимизация режимов орошения, снижение непроизводительных расходов воды, подготовка дренажных вод для внутрисистемного использования, увеличение количества водоисточников, совершенствование структуры посевов; в сфере осушения – использование специальной водоподготовки и рециклинга дренажного стока, искусственных водоприемников и др. [Кирейчева, 2017].

Технологическую функцию оросительных гидромелиоративных систем дифференцируют на следующие составляющие: водозабор (самотечный или с машинным водоподъемом), водоподготовка (осветление воды, удаление механических примесей и биологического загрязнения), транспорт воды (перемещение отбираемых из водоисточника объемов воды к мелиорируемым участкам), орошение (распределение оросительной воды по мелиорированной площади и трансформация ее в почвенную влагу) с использованием различных способов полива (поверхностный, дождевание, капельный, внутрпочвенный и аэрозольный), водооборотная функция (отвод избыточно поданной воды, грунтовых вод и бокового почвенного притока) для создания благоприятного мелиоративного состояния земель [Лытов, Бородычев, 2019].

Концепция решений, основанных на природных процессах, для науки, политики и практики (NBS) сформулирована Европейской комиссией. Эта концепция основана на системном подходе, являясь «зеленым коммуникационным инструментом», который обеспечивает управление рациональной эксплуатацией природных ресурсов [Nesshöver et al., 2016].

В сельскохозяйственной практике концепция NBS представляет «использование природных процессов или элементов для улучшения экосистемных функций окружающей среды

и ландшафтов, затронутых сельскохозяйственной практикой, а также для повышения уровня жизни и других социальных и культурных функций в различных временных и пространственных масштабах». Установлены четыре основные функции NBS в сельском хозяйстве:

- 1) устойчивые методы производства;
- 2) зеленая инженерная инфраструктура – в основном для защиты почв от эрозии;
- 3) мелиорация условий для растений, воды, почвы и воздуха, смягчение последствий изменения климата;
- 4) сохранение биоразнообразия и природных связей в экосистемах [Simelton et al., 2021].

В России понятие NBS можно связать с управляемой лесной ресурсной системой, объединяющей существующие мелиоративные лесные полосы, насаждения оврагов и балок, пойм рек и водоемов, автомобильных дорог, техногенных систем и др. [Свиридов, Синельников, 2015], или с природоподобной инженерно-биологической системой, объединяющей агролесомелиоративные насаждения, простейшие гидротехнические сооружения (ПГТС), различные формы травянистой растительности, кустарниковых и кустарничковых ценозов, а также приемы агротехники сельскохозяйственных культур, направленные на защиту почв от эрозии и повышение их плодородия ¹.

Такие системы, обладающие упругой устойчивостью, размещаются в пределах водосборов балок (бассейнов рек), которым присуща резистентная устойчивость. При этом соблюдается условие адаптации к природной среде разнообразных технологий создания инженерно-биологических систем. Основой природоподобия (внедрение в хозяйственную деятельность технологий, не противоречащих ассимиляционной функции природы [Кокин, Кокин, 2020]) являются мелиоративные лесные насаждения (МЛН), создание которых основывается на сочетании традиционных и современных технологий [Сучков, 2018].

При совершенствовании систем мелиоративных лесных полос (агролесомелиоративных систем) решают задачи оптимальности параметров (ширина и высота лесных насаждений, расстояния между ними, породный состав, биомасса древесины), соответствующих вещественно-энергетическим и информационным возможностям лесоаграрных урочищ, формирующих ландшафтно-географические поля (мелиоративные зоны) воздействия на ландшафтную сферу [Ивонин, 2021]. Для повышения долговечности лесных полос используют проходные и комбинированные рубки [Ахтямов и др., 2016]. Если существует необходимость, то дополнительно предусматривают культуртехнические (расчистка земель от сорной травянистой растительности, деревьев и кустарников, пней, кочек, камней; пескование, глинование и землевание; рыхление, плантажная обработка почвы и др.) или химические (внесение в почвы одного из мелиорантов: известняк, кальцит, доломит, гашеная известь, отходы производства сахара и др.) мероприятия.

Под мелиоративными системами обычно понимают комплексы взаимосвязанных гидротехнических и других сооружений и устройств на мелиорированных землях. Системы мелиоративных защитных лесных насаждений и лесных полос определены действующим ГОСТ 26462-85 ².

По общей теории мелиоративных систем [Ивонин, 2022] как системы гидромелиорации, так и агролесомелиорации реализуют мелиоративные цели и организуют ландшафтное пространство при экологических ограничениях. При этом их совершенствование может базироваться на общей теоретической концепцией, обоснование которой и явилось целью наших исследований.

¹ Ивонин В.М. 2018. Лесомелиорация ландшафтов. Лесные насаждения для улучшения функционирования, сохранения и рекультивации природно-антропогенных ландшафтов. Новочеркасск, Лик, 206 с.

² ГОСТ 26462-85. Агролесомелиорация. Термины и определения. 1986. М., Изд-во стандартов, 10 с.

Объекты и методы исследования

Под мелиоративной системой мы понимаем иерархическую систему мелиоративных мероприятий (гидромелиоративных, агролесомелиоративных, химических, агротехнических, культуртехнических и др.), которые отдельно или сочетаясь друг с другом служат средством эколого-экономической и социальной адаптации сельскохозяйственного землепользования к различным уровням иерархии ландшафтной структуры [Ивонин, 2021].

В основу разрабатываемой концепции заложены фактические данные различных авторов о возможности совершенствования систем мелиорации земель, способных к антропогенно-природной эволюции, коммуникативности и адаптации к изменяющимся условиям природной среды. При этом мы использовали методику визуализации представлений о системах мелиоративных лесных насаждений [Ивонин, 2020], предназначенных для производства сельскохозяйственных культур в степных регионах страны, в тектологических границах (по Богданову А.А.) мелиоративного воздействия. Коммуникативность мелиоративного воздействия за пределы границ систем позволило нам визуально представлять сложные и большие системы и надсистемы мелиорации земель [Ивонин, Воскобойникова, 2021]. Это составило существенный вклад автора в методологию исследований, которую дополнили положениями системно-ориентированного подхода к визуализации научных знаний [Hieronymi, 2013; Цветков, 2015].

В результате разработали теоретическую концепцию совершенствования мелиоративных систем на основе визуализации их структур с интерпретацией полученных результатов и набором определяющих ключевых признаков.

Результаты и их обсуждение

Мелиоративные мероприятия (гидромелиоративные, агролесомелиоративные, культуртехнические, химические и др.), объединяясь, образуют различные мелиоративные комплексы, среди которых наиболее распространены гидромелиоративные и агролесомелиоративные системы. Эти системы требуют совершенствования по мере осмысливания опыта их эксплуатации и анализа новых данных научных исследований. Определены основные направления такого совершенствования: структура системы как совокупность компонентов и связей между ними; гидромелиоративные и лесохозяйственные технологии; адаптивность к окружающей среде; экологическая безопасность.

Ведущим направлением совершенствования является структура как совокупность компонентов и связей между ними, сохраняющая целостность мелиоративной системы. В системах гидромелиорации целостность образуют отношения взаимосвязанности компонентов (подсистем), в агролесомелиоративных системах – отношения вложенности.

Для упрощения анализа отношений взаимосвязанности предлагаем схему основной подсистемы оросительной системы, выполняющей технологические функции: водозабор и водоподготовка, транспорт воды и орошение, водооборот и мелиоративное состояние земель (рис. 1). При этом не рассматриваем подсистемы технических средств эксплуатации и управления оросительной системой.

Выявление нарушений структурной взаимосвязанности в результате отказов технических компонентов или отклонений их работоспособности от нормы определяет возможности технических и (или) технологических инноваций. Внедрение этих инноваций на практике ведет к совершенствованию гидромелиоративных систем и сохранению «базового» мелиоративного состояния земель.

Инновационные технические и (или) технологические решения влекут за собой сближение фактических и заданных («эталонных») параметров гидромелиоративной системы, что повышает ее точность, при соблюдении эксплуатационных требований к ее компонентам.



Рис. 1. Взаимосвязанность подсистем, выполняющих технологические функции оросительной системы
Fig. 1. The interconnection of subsystems that perform the technological functions of the irrigation system

Отношения вложенности (свойство вложенности младшего уровня подсистем в старший уровень) характерны для агролесомелиоративных (инженерно-биологических) систем – противодефляционных, противоэрозионных, водоохранных и др. Главенствующими и ведущими элементами таких систем служат МЛН (чаще всего лесные полосы и донные насаждения-илофилтры), способные создавать основу природоподобия инженерно-биологических систем. В эту основу вкладывают другие компоненты, образуя отношения вложенности.

Например, в систему МЛН вкладывают подсистемы ПГТС (с элементами распылителей стока, валов, валов-каналов, террас и др.), субподсистемы биотических технологий повышения плодородия почв (возделывание бобово-злаковых травосмесей, сидерация, культивирование солеустойчивых растений и смешанных посевов галофитов с кормовыми культурами и др.) и почвозащитные технологии возделывания сельскохозяйственных культур (бесплужная обработка, полосовое рыхление, точное земледелие и др.) (рис. 2).

Структура гидромелиоративной (оросительной) системы определяется почвенными, геоморфологическими, гидрологическими условиями, расположением источника орошения по отношению к орошаемой площади, размером и конфигурацией этой площади, составом сельскохозяйственных культур, применяемыми способами и техникой полива, числом и размером поливных участков и др. Структура осушительной системы определяется рельефом местности, типом водного питания, сельскохозяйственным использованием земель, действием регулирующей, проводящей и оградительной сети, размещением водоприемников, гидротехническими сооружениями, размером полей севооборота, условиями работы сельскохозяйственной техники и др.

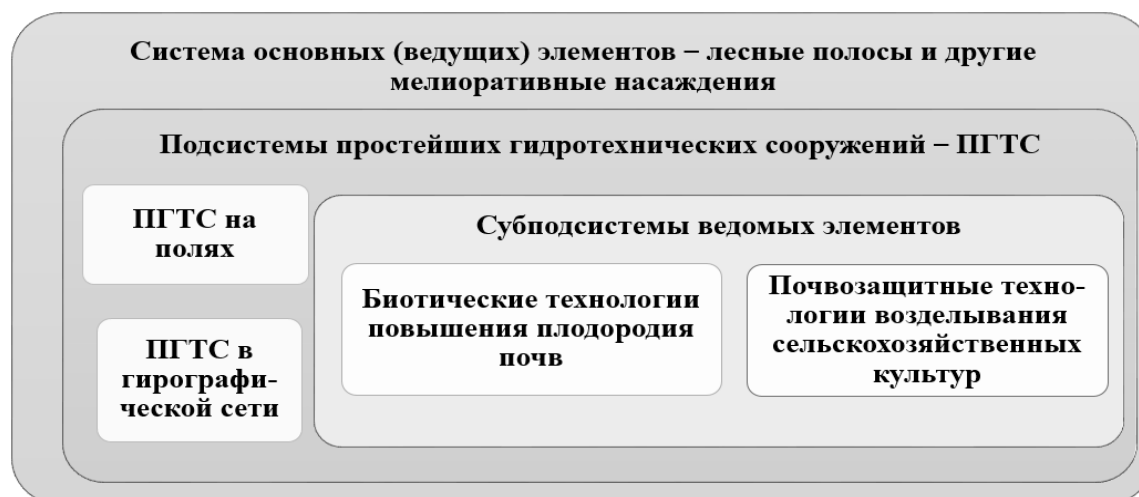


Рис. 2. Вложенность подсистем инженерно-биологической системы
Fig. 2. Nesting of subsystems of an engineering biological system

Структура агролесомелиоративной системы определяется шириной, конструкцией или фитонасыщенностью, составом и возрастом лесных полос, расстояниями между ними, наличием простейших ГТС, агролесомелиоративными мероприятиями на межполосных полях (биотических для повышения плодородия почв и почвозащитных для усиления устойчивости земледелия), подбором культивируемых сортов и гибридов приспособленных к условиям межполосных полей.

Гидромелиоративные технологии улучшают, повышая производительность, качество и экологическую безопасность производства работ на основе автоматизации и комплексной механизации, совершенствования производственно-экономичной техники. Лесохозяйственные технологии, в основном, предусматривают совершенствование организационных форм и техники лесомелиоративных работ.

Адаптивность гидромелиоративной системы к меняющимся условиям окружающей среды может происходить при инновационной корректировке технического качества и технического уровня мелиоративной системы, приводящих к повышению ее надежности, управляемости и работоспособности (выявление отказов и повреждений технических элементов и устранение их последствий при текущем и капитальном ремонте). Это может привести к проектированию и строительству мелиоративных объектов нового поколения. Все это увеличивает долговечность системы (до наступления предельного состояния), установленную техническим обслуживанием.

Адаптивность агролесомелиоративной системы к компонентам окружающей среды происходит в процессе роста и развития видов (пород) лесных насаждений. При этом одни древесные породы активно наращивают биомассу, другие – суховершиняют уже в ранних возрастных периодах, вегетативно разрастаются или выпадают из состава мелиоративных насаждений. Это связано с несоответствием устойчивости некоторых пород параметрам окружающей среды. Такую устойчивость можно повысить при подборе ассортимента видов (пород) и совершенствовании технологий выращивания лесных насаждений. Наращивание древесной биомассы в процессе роста способствует мелиорации факторов среды на межполосных полях. Это расширяет приспособительные возможности культивируемых видов и гибридов, снижает интенсивность деградиационных процессов, повышает эффективность сельскохозяйственного производства на мелиорированных землях.

Экологическая безопасность функционирования гидромелиоративной системы предполагает, что в течение всего периода ее эксплуатации минимизируются угрозы негативных воздействий на компоненты природной среды, а возможный экологический ущерб

даже на фоне участвовавших катастроф, спровоцированных метеорологическими причинами и глобальными климатическими изменениями, компенсируется проведением соответствующих мероприятий.

Экологическая безопасность агролесомелиоративной системы находится под угрозой в результате: недостаточности лесохозяйственных уходов в МЛН и необходимости улучшения их санитарного состояния, неудовлетворительности состояния или (и) состава, нуждаемости в рубках возобновления старовозрастных насаждений.

При ликвидации этих угроз экологическая безопасность агролесомелиоративных систем обеспечивается соответствием между текущими и «базовыми» параметрами системы, гармонией составляющих подсистем (элементов), своевременностью и точностью проведения технологических операций на межполосных полях.

Все это позволило представить показатели совершенствования мелиоративных систем в виде структурно-функциональных схем (рис. 3, 4).

Экологическая безопасность гидромелиоративной (например, оросительной) системы повышается при:

- соответствии технических и технологических решений экологическим ограничениям по поливным и оросительным нормам, снижении потерь воды на холостые сбросы и фильтрацию, равномерном распределении воды по полю, сохранении оптимального пищевого, солевого и водно-воздушного режима, очистке и утилизации коллекторно-дренажного стока, предотвращении заболачивания, засоления, осолонцевания, содообразования, загрязнения почв тяжелыми металлами, нефтепродуктами и ядохимикатами, сокращении водной эрозии и т. д.;

- сохранении видового состава и численности биоты;

- экологизации технических элементов с помощью сохраненных участков естественной биоты, а также созданных полезащитных (полевых), приканальных, аллейных (вдоль дорог или на территориях орошаемых садов, питомников, плантаций) лесных полос, зеленых насаждений у производственных зданий, водосбросных и водозаборных сооружений.

Технический уровень системы определяют степень соответствия показателей технического качества базовым показателям и контроль мелиоративного состояния земель: режим грунтовых вод, солевой режим, водно-физическими свойствами и водно-воздушный режим почв, качество вод орошения и подземных вод и т.д.

Все подсистемы, субподсистемы и элементы должны иметь достаточную надежность, точность, ремонтпригодность, ритмичность работы при соблюдении эксплуатационных требований к звеньям гидромелиоративной системы.

Например, эксплуатационным требованием к водозаборному сооружению является минерализация воды (от 0,5 г/л (черноземы) до 2,5 г/л (песчаные почвы аридной зоны)); к межхозяйственной оросительной сети – размещение узлов командования через 10–25 км, водораспределения – через 3–5 км, КПД каналов $\geq 0,85$ и их обеспеченность автоматикой и телемеханикой водораспределения и водоучета, а также внутрисистемными водохранилищами суточного или декадного регулирования; к внутрихозяйственной сети – каналы небольшой длины, лотки и трубопроводы, защищенные от плавающего мусора, необходимое количество водомерных постов, возможности проведения ремонтных работ; для поливной техники – современность и высокая готовность (коэффициент готовности – 0,96, безотказности – 0,9); к коллекторно-дренажной и водосборно-сбросной сети – согласование глубин заложения дрен и критических уровней грунтовых вод, оборудование водомерными устройствами устьев дрен, коллекторов и скважин, контроль ПДК токсичных веществ при поступлении сбросных и коллекторно-дренажных вод в водоприемник.



Рис. 3. Группировка показателей совершенствования гидромелиоративной системы
Fig. 3. Grouping of indicators for improving the irrigation and drainage system



Рис. 4. Группировка показателей совершенствования агролесомелиоративной системы
Fig. 4. Grouping indicators for improving the agroforestry system

Технологический уровень системы отражают наилучшие доступные технологии (НДТ), под которыми, согласно ГОСТ Р 56828.15-2016³, понимают «производство продукции (товаров), выполнение работ, оказание услуг, определяемые на основе современных достижений науки и техники и наилучшего сочетания критериев достижения целей охраны окружающей среды при условии наличия технической возможности ее применения». Агроресурсный потенциал проявляется в виде ресурсно-производящей способности гидромелиоративной системы для организации производственного процесса, определяясь особенностями климата (радиационный баланс, осадки), почв (запасы гумуса, NPK, pH), вод (орошение, осушение), при сохранении флоры и фауны.

Влагообеспеченность, солнечная радиация и переходные полосы от агроценозов к естественным биоценозам (сохраненные и созданные лесные насаждения, кустарниковые и травянистые сообщества, болота) должны определять не только тепловой и водный баланс, но и биоразнообразие, биопродуктивность диких растений и животных, почвообразовательные и другие природные процессы.

Управляемость системы обеспечивают технические средства для сбора и обработки, передачи информации и реализации управляющих решений (диспетчеризация, автоматика и телемеханика, водомерные посты и наблюдательные скважины, дороги и транспортные средства), а также производственные здания. При этом соблюдаются должные условия труда и быта (культурно-бытовые, служебные, производственные помещения и здания).

³ ГОСТ Р 56828.15-2016. Наилучшие доступные технологии. Термины и определения. 2017. Электронный ресурс. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200140738> (дата обращения: 01.04.2022).

Необходимый уровень совершенствования гидромелиоративной системы сохраняется в течение заданного периода времени при обеспечении экологической безопасности гидромелиораций, поддержании их технического и технологического уровня, мобилизации агресурсного потенциала и интеллектуального уровня автоматизированного управления.

В структурно-функциональной группировке показателей совершенствования агролесомелиоративных (инженерно-биологических) систем (см. рис. 4) предусмотрена фигура помощника, отображающая территориальную организацию системы, которую определяет размещение основных (ведущих) элементов – МЛН поперек направлений линий поверхностного стока (противоэрозионная и водоохранная системы) или поперек направления суховейных и дефляционно-опасных ветров (поле- и пастбищезащитная системы). Это предполагает и соответствующую ориентацию ведомых элементов – агролесомелиоративных мероприятий.

Достоинства территориальной организации в полной мере проявляются по мере роста и развития МЛН, когда агроландшафт постепенно «привыкает» к системе, а последняя «притирается» к агроландшафту.

Рис. 4 представляет еще три группы показателей совершенствования: содействие природоподобию системы, гармония элементов системы, потенциал системы.

Природоподобие агролесомелиоративной системы обеспечивается МЛН, которые естественным образом формируют благоприятные условия для возделываемых культур, а также содействуют образованию экологических ниш и путей миграции для диких растений и животных на аграрных территориях. МЛН – это природоподобные объекты, обладающие мелиоративным воздействием на агроландшафты, которое усиливается за счет регулирования ветропроницаемости или фитонасыщенности, стокорегулирующей способности, продуктивности и другого. Поэтому основным показателем природоподобия выступает облесенность территории – выраженное в процентах отношение площади лесных насаждений к общей площади и облесенность пашни – отношение площади полезащитных и стокорегулирующих лесных полос к площади пашни.

Дополнительным средством природоподобия служат биотические агролесомелиоративные мероприятия: бобово-злаковое травосеяние, полосное размещение многолетних трав и других культур, сидерация, выращивание кулис из высокостебельных растений и др. Эти мероприятия поддерживают естественное плодородие почвы (водопрочная структура, гумусовый баланс, азотный фонд), увеличивают продуктивность севооборотов. При этом создаются условия для подавления сорняков, гибели вредителей сельскохозяйственных культур и патогенной микрофлоры.

Гармония элементов системы базируется на оптимальном соотношении между лесом, пашней, лугом и водной поверхностью в земледельческих регионах (идея В.В. Докучаева [Докучаев, 1892]). При этом пашня дестабилизирует гармонию, а сенокосы, пастбища и леса – стабилизируют. Открытая водная поверхность гармонизирует агроландшафт за счет внутреннего влагооборота, повышения относительной влажности воздуха, улучшения других характеристик микроклимата, поддержания запасов грунтовых вод. Гармония (согласованность) разнородностей леса, пашни и луга достигается сообразно почвенно-климатическим условиям и потребностям агроценозов с целью получения необходимой продукции при сохранении почвенного плодородия и охране окружающей (природной) среды. При этом особое значение приобретает динамический показатель защитной лесистости пашни (выраженное в процентах отношение суммарной площади зон мелиоративного влияния МЛН к площади пашни). Динамика этого показателя определяется зависимостью протяженности зон мелиоративного воздействия МЛН от изменений их высоты и фитонасыщенности или ветропроницаемости, а также от варьирования погодных условий и пестроты почвенного плодородия, технологий выращивания сельскохозяйственных культур на межполосных полях.

Агролесомелиоративные мероприятия соответствуют условиям межполосных полей, когда продукционные возможности агроценозов в ответственные фазы вегетации совпа-

дают с благоприятной обстановкой агросреды на каждом межполосном поле, т. е. создаются условия мелиоративного резонанса, определяющего выход повышенного объема качественной продукции. МЛН выращивают при совмещении традиционных и новейших технологий агролесомелиорации (посадка, уход за почвой, дополнение лесных культур, рубки ухода, реконструкции, восстановления и др.).

Высоту и ветропроницаемость (фитонасыщенность) МЛН во многом определяет ассортимент древесных пород (главные, сопутствующие, кустарники), который подбирают на основе агролесомелиоративного районирования. При этом породы должны отличаться быстротой роста, долговечностью, устойчивостью к болезням и вредителям, ценностью древесины, возможностью получения побочной продукции (орехи, плоды и др.).

Кроме ассортимента имеет значение выбор схем смешения и размещения на основе характера взаимодействия (биофизика, биотрофика, биохимия) между главными и сопутствующими породами. С учетом биофизики смешение и размещение древесных видов основаны на скорости их роста, долговечности, требовательности к свету, строения крон и корневой системы. Смешение с учетом биотрофики основано на подборе сопутствующих лесных пород, которые влияют на плодородие почв (за счет опада и корневых выделений) и рост главных пород. Биохимия (аллелопатия) воздействия на главные породы основывается на подборе сопутствующих пород-активаторов, которые своими фитонцидами стимулируют жизненные процессы. При этом исключаются породы-ингибиторы, подавляющие жизненные процессы.

Согласованность применяемых агролесомелиоративных мероприятий с условиями аграрной среды приводит к проявлению новых функций системы: возможность мелиоративного перекрытия межполосных расстояний с достижением лесными насаждениями проектной высоты; повышенная работоспособность ПГТС (распылители стока, валы, валы-канавы и др.), когда уменьшаются темпы их заиливания и повышается стокорегулирующая способность. Это происходит при размещении ПГТС по нижним опушкам стокорегулирующих, прибалочных и приовражных лесных полос. Работоспособность валов с широкими основаниями повышается на полях между лесными полосами, а на балочных склонах лесные насаждения по площадкам, напашным или ступенчатым террасам усиливают свою эффективность. На днищах балок и оврагов с этой целью размещают донные запруды среди насаждений-илофильтров.

Потенциал агролесомелиоративной системы в полной мере реализуется при сочетании регулярности составляющих элементов (например, МЛН и ПГТС) с периодичностью их применения (например, агролесомелиоративные мероприятия), отсутствии промежуточных хозяев для болезней и вредителей лесных и сельскохозяйственных культур, соответствии их потребностей условиям межполосных полей или пастбищ в ответственные фазы вегетации. При этом предоставляются возможности подбора соответствующих сортов и гибридов сельскохозяйственных культур.

Все это в полной мере способствует проявлению у агролесомелиоративных систем мелиоративных (снегораспределение, плодородие почв, микроклимат, соляная и ветровая тень, выпадение чуждых древесных видов, урожай), почвозащитных (противоэрозионные, противодефляционные), водоохраных (регулирование стока, предотвращение абразии, сокращение испарения с водной поверхности, биологический дренаж и др.), пастбищезащитных (продуктивность пастбищ, защита скота от неблагоприятных погодных условий и др.) и глобальных (продуцирование кислорода, депонирование атмосферного углерода) функций.

Проявление этих функций способствует формированию новых фаций, урочищ и ландшафтных местностей, усилению градиентов факторов среды по опушкам насаждений (с контактными, фильтрационно-барьерными и опушечными функциями мезоэкотонов), преобразованию свойств и направлений ландшафтно-геохимических потоков, изменению водного баланса территории, вещественно-энергетического выноса и аккумуляции вещества и энергии, концентрации или рассеиванию информации.

Заключение

Мероприятия гидромелиорации, агролесомелиорации, культуртехнической мелиорации, работы по улучшению химических и физических свойств почв и др., объединяясь, образуют различные мелиоративные комплексы, среди которых наиболее распространены гидромелиоративные и агролесомелиоративные системы. Гидромелиоративные системы, кроме технических, могут включать биологические элементы (например, мелиоративные лесные полосы или буферные полосы многолетних трав), агролесомелиоративные системы кроме биологических (мелиоративные лесные насаждения) могут включать технические элементы (например, ПГТС). Эти элементы могут образовывать подсистемы (субподсистемы) гидромелиоративных или агролесомелиоративных систем.

Внедрение в практику доступных технологий не приводит к идеальным гидромелиоративным или агролесомелиоративным системам. Поэтому определены основные направления их совершенствования: структура систем, гидромелиоративные и лесохозяйственные технологии, адаптивность к факторам среды, экологическая безопасность.

Ведущим направлением совершенствования является совокупность компонентов и связей между ними (структура системы). В гидромелиоративных системах структуру поддерживают отношения взаимосвязанности компонентов (подсистем, элементов), в агролесомелиоративных системах – отношения вложенности подсистем младшего уровня в старший уровень.

Анализ направлений позволил представить структурно-функциональную группировку показателей совершенствования мелиоративных систем. Для гидромелиоративных систем эта группировка представлена: экологической безопасностью, техническим и технологическим уровнем системы, агроресурсным потенциалом и управляемостью.

Экологическая безопасность повышается при соответствии технических и технологических решений определенным ограничениям, сохранении оптимального пищевого, солевого и водно-воздушного режима, очистке и утилизации коллекторно-дренажного стока, предотвращении заболачивания, засоления, осолонцевания, содообразования, загрязнения почв тяжелыми металлами, нефтепродуктами и ядохимикатами, сокращении водной эрозии, сохранении биоты, экологизации технических элементов.

Технический уровень системы характеризует степень приближения показателей технического качества (работоспособность, надежность, точность, ремонтпригодность и др.) к соответствующим базовым показателям. Технологический уровень системы отражают НДТ.

Ресурсно-производящая способность гидромелиоративной системы определяет ее агроресурсный потенциал через показатели климата (радиационный баланс, осадки и др.), почв (запасы гумуса, NPK, pH), вод (орошение, осушение), биоты (биоразнообразие, биопродуктивность, общие запасы биомассы).

Управляемость системы обеспечивают диспетчеризация, автоматика и телемеханика, водомерные посты и наблюдательные скважины, дороги и транспортные средства, а также - производственные и другие здания, лесные насаждения.

Для агролесомелиоративной системы показатели совершенствования сгруппированы следующим образом: территориальная организация системы, содействие природоподобию, гармония элементов, потенциал.

Территориальную организацию определяет размещение основных (ведущих) элементов – МЛН поперек направлений линий поверхностного стока (противоэрозионная и водоохранная системы) или поперек направления суховейных и дефляционно опасных ветров (поле- и пастбищезащитная системы). Это предполагает и соответствующую ориентацию ведомых элементов – агромелиоративных мероприятий.

Основными показателями природоподобия выступают облесенность территории и пашни. МЛН (полезащитные, стокорегулирующие, прибалочные и приовражные, пастби-

щезащитные лесные полосы, овражно-балочные, пойменные, мелиоративно-кормовые и другие лесные насаждения) являются основными средствами природоподобия, совершенствование которых приводит к улучшению эродированных, дефлированных, эрозионно и дефляционно опасных, подверженных опустыниванию и засухам, техногенно-загрязненных и утративших естественное плодородие сельскохозяйственных угодий.

Дополнительными средствами природоподобия выступают биотические агрономелиоративные мероприятия: бобово-злаковое травосеяние, полосное размещение многолетних трав и других культур, сидерация, выращивание кулис из высокостебельных растений и др. Эти мероприятия поддерживают естественное плодородие почв (водопрочная структура, гумусовый баланс, азотный фонд) и защищают их от эрозии, увеличивают продуктивность севооборотов. При этом создаются условия для подавления сорняков, выпадения чуждых видов, гибели вредителей сельскохозяйственных культур и патогенной микрофлоры.

Гармония (согласованность) разнородностей леса, пашни и луга наилучшим образом проявляется в почвенно-климатических условиях, которые в ответственные фазы вегетации соответствуют потребностям агроценозов. При этом получение необходимой продукции сопровождается сохранением почвенного плодородия и окружающей (природной) среды. Особое значение приобретает динамический показатель защитной лесистости пашни (выраженное в процентах отношение суммарной площади зон мелиоративного влияния МЛН к площади пашни).

Потенциал агролесомелиоративной системы реализуется при проявлении мелиоративных (снегозадержание и снегораспределение, плодородие почв, микроклимат, солярная и ветровая тень, урожайность культур), почвозащитных (противоэрозионные, противодефляционные), водоохранных (регулирование стока, предотвращение абразии, сокращение испарения с водной поверхности, биологический дренаж и др.), пастбищезащитных (продуктивность пастбищ, защита скота от неблагоприятных погодных условий и др.) и глобальных (продуцирование кислорода, депонирование атмосферного углерода) функций.

При этом формируются новые фации, урочища и ландшафтные местности, усиливаются градиенты факторов среды по опушкам насаждений (с контактными, фильтрационно-барьерными и опушечными функциями мезоэкотонов), преобразуются свойства и направления ландшафтно-геохимических потоков, изменяется водный баланс территории, вещественно-энергетический вынос и аккумуляция вещества и энергии, концентрация или рассеивание информации.

Таким образом, представлена система взглядов, раскрывающая логико-теоретические представления о совершенствовании гидромелиоративных и агролесомелиоративных систем. Практическая применимость предложенной концепции целесообразна в степных сельскохозяйственных регионах, где широко распространены системы гидромелиорации и агролесомелиорации.

Список литературы

- Александровская Л.А. 2018. Особенности рационализации использования природных ресурсов в рамках агрономелиоративных систем. Экономика и экология территориальных образований, 2(3): 65–72. DOI: 10.23947/2413-1474-2018-2-3-65-72.
- Ахтямов А.Г., Вавин В.С., Тунякин В.Д. 2016. Защитные насаждения на пашне и проблемы их содержания. Международный научно-исследовательский журнал, 11-5(53): 10–13. DOI: 10.18454/IRJ.2016.53.005.
- Бадмаева С.Э., Макушкин К.В. 2010. Экологическая оценка орошаемых черноземов юга Средней Сибири. В кн.: Генезис, география, классификация почв и оценка почвенных ресурсов. Материалы Всероссийской научно-практической конференции. Архангельск, 14-16 сентября 2010 г. Архангельск: Из-во КИРА: 228–231.
- Докучаев В.В. 1892 (2016). Наши степи прежде и теперь [Электронный ресурс]: изд. в пользу пострадавших от неурожая. - СПб. - 128 с. <https://elibr.go.ru/handle/123456789/218663>



- Ивонин В.М. 2020. Визуальная модель системы лесных мелиораций природно-антропогенных ландшафтов. Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации, 3(39): 68–82. DOI: 10.31774/2222-1816-2020-3-68-82.
- Ивонин В.М. 2021. Мелиорация земель как научная дисциплина. Мелиорация и гидротехника, 11(3): 140–162. DOI: 10.31774/2712-9357-2021-11-3-140-162.
- Ивонин В.М., Воскобойникова И.В. 2021. Ландшафтная агролесомелиорация. Мелиорация и гидротехника, 11(3): 54–77. DOI: 10.31774/2712-9357-2021-11-3-54-77.
- Ивонин В.М. 2022. Мелиоративные системы: основы общей теории. Мелиорация и гидротехника, 12(1): 119–140. DOI: 10.31774/2712-9357-2022-12-1-119-140.
- Карпенко Н.П. 2016. Основные пути повышения экологической безопасности функционирования оросительных систем нового поколения. Природопользование, 3: 97–103.
- Кирейчева Л.В. 2017. Экологические принципы создания совершенных мелиоративных систем. Природообустройство, 5: 70–74.
- Кокин А.В., Кокин А.А. 2020. Природоподобные технологии и сбалансированное природопользование в условиях современной экономики. Государственное и муниципальное управление. Ученые записки, 1: 131–136. DOI: 10.22394/2079-1690-2020-1-1-131-136.
- Краснощеков В.Н., Ольгаренко Д.Г. 2016. Модернизация мелиоративных систем как главный фактор обеспечения продовольственной и экологической безопасности страны. Природообустройство, 4: 51–57.
- Лытов М.Н., Бородычев В.В. 2019. Функциональная технологическая модель оросительной системы. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование, 1(53): 327–334. DOI: 10.32786/2071-9485-2019-01-43.
- Напрасников А.Т. 2018. Геоинформационная и цифровая мелиорация: методический аспект. Успехи современного естествознания, 7: 209–214.
- Свиридов Л.Т., Синельников А.В. 2015. Многоцелевое использование и воспроизводство защитных лесных насаждений центральной лесостепи и юга России. Международный журнал экспериментального образования, 5–1: 72–74.
- Сучков Д.К. 2018. Методы и технологии создания полезащитных лесных полос. Научно-агрономический журнал, 2(103): 51–53.
- Щедрин В.Н., Васильев С.М. 2017. Стратегические направления развития мелиоративного сектора в АПК. В кн.: Стратегические направления развития АПК стран СНГ. Материалы XVI Международной научно-практической конференции, Барнаул, 27–28 февраля 2017. Краснообск, Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий Российской академии наук, Т. 2: 167–169.
- Щедрин В.Н., Колганов А.В., Чураев А.А. 2012. Подходы к определению технического уровня мелиоративных систем и обоснование поколений их развития. Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации, 3(7): 28–51.
- Цветков В.Я. 2015. Решение проблем с использованием системного анализа. Перспективы науки и образования, 1(13): 50–55.
- Hieronimi A. 2013. Understanding Systems Science: A Visual and Integrative Approach. Systems Research and Behavioral Science, 30(5): 580–595. DOI: 10.1002/sres.2215.
- Ismaila K., Olatunji O. 2019. Smart Irrigation: An ICT Application in Agriculture. International Journal of Engineering Science, 8(3–1): 53–58. DOI: 10.9790/1813-0803015358.
- Nesshöver C., Assmuth T., Irvine K.N., Rusch G.M., Waylen K.A., Delbaere B., Haase D., Jones-Walters L., Keune H., Kovacs E., Krauze K., Kylvik M., Rey F., van Dijk J., Vistad O.I., Wilkinson M.E., Wittmer H. 2016. The Science, Policy and Practice of Nature-Based Solutions: An Interdisciplinary Perspective. Science of the Total Environment, 579: 1215–1227. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2016.11.106.
- Gurovich L., Oyarce P. 2015. New Approaches to Agricultural Land Drainage: A Review. Irrigation & Drainage Systems Engineering, 4(2): 1000135. DOI: 10.4172/2168-9768.1000135.
- Romero R., Muriel J.L., García I., Muñoz de la Peña D. 2012. Research on Automatic Irrigation Control: State of the Art and Recent Results. Agricultural Water Management, 114: 59–66. DOI: 10.1016/j.agwat.2012.06.026.
- Simelton E., Carew-Reid J., Coulier M., Damen B., Howell J., Pottinger-Glass C., Tran H.V., Van Der Meiren M. 2021. NBS Framework for Agricultural Landscapes. Frontiers in Environmental

Science, 9: 678367. DOI: 10.3389/fenvs.2021.678367.

Velasco-Muñoz J., Aznar-Sánchez J.A., Batlles de la Fuente A., Fidelibus M.D. 2019. Sustainable Irrigation in Agriculture: An Analysis of Global Research. *Water*, 11(9): 1758. DOI: 10.3390/w11091758.

References

- Aleksandrovskaya L.A. 2018. Features of Rationalizing the Use of Natural Resources within the Framework of Agro-Reclamation Systems. *Economy and ecology of territorial formations*, 2(3): 65–72 (in Russian). DOI: 10.23947/2413-1474-2018-2-3-65-72.
- Ahtyamov A.G., Vavin V.S., Tunyakin V.D. 2016. Protective Plantings on Arable Land and Problems of Their Maintenance. *International Research Journal*, 11-5(53): 10–13 (in Russian). DOI: 10.18454/IRJ.2016.53.005.
- Badmaeva S.E., Makushkin K.V. 2010. *Ekologicheskaya ocenka oroshaemih chernozemov yuga Srednei Sibiri* [Ecological assessment of irrigated chernozems in the south of Central Siberia]. In: *Genezis, geografiya, klassifikatsiya pochv i ocenka pochvennih resursov* [Genesis, geography, classification of soils and assessment of soil resources]. Materials of the All-Russian Scientific and Practical Conference. Arhangelsk, 14-16 sentyabrya 2010 g. Arhangelsk: Iz-vo KIRA: 228–231.
- Ivonin V.M. 2020. Visual Model of Forest Reclamation System of Natural Anthropogenic Landscapes. *Nauchnii jurnal Rossiiskogo NII problem melioratsii*, 3(39): 68–82 (in Russian). DOI: 10.31774/2222-1816-2020-3-68-82.
- Ivonin V.M. 2021. Land Reclamation as a Branch of Science. *Land Reclamation and Hydraulic Engineering*, 11(3): 140–162 (in Russian). DOI: 10.31774/2712-9357-2021-11-3-140-162.
- Ivonin V.M., Voskoboinikova I.V. 2021. Landscape Agroforestry Reclamation. *Land Reclamation and Hydraulic Engineering*, 11(3): 54–77 (in Russian). DOI: 10.31774/2712-9357-2021-11-3-54-77.
- Ivonin V.M. 2022. Land Reclamation, Recultivation and Land Protection. *Land Reclamation and Hydraulic Engineering*, 12(1): 119–140 (in Russian). DOI: 10.31774/2712-9357-2022-12-1-119-140.
- Karpenko N.P. 2016. Main Ways of Improving Environmental Safety of Functioning of Irrigation Systems of a New Generation. *Nature Management*, 3: 97–103 (in Russian).
- Kireicheva L.V. 2017. Ecological Principles of Creation of Advanced Land Reclamation Systems. *Nature Management*, 5: 70–74 (in Russian).
- Kokin A.V., Kokin A.A. 2020. Nature-Like Technologies and Balanced Nature Management in the Modern Economy. *Gosudarstvennoe i municipalnoe upravlenie. State and municipal administration. Scholarly notes*, 1: 131–136 (in Russian). DOI: 10.22394/2079-1690-2020-1-1-131-136.
- Krasnoschekov V.N., Olgarenko D.G. 2016. Modernization of Land Reclamation Systems as the Main Factor of Providing Food and Ecological Security of the Country. *Nature Management*, 4: 51–57 (in Russian).
- Lytov M.N., Borodichev V.V. 2019. Functional-Technological Model of Irrigation System. *Izvestia of the Lower Volga Agro-University Complex*, 1(53): 327–334 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2019-01-43.
- Naprasnikov A.T. 2018. Geoinformation-Based and Digital Reclamation: Methodological Aspects. *Advances in current natural sciences*, 7: 209–214 (in Russian).
- Sviridov L.T., Sinelnikov A.V. 2015. *Mnogocelevoe ispolzovanie i vosproizvodstvo zaschitnih lesnih nasajdenii centralnoi lesostepi i yuga Rossii* [Multi-purpose use and reproduction of protective forest plantations in the central forest-steppe and southern Russia]. *Mejdunarodnii jurnal eksperimentalnogo obrazovaniya*, 5–1: 72–74.
- Suchkov D.K. 2018. *Metodi i tehnologii sozdaniya polezaschitnih lesnih polos* [Methods and technologies for creating field-protective forest belts]. *Nauchno-agronomicheskii jurnal*, 2(103): 51–53.
- Schedrin V.N., Vasilev S.M. 2017. Strategicheskie napravleniya razvitiya meliorativnogo sektora v APK [Strategic directions for the development of the ameliorative sector in the agro-industrial complex]. In: *Strategic directions for the development of the agro-industrial complex of the CIS countries* [Strategicheskie napravleniya razvitiya APK stran SNG]. Proceedings of the XVI International Scientific and Practical Conference, 27–28 February 2017, Barnaul. Krasnoobsk, Publ. Sibirskiy federalnyy nauchnyy tsentr agrobiotekhnologii Rossiyskoy akademii nauk, Vol. 2: 167–169.



- Schedrin V.N., Kolganov A.V., Churaev A.A. 2012. Approaches to Determining the Technical Level of Meliorative Systems and Justification of Generations of Their Development. Nauchnii jurnal Rossiiskogo NII problem melioracii, 3(7): 28–51 (in Russian).
- Tsvetkov V.Ya. 2015. Solving Problems Using a Systematic Analysis. Perspectives of Science and Education, 1(13): 50–55 (in Russian).
- Hieronymi A. 2013. Understanding Systems Science: A Visual and Integrative Approach. Systems Research and Behavioral Science, 30(5): 580–595. DOI: 10.1002/sres.2215.
- Ismaila K., Olatunji O. 2019. Smart Irrigation: An ICT Application in Agriculture. International Journal of Engineering Science, 8(3–1): 53–58. DOI: 10.9790/1813-0803015358.
- Nesshöver C., Assmuth T., Irvine K.N., Rusch G.M., Waylen K.A., Delbaere B., Haase D., Jones-Walters L., Keune H., Kovacs E., Krauze K., Külvik M., Rey F., van Dijk J., Vistad O.I., Wilkinson M.E., Wittmer H. 2016. The Science, Policy and Practice of Nature-Based Solutions: An Interdisciplinary Perspective. Science of the Total Environment, 579: 1215–1227. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2016.11.106.
- Gurovich L., Oyarce P. 2015. New Approaches to Agricultural Land Drainage: A Review. Irrigation & Drainage Systems Engineering, 4(2): 1000135. DOI: 10.4172/2168-9768.1000135.
- Romero R., Muriel J.L., García I., Muñoz de la Peña D. 2012. Research on Automatic Irrigation Control: State of the Art and Recent Results. Agricultural Water Management, 114: 59–66. DOI: 10.1016/j.agwat.2012.06.026.
- Simelton E., Carew-Reid J., Coulier M., Damen B., Howell J., Pottinger-Glass C., Tran H.V., Van Der Meiren M. 2021. NBS Framework for Agricultural Landscapes. Frontiers in Environmental Science, 9: 678367. DOI: 10.3389/fenvs.2021.678367.
- Velasco-Muñoz J., Aznar-Sánchez J.A., Batlles de la Fuente A., Fidelibus M.D. 2019. Sustainable Irrigation in Agriculture: An Analysis of Global Research. Water, 11(9): 1758. DOI: 10.3390/w11091758.

*Поступила в редакцию 31.05.2022;
поступила после рецензирования 20.06.2022;
принята к публикации 15.07.2022*

*Received May 31, 2022;
Revised June 20, 2022;
Accepted July 15, 2022*

Конфликт интересов: о потенциальном конфликте интересов не сообщалось.
Conflict of interest: no potential conflict of interest related to this article was reported.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Ивонин Владимир Михайлович, профессор кафедры лесоводства и лесных мелиораций, Новочеркасский инженерно-мелиоративный институт – филиал Донского государственного аграрного университета, г. Новочеркасск, Россия

INFORMATION ABOUT AUTHOR

Vladimir M. Ivonin, Professor of the Department of Forestry and Forest Reclamation of the Novocherkassk Engineering and Land Reclamation Institute – a branch of the Don State Agrarian University, Novocherkassk, Russian Federation