



Учредители:

ФГБНУ «ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова»,
ФГБНУ ВНИИ «Радуга», АНО «Редакция журнала
«Мелиорация и водное хозяйство»

Издается с апреля 1949 года

СОДЕРЖАНИЕ

СТРАНИЦА РЕДАКТОРА

Федеральному научному центру гидротехники и мелиорации имени А.Н. Костякова — 100 лет 3

ГИДРОТЕХНИКА, ГИДРАВЛИКА

Бубер А.Л., Лотов А.В., Рябиков А.И. Построение компромиссных диспетчерских правил для управления водными ресурсами каскадов водохранилищ 7

Жезмер В.Б., Щербаков А.О. Способы обеспечения надежности функционирования гидромелиоративных систем с длительным сроком эксплуатации 10

Карпенко Н.П. Оценка риска поступления диффузного стока с сельскохозяйственных земель 15

Коломийцев Н.В., Корженевский Б.И., Толкачев Г.Ю., Гетьман Е.Н., Ильина Т.А. Особенности изучения донных отложений водных объектов для различных задач геоэкологии 19

Щербаков А.О. Разработка рекомендаций по защите русла реки от размыва в районе инженерных сооружений 23

МЕЛИОРАЦИЯ АГРОЛАНДШАФТОВ

Шевченко В.А., Соловьев А.М., Бондарева Г.И., Попова Н.П. Оптимизация содержания гумуса агромелиоративными приемами при освоении залежных земель Нечерноземной зоны 26

Бедретдинов Г.Х. Применение глубокого рыхления для возвращения в оборот неиспользуемых земель гумидной зоны 30

Максимов С.А. Комплексный гумусовый биогеохимический барьер при мелиорации сельскохозяйственных земель 33

Рулева О.В., Семенов С.Я., Казиева З.М. Оценка ростовых функций семенного картофеля на орошаемых землях Волгоградской области 40

НАУЧНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ МЕЛИОРАЦИИ

Шевченко В.А., Кирейчева Л.В. Научное обоснование мелиорации для устойчивого развития сельского хозяйства России 43

Дедова Э.Б., Исаева С.Д., Матвеев А.В., Шабанов Р.М. Веб-ГИС-система для обоснования решений по интегральному управлению мелиоративно-водохозяйственным комплексом 47

Новиков А.Е., Кружилин И.П., Новиков А.А., Комарова О.П. Координационная работа ВНИИГиМ и ВНИИОЗ по программе «Мелиорация»: прошлое, настоящее, будущее 52

Ильинский А.В., Пыленок П.И. Вклад 70-летней научно-исследовательской деятельности Мещерского филиала к 100-летию ВНИИГиМ 57

Мелихов В.В., Новиков А.А., Комарова О.П., Бурцева Н.И. Роль прикладных научных исследований в развитии орошаемого кормопроизводства 64

Рогачев Д.А. Интеллектуальные технологии управления водопользованием на орошении 69

ОРОШЕНИЕ

Исаева С.Д., Дедова Э.Б. Водные ресурсы для орошения земель 74

Кирейчева Л.В. Основные направления водосбережения в орошаемом земледелии России 79

МЕЛИОРАЦИЯ И ЭКОЛОГИЯ

Пыленок П.И., Ефремов Р.О. Экологические требования к факторам воздействия мелиорации болот на окружающую среду 83

ИНФОРМАЦИЯ

Гулюку Георгию Григорьевичу — 80 лет 87

Кирейчевой Людмиле Владимировне — 80 лет 87

Яшину Валерию Михайловичу — 80 лет 88

Решетову Андрею Эдуардовичу — 55 лет 89

CONTENTS

EDITOR'S PAGE

The Federal Scientific Center of Hydraulic Engineering and Melioration named after A.N. Kostyakov is 100 years old	3
--	---

HYDRAULIC ENGINEERING, HYDRAULICS

<i>Buber A.L., Lotov A.V., Ryabikov A.I.</i> Formation of trade-off dispatch release rules for water resources managing of the river basin reservoir cascades	7
<i>Zhezmer V.B., Shcherbakov A.O.</i> Ways to ensuring reliability of functioning of hydromeliorative systems with a long service life	10
<i>Karpenko N.P.</i> Assessment of the risk of diffuse runoff entering rivers from agricultural lands	15
<i>Kolomiitsev N.V., Korzhenevskiy B.I., Tolkachev G.Yu., Getman E.N., Ilina T.A.</i> Features of the study of sediments of water bodies for various tasks of geocology	19
<i>Shcherbakov A.O.</i> Development of recommendations for protecting the river bed from erosion in the area of engineering structures	23

MELIORATION OF AGROLANDSCAPES

<i>Shevchenko V.A., Solovyov A.M., Bondareva G.I., Popova N.P.</i> Optimization of humus content by agro-reclamation techniques in the development of green lands of the Non-chernozem zon	26
<i>Bedretdinov G.Kh.</i> Application of deep loosening for returning unused land of the humid zone	30
<i>Maksimov S.A.</i> Complex humus biogeochemical barrier in agricultural land reclamation	33
<i>Ruleva O.V., Semenenko S.Y., Kazieva Z.M.</i> Assessment of the growth functions of seed potatoes on irrigated lands of the lower Volga region	40

SCIENTIFIC ENSURING MELIORATION

<i>Shevchenko V.A., Kireicheva L.V.</i> Scientific justification of land reclamation development to provide sustainable agriculture in Russia	43
<i>Dedova E.B., Isaeva S.D., Matveev A.V., Shabanov R.M.</i> Web GIS system to substantiate decisions on the integrated management of the reclamation and water management complex	47
<i>Novikov A.E., Kruzhillin I.P., Novikov A.A., Komarova O.P.</i> On the coordination work of VNIIGiM and VNIIOZ on the program «Melioration»: past, present, future	52
<i>Ilyinsky A.V., Pylenok P.I.</i> Contribution of 70 years of scientific research activities of the Meshchersk branch for the 100th anniversary of VNIIGiM	57
<i>Melikhov V.V., Novikov A.A., Komarova O.P., Burczeva N.I.</i> The role of applied scientific research in development irrigated feed production	64
<i>Rogachev D.A.</i> Intelligent information technologies in the tasks of water management in conditions of water scarcity	69

IRRIGATION

<i>saeva S.D., Dedova E.B.</i> Water resources for irrigation	74
<i>Kireicheva L.V.</i> Main directions of water saving in irrigated agriculture in Russia	79

MELIORATION AND ECOLOGY

<i>Pylenok P.I., Efremov R.O.</i> Environmental requirements for the environmental impact of swamp reclamation	83
--	----

INFORMATION

G.G. Guliuk is 80 years old	87
L.V. Kireicheva is 80 years old	87
V.M. Yashin is 80 years old	88
A.E. Reshetov is 55 years old	89

Журнал зарегистрирован в Федеральной службе по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций. Свидетельство ПИ № ФС77-61128 от 03.04.2015.

Журнал включен в перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученых степеней кандидата и доктора наук.

Журнал включен в Российский индекс научного цитирования (РИНЦ), полные тексты статей доступны на сайте <https://elibrary.ru>.

Формат 60x84/8. Усл. печ. л. 10,23. Тираж 1000 экз.

Верстка Т.Б. Самсонова

Адрес редакции: 127434, Москва, Б. Академическая, д. 44, корп. 2. Тел./факс (499) 976-48-39. E-mail: mivh@mail.ru, <http://mivh.vniigim.ru>

Главный редактор – Г.Г. ГУЛЮК

Редакционный совет:

М.В. БОРОВОЙ, М.В. ГЛИСТИН, Н.К. ДОЛГУШКИН, Н.Н. ДУБЕНКО, Д.В. КОЗЛОВ, А.В. КОЛГАНОВ, И.П. КРУЖИЛИН, А.П. ЛИХАЦЕВИЧ, Я.П. ЛОБАЧЕВСКИЙ, **В.В. МЕЛИХОВ**, С.Г. МИТИН, П.А. МИХЕЕВ, В.И. ОЛЬГАРЕНКО, Г.В. ОЛЬГАРЕНКО, Н.Н. СОЛОДЧУК, Т.Г. СТЕПАНОВА, В.И. ТРУХАЧЁВ, М.М. ХИСМАТУЛЛИН, В.А. ШЕВЧЕНКО, В.Н. ЩЕДРИН, В.П. ЯКУШЕВ, С.В. ЯХНЮК

Мнение редакции не всегда совпадает с мнением авторов публикаций.

ФЕДЕРАЛЬНОМУ НАУЧНОМУ ЦЕНТРУ ГИДРОТЕХНИКИ И МЕЛИОРАЦИИ ИМЕНИ А.Н. КОСТЯКОВА – 100 ЛЕТ



Уважаемые коллеги-мелиораторы!

Поздравляю вас с замечательным юбилеем! На протяжении ста лет ваш центр – ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова – является форпостом мелиоративной науки. У вас не только богатая история, начавшаяся в далеких двадцатых годах прошлого века, но и славные традиции. За эти годы пройден большой путь в становлении мелиоративной отрасли и мелиоративной науки в нашей стране.

Ваши замечательные ученые во главе с выдающимся ученым-мелиоратором Алексеем Николаевичем Костяковым всегда решали крупнейшие водохозяйственные и мелиоративные задачи, которые ставило государство. Это и освоение новых земель, обоснование, проектирование и создание крупных мелиоративных гидротехнических сооружений, борьба с засолением и опустыни-

ванием земель, повышение плодородия, разработка мелиоративной техники. В период интенсивного развития мелиорации в стране ваш коллектив всегда был на передовых позициях, активно включался в решение сложных задач, обеспечивал научную поддержку крупным мелиоративным проектам.

Не сомневаюсь, что накопленный профессиональный опыт и знания ведущих сотрудников Центра и в дальнейшем будут служить развитию и укреплению роли мелиорации для обеспечения продовольственной безопасности и наращиваю экспорта продовольствия Российской Федерацией.

От всего сердца желаем вашему Центру процветания и достижению всех намеченных целей, а коллективу – здоровья, благополучия и новых творческих успехов на благо мелиоративной науки.

**Директор Департамента мелиорации
Министерства сельского хозяйства РФ**

М.В. БОРОВОЙ



Всероссийский научно-исследовательский институт гидротехники и мелиорации им. А.Н. Костякова (ВНИИГиМ) (в 1931–1932 гг. Всесоюзный) – старейшее научно-исследовательское учреждение по мелиорации.

В марте 1931 г. он стал приемником государственного института сельскохозяйственной мелиорации, организованного в 1923 г.

на базе гидромодульной части (создана в 1910 г.). ВНИИГиМ до 1966 г. был в составе ВАСХНИЛ, в 1966–1992 гг. – в Минводхозе СССР. В последующие годы находился в системе РАСХН. С 1958 г. носит имя основоположника гидромелиоративной науки А.Н. Костякова.

В 1979 г. за успехи в развитии науки и подготовки научных кадров награжден Орденом Трудового Красного знамени. ВНИИГиМ является головным НИИ и научно-методическим центром по мелиорации и водному хозяйству, ведет фундаментальные и важнейшие прикладные исследования и конструкторские разработки по комплексной мелиорации земель (обоснование, строительство и эксплуатация рациональных оросительных систем, осушительных и обводнительных систем мелиоративных режимов), ГТС, машин и технологий для мелиорации.

Учеными института решен ряд важнейших теоретических и практических задач в области орошения, осушения, предотвращение засоления почв, культуртехнической и противоэрозионной мелиорации, сельскохозяйственной гидротехники, обводнения, сельско-

хозяйственного водоснабжения, механизации мелиоративных работ, автоматизации систем и сооружений комплексного использования водных и земельных ресурсов, охраны окружающей среды при мелиорации. Учеными ВНИИГиМ разработаны методы теоретического расчета поливных режимов оросительных и осушительных каналов, горизонтального и вертикального дренажей, конструкции закрытых оросительных систем с применением трубопроводов, дождевальных и поливных машин, осушительно-увлажнительных систем, способы осушения болот и переувлажненных минеральных земель, технологии и машины для бестраншейного дренажа, культуртехнических работ с применением корчевателей кустов, планировщиков.

Научные разработки ВНИИГиМ использованы на мелиоративных и водохозяйственных системах в разных регионах РФ и за рубежом. Они высоко оценены государством: 12 работ института отмечены государственными и правительственными премиями. Многолетние совместные научные исследования и деловые контакты со специалистами Германии, Нидерландов, Франции, Индии, Китая, стран СНГ и др. по проблемам физического и математического моделирования мелиоративных процессов, использования и охраны поверхностных и подземных вод, засоления и заболачивания земель, мелиорации тяжелых почв, дренажа, механизации мелиоративных работ, мониторинга речных бассейнов. Участие в 9 международных комиссиях: по ирригации и дренажу, Международной ассоциации по гидравлическим исследованиям, Международной организации по стандартизации, Международной программы технических исследований в области орошения и осушения – снискали институ-

ту заслуженное признание за рубежом как надежного партнера с большим и разносторонним научно-техническим потенциалом.

Основные направления и организацию работы ВНИИГиМ наиболее полно отражает его структура. В предвоенные годы она включала 6 кабинетов (орошение, осушение, дождевание, орошение зерновых культур, механизации мелиоративных работ и экономики), конструкторско-исследовательский отдел. Три лаборатории – почвенно-мелиоративная, гидромелиоративная и механизации мелиоративных работ и экономики. В 1947 г. были предусмотрены 7 отделов: орошения и эксплуатации оросительных систем, орошения степной зоны, дождевания и орошения овощных культур, освоения и осушения целинных и залежных земель, водоснабжения, экономики и конструкторско-исследовательский, и 6 лабораторий (мелиоративно-гидротехническая, гидросиловых установок, почвенно-мелиоративная, дождевальных машин, механизации водоподъема и механизации мелиоративных работ).

В последующие годы основные направления работ практически не изменились. Об этом свидетельствует структура института, утвержденная в 1963 г. Она предусматривала 6 отделов (орошения, осушения, ГТС, механизации мелиоративных работ, конструкторско-исследовательский, координации научно-исследовательских работ), 2 лаборатории (сельскохозяйственного водоснабжения и водоотведения и почвенно-мелиоративная). Изменения с годами были не значительные.

В 1959 г. была создана лаборатория противозрозионных работ и использования стока поверхностных вод. К реализации программы широкой мелиорации земель (середина 1960-х годов) институт приступил с новой структурой, которая включала отделы: орошения степной зоны, техники полива, оросительных систем, дренажа орошаемых земель, осушения, экономики, комплексного использования водных ресурсов (с 2 лабораториями и 4 секторами), ГТС, механизации мелиоративных работ, координации НИР; конструкторско-исследовательские и самостоятельные лаборатории: гидромеханизации, сельскохозяйственного водоснабжения и обводнения, радиоэлектроники и почвенно-мелиоративную. Как видно из приведенных данных, долгие годы преобладало направление по орошению земель (в основном в районах Средней Азии).

Для экспериментальных исследований в районах создавали экспедиции. В их числе: Барабинская, Дальневосточная, Бурято-Монгольская, Голодностепская, Таджикская, Волжская комплексная, Заволжско-Прикаспийская мелиоративная, ЦЧО и другие экспедиции. Использовались для исследований опытно-мелиоративные станции по орошению земель ЦЧО.

В 1948–1949 гг. открыты Курская, Орловская, Тамбовская, Крымская, а также ряд опытно-исследовательских дождевальных станций: Азербайджанская, Грозненская, Московская, Сталинградская, Узбекская, Украинская. В начале 1950-х годов в составе ВНИИГиМ были опытные станции: Валуйская, Дальневосточная, Киров-

ская, Уральская, Энгельсская. В последующие годы открыты Мещерская и Смоленская ЗОМС, организованы филиалы института. Западно-Сибирская, филиал (Тюмень) с комплексным отделом в г. Томск, Тадышский филиал и другие.

Опорная сеть ВНИИГиМ послужила базой для открытия на местах научно-исследовательских институтов мелиоративного профиля.

В 1966 г. открыт ВНИИ механизации и техники полива на базе Московской ОИДС (г. Коломна), Волжский НИИГиМ, ВНИИ Охраны вод (г. Харьков) и др. Долгое время базой для конструкторских разработок служил Дмитровский ОП (Московская область), который в 1970 г. реорганизован в опытно-конструкторское бюро с экспериментальными механическими мастерскими.

Директорами ВНИИГиМ в разные годы были: А.Н. Костяков (1923–1929 гг.), А.В. Миرون (1930–1931 гг.), А.И. Абол (1931–1936 гг.), А.М. Царевский (1937–1962 гг.), И.И. Коваленко (1962–1975 гг.), Л.Г. Балаев (1974–1985 гг.), Б.С. Маслов (1985–1989 гг.), Б.Б. Шумаков (1989–1997 гг.), Б.М. Кизяев (1997–2016 гг.).

В последние 10 лет в институте сложились две основные научные школы:

- по эколого-мелиоративному направлению, основы которой заложены А.Н. Костяковым, С.Ф. Аверьяновым, Б.Б. Шумаковым. В ее состав входили: С.Я. Безднина, В.В. Бородычев, К.В. Бубур, Ю.И. Добрачев, Л.В. Кирейчева, Н.И. Парфенова, В.Е. Райн, Л.Н. Рекс, С.В. Руднева, И.Ф. Юрченко;

- по гидротехническому и мелиоративному строительству, ведущее начало от А.М. Царевского, В.В. Поплавского. В ее составе: В.М. Беляков, Б.М. Кизяев, З.М. Мамаев, Е.Г. Филиппов и ряд других талантливых кандидатов наук.

Структура ВНИИГиМ в 2002 г. включала 6 научных отделов: мелиорации работ, гидротехники, водного хозяйства и экономики. В составе ВНИИГиМ работали Волгоградский комплексный отдел (г. Волгоград), Калмыцкий филиал (г. Элиста), Мещерский филиал (пос. Солотча, Рязанская обл.) и 2 ОПХ «Харада» (Респ. Калмыкия) и Полково (пос. Солотча, Рязанская обл.).

С 1930 г. в институте действует аспирантура, с 1988 г. – докторантура, успешно работали 4 диссертационных Совета, более 600 выпускников и соискателей защитили кандидатские и докторские диссертации. Регулярно выпускаются труды ВНИИГиМ, всего выпущено более 97 томов.

Продолжает мелиоративную науку ВНИИГиМ и в настоящее время. Вполне успешно работают О.И. Соломон, А.Р. Щербаков, В.Б. Жезмер, А.Л. Бубер, Ю.П. Добрачев, В.М. Яшин, С.А. Максимов, А.Э. Головинов, Г.Х. Бедретдинов, С.Д. Исаева, И.Г. Бондарик, Н.В. Коломийцев, Н.З. Шамсутдинов, А.В. Матвеев, И.Н. Дорофеева, С.П. Соломон, Ю.В. Мартынов, Э.Б. Дедова.

Всероссийский научно-исследовательский институт гидротехники и мелиорации внес огромный вклад в мелиоративную науку. Еще к началу 30-х годов ВНИИГиМ уже разработал методы проектиро-

вания мелиоративных систем, позволяющие уменьшить протяженность каналов на 20...25 %, повысить кпд оросительной сети на 15...20 %, сократить потери воды на поле, создать крупное поле для механизированного земледелия.

Создание научной базы на Дальнем Востоке и ряде других областей и республик позволит в последующем организовать проектные и научно-исследовательские институты, способствовать развитию мелиорации.

Создание на базе ВНИИГиМ научного центра говорит о многом. Федеральный научный центр гидротехники

и мелиорации работает не так давно, а взаимодействие с ВНИИОЗ чувствуется.

Виктор Александрович! Успехов Вам и федеральному научному центру в дальнейшем развитии мелиоративной науки, расширению исследований, повышении эффективности мелиорации, росту производительности труда, развитию сельских поселений, повышению жизненного уровня крестьянства.

С праздником, дорогие товарищи! Успехов, новых побед на полях России.

Главный редактор журнала, доктор с.-х. наук
Г.Г. Гулюк



Уважаемые мелиораторы и ветераны отрасли!

Институт организован в 1924 г. на базе мелиоративной лаборатории при инженерном отделении Московского сельскохозяйственного института (ныне РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева). В первые годы имел название Государственный институт сельскохозяйственных мелиораций.

С созданием ВАСХНИЛ институт в 1929 г. преобразован во Всесоюзный научно-исследовательский институт гидротехники и мелиорации, который с 1958 г. носит имя его создателя и первого директора А.Н. Костякова.

В короткие сроки роль ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова в мелиорации России и СССР стала решающей. Развитие мелиорации СССР – в золотой век развития науки и ее внедрение в проектировании, строительстве и эксплуатации оросительных и осушительных мелиоративных систем.

Была создана научно обоснованная база, научная основа для развития мелиорации во всем пространстве нашей страны.

Широкая апробация результатов исследований и разработок доказывает, что все они выполнены на уровне мировых научно-технических достижений.

За достигнутые успехи в развитии и подготовки научных кадров в 1979 г. институт был награжден орденом Трудового Красного Знамени.

В эти юбилейные дни невозможно не вспомнить заслуги тех, кто внес существенный вклад в становление и развитие института. Это Алексей Николаевич Костяков, ученые института разных лет – Б.Б. Шумаков, Е.А. Замарин, Н.И. Дружинин, В.С. Дмитриев, В.А. Емельянов, Д.Л. Меламут, Е.Г. Петров, Л.П. Розов, А.В. Смирнов.

Выпускница МГУ Людмила Владимировна Кирейчева более 50 лет проработала в составе ВНИИГиМ, награждена Золотой медалью А.Н. Костякова, Б.М. Кизяев, В.П. Максименко, А.О. Щербаков и многие другие.

В этот знаменательный день желаю всему коллективу ФГБНУ «ФНЦ ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова» новых творческих успехов и свершений на благо аграрной науки и развития научно-производственного потенциала сельскохозяйственной отрасли Российской Федерации.

Депутат Государственной Думы

С.В. ЯХНЮК



Исполняется 100 лет Всероссийскому научно-исследовательскому институту гидротехники и мелиорации имени Алексея Николаевича Костякова – флагману мелиоративной науки в России, который в настоящее время реорганизован в «Федеральный научный центр гидротехники и мелиорации им. А.Н. Костякова».

Институт создан в 1924 г. Приказом Народного Комиссариата земледелия РСФСР № 104 от 20 ноября 1923 г. как Государственный институт сельскохозяйственных мелиораций (ГИСХМ) на базе первой в нашей стране крупной Гидромодульной лаборатории, организованной А.Н. Костяковым для научного обеспечения зарождающейся в России мелиоративной отрасли. А.Н. Костяков возглав-

лял институт до 1929 г. и до конца жизни оставался его научным руководителем.

С 1929 г. институт входит в систему Всесоюзной академии сельскохозяйственных наук имени В.И. Ленина, в 1964–1993 гг., – в Министерство сельского хозяйства и продовольствия РФ, с 1993 г. находился в системе Российской академии сельскохозяйственных наук, в настоящее время в подчинении Министерства науки и высшего образования РФ.

Основоположником мелиоративной науки и ее признанным мировым авторитетом является академик А.Н. Костяков. С его именем связаны разработка научных основ мелиорации земель, организация и осуществление планов мелиоративного строительства в государственном масштабе, организация опытного дела в стране. А.Н. Костяков был пионером введения в науку и практику мелиорации основных понятий и направлений мелиоративной науки, сохраняющих свою значимость

и поныне. К ним относятся: классификация мелиоративных систем, виды осушительных мелиораций в зависимости от их воздействия на природные условия, норма осушения, гидромодуль и другие.

Большое влияние на развитие сельскохозяйственных гидротехнических мелиораций в России оказали ученые В.В. Докучаев, П.А. Костычев, В.Р. Вильямс, В.В. Подырев, А.И. Воейков, Н.А. Димо и многие другие.

В институте в разное время работали 26 академиков и членов-корреспондентов, более 100 докторов наук. Среди них выдающиеся ученые – А.М. Царевский, В.В. Пославский, И.А. Шаров, Н.И. Дружинин, Б.Б. Шумаков, Б.С. Маслов и другие. В дальнейшем значительный вклад в становление и развитие отечественной мелиоративной науки внесли ученые института разных лет: А.М. Царевский, Л.Г. Балаев, Б.Б. Шумаков, Е.А. Замарин, В.В. Пославский, И.А. Шаров, А.Д. Брудастов, В.А. Емельянов, Д.М. Кац, А.А. Кириллов, Б.М. Кизяев, Д.Л. Меламут, А.Я. Милович, А.Д. Панадиади, Е.Г. Петров, Ф.И. Пикалов, В.В. Подарев, М.В. Потапов, Л.П. Розов, Н.М. Решеткина, А.Д. Саваренский и многие другие выдающиеся ученые-мелиораторы.

За век мелиоративная наука получила колоссальное развитие. Учеными центра разработаны теории и практики гидротехнического строительства, режимы орошения и осушения земель, сельскохозяйственного обводнения и водоснабжения, способы и методы борьбы с засолением и опустыниванием земель, ин-

новационные технологии отечественного земледелия и повышения плодородия почв, эксплуатации мелиоративных систем, гидротехника и механизации мелиоративных работ.

Сегодня Федеральный научный центр гидротехники и мелиорации им. А.Н. Костякова является общепризнанным лидером в области мелиорации, водного хозяйства и гидротехники и базой подготовки кадров высшей квалификации. Более 1000 выпускников института защитили кандидатские и докторские диссертации и достойно трудятся в научных и образовательных учреждениях нашей страны и за рубежом.

В настоящее время в Центре работают 3 академика РАН, 2 члена-корреспондента РАН, 3 профессора РАН, 27 докторов наук, 55 кандидатов наук, молодые ученые, аспиранты. В структуре Центра функционируют 11 научных отделов, 18 лабораторий, 4 филиала, 3 опытно-производственные станции.

Достижения ФГБНУ «ФНЦ ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова», его опыт в проведении научных исследований и координации работ, подготовки кадров высшей квалификации, а также высокий авторитет в стране, в ближнем и дальнем зарубежье в области мелиорации, водного хозяйства и орошаемого земледелия делают его надежным партнером в сфере международного сотрудничества.

**Вице-президент Российской академии наук,
академик РАН** **Н.К. ДОЛГУШКИН**



Федеральному научному центру «ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова» исполняется 100 лет.

Организатором и первым директором института был академик Алексей Николаевич Костяков, который со своими подвижниками не только организовал комплексные работы по мелиорации земель в России, как самостоятельной отрасли, но и стал основоположником новой мелиоративной науки.

В дальнейшем значительный вклад в становление и развитие отечественной мелиоративной науки внесли ученые института разных лет: А.М. Царевский, В.В. Пославский, И.А. Шаров, А.Д. Брудастов, В.В. Подарев, М.В. Потапов, Л.П. Розов, Л.Г. Балаев, Б.Б. Шумаков, В.А. Емельянов, Д.М. Кац, Б.С. Маслов, Б.М. Кизяев, Д.Л. Меламут, А.Д. Саваренский и многие, многие другие выдающиеся ученые-мелиораторы.

За век мелиоративная наука получила колоссальное развитие. Учеными центра разработаны теории и практики гидротехнического строительства, режимы орошения и осушения земель, сельскохозяйственного обводнения и водоснабжения, способы и методы борьбы с засолением и опустыниванием земель, повышением плодородия почв, механизации мелиоративных работ.

И сегодня опыт и знания ученых центра, накопленные за долгие годы, дают возможность проводить фундаментальные и прикладные исследования на мировом уровне, разрабатывать инновационные технологии, используемые в передовых сельскохозяйственных предприятиях.

Современные вызовы, связанные с изменением климата, участившимися природными аномалиями и экологическими рисками, позволили ученым-мелиораторам по-новому подойти к теоретическому обоснованию комплексных мелиораций, как гаранту устойчивости сельского хозяйства в изменяющихся природных условиях. Это позволит разработать технически совершенные мелиоративные системы, которые обеспечат высокоэффективное использование мелиорированных земель, снижение экологических нагрузок, при наименьших затратах сил и средств.

От Департамента координации деятельности организаций в сфере сельскохозяйственных наук Министерства науки и высшего образования РФ поздравляю коллектив Федерального научного центра гидротехники и мелиорации им. А.Н. Костякова с юбилеем и хочу пожелать оставаться и дальше флагманом мелиоративной науки в России.

**Директор Департамента координации
деятельности организаций в сфере
сельскохозяйственных наук Министерства
науки и высшего образования РФ**

В.А. БАГИРОВ

ПОСТРОЕНИЕ КОМПРОМИСНЫХ ДИСПЕТЧЕРСКИХ ПРАВИЛ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ВОДНЫМИ РЕСУРСАМИ КАСКАДОВ ВОДОХРАНИЛИЩ

А.Л. БУБЕР, А.В. ЛОТОВ, А.И. РЯБИКОВ

Ключевые слова: правила управления каскадом водохранилищ, диспетчерский график, поддержка переговоров, визуализация границы Парето.

Keywords: release rules for a cascade reservoirs managing, dispatch schedule, negotiation support, visualization of the Pareto frontier.

Аннотация. Описывается опыт использования компьютерной технологии поддержки совещаний, дискуссий и переговоров в задаче разработки эффективных правил управления каскадами водохранилищ. Технология основана на визуализации совокупности неуправляемых компромиссов обеспечения противоречивых требований к каскаду. Компромисс находится в результате неформализованного обсуждения неуправляемых компромиссов. Это помогает ограничить обсуждение эффективными правилами управления. Выбор компромисса дополняется нахождением диспетчерских графиков управления каскадом, которые реализуют этот компромисс. Описывается опыт применения методики при выборе правил управления каскадом водохранилищ бассейна реки Ангара.

Abstract. The experience of using the computer technology to support meetings, discussions and negotiations in the task of developing effective rules for managing a cascade of reservoirs is described. The technology is based on visualization of a set of non-inferior compromises in the provisions of water users' requirements to the cascade. The compromise is found through informal discussions of non-inferior compromises. It helps to restrict the discussion to effective control rules. The choice of compromise is complemented by finding control schedules for controlling a cascade of reservoirs that implement this compromise. The experience of using the methodology in choosing rules for managing a cascade of reservoirs in the Angara River basin is described.

Каскады водохранилищ, расположенные в бассейнах крупных рек, являются важнейшими источниками энергии и играют большую роль в удовлетворении потребности в воде многих отраслей экономики. В то же время, водохранилища могут оказывать существенное воздействие на состояние природных систем. Компромисс между противоречивыми требованиями к использованию водного ресурса реализуется в рамках правил управления каскадом.

Проблема выбора правил управления каскадом усложняется несовпадением интересов многочисленных организаций и частных лиц, жизнь и деятельность которых зависит от функционирования каскада. К таким лицам и организациям относятся администрации регионов, расположенных в бассейне реки, собственники и сотрудники предприятий, использующих водные ресурсы, организации экологического контроля, политические партии, рядовые жители региона. Правила управления рассматриваются и обсуждаются заинтересованными водопользователями в процессе переговоров и утверждаются Министерством природных ресурсов РФ.

Данное исследование направлено на применение новой компьютерной технологии поддержки переговоров по эколого-экономическим проблемам водопользования. В процессе переговоров вырабатывается компромисс интересов водопользователей [1]. Участники переговоров информируются о неуправляемых (эффективных) вариантах решения (эффективное решение нельзя улучшить, не ухудшив уровень удовлетворения интересов хотя бы одного участника переговоров). Понятие эффективного решения становится особен-

но наглядным, когда интересы представляются математическими величинами — критериями выбора. Эффективные решения являются аналогами оптимальных решений в задачах с единственным критерием выбора. При этом все неуправляемые сочетания интересов, соответствующие эффективным решениям, представляются границей, разделяющей достижимые и недостижимые сочетания критериев. Эту границу принято называть неуправляемой границей (или границей Парето). Она содержит в себе все сочетания интересов, которые можно рассматривать в качестве компромиссных.

В [2–4] предложена компьютерная технология, реализующая концепцию [1] на основе визуализации неуправляемой границы. В данной работе эта технология применяется при поиске компромиссного правила управления Ангарским каскадом водохранилищ (АКВ). АКВ включает оз. Байкал, Иркутское, Братское, Усть-Илимское и Богучанское водохранилища. АКВ осуществляет многолетнее регулирование стоком. Озеро Байкал в 1996 г. объявлено объектом Всемирного наследия ЮНЕСКО, поэтому задача охраны экологии озера становится важнейшим аспектом проблемы управления АКВ. Необходимо учитывать, что варьирование уровня озера Байкал может вызывать отрицательные экологические последствия. В частности, из-за сильных колебаний уровня в озере Байкал могут временно исчезать небольшие мелководные заливы, играющие важную роль в обеспечении жизненного цикла рыб, обитающих только в этом озере (в частности, байкальского омуля). В целях экологической безопасности озера Правительство РФ в 2001 г. установило (постановление № 234 от 26.03.2001) возможные границы колебания уровня воды в озере Байкал 456...457 м. Такое жесткое ограничение, однако, противоречит естественному колебанию уровня оз. Байкал и не позволяет выполнять функции многолетнего регулирования уровня. Это подтвердилось в годы низкой приточности (2014–2018 гг.). Потребовались дополнительные исследования для уточнения границ допустимых уровней. Одно из таких исследований было выполнено авторами на основе анализа компромиссов.

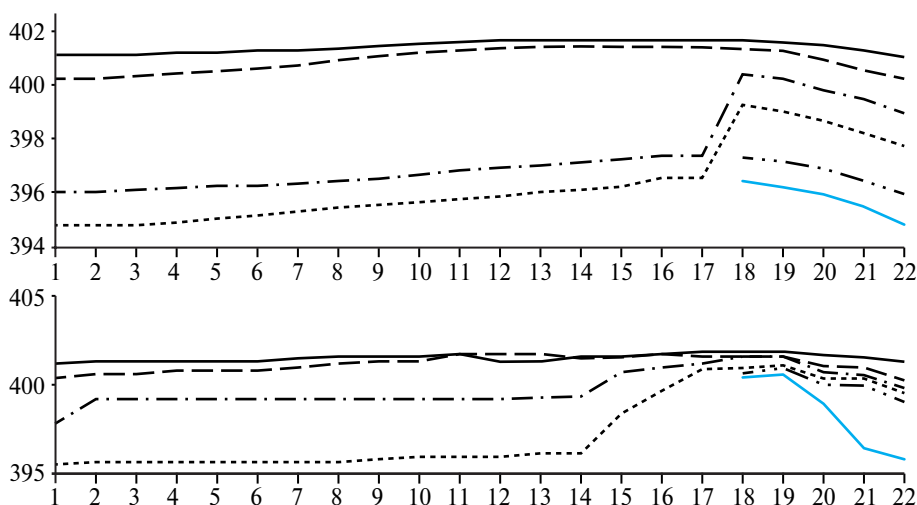
Математическая модель каскада представляет собой динамическую многошаговую систему балансовых уравнений, связывающих объемы воды в водохранилищах с боковой приточностью и пусками. Для Иркутского водохранилища в качестве изменяемого объема воды принимается объем озера Байкал, имеющего уровень мертвого объема 455,54 м. Уровни верхнего и нижнего бьефов всех водохранилищ рассчитываются с использованием табличных функций, связывающих объемы и пуски в нижний бьеф (НБ) водохранилища. На основе уровней верхнего и нижнего бьефов плотины и пусков рассчитывается мощность

ГЭС. В соответствии с нормативными документами управление водохранилищами осуществляется с помощью диспетчерских графиков (ДГ), определяющих попуски в НБ в зависимости от уровня, интервала времени (декада, месяц) и притока [5].

Опишем типичный ДГ (см. верхнюю часть рисунка). На горизонтальной оси ДГ последовательно отложены номера календарных интервалов времени, на которые разбит год, а на вертикальной оси — возможные значения уровней воды в водохранилище. Для каждого интервала времени задано разбиение возможных уровней воды на зоны (3...7 зон в зависимости от водохранилища и номера интервала). Каждой из зон соответствует определенный попуск в НБ, величина которого определяется заранее, при проектировании плотины.

В верхней части рисунка приведен базовый (разработанный экспертами) диспетчерский график одного из водохранилищ АКВ. В течение первых 17 интервалов времени возможные уровни воды разбиты четырьмя кривыми на 5 зон, а с 18 по 21 — 6 кривыми на 7 зон. ДГ одного водохранилища АКВ задается набором параметров, число которых находится в пределах от 50 до 130. Целью нашего исследования является поддержка выбора значений этих параметров для всех водохранилищ каскада в целом. Критериями качества правила управления каскадом взяты годовые обеспеченности выполнения экологических, экономических, транспортных и коммунальных требований (всего 24 требования), в том числе:

- экологические требования (к уровню Байкала согласно постановлению СМ РФ 2001 г., ограничения снизу на санитарные попуски летом и зимой, а также на санитарные попуски для сброса сточных вод лесопромышленного комплекса);
- экономические требования (выработка достаточного количества электроэнергии, требование минимальных энергетических попусков);
- транспортные требования (минимального и нормального навигационного уровня, ограничения на навигационные попуски);



Базовый (вверху) и скорректированный (внизу) ДГ

- муниципальные требования (нормальной работы водозаборов);
- требования безопасности (противопаводковые ограничения на попуски, отсутствие форсированных уровней на гидроузлах).

Математическая модель и заданный сценарий приточности позволяют рассчитать значения обеспеченности всех требований, которые лежат между нулем и единицей. В «базовом» правиле управления каскадом 14 из 24 критериев обеспеченности превосходили величину 0,95. Наша задача состояла в улучшении значений остальных обеспеченностей с одновременным сохранением достигнутого уровня этих 14 критериев. В таблице даны названия и значения десяти критериев, требующих улучшения, в базовом варианте, предложенном экспертами, в компромиссном сочетании, найденном без учета формы ДГ, и в скорректированном варианте, в котором ДГ имели форму, близкую к базовому, приведенному в верхней части рисунка.

Сравнивая столбцы таблицы, видим, что компромиссный вариант полностью превосходит базовый по обеспеченности всех требований. Особенно стоит отметить увеличение годовой обеспеченности требуемой выработки электроэнергии на Иркутской ГЭС с 0,02 до приемлемых 0,825 и годовой обеспеченности нормального навигационного уровня верхнего бьефа Усть-Илимской ГЭС с 0,02 до приемлемых 0,87. Скорректированный вариант оказался несколько хуже компромиссного по 6 из 10 приведенных критериев, что является платой за исправление формы диспетчерских графиков, которую обсудим ниже. В то же время, он несколько хуже базового только по годовой обеспеченности требований к уровню озера Байкал, а по остальным критериям совпадает или превосходит (иногда значительно!) базовое правило. Кратко опишем технологию Диалоговых карт решений (ДКР) [2–4], на основе которой получен компромиссный вариант правила управления.

Для обеспечения быстроты визуализации не улучшаемой границы в ДКР аппроксимируется не сама граница, а так называемая оболочка Эджворта-Парето (ОЭП) — максимальная совокупность значений критериев, имеющая ту же не улучшаемую

границу, что и совокупность достижимых значений критериев. В данном исследовании возникли существенные сложности в процессе аппроксимации ОЭП из-за того, что критерии обеспеченности разрывны и многоэкстремальны, что затрудняет использование классических градиентных методов. В то же время, как было обнаружено, генетические методы аппроксимации не улучшаемой границы в данной задаче сходятся слишком медленно. Поэтому были предложены новые методы, основанные на интеграции градиентных и генетических методов [6], что позволило построить достаточ-

Критерии выбора решения, неудовлетворительные в базовом правиле

Критерий	Вариант		
	Базовый	Компромиссный	Скорректированный
Обеспеченность требований к уровню озера Байкал	0,72	0,75	0,62
Обеспеченность требуемой выработки электроэнергии на Иркутской ГЭС	0,02	0,825	0,815
Обеспеченность требований к работе водозаборов в Иркутске	0,93	1	0,99
Обеспеченность минимального навигационного уровня верхнего бьефа Братской ГЭС	0,92	1	1
Обеспеченность нормального навигационного уровня верхнего бьефа Братской ГЭС	0,67	0,98	0,99
Обеспеченность требуемой выработки электроэнергии Братской ГЭС	0,71	0,96	0,97
Обеспеченность нормального навигационного уровня верхнего бьефа Усть-Илимской ГЭС	0,02	0,87	0,69
Обеспеченность требуемой выработки электроэнергии Усть-Илимской ГЭС	0,79	0,95	0,87
Обеспеченность минимальных навигационных попусков Усть-Илимской ГЭС	0,58	0,91	0,815
Обеспеченность нормальных навигационных попусков Усть-Илимской ГЭС	0,52	0,89	0,805

но точную аппроксимацию ОЭП, в которой аппроксимация границы дана 10 тысячами критериальных точек, являющихся неулучшаемыми компромиссами.

В рамках технологии ДКР участники переговоров анализируют неулучшаемую границу, получая при этом информацию о достижимых значениях различных критериев и о связи их значений на этой границе. Вопрос о том, каким образом будет выбрано неулучшаемое компромиссное сочетание (а по нему соответствующее эффективное правило управления) решается в каждом конкретном случае в соответствии с практикой проведения переговоров.

Информирование участников переговоров о возможных компромиссах осуществляется на основе диалоговой визуализации неулучшаемой границы с использованием так называемых «карт решений», каждая из которых представляет собой набор двухкритериальных сечений ОЭП. Для задания карты решений выбираются три критерия. Значения двух критериев, в плоскости которых делаются сечения, откладываются по осям. Диапазон значений третьего («цветового») критерия разбивается на несколько равных интервалов, после чего сечения, рассчитанные для каждого интервала, изображаются разными цветами и накладываются одно на другое. Термин «карта решений» используется связи с тем, что получаемая картина близка по виду к обычной топографической карте. При ухудшении значения третьего критерия сечения ОЭП не сужаются (обычно расширяются), что делает удобным использование карты решений для изучения влияния третьего критерия на границу двухкритериального сечения. Под картой решений изображаются прокрутки, предназначенные для установления диапазонов значений остальных критериев. Меняя расположение бегунков прокруток, пользователь может оценить влияние соответствующего критерия и установить диапазон его значений. Таким образом, карты изображаются интерактивно, по требованию пользователя. Кроме того, пользователь может наложить ограничения на значения критериев, изменив, таким образом, масштаб изображения. Пользователь может затем расположить другие критерии на карте решений. С помощью техноло-

гии ДКР пользователь может легко получить и изучить десятки карт решений, что позволяет ему сознательно выбрать ограничения на значения части критериев и перейти к анализу других наборов критериев. Подчеркнем, что поскольку ОЭП была аппроксимирована заранее, заказанная карта решений появляется на дисплее практически моментально. Теория и примеры использования ДКР в различных проблемах выбора решения приведены в [3, 4, 7]. В рассматриваемой задаче анализ карт решений, получаемых в интерактивном режиме, позволил эксперту найти компромиссное сочетание значений критериев АКВ (см. таблицу). Применение методики для выбора компромиссного ДГ в случае АКВ детально описано в [8].

Поиск ДГ, соответствующего выбранной компромиссной критериальной точке, является так называемой обратной задачей. При ее решении надо учитывать следующее: во-первых, заданному набору значений критериев может соответствовать много различных ДГ. Во-вторых, малые изменения значений критериев могут вызвать существенные изменения в найденном ДГ. Говоря математическим языком, решение задачи выбора правила управления по компромиссной критериальной точке может быть не единственно и не устойчиво. При этом некоторые ДГ, приводящие в окрестность заданной критериальной точки, могут быть не реализуемыми на практике.

Для обратных задач предложена концепция регуляризации, состоящая в поиске решения в каком-то смысле близкого к заранее заданному «образцовому» решению. Регуляризация основана на введении дополнительного критерия, отражающего близость искомого скорректированного решения к образцовому решению по числу и монотонности перебойных линий. Далее осуществляется поиск эффективного решения, дающего приемлемый баланс близости к образцовому решению и потерь в значениях исходных критериев. Аппроксимировав ОЭП в расширенном пространстве критериев, авторы изучили неулучшаемую границу и на ней выбрали точку, дающую разумный компромисс. Полученные ДГ оказались близкими по форме к базовым графикам (см. рисунок) и в то же

время лишь несколько отличались от компромиссного решения по значениям критериев обеспеченности.

Найденное правило управления каскадом проверялось на гидродинамических моделях, в которых учитывались характеристики русла и поймы реки Ангара. При этом уточненные ДГ мало отличались от полученных в данном исследовании.

Методика построения компромиссных эффективных ДГ управления каскадом водохранилищ, описанная в данной статье, может быть использована при поиске эффективных компромиссных стратегий и для других каскадов водохранилищ многолетнего регулирования, а также при различных сценариях изменения климата.

ЛИТЕРАТУРА

1. Loucks D.P., van Beek E. Water Resources Systems Planning and Management. An Introduction to Methods, Models and Applications. UNESCO, Paris and Delft, 2005.
2. Компьютер и поиск компромисса. Метод достижимых целей / А.В. Лотов, В.А. Бушенков, Г.К. Каменев, О.Л. Черных. М.: Наука, 1997.
3. Lotov A.V. Computer-Based Support for Planning and Negotiation on Environmental Rehabilitation of Water Resource Systems // Rehabilitation of Degraded Rivers: Challenges, Issues and Experiences (ed. by D.P. Loucks). Kluwer Academic Publishers: Boston, 1998. P. 417–446.
4. Лотов А.В. Компьютерная визуализация оболочки Эджворта-Парето и ее применение в интеллектуальных системах поддержки принятия решений // Информационные технологии и вычислительные системы. 2002. № 1. С. 83–100.
5. Асарин А.Е., Бестужева К.Н. Водноэнергетические расчеты. М.: Энергоатомиздат, 1986. 224 с.
6. Лотов А.В., Рябиков А.И. Дополненный метод стартовой площадки аппроксимации границы Парето в задачах с многоэкстремальными критериями // Журнал вычисл. матем. и матем. физики. 2021. Т. 61. № 10. С. 1734–1744.
7. Лотов А.В., Поспелова И.И. Многокритериальные задачи принятия решений. М.: МАКС Пресс, 2008.
8. Использование границы Парето при поиске компромиссных правил регулирования уровня озера Байкал / А.В. Лотов, А.И. Рябиков, М.В. Болгов, А.Л. Бубер // Искусственный интеллект и принятие решений. 2022. № 3. С. 72–87.

REFERENCES

1. Loucks D.P., van Beek E. Water Resources Systems Planning and Management. An Introduction to Methods, Models and Applications. UNESCO, Paris and Delft, 2005.
2. Lotov A.V., Bushenkov V.A., Kamenev G.K., Chernykh O.L. Computer and the search for compromise. Feasible goals method]. M.: Nauka Publishers. 1997.
3. Lotov A.V. Computer-Based Support for Planning and Negotiation on Environmental Rehabilitation of Water Resource Systems // Rehabilitation of Degraded Rivers: Challenges, Issues and Experiences (ed. by D.P. Loucks). Kluwer Academic Publishers: Boston, 1998. P. 417–446.
4. Lotov A.V. Computer visualization of the Edgeworth-Pareto Hull and its application in intellectual decision support systems // Information technologies and computing systems. 2002. № 1. P. 83–100.
5. Asarin A.E., Bestuzheva K.N. Water energy calculation. M.: Energoatomizdat, 1986.
6. Lotov, A.V., Ryabikov, A.I. Extended Launch Pad Method for the Pareto Frontier Approximation in Multiextremal Multiobjective Optimization Problems // Computational Mathematics and Mathematical Physics. 2021. 61(10). 1700–1710.
7. Lotov A.V., Pospelova I.I. Multicriteria decision making problems. M.: MAKS Press, 2008. 197 p.
8. Lotov A.V., Ryabikov A.I., Bolgov M.V., Buber A.L. Application of Pareto frontier in searching for the compromise Baikal lake level control rules // Scientific and Technical Information Processing. 2023. V. 50, issue 6.

Бубер Александр Леонидович, зав. отделом мелиоративно-водохозяйственного комплекса, buber49@yandex.ru (ФНЦ ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова, г. Москва); **Лотов Александр Владимирович**, доктор физ.-мат. наук, профессор, гл. науч. сотрудник, avlotov@yandex.ru; **Рябиков Андрей Игоревич**, науч. сотрудник, ariabikov@gmail.com (ФИЦ «Информатика и управление» РАН, г. Москва).

УДК 502/504:631.6.02

СПОСОБЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ГИДРОМЕЛИОРАТИВНЫХ СИСТЕМ С ДЛИТЕЛЬНЫМ СРОКОМ ЭКСПЛУАТАЦИИ

В.Б. ЖЕЗМЕР, А.О. ЩЕРБАКОВ

Ключевые слова: гидромелиоративные системы (ГМС), гидротехнические сооружения (ГТС), водоресурсное обеспечение, степень износа, экологическая безопасность.

Keywords: irrigation and drainage systems (HMS), hydraulic structures (GTS), water supply, wear rate, environmental safety.

Аннотация. Рассмотрены вопросы обеспечения безопасности и эксплуатационной надежности функционирования гидромелиоративных систем с длительным сроком эксплуатации. Установлено, что срок эксплуатации гидромелиоративных систем юга России составляет порядка 40...50 лет, износ в среднем — 72%. Основными повреждениями ГТС являются размыв верхового откоса, неисправность водосбросного сооружения и заилимость чаши водохранилища (пруда), что ведет к усилению фильтрации через тело плотины, повышению уровня депрессионной кривой и усложнению пропуски паводковых вод. Изменение правил эксплуатации ГТС, в частности, снижение уровня НПУ по сравнению с проектным не является редким явлением. При этом эксплуатацию ГТС в условиях щадящего режима можно считать мерой временной, используемой до проведения ремонта или реконструкции. Эффективность работы гидротехнических сооружений с высокой степенью износа при уровне предельных нагрузок и воздействий ниже проектных значений заметно уменьшается. Снизить остроту проблемы может применение постоянного мониторинга, а также прогноза надежности ГТС. Безопасная и эффективная работа гидротехнических сооружений

с высокой степенью износа в течение периода, предшествующего ремонту или реконструкции может быть обеспечена посредством внедрения системы автоматизированного ведения мониторинга ГТС в сочетании с системой поддержки принятия решений (СППР).

Abstract. The issues of ensuring the safety and operational reliability of the functioning of irrigation and drainage systems with a long service life are considered. It has been established that the service life of irrigation and drainage systems in the south of Russia is about 40–50 years, the average wear is 72%. The main damages of the GTS are erosion of the upper slope, malfunction of the spillway and silting of the reservoir bowl (pond), which leads to increased filtration through the dam body, an increase in the level of the depression curve and complication of the passage of flood waters. Changes in the rules for the operation of hydraulic structures, in particular, a decrease in the normal retaining level in comparison with the design level is not a rare occurrence. At the same time, the operation of the GTS in a sparing mode can be considered a temporary measure used until repair or reconstruction is carried out. The efficiency of hydraulic structures with a high degree of wear at the level of ultimate loads and impacts below the design values is noticeably reduced. The use of constant monitoring, as well as forecasting the reliability of hydraulic structures, can reduce the severity of the problem. Safe and efficient operation of hydraulic structures with a high degree of wear during the period preceding repair or reconstruction can be ensured by introducing a system for automated monitoring of hydraulic structures in combination with a decision support system (DSS).

Введение. Гидромелиоративная система представляет собой комплекс взаимодействующих сооружений и технических средств для гидромелиорации земель. От технического состояния гидротехнических сооружений полностью зависит обеспеченность орошаемых площадей водными ресурсами. Большинство оросительных систем в южных областях Европейской части Российской Федерации построены 40...50 и более лет назад. Такой срок эксплуатации является предельным для гидротехнических сооружений III и IV классов [1], вследствие чего значения контролируемых показателей состояния ГТС указанных систем (критерии безопасности) не соответствуют современным требованиям, а значительная часть ГТС не в состоянии работать в проектом режиме. Следовательно, реальный режим эксплуатации большинства ГТС в настоящее время изменился и напрямую зависит от степени износа сооружений, при этом создается высокая вероятность чрезвычайных ситуаций. Наиболее ответственным моментом в работе гидротехнических сооружений является пропуск повышенных расходов воды при паводках и паводках.

Известно, что чрезвычайные ситуации на ГТС гораздо легче предотвратить, чем ликвидировать последствия. Согласно Федеральному закону «О безопасности гидротехнических сооружений» [2], предусмотрено «осуществление мер по обеспечению безопасности гидротехнических сооружений», чему посвящена работа лаборатории безопасности ГТС гидромелиоративного комплекса отдела гидротехники и гидравлики ФГБНУ «ФНЦ ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова» [3–6].

Нормативно-методическая документация по безопасности ГТС, включающая комплекс мероприятий, обеспечивающих безаварийный пропуск паводковых вод, в настоящее время детально проработана [7]. Кроме того, нормы и требования мониторинга, а также оценка технического состояния гидротехнических сооружений более подробно отражены при рассмотрении процесса эксплуатации гидротехнических сооружений гидроэлектростанций, ГТС I–II класса [8–11]. Для сооружений III–IV класса нормы и требования по контрольно-измерительным системам (КИП) не разработаны, однако многие принципы мониторинга, приведенные в правилах обслуживания электростанций, могут быть использованы в ходе эксплуатации ГТС гидромелиоративных систем. В настоящее время, в связи с развитием цифровых технологий, возможно перенесение принципов мониторинга ГТС гидроэлектростанций на сооружения III и IV классов ответственности, с созданием соответствующих нормативных документов. Указанной проблемой отдел гидротехники и гидравлики ФГБНУ «ФНЦ ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова» занимался в 2019 г. [8, 9].

Материал и методы исследований. Для определения комплекса мероприятий по обеспечению безопасности и эксплуатационной надежности функционирования гидромелиоративных систем с длительным сроком эксплуатации были проанализированы литературные источники и существующие методики по защите и безопасной эксплуатации гидротехнических сооружений

мелиоративного комплекса, в том числе с высокой степенью износа. Установлена возможность обеспечения надежной и безопасной работы, а также оценки уровня эффективности функционирования гидромелиоративных систем с высокой степенью износа конструкций. Концепция научно-методических основ базируется на работах отдела гидротехники и гидравлики ФГБНУ «ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова».

Результаты и обсуждение. Защита гидротехнических сооружений и их безопасная эксплуатация будут обеспечены, если нагрузки и воздействия на сооружения, а также параметры самого сооружения будут находиться в пределах, определенных проектом. Проектные значения количественных и качественных характеристик нагрузок и воздействий, а также параметров сооружения являются критериями безопасности ГТС. Существует два уровня контролируемых показателей технического состояния ГТС – K1 и K2. Если при обследовании будет установлено, что диагностические показатели ГТС не превышают своих критериальных значений K1, состояние сооружения считается исправным (работоспособным), при превышении бы одного диагностического показателя K1 – неисправным (частично работоспособным), K2 – предаварийным (нерботоспособным) [10].

Согласно отчету «О деятельности Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору в 2022 году» [11], из 23 113 поднадзорных Ростехнадзору ГТС (комплексов ГТС) 21 916, или 95 % относятся к ГТС водохозяйственного комплекса. При этом ГТС (комплексов ГТС) I класса – 150 (0,6 %), II класса – 287 (1,2 %), III класса – 4823 (20,9 %), IV класса – 17 853 (77,3 %).

Уровень безопасности поднадзорных Ростехнадзору ГТС оценивается следующим образом: нормальный уровень безопасности – 19 %, пониженный – 35 %, неудовлетворительный – 33 %, опасный уровень безопасности, характеризуемый потерей работоспособности и невозможностью дальнейшей эксплуатации, имеют 13 % комплексов ГТС. Так как за безопасностью сооружений I и II класса ведется тщательный надзор, обычно указанные комплексы ГТС имеют нормальный уровень безопасности, а наличие неудовлетворительного и опасного уровня характеризует сооружения III и IV класса.

Одной из причин высокой аварийности является то, что при эксплуатации ГТС руководствуются проектным уровнем критериев безопасности, не учитывая высокую степень изношенности объектов. Изучением состояния гидроузлов Российской Федерации долгие годы занимался старейший работник ВНИИГиМ Геннадий Васильевич Ляпин. В таблице представлена выборка по анализу причин аварийного и предаварийного состояния ГТС (по результатам исследований Г.В. Ляпина), возникающих вследствие длительной эксплуатации.

Из таблицы видно, что основными повреждениями плотин, возникающими в процессе длительной эксплуатации, являются размывание верхового откоса, неисправность водосбросного сооружения и заилинность

Причины аварийного и предаварийного состояния гидротехнических сооружений

Субъект Федерации	Количество ГТС	Размывание верхового откоса	Неисправность водосбросного сооружения	Заиленность чаши водохранилища (пруда)	Просадка гребня плотины
Республика Калмыкия	7	7	6	6	
Краснодарский край	34	32	34	28	8
Астраханская область	17	17	17	Нет сведений	7
Волгоградская область	65	65	65	51	11
Ростовская область	34	34	34	Нет сведений	9
Итого	157	155	156	85 (о 51 нет сведений)	35

чаши водохранилища (пруда). Первые две неисправности гарантированно ведут к усилению фильтрации через тело плотины и повышению уровня депрессионной кривой. Заиленность чаши водохранилища снижает его объем, что усложняет как пропуск паводковых вод, так и использование водохранилища в качестве резервуара для хранения оросительной воды.

Алгоритм формирования мероприятий по обеспечению безопасности и эксплуатационной надежности функционирования ГТС (в нашем случае относящихся к гидромелиоративному комплексу), разработан в достаточной степени. Однако мероприятия по обеспечению безопасности зачастую не могут быть выполнены в полном объеме как по причине нехватки на комплексе ГТС обслуживающего персонала, так и отсутствия финансирования. Следовательно, для нормальной эксплуатации указанных сооружений, необходимо определение такого режима работы ГТС, при котором будут соблюдаться меры безопасности и эксплуатационной надежности. То есть, допустимые пределы, при превышении которых состояние сооружения признается в различной степени опасным, будут ниже проектных и напрямую зависеть от степени износа ГТС.

Изменение критериальных значений при эксплуатации ГТС не является исключительным явлением. Согласно СП «Плотины из грунтовых материалов», в процессе строительства и последующей эксплуатации плотин значения диагностических показателей подлежат корректировке с учетом данных натурных наблюдений [12]. Такая возможность детально проработана в документе «Гидроэлектростанции. Мониторинг

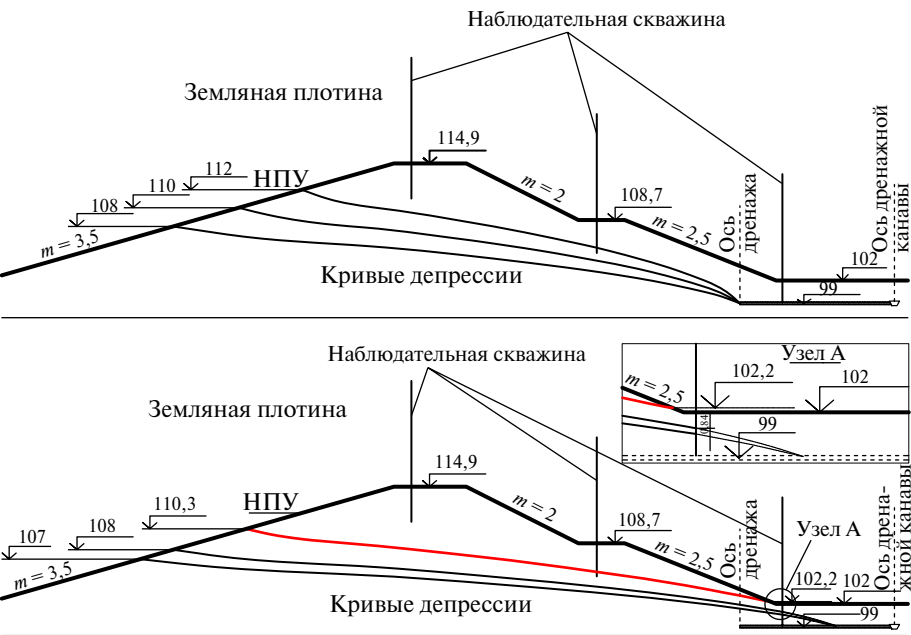
и оценка технического состояния гидротехнических сооружений в процессе эксплуатации. Нормы и требования» [10]. Проектные критериальные значения диагностических показателей не являются догмой и могут быть изменены в соответствии с выявленными дефектами, влияющими на прочность и устойчивость сооружений. Из указанных принципов следует исходить в процессе анализа ГТС мелиоративного комплекса.

Изменение правил эксплуатации ГТС, в частности, плотин (снижение уровня НПУ по сравнению с проектным), вследствие различных причин не является редким явлением, что видно из примеров:

Пример 1. Комплекс гидротехнических сооружений, расположенный в Курганской области. Обследование 2017 г. Проектирование и строительство земляной плотины велось в соответствии с утвержденным проектом для отметки нормального подпорного уровня (НПУ) водохранилища – 112 м.

Ниже смоделирован расчет кривой депрессии в теле плотины, расположенной в Курганской обл., при проектных (рисунок а) и фактических на 19.06.2017 условиях функционирования (рисунок б) в зависимости от уровня воды в верхнем бьефе. При расчете использована программа «Фильтрационные расчеты грунтовых плотин с применением электронных таблиц», кафедра ГТС РГАУ-МСХА, автор В.И. Волков. Из рисунка а видно, что даже при уровне воды в верхнем бьефе 112 (НПУ) кривая депрессии не выклинивается на откос плотины и своим нижним концом уходит в дренаж (дополнительно устроенный трубчатый дренаж вдоль откоса).

Из рисунка б следует, что в результате неудовлетворительной работы дренажной системы происходит выклинивание воды. При уровне воды в верхнем бьефе 110,3 м БС, уровень в пьезометре на 0,2 м выше отметки земли (102,2 м). И это несмотря на то, что в 2014 г. (три года ранее) участок низового откоса 46 × 35 м, где тогда отмечалось выклинивание, был пригружен щебнем



Положение кривой депрессии в створе ПК10 плотины:
а – проектные значения; б – реальное состояние сооружения

фракции 20...40 мм, толщиной 30 см. После выклинивания воды в 2014 г., ввиду неудовлетворительного уровня безопасности земляной плотины, были внесены изменения в Правила эксплуатации сооружения.

Выдержка из правил эксплуатации комплекса гидротехнических сооружений, расположенных в Курганской обл., 2017 г.: «Учитывая уровень технического состояния низового откоса земляной плотины в районе наблюдательной скважины № 6, а именно высокое стояние уровня депрессионной кривой, и в целях безопасности эксплуатации гидроузла предусматривается снижение отметки НПУ до 108 м БС после прохождения паводка на вегетационный период с доведением ее после окончания полива до отметки 107 м». Согласно смоделированному расчету кривой депрессии, при уровне воды в верхнем бьефе 108 м БС, вода в пьезометре будет находиться на 0,9 м ниже уровня почвы, что исключает выклинивание. Возвращение к отметке НПУ 112 м БС возможно после проведения ремонтных работ и строительства дополнительного дренажа.

Пример 2. Краснодарское водохранилище на р. Кубань.

Согласно «Правилам использования водных ресурсов Краснодарского водохранилища», нормативные уровни воды в водохранилище: $\Phi У = 35,23$ м; НПУ = 33,65 м; УМО = 25,85 м.

В апреле 1993 г. Верховный Совет Республики Адыгея принял постановление № 138–1 «О мерах по ликвидации последствий, вызванных негативным воздействием Краснодарского водохранилища». В соответствии с этим постановлением, с 1993 г. действовало ежегодно обновляемое Соглашение между Республикой Адыгея и Краснодарским краем о временном режиме работ водохранилища (до окончания реконструкции обвалования рек Кубани и Протоки), характеризующимся сниженным НПУ. Нормативные уровни воды в водохранилище в дальнейшем остаются следующими: $\Phi У = 35,23$ м НПУ = 32,75 м (проектный 33,65 м), УМО = 25,85 м.

Пример 3. Чебоксарское водохранилище, которое эксплуатируется при НПУ 63 м (проектная отметка – 68 м) в течение длительного времени.

Эксплуатация ГТС в условиях пониженного уровня НПУ (щадящий режим) создает определенные трудности при пропуске паводков, кроме того, объем водохранилища или пруда значительно снижается, что может создавать трудности при подаче воды для орошения. Положение усугубляется тем, что, в результате длительной эксплуатации, чаша водохранилища (пруда), как правило, сильно заилена, что еще более уменьшает полезный объем. Работа гидротехнических сооружений с пониженным или неудовлетворительным уровнем безопасности в проектном режиме существенно увеличивает риск возникновения аварии на объекте. Следует отметить, что эксплуатация ГТС в условиях щадящего режима является мерой временной, которая может быть использована в течение ограниченного периода, предшествующего ремонту или реконструкции.

Так как проектные нагрузки были рассчитаны под конкретные условия, в том числе и экстремальные (ве-

сенные половодья и паводки), безопасная эксплуатация таких сооружений значительно усложняется. Наиболее ответственным моментом в работе гидротехнических сооружений является пропуск повышенных расходов воды при половодьях и паводках. Нормативно-методическая документация по безопасности ГТС, включающая комплекс мероприятий, обеспечивающих безаварийный пропуск паводковых вод, в настоящее время детально проработана. Обычно пропуск паводка делится на три этапа [13]:

- подготовка свободной емкости водохранилища;
- срезка пика паводка за счет свободной емкости водохранилища;
- пропуск повышенных расходов половодья через водосбросы.

В предпаводковый период обычно производится сработка водохранилища, то есть уменьшение запасов воды в водохранилище в течение интервала времени, когда расходы воды превышают приток. Освободившаяся емкость используется с целью срезки пика паводка. Объем водохранилища между отметкой НПУ и отметкой предполоводной сработки – запас свободной емкости для срезки паводка.

Во время пропуска паводка, при снижении уровня верхнего бьефа, создаются благоприятные условия для транзитного пропуска наносов и промыва водохранилища. Для этого к моменту прохождения паводка водохранилище (при отсутствии дополнительных условий) должно быть опорожнено до расчетного уровня. Уровень, при котором обеспечивается последующее наполнение водохранилища, определяется согласно гидрологическому прогнозу. По аналогии с правилами эксплуатации и технического обслуживания гидроэлектростанций, в диспетчерский пункт организации, эксплуатирующей ГМС, должна регулярно поступать гидрологическая и метеорологическая информация от гидрометслужбы, в соответствии с соглашением (договором) на передачу следующих материалов:

- текущие гидрологические данные по водотоку и прогнозы по ним;
- текущие метеорологические данные и прогнозы по ним;
- предупреждения о сроках и силе возможных стихийных явлений [14].

Эксплуатация гидротехнических сооружений при высокой степени износа значительно усложняется, при этом затрудняется процесс пропуска паводка. Так, для Комплекса гидротехнических сооружений расположенных в Курганской области, где, вследствие неудовлетворительного уровня безопасности земляной плотины, предусмотрено снижение отметки НПУ с 112 до 108 м БС, предельный запас свободной емкости (между НПУ и УМО) уменьшился с 7,5 млн м³ (при 112 м БС) до величины порядка 5 млн м³ (при 108 м БС), то есть на одну треть. Такое уменьшение свободной емкости значительно усложняет пропуск паводка, особенно при повышенных объемах стока весеннего половодья. Следовательно, эффективность работы гидротехнических сооружений с высокой степенью износа при уровне предельных нагрузок и воз-

действий ниже проектных значений заметно уменьшается, в первую очередь из-за малого запаса свободной емкости для срезки паводка. Также уменьшается объем аккумулируемой для орошения воды, как вследствие снижения отметки НПУ, так и заиливания чаши водохранилища. Анализ водоподачи каждого водохранилища в изменившихся условиях необходимо проводить отдельно, исходя из водопотребности орошаемых площадей.

Нормами и требованиями к мониторингу и оценке технического состояния ГТС гидроэлектростанций в процессе эксплуатации предусмотрен «оперативный, в том числе в режиме реального времени, контроль за работой и состоянием гидротехнических сооружений в условиях стихийных явлений и в предаварийных ситуациях, вызванных отказом или опасными повреждениями ответственных элементов сооружений» [10]. Указанные принципы не менее актуальны при эксплуатации ГТС мелиоративного комплекса.

В нормах и требованиях по организации эксплуатации и технического обслуживания гидротехнических сооружений ГЭС и ГАЭС (СТО 70238424.27.140.035–2009) [15] отмечено, что указанный Стандарт не учитывает и не может учитывать все особенности средств измерений, измерительных устройств и технических систем мониторинга, примененных на различных сооружениях. Вследствие этого предусмотрена разработка, утверждение и применение собственных стандартов гидроэлектростанций, учитывающих конструктивные особенности сооружений, не противоречащих действующим нормативным документам и не снижающих уровень требований Стандарта и проектной документации.

Принципы, разработанные для эксплуатации ГЭС, не менее актуальны при обеспечении безопасной и эффективной работы гидротехнических сооружений мелиоративного комплекса. Контроль состояния гидротехнических сооружений, в том числе с высокой степенью износа, организация взаимосвязи систем информационного обеспечения и управления, позволяющих не только оценивать надежность и безопасности ГТС в режиме реального времени, но и прогнозировать ее на будущий период, возможен только посредством внедрения системы автоматизированного ведения мониторинга ГТС в сочетании с системой поддержки принятия решений (СППР) [9, 16].

Выводы

1. Срок эксплуатации гидромелиоративных систем юга России составляет порядка 40...50 лет, износ в среднем – 72 %. Уровень безопасности поднадзорных Ростехнадзору ГТС оценивается следующим образом: нормальный уровень безопасности – 19 %, пониженный – 35 %, неудовлетворительный – 33 %, опасный уровень безопасности, характеризуемый потерей работоспособности и невозможностью дальнейшей эксплуатации, имеют 13 % комплексов ГТС.

2. Основными повреждениями ГТС являются размытие верхового откоса, неисправность водосбросного сооружения и заиленность чаши водохранилища (пруда), что ведет к усилению фильтрации через тело

плотины, повышению уровня депрессионной кривой и усложнению пропуска паводковых вод.

3. Изменение правил эксплуатации ГТС, в частности, снижение уровня НПУ по сравнению с проектными является редким явлением. При этом эксплуатацию ГТС в условиях шадящего режима можно считать мерой временной, используемой до проведения ремонта или реконструкции.

4. Эффективность работы гидротехнических сооружений с высокой степенью износа при уровне предельных нагрузок и воздействий ниже проектных значений заметно уменьшается. Снизить остроту проблемы может применение постоянного мониторинга, а также прогноза надежности ГТС.

5. Безопасная и эффективная работа гидротехнических сооружений с высокой степенью износа в течение периода, предшествующего ремонту или реконструкции может быть обеспечена посредством внедрения системы автоматизированного ведения мониторинга ГТС в сочетании с системой поддержки принятия решений (СППР).

ЛИТЕРАТУРА

1. Шкуланов Е.И., Кореновский А.М. Физический износ гидротехнических сооружений: его сущность и расчет // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия: сб. науч. тр. Новочеркасск: РосНИИПМ, 2014. Вып. 55. С. 153–160.
2. Федеральный закон от 21.07.1997 № 117-ФЗ (ред. от 03.07.2016) «О безопасности гидротехнических сооружений» (с изм. и доп., вступ. в силу с 01.01.2017).
3. Жезмер В.Б., Адьяев С.Б. Методические рекомендации по обеспечению эколого-экономической эффективности и эксплуатационной надежности функционирования гидромелиоративных систем. М., 2023.
4. Жезмер В.Б., Адьяев С.Б., Шабанов Р.М. Алгоритм анализа гидромелиоративной системы с целью выявления причин снижения эксплуатационной надежности и производительности // Природообустройство. 2023. № 1. С. 54–61.
5. Жезмер В.Б. Факторы, определяющие целесообразность эксплуатации гидротехнического сооружения // Природообустройство. 2022. № 3. С. 77–82.
6. Жезмер В.Б., Адьяев С.Б. Оценка возможности вовлечения в оборот дополнительных площадей орошаемых лиманов на территории Малодербетовского района, республика Калмыкия // Природообустройство. 2022. № 4. С. 75–83.
7. Приказ Ростехнадзора от 20.02.2012 № 118 (ред. от 08.04.2013) «Об утверждении Административного регламента Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору по предоставлению государственной услуги по согласованию правил эксплуатации гидротехнических сооружений (за исключением судоходных гидротехнических сооружений, а также гидротехнических сооружений, полномочия по осуществлению надзора за которыми переданы органам местного самоуправления)».
8. Вольнов М.А., Жезмер В.Б., Сидорова С.А. Методы анализа и обработки данных мониторинга гидротехнических сооружений мелиоративного комплекса // Природообустройство. 2017. № 1. С. 79–87.
9. Жезмер В.Б., Матвеев А.В. Принципы обеспечения эффективной и безопасной работы ГТС гидромелиоративного комплекса // Мелиорация и водное хозяйство. 2019. № 2. С. 5–12.
10. СТО 70238424.27.140.035–2009. Гидроэлектростанции. Мониторинг и оценка технического состояния гидротехнических сооружений в процессе эксплуатации. Нормы и требования. Дата введения – 2009–12–31. М.: Некоммерческое партнерство «Инновации в электроэнергетике», 2009. 64 с.
11. Годовой отчет о деятельности Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору в 2022 году. М.: Федеральная служба по экологическому, технологическому и атомному надзору, 2024. 379 с.
12. СП 39.13330–2012. Свод правил. Плотины из грунтовых материалов. Актуализированная редакция СНиП 2.06.05–84*

ОКС 93.160. Дата введения 2013–01–01. [Электронный ресурс]. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200095521>.

13. Подготовка ГЭС ОАО «РусГидро» к пропуску половодья. Программа технического перевооружения и реконструкции как инструмент реализации Технической политики, повышения надежности и безопасности ГЭС ОАО «РусГидро» [Электронный ресурс]. URL: <http://rushydro.ru/file/main/global/press/school...pavodok>.

14. СТО 70238424.27.140.003–2010. Гидротехнические сооружения ГЭС и ГАЭС. Организация эксплуатации и технического обслуживания. Нормы и требования. Дата введения 2010–09–30 [Электронный ресурс]. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200093612>.

15. СТО 70238424.27.140.035–2009. Гидроэлектростанции. Мониторинг и оценка технического состояния гидротехнических сооружений в процессе эксплуатации. Нормы и требования. Дата введения 2009–12–31.

16. Жезмер В.Б., Щербаков А.О. Эффективное использование мелиорируемых земель и водных ресурсов в агропромышленном комплексе России // Сборник научных трудов. М., 2021. С. 250–258.

REFERENCES

1. Shkulanov Ye.I. Fizicheskiy iznos gidrotekhnicheskikh sooruzheniy: yego sushchnost' i raschet / Ye.I. Shkulanov, A.M. Korenovskiy // Puti povysheniya effektivnosti oroshayemogo zemledeliya: Sb. nauch. tr. / FGBNU «RosNIIPM». Novocherkassk: RosNIIPM, 2014. Vyp. 55. S. 153–160.

2. Federal'nyy zakon ot 21.07.1997 № 117-FZ (red. ot 03.07.2016) «O bezopasnosti gidrotekhnicheskikh sooruzheniy» (s izm. i dop., vstup. v silu s 01.01.2017).

3. Zhezmer V.B., Ad'yayev S.B. Metodicheskiye rekomendatsii po obespecheniyu ekologo-ekonomicheskoy effektivnosti i ekspluatatsionnoy nadozhnosti funktsionirovaniya gidromeliorativnykh sistem. М., 2023.

4. Zhezmer V.B., Ad'yayev S.B., Shabanov R.M. Algoritm analiza gidromeliorativnoy sistemy s tsel'yu vyyavleniya prichin snizheniya ekspluatatsionnoy nadezhnosti i proizvoditel'nosti // Prirodoobustroystvo. 2023. № 1. S. 54–61.

5. Zhezmer V.B. Faktory, opredelyayushchiye tselesoobraznost' ekspluatatsii gidrotekhnicheskogo sooruzheniya // Prirodoobustroystvo. 2022. № 3. S. 77–82.

6. Zhezmer V.B., Ad'yayev S.B. Otsenka vozmozhnosti vovlecheniya v oborot dopolnitel'nykh ploshchadey oroshayemykh limanov na territorii Maloderbetovskogo rayona, respublika Kalmykiya // Prirodoobustroystvo. 2022. № 4. S. 75–83.

7. Prikaz Rostekhnadzora ot 20.02.2012 № 118 (red. ot 08.04.2013) «Ob utverzhdenii Administrativnogo reglamenta Federal'noy sluzhby

po ekologicheskomu, tekhnologicheskomu i atomnomu nadzoru po predostavleniyu gosudarstvennoy uslugi po soglasovaniyu pravil ekspluatatsii gidrotekhnicheskikh sooruzheniy (za isklucheniym sudokhodnykh gidrotekhnicheskikh sooruzheniy, a takzhe gidrotekhnicheskikh sooruzheniy, polnomochiya po osushchestvleniyu nadzora za kotorymi peredany organam mestnogo samoupravleniya)».

8. Volynov M.A., Zhezmer V.B., Sidorova S.A. Metody analiza i obrabotki dannykh monitoringa gidrotekhnicheskikh sooruzheniy meliorativnogo kompleksa // Prirodoobustroystvo. 2017. № 1. S. 79–87.

9. Zhezmer V.B., Matveyev A.V. Printsipy obespecheniya effektivnoy i bezopasnoy raboty GTS gidromeliorativnogo kompleksa // Melioratsiya i vodnoye khozyaystvo. 2019. № 2. S. 5–12.

10. Gidroelektrostantsii. Monitoring i otsenka tekhnicheskogo sostoyaniya gidrotekhnicheskikh sooruzheniy v protsesse ekspluatatsii. Normy i trebovaniya. Data vvedeniya – 2009–12–31. М.: Nekommercheskoye partnerstvo «Innovatsii v elektroenergetike», 2009. 64 s.

11. Godovoy otchet o deyatel'nosti Federal'noy sluzhby po ekologicheskomu, tekhnologicheskomu i atomnomu nadzoru v 2022 godu. М.: Federal'naya sluzhba po ekologicheskomu, tekhnologicheskomu i atomnomu nadzoru, 2024. 379 s.

12. SP 39.13330–2012. Svod pravil. Plotiny iz gruntovykh materialov. Aktualizirovannaya redaktsiya SNIp 2.06.05–84* OKS 93.160. Data vvedeniya 2013–01–01. [Elektronnyy resurs]. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200095521>.

13. Podgotovka GES ОАО «РусГидро» к пропуску половодья. Programma tekhnicheskogo perevooruzheniya i rekonstruktsii kak instrument realizatsii Tekhnicheskoy politiki, povysheniya nadezhnosti i bezopasnosti GES ОАО «РусГидро» [Elektronnyy resurs]. URL: <http://rushydro.ru>

14. СТО 70238424.27.140.003–2010. Gidrotekhnicheskkiye sooruzheniya GES i GAES. Organizatsiya ekspluatatsii i tekhnicheskogo obsluzhivaniya. Normy i trebovaniya. Data vvedeniya 2010–09–30 [Elektronnyy resurs]. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200093612>.

15. СТО 70238424.27.140.035–2009. Gidroelektrostantsii. Monitoring i otsenka tekhnicheskogo sostoyaniya gidrotekhnicheskikh sooruzheniy v protsesse ekspluatatsii. Normy i trebovaniya. Data vvedeniya 2009–12–31.

16. Zhezmer V.B., Shcherbakov A.O. Effektivnoye ispol'zovaniye melioriruyemykh zemel' i vodnykh resursov v agropromyshlennom komplekse Rossii // Sbornik nauchnykh trudov. М., 2021. S. 250–258.

Жезмер Валентин Борисович, канд. с.-х. наук, вед. науч. сотрудник, зав. лабораторией безопасности ГТС, v1532133@yandex.ru; **Щербаков Алексей Олегович**, канд. техн. наук, вед. науч. сотрудник, зав. отделом гидротехники и гидравлики, asher5@mail.ru (ФНЦ ВНИИГИМ им. А.Н. Костякова, г. Москва).

УДК 504.064:631.6

ОЦЕНКА РИСКА ПОСТУПЛЕНИЯ ДИФфуЗНОГО СТОКА С СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ЗЕМЕЛЬ

Н.П. КАРПЕНКО

Ключевые слова: водные объекты, геоэкологический риск, экологический ущерб, сельскохозяйственные и мелиорируемые земли, диффузные стоки.

Keywords: water bodies, geo-ecological risk, environmental damage, agricultural and reclaimed lands, diffuse runoff.

Аннотация. Рассмотрены различные методы оценки геоэкологических рисков, которые можно использовать для оценки негативных последствий различных видов хозяйственной деятельности. Оценено влияние природных факторов на процессы формирования диффузного стока загрязняющих веществ. При анализе и оценке геоэкологического риска поступления диффузного стока с сельскохозяйственных и мелиорируемых земель на водные объекты предложено использовать ряд нормативных показателей. Проведено ранжирование геоэкологического риска для основных биогенных загрязняющих веществ, поступающих с диффузным стоком с сельскохозяйственных и мелиорируемых земель. Установлено, что критические уровни геоэкологического риска для различных загрязнителей не должны превышать: по основным макрокомпонентам не выше 25% от ПДК и ПДС, а для общего азота – не более 10%. Предложены зависимости по оценке предотвращенных эколого-экономических ущербов водным ресурсам в результате сброса в них загрязняющих веществ.

Abstract. Various methods of assessing geo-ecological risks that can be used to assess the negative consequences of various types of economic activity are considered. The influence of natural factors on the processes of formation of diffuse runoff of pollutants is estimated. When analyzing and assessing the geoecological risk of diffuse runoff from agricultural and reclaimed lands to water bodies, it is proposed to use a number of normative indicators. The geoecological risk ranking for the main biogenic pollutants coming from diffuse runoff from agricultural and reclaimed lands has been carried out. It has been established that the critical levels of geoecological risk for various pollutants should not exceed: for the main macro components, no more than 25% of the MPC and PDC, and for total nitrogen – no more than 10%. Dependencies on the assessment of prevented ecological and economic damage to water resources as a result of the discharge of pollutants into them are proposed.

Введение. В настоящее время водосборные бассейны являются объектами пристального внимания и изучения многих ученых-исследователей, поскольку в результате высоких антропогенных нагрузок на этих территориях обострились проблемы ухудшения каче-

ства речных вод и экологического состояния водных объектов. Особое внимание в этой проблеме занимают вопросы изучения и оценки поступления точечных и диффузных загрязнений, вызванных сельскохозяйственной и мелиоративной деятельностью на водосборных территориях. Это в свою очередь, связано с ухудшением экологических условий водных объектов и экологического равновесия речных бассейнов в результате поступления и сбросов в речную систему диффузных загрязнений [9].

Следует отметить, что наиболее уязвимыми оказываются малые водосборные бассейны Европейской территории России, для которых весьма существенным оказываются масштабы диффузного загрязнения и увеличивается вероятность геоэкологических рисков их поступления в водные объекты. Сельскохозяйственная и мелиоративная деятельность в границах водосборных территорий оказывает влияние на загрязнение речной воды такими загрязнителями как биогенные вещества, азот, фосфаты и другие химические элементы [10].

Цель исследований заключается в оценке геоэкологических рисков поступления диффузного стока с сельскохозяйственных и мелиорируемых территорий в водные объекты.

Методология исследований базируется на основных положениях системного анализа, теории управления сложными системами, теории вероятности, качественных и количественных оценок геоэкологических рисков и экологических ущербов [2, 4, 17].

Материалы исследований. Обеспечение и сохранение экологической безопасности окружающей среды является одной из приоритетных проблем нашего времени. Важными элементами обеспечения экологической безопасности в области мелиорации и вопросов природопользования являются анализ, оценка и прогноз изменения состояния окружающей среды и связанные с ними возможные опасности и риски возникновения негативных последствий антропогенной деятельности. В последние годы активно проводятся исследования по оценке рисков на объектах природопользования, однако единая теоретическая и методологическая база исследований по этой проблеме разработана недостаточно полно. Одним из важных задач в этой проблеме является оценка вероятности возникновения экологического риска и экологического ущерба, который наносится окружающей среде и, прежде всего, водным объектам, как наиболее динамичному фактору экологического состояния [5].

В общих вопросах мелиорации и при проектировании и эксплуатации мелиоративных систем для количественной оценки возникновения и развития негативных процессов предлагается использовать понятие геоэкологического риска, под которым «понимается вероятностная мера опасности или вероятность нарушения устойчивости окружающей среды при любых воздействиях на нее хозяйственной деятельности» [6].

Величина геоэкологического риска включает такие показатели как вероятность возникновения экологических опасностей и их реализацию, и величину ущерба при проявлении этих опасностей. В такой по-

становке геоэкологический риск R_r выражается следующей зависимостью [3, 13]:

$$R_r = \sum_{i=1}^n P_i k_i \sum_{j=1}^m U_j k_j,$$

где P – вероятности возникновения негативных экологических процессов и последствий и их ущербов U ; k – вес фактора (весовой коэффициент); i, j – количество факторов.

Геоэкологические риски оценивают различными методами, среди которых наиболее известными являются вероятностные методы (Монте-Карло, Байеса), методы математического моделирования, экспертные методы, статистические методы, аналитические методы, использование балльных оценок, методы упорядочивания (ранжирования) и другие. Поскольку риск это понятие вероятностное, то в условиях неопределенности наиболее эффективным методом можно считать критерий Байеса, значения которого определяют выражением [7, 8]:

$$e(A^*) = \min(e_i) = \min \left\{ \sum_{j=1}^n e_{ij} P_j \right\},$$

где e_{ij} – элементы матричной таблицы рисков; P_j – распределение вероятностей изменений состояний факторов риска; n – общее число состояний факторов риска.

Общие понятия экологической безопасности и геоэкологического риска тесным образом связаны между собой, а степень их взаимосвязи B можно оценить, как:

$$B = 1 - \left(\sum_{i=j=1}^{n,m} R_{i,j} W_{i,j} \right),$$

где $\sum_{i=j=1}^{n,m} R_{i,j} W_{i,j}$ – уровень суммарного риска возникновения негативных последствий мелиоративной деятельности $\Sigma R_{i,j} \in [0, 1]$; $W_{i,j}$ – весовой коэффициент ущерба от возникновения соответствующего геоэкологического риска.

В основе обеспечения, сохранения и повышения экологической безопасности лежит система управления геоэкологическими рисками, которая представляет собой разработку комплекса природоохранных компенсационных мероприятий по снижению геоэкологических рисков на основе расчетов экологических ущербов или потерь от воздействия сельскохозяйственной и мелиоративной деятельности.

Результаты исследований и их обсуждение. Особое внимание ученые уделяют проблеме ухудшения качества водных объектов и речных бассейнов за счет попадания диффузного стока загрязняющих веществ как результата хозяйственной деятельности на водосборных территориях, для которых особенностью его формирования является недостаточно очищенные биогенные загрязнители или отсутствие централизованных очистных сооружений. Основными источниками биогенного загрязнения являются сельскохозяйственные угодья и мелиоративные объекты, расположенные на водосборных территориях и пойме рек, а основными загрязняющими элементами являются азот, фосфор и калий и др. К сожалению, все нормативно-методические документы, которые имеют непосредственное отношение к расчетам диффузного стока, находятся

вне системы экологического мониторинга, контроля и водоохраны.

Следует отметить также, что на процессы формирования диффузного стока загрязняющих веществ влияют следующие природные факторы:

- физико-географические условия (атмосферные осадки, испарение с поверхности воды и почв, запасы снега, интенсивность снеготаяния и т. д.);
- почвенные условия (тип почв, содержание запасов гумуса, гранулометрический состав почв и пород зоны аэрации, влажность почв и т. д.);
- геоморфологические условия (рельеф водосборной территории, абсолютные и высотные отметки и т. д.);
- гидрографические условия (наличие поверхностного стока, уклон водосборной территории, заlesenность и заболоченность водосбора);
- гидрогеологические условия (уровень грунтовых вод, фильтрационные и емкостные характеристики насыщено-ненасыщенной зоны);
- биологические особенности естественной растительности и выращиваемых сельскохозяйственных культур.

Главными признаками, которые могут свидетельствовать о диффузном загрязнении на водосборных территориях, являются наличие загрязнителей в водном объекте и речной воде, которое можно оценить, как по визуальному появлению загрязнения на поверхности воды, так и по результатам непосредственных инструментальных измерений воды и почв.

Основной механизм поступления загрязняющих веществ от диффузного стока — это с поверхностным стоком, который включает внутрисочвенный и почвенно-грунтовый сток. Оценку выноса биогенных веществ по различным показателям с использованием эмпирических зависимостей и расчетов можно оценить по результатам моделирования с использованием ГИС-технологий, на картах которых выделяются зоны различной степени интенсивного поверхностного смыва и активные области проявления эрозионных процессов [11, 16].

При анализе и оценке геоэкологического риска поступления диффузного стока с сельскохозяйственных и мелиорируемых земель на водные объекты целесообразно использовать следующие нормативные показатели [14]:

- *геоэкологический риск минимального уровня* (пренебрежительный приемлемый риск), который опреде-

ляется как 1 % от предельно-допустимого геоэкологического риска и не требует никаких природоохранных мероприятий по его снижению;

- *приемлемый геоэкологический риск*, который оправдан с точки зрения экологических, экономических и социальных условий для данного бассейна и только в отдельных случаях проводятся природоохранные мероприятия по его снижению;
- *предельно допустимый геоэкологический риск*, который представляет собой максимальный риск и который не должен превышать для данного речного бассейна.
- *неприемлемый риск высокого уровня*, при котором необходимо проводить экстренные и превентивные мероприятия по снижению негативных последствий на водосборных территориях.

Ранжирование (или упорядочивание) геоэкологического риска, связанного с поступлением загрязнителей в водный объект от поступления биогенных веществ и других загрязнителей с поверхностным и дренажным стоками, целесообразно проводить по следующим уровням [12]:

- экологически безопасный (до ПДК);
- экологически допустимый (0,1...0,25 ПДК);
- экологически недопустимый (>25 ПДК).

Результаты ранжирования и оценки уровней геоэкологического риска за счет диффузного стока с сельскохозяйственных и мелиорируемых земель показаны в таблице.

Как следует из структуры геоэкологического риска, важной и неотъемлемой его составляющей является понятие экологического ущерба, которое связано с ухудшением экологического состояния отдельного природного компонента (атмосферы, почвы, водного объекта, биоресурсам и т. д.), что приводит к соответствующим экономическим потерям.

В настоящее время оценка экологического ущерба может проводиться в соответствии с методикой определения предотвращенного экологического ущерба, позволяющая оценить величину предотвращенного экологического ущерба как отдельным природным компонентам (водные ресурсы), так и в виде интегрального (суммарного) экологического ущерба. Кроме этого используется и методика исчисления размера вреда, причиненного водным объектам вследствие нарушения водного законодательства.

Основные загрязняющие вещества	Оценка (уровень) геоэкологического риска		
	Допустимый (безопасный)	Предельно допустимый (опасный), %	Недопустимый (критический), %
Сульфаты, хлориды, катионы жесткости (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+), мочевины и другие химические соединения с $\text{ПДК}_{\text{рх}} \geq 40 \text{ г/м}^3$	ПДК, ПДС	20...25	>25
Нитраты, кальций фосфорнокислый и другие химические соединения с $5 \leq \text{ПДК}_{\text{рх}} < 40 \text{ г/м}^3$	ПДК, ПДС	15...20	>20
Взвешенные вещества	ПДК, ПДС	15...20	>20
БПК _{полн} , гуминовые кислоты и другие химические соединения с $2 \leq \text{ПДК}_{\text{рх}} < 4 \text{ г/м}^3$	ПДК, ПДС	10...15	>15
Азот общий, алюминий, фосфор общий, железо общее, аммония-ион, ацетонитрил, бензол, диметилацетомид, карбомол, метазин, нитрат аммония (NH_4^+), сероуглерод, сульфенол, сульфат аммония (NH_4^-), толуол, гексан и другие химические соединения с $0,5 \leq \text{ПДК}_{\text{рх}} \leq 2 \text{ г/м}^3$	ПДК, ПДС	5...10	>10

Оценка величины предотвращенного экологического ущерба от загрязнения водного объекта проводится на основе региональных показателей удельного ущерба, которые представляют собой удельные стоимостные оценки ущерба на единицу (1 усл. т) приведенной массы загрязняющих веществ. Расчетная формула для оценки эколого-экономического ущерба имеет следующий вид [1]:

$$Y_{\text{пр}}^B = \sum_{j=1}^N Y_{\text{вуд}rj} M_r K_{\text{Э}} J_{\text{Д}},$$

где $Y_{\text{пр}}^B$ — эколого-экономическая оценка величины предотвращенного ущерба водным ресурсам в рассматриваемом r -м регионе (далее — предотвращенный ущерб), тыс. руб./год; $Y_{\text{вуд}rj}$ — показатель удельного ущерба (цены загрязнения) водным ресурсам, наносимого единицей (условная тонна) приведенной массы загрязняющих веществ на конец расчетного периода для j -го водного объекта в рассматриваемом r -м регионе, руб./усл. т; M_r — приведенная масса сброса загрязняющих веществ в водные объекты рассматриваемого региона, соответственно, на начало и конец расчетного периода, тыс. усл. т; $K_{\text{Э}}$ — коэффициент экологической ситуации и экологической значимости состояния водных объектов по бассейнам основных рек; $J_{\text{Д}}$ — индекс-дефлятор по отраслям промышленности, устанавливаемый Минэкономки России на рассматриваемый период и доводимый до территориальных природоохранных органов.

В качестве интегральной оценки экологической безопасности предлагается использовать величину суммарных экологических ущербов, которые определяются как:

$$U_{\text{сум}} = \sum (U_{\text{а}} + U_{\text{в}} + U_{\text{з}} + U_{\text{б}} + U_{\text{др}}) K_{\text{ЭЗ}},$$

где $U_{\text{а}}$, $U_{\text{в}}$, $U_{\text{з}}$, $U_{\text{б}}$, $U_{\text{др}}$ — величина ущербов, определенных соответственно атмосферному воздуху, водным ресурсам, земельным ресурсам, биоресурсам и другие виды ущерба; $K_{\text{ЭЗ}}$ — корректировочный коэффициент, учитывающий экологическое состояние территории.

Порядок вычисления размера экологического ущерба, причиненному водному объекту сбросом вредных загрязняющих веществ в составе сточных или дренажных вод, может определяться по формуле [15]:

$$Y = K_{\text{ВГ}} K_{\text{В}} K_{\text{ИН}} \sum_{i=1}^n H_i M_i K_{\text{ИЗ}},$$

где Y — размер вреда, тыс. руб.; $K_{\text{ВГ}}$ — коэффициент, учитывающий природно-климатические условия в зависимости от времени года; $K_{\text{В}}$ — коэффициент, учитывающий экологические факторы (состояние водных объектов); $K_{\text{ИН}}$ — коэффициент индексации, учитывающий инфляционную составляющую экономического развития; H_i — таксы для исчисления размера вреда от сброса i -го вредного (загрязняющего) вещества в водные объекты, тыс. руб./т; M_i — масса сброшенного i -го вредного (загрязняющего) вещества (определяется по каждому загрязняющему веществу); $K_{\text{ИЗ}}$ — коэффициент, учитывающий интенсивность негативного воздействия из вредных (загрязняющих) веществ на водный объект.

На основе расчета эколого-экономических ущербов необходимо разрабатывать систему природоохранных мероприятий по оценке снижения диффузного загрязнения, среди которых наиболее эффективными можно считать гидромелиоративные, агро-мелиоратив-

ные, агротехнические и организационно-хозяйственные мероприятия [10].

Закключение. Основой сохранения и повышения экологической безопасности водных объектов является система анализа и оценки геоэкологическими рисками, позволяющая в значительной степени оценить размеры экологических ущербов на водосборных территориях, где осуществляется сельскохозяйственная и мелиоративная деятельность. Рассмотрены зависимости по оценке предотвращенных эколого-экономических ущербов водным ресурсам в результате сброса в них загрязняющих веществ. На основе экспертных оценок и статистических данных проведено обобщение и получены количественные величины геоэкологического риска за счет поступления диффузного стока с сельскохозяйственных и мелиорируемых земель на водные объекты. Установлено, что критические уровни геоэкологического риска для различных загрязнителей не должны превышать: по основным макрокомпонентам не выше 25 % от ПДК и ПДС, а для общего азота — не более 10 %.

ЛИТЕРАТУРА

1. Временная методика определения предотвращенного экологического ущерба. М., 1999. 60 с.
2. Карпенко Н.П. Геоэкологический риск: анализ, оценки, управление. Монография. Германия. Palmarium Academic Publishing. 2014. 145 с.
3. Карпенко Н.П. Структура и оценка геоэкологических рисков // Природообустройство. 2009. № 3. С. 45–50.
4. Карпенко Н.П. Основы диагностики формирования негативных последствий при антропогенных нагрузках для управления геоэкологическими рисками // Материалы международной научно-практической конференции «Мелиорация и проблемы восстановления сельского хозяйства России» (Костяковские чтения), 20–21 марта 2013 г. М.: Изд-во ВНИИА, 2013. С. 289–293.
5. Карпенко Н.П. Оценка геоэкологической ситуации речных бассейнов на основе атрибутивных показателей и обобщенных геоэкологических рисков // Природообустройство. 2018. № 2. С. 15–22.
6. Карпенко Н.П., Манукьян Д.А. Управление геоэкологическими рисками — основа экологической безопасности функционирования мелиоративных систем // Вестник РАСХН. 2010. № 6. С. 63–65.
7. Лабскер Л.Г., Бабешко Л.О. Игровые игры в управлении экономикой и бизнесом. М.: Дело, 2001. 205 с.
8. Методические рекомендации по оценке геоэкологических рисков при проектировании и эксплуатации оросительных систем / Л.В. Кирейчева, Н.П. Карпенко, В.М. Яшин, Г.Х. Ялалова. М.: ВНИИГиМ, 2018. 80 с.
9. Оценка диффузного загрязнения от сельскохозяйственных территорий в бассейне Верхней Волги и разработка мероприятий по его снижению на примере реки Яхромы / Л.В. Кирейчева, Е.А. Лентяева, А.Д. Тимошкин, В.М. Яшин // Водные ресурсы. 2020. Т. 47. № 5. С. 523–535.
10. Кирейчева Л.В., Лентяева Е.А., Супрун В.А. Методические рекомендации по обоснованию мероприятий для снижения диффузного загрязнения водных объектов. М.: ВНИИГиМ, 2019. 60 с.
11. Кирейчева Л.В., Яшин В.М., Тимошкин А.Д. Оценка выноса биогенных веществ с водосбора малой реки и меры по его снижению // Экология и промышленность России. 2022. Т. 26. № 6. С. 53–59.
12. Методические рекомендации по оценке геоэкологических рисков при различных сценариях антропогенных воздействий на водные объекты / Под общ. ред. Л.В. Кирейчевой. М.: ВНИИГиМ имени А.Н. Костякова, 2019. 24 с.
13. Манукьян Д.А., Карпенко Н.П. Вопросы управления геоэкологическими рисками на мелиоративных системах // Мелиорация и водное хозяйство. 2010. № 5. С. 26–29.
14. Манукьян Д.А., Карпенко Н.П. Экологическая безопасность функционирования техноприродных систем: состояние, проблемы и пути решения: монография. М.: МГУП, 2007. 294 с.

15. Методика исчисления размера вреда, причиненного водным объектам вследствие нарушения водного законодательства. М., 2009. 38 с.
16. Рагозин А.Л. Оценка и картирование опасностей и риска от природных и техно-природных процессов (история и методология) // Проблемы безопасности при чрезвычайных ситуациях. М.: ВНИИТИ, 1993. С. 16–41.
17. Экологический риск. Анализ, оценка и прогноз. Иркутск, 1998. 148 с.

REFERENCES

1. Temporary methodology for determining the prevented environmental damage. М., 1999. 60 p.
2. Karpenko N.P. Geoeological risk: analysis, assessment, management. Monograph. Germany. Palmarium Academic Publishing, 2014. 145 p.
3. Karpenko N.P. Structure and assessment of geoeological risks // Environmental management. 2009. No. 3. Pp. 45–50.
4. Karpenko N.P. Fundamentals of diagnostics of the formation of negative consequences under anthropogenic loads for the management of geoeological risks. Materials of the international scientific and practical conference «Land reclamation and problems of restoration of agriculture in Russia» (Kostyakovsky readings), March 20–21, 2013. М.: VNIIA Publishing House, 2013. Pp. 289–293.
5. Karpenko N.P. Assessment of the geoeological situation of river basins based on attributive indicators and generalized geoeological risks // Environmental management. 2018. No. 2. Pp. 15–22.
6. Karpenko N.P., Manukyan D.A. Geoeological risk management the basis of environmental safety of the functioning of reclamation systems // Bulletin of the RAS. 2010. No. 6. Pp. 63–65.
7. Labsker L. G., Babeshko L.O. Game games in economic and business management. М.: Delo, 2001. 205 p.
8. Kireicheva L.V., Karpenko N.P., Yashin V.M., Yalalova G.H. Methodological recommendations for assessing geoeological risks in the design and operation of irrigation systems. М.: VNIIGiM, 2018. 80 p.

9. Kireicheva L.V., Lentyaeva E.A., Timoshkin A.D., Yashin V.M. Assessment of diffuse pollution from agricultural territories in the Upper Volga basin and development of measures to reduce it on the example of the Yakhroma River // Water Resources. 2020. Vol. 47. No. 5. Pp. 523–535.
10. Kireicheva L.V., Lentyaeva E.A., Suprun V.A. Methodological recommendations on the justification of measures to reduce diffuse pollution of water bodies. М.: VNIIGiM, 2019. 60 p.
11. Kireicheva L.V., Yashin V.M., Timoshkin A.D. Assessment of the removal of nutrients from the catchment area of the small river and measures to reduce it // Ecology and industry of Russia. 2022. Vol. 26. No. 6. Pp. 53–59.
12. Methodological recommendations for assessing geoeological risks under various scenarios of anthropogenic impacts on water bodies / Under the general editorship of L.V. Kireicheva. М.: VNIIGiM named after A.N. Kostyakov, 2019. 24 p.
13. Manukyan D.A., Karpenko N.P. Issues of geoeological risk management in meliorative systems // Melioration and water management. 2010. No. 5. Pp. 26–29.
14. Manukyan D.A., Karpenko N.P. Ecological safety of functioning of technopriodic systems: state, problems and solutions. Monograph. М.: MGUP, 2007. 294 p.
15. Methodology for calculating the amount of damage caused to water bodies as a result of violation of water legislation. М., 2009. 38 p.
16. Ragozin A.L. Assessment and mapping of hazards and risks from natural and techno-natural processes (history and methodology) // Problems of safety in emergency situations. М.: VINITI, 1993. Pp. 16–41.
17. Environmental risk. Analysis, assessment and forecast. Irkutsk, 1998. 148 p.

Карпенко Нина Петровна, доктор техн. наук, вед. науч. сотрудник отдела природоохранных и информационных технологий, nkarpenko@yandex.ru (ФНЦ ВНИИГИМ им. А.Н. Костякова, г. Москва).

УДК 627.157: 002.637 (282.247.41)

ОСОБЕННОСТИ ИЗУЧЕНИЯ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ ДЛЯ РАЗЛИЧНЫХ ЗАДАЧ ГЕОЭКОЛОГИИ

Н.В. КОЛОМИЙЦЕВ, Б.И. КОРЖЕНЕВСКИЙ, Г.Ю. ТОЛКАЧЕВ, Е.Н. ГЕТЬМАН, Т.А. ИЛЬИНА

Ключевые слова: водные объекты, донные отложения, тяжелые металлы, техногенное воздействие, Верхняя Волга.

Keywords: water bodies, sediments, heavy metals, man-made pressure, the Upper Volga.

Аннотация. Загрязнение донных отложений малых и больших рек продолжает существовать, несмотря на повышенные требования к очистным сооружениям промышленных предприятий в последние годы. Поступление загрязнителей в водные объекты за это время существенно сократилось, хотя в некоторых водотоках содержание тяжелых металлов продолжает оставаться на достаточно высоком уровне. Наряду с загрязнениями, поступающими от конкретных источников, существует и диффузное загрязнение, источники которого определить весьма сложно. Рассмотрены во временном и пространственном аспектах распределения загрязнителей в малых и больших реках бассейна Верхней Волги как от конкретных, так и от диффузных источников. Приведены рисунки и таблица, отражающие эти природно-техногенные явления.

Abstract. The pollution of sediments of small and large rivers continues to exist, despite the increased requirements for industrial wastewater treatment plants in recent years. The arrival of pollutants into water bodies has significantly decreased during this time, but the presence of heavy metals in some watercourses continues to remain at a fairly high level. Along with pollution from specific sources, there is also diffuse pollution, the sources of which are very difficult to determine. The distribution of pollutants in small and large rivers of the Upper Volga basin from both specific and diffuse sources is considered in temporal and spatial aspects. The figures and tables reflecting these natural and man-made phenomena are given.

Исследование состава донных отложений (ДО) водных объектов в Российской Федерации с 90-х годов XX в. стало важнейшим аспектом в изучении их ге-

оэкологического состояния. Загрязнение ДО наиболее адекватно отражает современное состояние водного объекта и несет информацию о последствиях инженерно-хозяйственной деятельности на водосборной территории. Также при определенных гидрологических и гидрохимических условиях ДО могут являться источниками вторичного загрязнения водных масс. При этом методология нормирования загрязняющих веществ в ДО поверхностных водотоков разработана недостаточно, в первую очередь из-за ограниченной базы эмпирических данных.

Многообразие природных и техногенных факторов, совокупность которых и определяет особенности круговорота загрязняющих веществ в системе «вода–ДО», создает значительные трудности при его экспериментальном изучении. Особенно это касается изучения круговорота тяжелых металлов (ТМ), существующих в природных водах и ДО в различных химических формах. Неоднородность состава ДО, а также малые массы вещества, требуемые для современных методов определения микро- и макроэлементов, обуславливают повышенные требования к усреднению (гомогенизации) пробы. Средняя лабораторная проба должна полностью характеризовать исследуемые ДО. Тем не менее, даже на близких участках реки невозможно

отобрать пробы ДО сходного или близкого гранулометрического состава [1], поэтому при лабораторных исследованиях необходимо нормирование образцов ДО.

Одно из ведущих мест занимает комплекс вопросов, связанных с эрозионно-аккумулятивной деятельностью, в том числе и вопросы соотношения между эрозионной и транспортирующей способностью водных потоков и поступлением в реки твердого материала со склонов (продуктов эрозии почвы). Распределение продуктов эрозии почвы на склонах водосборной территории очень важно для биогеохимических циклов в почвах и существенно влияет на круговорот углерода и питательных веществ. Обычно процессы эрозии почвы происходят в разных местах ландшафта в период снеготаяния и кратковременных весенних и летних ливневых осадков [2]. Этим объясняется зависимость режима водного объекта от геоэкологического состояния поверхности водосбора. Сведение и деградация почвенно-растительного покрова на водосборной территории ведет к усилению эрозионных процессов, которые приводят к перегрузке водного объекта наносами, вызывающими заиливание русла и нарушение условий его работы, загрязнению ДО, что определяется интенсивностью эрозии почвы и концентрацией в ней загрязняющих веществ [3, 4].

Определение зон повышенного загрязнения в водных объектах. Оценка техногенной нагрузки только на основе данных о составе и концентрации загрязнителей в воде не может быть корректной без специальных режимных наблюдений из-за сильных флуктуаций расходов воды, концентраций взвешенных и растворенных веществ в течение года. В такой ситуации, когда количество гидропостов мало или они отсутствуют, важнейшей информацией о геоэкологическом состоянии водного объекта становится загрязненность его ДО. Обследования ДО рек бассейна Оки показало, что основные «болевые» зоны — это р. Москва ниже г. Москвы (работы проводятся с 1993 г.) и р. Клязьма ниже г. Щелково (работы проводятся с 1994 г.).

Обе «мелкие» фракции (<2 мкм и <20 мкм) способны удовлетворять требованиям мониторинга, инвентаризации и оценки содержания микроэлементов в ДО. Предпочтение следует отдавать быстрому, простому и экономичному отделению <20 мкм путем мокрого просеивания; эта фракция довольно близко соответ-

ствует взвешенному веществу в толще водного объекта [5]. Аккумуляцию ТМ ДО рекомендуется оценивать с помощью «индекса геоаккумуляции» [6], который характеризует относительную кратность загрязнения ДО (против природного фона) во фракциях грунта <20 мкм.

По мнению авторов [1], оптимальной на современном этапе является четырехранговая оценочная структура, разработанная для экосистем [7]. Многолетние исследования экологического состояния водных объектов в бассейнах рек Европы и в бассейне р. Оки в России показывают хорошую корреляцию техногенной нагрузки, оцененной по составу ДО, с биологическим состоянием водных экосистем [8]. Пример такой карты приведен на рис. 1.

Для оценки загрязнения микроэлементами ДО целесообразно использовать суммарный показатель токсического загрязнения — СПТЗ, разработанный для оценки загрязнения ТМ городских почв [9].

$$\text{СПТЗ} = \sum \text{КС КТ} - (n - 1); \text{КС} = \text{С} / \text{СФ},$$

где С — содержание элемента в изучаемой среде; СФ — фоновое содержание (глобальный или региональный фон); КТ — коэффициент токсичности химического элемента [9]; n — число учитываемых элементов.

Оценка распространения загрязнения от городских производств. Техногенная нагрузка от городских поселений на малые реки представлена загрязнением ДО реки Пекши. В верховьях реки расположен г. Кольчугино, в 1977 г. была построена плотина и создано Кольчугинское водохранилище. Население г. Кольчугино составляет более 40 тыс. чел., промышленность представлена заводами: по обработке цветных металлов, по выпуску кабельно-проводниковой продукции, электротехнического оборудования и др. Промзона г. Кольчугино является весьма серьезным источником техногенной нагрузки на р. Пекша, которая в силу своей маловодности особенно чувствительна к техногенной нагрузке. Русло Пекши интенсивно меандрирует и расположено преимущественно в малонаселенной местности, что определяет снижение загрязнения ДО по мере удаления от г. Кольчугино [10].

Наименьший уровень загрязнения ДО закономерно отмечен на выходе из Кольчугинского водохранилища, поскольку промышленные площадки находятся ниже по течению, ДО самого водохранилища представ-



Рис. 1. СПТЗ донных отложений р. Клязьмы в 2017–2018 гг.

лены песчаными фракциями. Большинство ТМ находятся в пределах фонового уровня, либо от незагрязненного до умеренно загрязненного класса со слабой техногенной нагрузкой.

Ниже г. Кольчугино уровни загрязнения практически всех элементов и, следовательно, техногенная нагрузка, существенно повышаются. Содержание Zn доходит до сильно загрязненного, что соответствует опасной техногенной нагрузке, Cd и Cu – средне загрязненному уровню и умеренной нагрузке, Pb – умеренно загрязненному уровню. Высокое содержание Cu может быть объяснено, помимо внешнего поступления с местных производств, также высоким содержанием органических соединений в ДО, с которыми Cu активно образует комплексные соединения. Далее в 20...25 км ниже по течению у д. Лаврениха в районе областной автотрассы уровни Zn, Cd, Cu, Pb снижаются каждый на один класс.

Вниз по течению от д. Лаврениха до впадения в р. Клязьму русло р. Пекши отличается извилистостью, река протекает по малозаселенным местам, благодаря чему уровни загрязнения ДО по всем элементам постепенно снижаются (рис. 2). В устьевой части техногенная нагрузка практически отсутствует. Слабое загрязнение реки в нижнем течении подтверждает наличие пескарей (*Gobio gobio*) и в некоторых местах раков, обитающих исключительно в незагрязненной воде.

Можно констатировать отрицательное влияние и среднюю техногенную нагрузку со стороны г. Кольчугино на р. Пекшу, при этом сама Пекша не привносит загрязнения ТМ в Клязьму. Иными словами, р. Пекша является приемником загрязняющих веществ г. Кольчугино с «хвостом» загрязнений порядка 20 км, и самоочищается в районе нижележащих деревень [8].

Оценка загрязнения ДО при слиянии рек. В районе г. Коломны, где проводились сопряженные исследования состава речных вод и ДО, отобраны, обработаны и проанализированы отложения в р. Оке ниже впадения р. Москвы (по три у правого и левого берегов).

В таблице отражено изменение содержания свинца, кадмия, ртути, цинка и меди по результатам мониторинга в ДО р. Оки и р. Москвы выше и ниже слияния. Проведенные исследования позволяют оценить процесс вторичного загрязнения водной среды р. Оки вследствие взмучивания и переноса загрязненных ДО, которые формируются вблизи устья р. Москвы. Левый берег р. Оки ниже впадения р. Москвы более за-

грязнен, чем правый, т. к. воды р. Москвы продолжают существовать отдельным потоком внутри р. Оки, прижатые ее более скоростным потоком, однако концентрации всех рассмотренных ТМ практически выравниваются по обоим берегам на расстоянии около 12 км после впадения р. Москвы [11].

Оценка диффузного загрязнения малых рек. В Иваньковское водохранилище впадает 10 рек длиной более 10 км. В качестве объектов исследования были выбраны р. Сучок и Донховка – правые притоки. Р. Сучок протекает по территории Конаковского района, ее длина составляет 17 км. Р. Донховка впадает несколькими километрами ниже, в черте города Конаково. Выше города на реке стоят деревни Марьино, Дубровки, Сорокопенино, Заречье и село Селихово. Длина реки около 30 км, в нижнем течении берега сильно застроены, обезлесены и распаханы. Ниже села Селихово расположено несколько плотин и низких мостов. Питание рек преимущественно снеговое. Гидропосты на этих реках в настоящее время отсутствуют.

В ДО р. Сучок от Конаковского шоссе до впадения в водохранилище содержание Zn соответствует 2-му иgeo-классу – умеренно загрязненному, а также умеренной техногенной нагрузке. Содержание Cr не превышает 1-го иgeo-класса, все остальные элементы находятся на фоновом уровне либо на уровне незагрязненного нулевого иgeo-класса. В ДО р. Донховки в 200 м выше устья концентрации Zn, Pb и As снижаются соответственно до 2-го, 1-го и нулевого иgeo-классов; Cr, как и на всем протяжении реки, стабильно остается на уровне 1-го иgeo-класса, остальные элементы соответствуют незагрязненному уровню. По те-

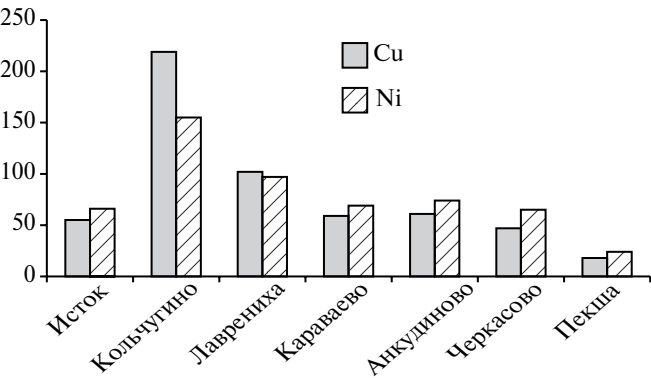


Рис. 2. Содержание меди и никеля в ДО р. Пекши, мг/кг

Концентрации тяжелых металлов во фракции <0,02 мм донных отложений проблемного участка

Pb, мг/кг		Cd, мг/кг		Hg, мг/кг		Zn, мг/кг		Cu, мг/кг	
р. Москва	р. Ока	р. Москва	р. Ока	р. Москва	р. Ока	р. Москва	р. Ока	р. Москва	р. Ока
81,19	27,34	3,40	1,22	0,53	0,22	460,8	157,6	108,0	41,9
71,51	25,60	2,82	1,00	0,71	0,15	430,8	158,5	98,1	37,8
р. Ока после впадения р. Москвы									
Левый берег	Правый берег	Левый берег	Правый берег	Левый берег	Правый берег	Левый берег	Правый берег	Левый берег	Правый берег
90,47	38,10	3,12	1,52	0,77	0,18	507,8	216,7	116,40	55,91
53,81	40,99	2,40	1,59	0,39	0,30	345,3	255,3	84,67	66,07
46,10	41,78	2,25	1,67	0,29	0,26	282,2	262,5	76,89	65,24



Рис. 3. Карта содержания Zn, Cd, Pb, Cr в игео-классах в районах р. Сучок (т. 3 и 4), Донховка (т. 5...9) и в русле водохранилища

чению р. Донховка, выше г. Конаково и в его пределах, концентрации элементов, кроме Zn, остаются практически на одном уровне; концентрация Zn повышается с 1-го игео-класса выше города до 2-го игео-класса в его черте. Характеристики загрязнения ДО этих водотоков Zn, Cd, Pb, Cr приведены на рис. 3.

Выводы

Загрязнение ДО водного объекта отражает его современное состояние и несет информацию об инженерно-хозяйственной деятельности на водосборной территории, что особенно актуально при малом количестве гидропостов или при их полном отсутствии. Фракция ДО < 20 мкм способна удовлетворять требованиям мониторинга водного объекта, инвентаризации и оценки содержания микроэлементов. Их аккумуляцию в ДО рекомендуется оценивать с помощью «индекса геоаккумуляции», который характеризует относительную кратность загрязнения ДО (против природного фона) во фракциях < 20 мкм.

Таким способом «приведенные к общему знаменателю» ДО различного гранулометрического состава позволяют:

- оперативно определять проблемные участки как водного объекта, так и водосборных территорий;
- изучать распространение загрязнений от промышленной и предпринимательской деятельности;
- оценивать перераспределение загрязнителей в потоках при слиянии рек;
- оценивать диффузный (поверхностный) сток и смыл загрязнителей с приводораздельных природно-техногенных территорий, что особенно актуально для малых рек, где практически всегда отсутствуют гидропосты.

ЛИТЕРАТУРА

1. Экологические функции литосферы / Под ред. В.Т. Трофимова. М.: Изд-во МГУ, 2000. 432 с.
2. Ивановское водохранилище: Современное состояние и проблемы охраны / В.А. Абакумов, Н.П. Ахметьева, В.Ф. Бреховских и др. М.: Наука, 2000. 344 с.

3. Киселева О.Е., Коломийцев Н.В. Противоэрозионное устройство склоновых земель в бассейнах малых рек на основе ГИС-технологий // Природообустройство. 2010. № 1. С. 21–27.

4. Коломийцев Н.В., Корженевский Б.И. Роль современной эрозии склонов в загрязнении и очищении бассейнов малых рек // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. 2015. № 4(20). С. 278–286.

5. Mueller G., Ottenstein R., Yahya A. Standardized particle size for monitoring, inventory, and assessment of metals and other trace elements in sediments: <20 µm or <2 µm? // Fresenius' Journal of Analytical Chemistry. 2001. V. 371. No. 5. P. 637–642.

6. Mueller G. Schwermetalle in den Sedimenten des Rheins – Veränderungen seit 1971 // Umschau 79, 1979. H. 24. S. 778–783.

7. Виноградов Б.В., Орлов В.А., Снакин В.В. Биотические критерии выделения зон экологического бедствия России // ИЛ РАН. Сер. 5. География. 1993. № 5. С. 77–79.

8. Закономерности загрязнения донных отложений водных объектов тяжелыми металлами / Н.В. Коломийцев, Г.Ю. Толкачев, Б.И. Корженевский, Т.А. Ильина. М.: ФГБНУ «ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова», 2023. 180 с.

9. Большаков В.А. Методические рекомендации по оценке загрязнения городских почв и снежного покрова тяжелыми металлами. М.: ВНИИП им. Докучаева, 1999. 32 с.

10. Толкачев Г.Ю., Корженевский Б.И. Загрязнение тяжелыми металлами реки Пекши и оценка техногенной нагрузки // Использование и охрана природных ресурсов в России. 2020. № 4(164). С. 68–71.

11. Оценка техногенной нагрузки на водные объекты по загрязненности донных отложений / Н.В. Коломийцев, Б.И. Корженевский, Т.А. Ильина, Е.Н. Гетьман // Мелиорация и водное хозяйство. 2015. № 6. С. 15–19.

REFERENCES

1. Ecological functions of the lithosphere / Edited by V.T. Trofimov. M.: Publishing House of Moscow State University, 2000. 432 p.
2. Ivankovskoye reservoir: Current state and problems of protection / V.A. Abakumov, N.P. Akhmetieva, V.F. Brekhovskikh et al. M.: Nauka, 2000. 344 p.
3. Kiseleva O.E., Kolomiitsev N.V. Antierosion device of sloping lands in basins of small rivers based on GIS technologies // Nature management. 2010. No. 1. Pp. 21–27.
4. Kolomiitsev N.V., Korzhenevskiy B.I. The role of modern slope erosion in pollution and purification of small river basins // Scientific Journal of the Russian Research Institute of Problems of Land Reclamation. 2015. No. 4(20). Pp. 278–286.
5. Mueller G., Ottenstein R., Yahya A. Standardized particle size for monitoring, inventory, and assessment of metals and other trace elements in sediments: <20 µm or <2 µm? // Fresenius' Journal of Analytical Chemistry. 2001. V. 371. No. 5. P. 637–642.
6. Mueller G. Schwermetalle in den Sedimenten des Rheins – Veränderungen seit 1971 // Umschau 79, 1979. H. 24. S. 778–783.
7. Vinogradov B.V., Orlov V.A., Snakin V.V. Biotic criteria for the allocation of environmental disaster zones in Russia // IL RAS. Ser. 5. Geografiya, 1993, No. 5, pp. 77–79.
8. Kolomiitsev N.V., Tolkahev G.Yu., Korzhenevskiy B.I., Ilyina T.A. Patterns of pollution sediments of water bodies with heavy metals. M.: VNIIGiM named after A.N. Kostyakov, 2023. 180 p.
9. Bolshakov V.A. Methodological recommendations for the assessment of pollution of urban soils and snow cover with heavy metals. M.: VNIIP named after Dokuchaev, 1999. 32 p.
10. Tolkahev G.Yu., Korzhenevskiy B.I. Heavy metal pollution of the Peksha river and assessment of anthropogenic load // Use and protection of natural resources in Russia. 2020. No. 4(164). Pp. 68–71.
11. Kolomiitsev N.V., Korzhenevskiy B.I., Ilyina T.A., Getman E.N. Assessment of anthropogenic load on water bodies by pollution of sediments // Melioration and water management. 2015. No. 6. Pp. 15–19.

Коломийцев Николай Владимирович, канд. геол.-мин. наук, зав. отделом, kolomiitsev@vniigim.ru; **Корженевский Борис Игоревич**, канд. геол.-мин. наук, ст. науч. сотрудник, 542609@list.ru; **Толкачев Глеб Юрьевич**, канд. техн. наук, ст. науч. сотрудник, k-26@mail.ru; **Ильина Тамара Андреевна**, канд. биол. наук, ст. науч. сотрудник, ristolanin@mail.ru; **Гетьман Евгения Николаевна**, ст. науч. сотрудник, jene.get@yandex.ru, отдел рекультивации и охраны земель (ФНЦ ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова, г. Москва).

УДК 504.453, 532.574

РАЗРАБОТКА РЕКОМЕНДАЦИЙ ПО ЗАЩИТЕ РУСЛА РЕКИ ОТ РАЗМЫВА В РАЙОНЕ ИНЖЕНЕРНЫХ СООРУЖЕНИЙ

А.О. ЩЕРБАКОВ

Ключевые слова: русловые процессы, негативные деформации русла, инженерные сооружения, ADCP, многолучевой эхолот, русловая съемка, рекомендации по защите русла реки.

Keywords: bed processes, negative channel deformations, engineering structures, ADCP, multibeam echo sounder, channel survey, recommendations for river bed protection.

Аннотация. В статье описываются результаты работ по исследованию русловых процессов и разработке рекомендаций по защите технического коридора подводных трубопроводов на участке реки Урал. Проведены гидрометрические измерения основных параметров потока и русла с использованием ADCP метода и многолучевого эхолота. Даны детальные предложения по защите инженерных сооружений на участке реки с использованием гидротехнических конструкций и методов. Подобные исследования рекомендуется проводить для предотвращения возможных аварийных ситуаций на гидротехнических объектах в результате воздействия негативных деформаций русла.

Abstract. The article describes the results of work on studying riverbed processes and developing recommendations for protecting the technical corridor of underwater pipelines on a section of the Ural River. Hydrometric measurements of the main parameters of the flow and channel were carried out using the ADCP method and a multibeam echo sounder. Detailed proposals are given for the protection of engineering structures along the river section using hydraulic structures and methods. Such studies are recommended to be carried out to prevent possible emergency situations at hydraulic facilities as a result of the impact of negative channel deformations.

Применение ADCP метода для исследования плана течений и прогноза русловых процессов. Одной из наиболее острой проблемой предотвращения аварийных ситуаций является обеспечение динамической стабильности русла реки (канала) в районе инженерных сооружений: (водозаборы, подводные переходы трубопроводов, берегоукрепительные и стокорегулирующие конструкции, узловые сооружения для отвода воды в каналы низшего порядка и др.).

Для исследования русловых деформаций был выбран участок реки Урал на участке подводного перехода трубопроводов. В полевых исследованиях и разработке рекомендаций по защите русла реки от неблаго-

приятных деформаций принимали участие сотрудники отдела гидротехники и гидравлики ВНИИГиМ. Работы включали: русловую съемку, отбор и анализ проб донных отложений на гранулометрический состав, измерение скоростей течения ADCP методом (Acoustic Doppler current profiler) [1], позволяющим с высокой точностью определять скорость и направление течения по глубине потока.

Измерения скоростей на участке реки производились в период спада половодья на семи гидрометрических створах. Все измерения на створах проведены в мае 2019 г. при среднем уровне воды в реке 76,28 м абс. (БС). Карта донных отложений показана на рис. 1.

В таблице представлены основные параметры потока на гидростворах, рассчитанные по каждому из проходов промерного судна, а также средние их величины. Погрешность измерения средних величин гидрологических характеристик не превышала 3 % при доверительной вероятности 95 %.

Обработка записей ADCP производилась с помощью программы WinRiver2 [2]. Для оценки скоростей течения и расходов на участках с глубинами, меньшими, чем те, при которых можно использовать ADCP, были применены численные экстраполяционные методы. Построение плановых изображений проводилось с помощью программ Voxler [3] и Surfer [4].

Результаты измерения распределения скоростей потока представлены на рис. 2 (по сечению ГС2).

Технические возможности профилографа ADCP не позволяют измерять скорости течения до глубины около 1 м и в придонном слое толщиной, равной 6 % от глубины места. Расчеты расходов за пределами области непосредственных измерений проводились по значениям скоростей, полученным путем экстраполяции с использо-

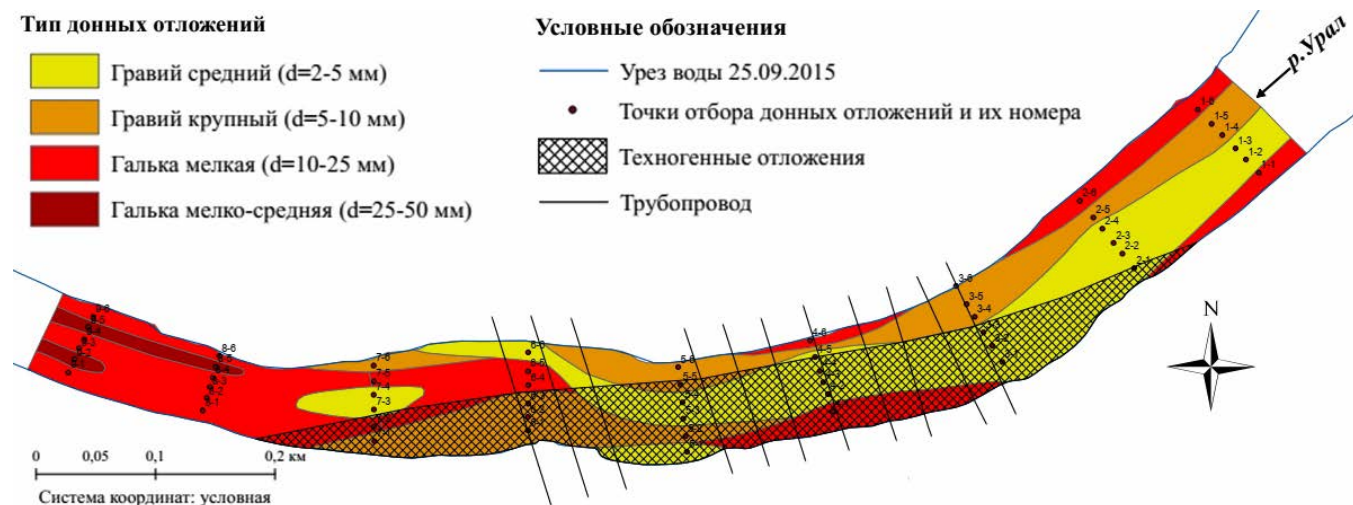


Рис. 1. Донные отложения на участке реки

Результаты измерения основных гидрологических характеристик на гидрометрических створах

№ про- хода	Время (моск.)	Средний уровень воды на створе, м БС	Суммарный рас- ход воды, м³/с	Площадь сече- ния разреза, м²	Средняя скорость течения, м/с
ГС2 – 23,05 (расстояние между берегами около 140 м)					
1	15:50	76,32	238	314	0,76
2	15:52	76,32	244	310	0,79
3	15:53	76,32	243	311	0,78
4	15:55	76,32	240	312	0,77
Среднее	—	—	241	312	0,77
ГС6 – 23,05 (расстояние между берегами около 130 м)					
1	15:33	76,29	240	325	0,74
2	15:36	76,29	245	329	0,74
3	15:38	76,29	238	334	0,71
4	15:45	76,29	235	326	0,72
Среднее	—	—	240	329	0,73
ГС7 – 23,05 (расстояние между берегами около 130 м)					
1	15:24	76,27	245	341	0,72
2	15:26	76,27	238	346	0,69
3	15:27	76,27	240	350	0,68
4	15:29	76,27	243	348	0,70
Среднее	—	—	241	346	0,70
ГС8 – 23,05 (расстояние между берегами около 120 м)					
1	15:05	76,25	241	355	0,68
2	15:08	76,25	243	357	0,68
3	15:10	76,25	241	357	0,67
4	15:12	76,25	241	355	0,68
Среднее	—	—	242	356	0,68
ГС9 – 23,05 (расстояние между берегами около 100 м)					
1	14:49	76,17	243	248	0,98
2	14:51	76,17	244	248	0,98
3	14:53	76,17	240	248	0,97
4	14:54	76,17	244	247	0,98
Среднее	—	—	243	248	0,98
ГС10 – 23,05 (расстояние между берегами около 145 м)					
1	16:01	76,34	240	340	0,71
2	16:03	76,34	249	336	0,74
3	16:05	76,34	235	334	0,70
4	16:07	76,34	235	334	0,71
Среднее	—	—	240	336	0,71
ГС11 – 23,05 (расстояние между берегами около 100 м)					
1	14:30	76,10	240	272	0,88
2	14:31	76,10	241	276	0,87
3	14:34	76,10	242	270	0,89
4	14:35	76,10	239	276	0,87
Среднее	—	—	240	274	0,88

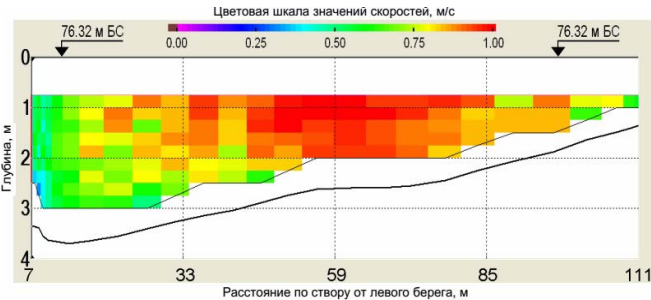


Рис. 3. Распределение скоростей течения по поперечному сечению ГС2

ванием общепринятых стандартных формул, заложенных в программу обработки WinRiver2.

Усреднение для каждого створа производилось по четырем проходам зондирующего катера для прямоугольных областей размером 1 м (по вертикали) на 10 м (по горизонтали), то есть примерно по 300...500 измеренным значениям мгновенных скоростей, что обеспечивает хорошую статистическую достоверность результатов. Анализ полученных результатов показывает, что поле скоростей характеризуется сильной изменчивостью направлений и наличием областей с отбойными течениями и противотоками.

Рекомендации по ликвидации сбойных течений и размывов на р. Урал в районе инженерных сооружений. Анализ материалов и разработка мероприятий по защите русла реки от неблагоприятных деформаций проводились с использованием наработок отдела гидротехники и гидравлики в этой области [5–8].

Для предотвращения размывов, активных русловых деформаций в зоне технического коридора необходимо провести комплекс проектных, строительно-монтажных и русловыправительных работ:

1. Технический коридор находится в вершине излучины реки, что провоцирует сбойность течения, формирование русловой ложбины под левым берегом и оголению ниток трубопроводов под левым берегом. Естественная структура потока на участке также изменена дноукрепительными работами, которые привели к местному увеличению скорости течения в реке и соответственно к увеличению местных деформаций дна (3-я и 4-я нитки у левого берега).

На нижних нитках (9-й, 10-й и 11-й) сползшее берегоукрепление из бетонных плит затормозило активное развитие меандры и служит поддерживающим фактором предупреждения плановых деформаций. Одновременно сужение сечения потока привело к увеличению вертикальных размывов в реке на нижних по течению нитках.

2. Изменить полностью гидравлический режим и существенно перераспределить скорости по поперечному сечению реки нецелесообразно по причине ошибочной вертикальной трассировки трубопроводов

на подводных переходах и возможному оголению труб на других участках.

3. Для стабилизации потока необходимо несколько уменьшить кривизну меандры и уменьшить сбойность потока исходя из трассировки трубопроводов. Для этого требуется наметить береговую линию, к которой следует привести левый берег.

4. Поскольку в створе технического коридора устраивать шпоры крайне нежелательно по причине интенсификации размывов за ними, то 2...3 направляющие шпоры целесообразно установить перед техническим коридором (не ближе 12 глубин у оголовка в паводок) перед первой ниткой. Одну шпору (4-ю) можно установить непосредственно за 8-й ниткой сверху по течению реки, с одновременным укреплением дна отсыпкой щебеночного плаща (фракция 40...70 или большим диаметром до 120 мм) за оголовком шпоры, на расстояние до 10...12 глубин у оголовка вниз по течению. Последнюю шпору установить за техническим коридором (5-я шпора).

5. Одновременно необходимо произвести укладку грунтозаполненных контейнеров под участками активного размыва с последующей отсыпкой гравплаща или укладкой плоских габионов с широким гребнем (не менее 10 м).

6. Для обеспечения транзита потока и ликвидации сбойных течений в пределах коридора следует организовать транзитный канал динамически устойчивого сечения, параметры которого должны примерно соответствовать перекрываемой части русла шпорами по расходу.

7. Предлагаемые работы по трассировке канала необходимо увязывать с вертикальной трассировкой трубопроводов для предотвращения их оголения и появления размывов в канале.

8. С учетом активного транспорта наносов и интенсивно протекающего руслового процесса, фарватер должен сместиться к правому берегу с частичным равномерным размывом правобережной отмели. Необходимо спрогнозировать деформации правого берега, определить расчетную расстановку шпор, с точки зрения поддержания гидравлической устойчивости русла, более точной расстановки направляющих русловыправительных сооружений до и после коридора исходя из заглубления труб, определить нагрузки на сооружения (ледовые) и определить рациональный тип применяемой конструкции шпор. Рекомендуемая толщина отсыпки плаща 0,5...0,6 м.

Конструкцию шпор, удерживающих размываемые вогнутые берега от меандрирования выше и ниже перехода, можно произвести отсыпкой из крупного камня массой более 200 кг или укладкой бетонных массивов на каменно-щебеночную подготовку.

Заключение

1. Для прогнозирования состояния гидротехнических сооружений на реке — водоисточнике и каналах крайне необходимы натурные исследования русловых процессов.

2. Проведены детальные полевые исследования на участке подводных переходов трубопроводов, включающие крупномасштабную русловую съемку, измерения скоростей и направления течения ADCP методом.

3. На основе полученных результатов разработаны предварительные рекомендации по предотвращению опасных размывов на участке реки в районе инженерных сооружений.

4. Полученный в результате натурных полевых исследований набор данных позволяет более детально исследовать закономерности различных аспектов русловых процессов в реках и каналах применительно к гидромелиорации земель.

ЛИТЕРАТУРА

1. Teledyne RD Instruments WINRIVER II software user's guide [Электронный ресурс]. URL: http://www.teledynemarine.com/Documents/Brand%20Support/RD%20INSTRUMENTS/Technical%20Resources/Manuals%20and%20Guides/Workhorse/WinRiver%20II%20User%20Guide_Sep19.pdf.
2. Voxler [Электронный ресурс]. URL: <https://www.goldensofware.com/products/voxler>.
3. Surfer [Электронный ресурс]. URL: <https://www.goldensofware.com/products/surfer>.
4. Teledyne RD Instruments «WorkHorse Rio Grande» ADCP guide [Электронный ресурс]. URL: http://www.teledynemarine.com/Documents/Brand%20Support/RD%20INSTRUMENTS/Technical%20Resources/Manuals%20and%20Guides/Workhorse/Rio%20Grande%20ADCP%20Guide_Sep13.pdf.
5. Пат. 2108424, РФ. Способ выправления русла реки с защитой его от размыва / С.С. Медведев, А.О. Щербаков и др.
6. Щербаков А.О., Ермаков Г.Г. Метод пофракционного расчета распределения наносов в русловом потоке // Мелиорация и водное хозяйство. 2014. № 5. С. 65–69.
7. Щербаков А.О., Медведев С.С. Разработка новых способов регулирования твердого и жидкого стока на гидромелиоративных системах // Комплексные мелиорации — средство повышения продуктивности сельскохозяйственных земель: материалы юбилейной международной научно-практической конференции. М.: ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова, 2014. С. 255–263.
8. Барамыков М.Р. Дополнительные возможности использования ADCP для решения задач речной гидравлики // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. 2018. № 2(70). С. 212–217.

REFERENCES

1. Teledyne RD Instruments WINRIVER II software user's guide [Электронный ресурс]. URL: http://www.teledynemarine.com/Documents/Brand%20Support/RD%20INSTRUMENTS/Technical%20Resources/Manuals%20and%20Guides/Workhorse/WinRiver%20II%20User%20Guide_Sep19.pdf.
2. Voxler [Электронный ресурс]. URL: <https://www.goldensofware.com/products/voxler>.
3. Surfer [Электронный ресурс]. URL: <https://www.goldensofware.com/products/surfer>.
4. Teledyne RD Instruments «WorkHorse Rio Grande» ADCP guide [Электронный ресурс]. URL: http://www.teledynemarine.com/Documents/Brand%20Support/RD%20INSTRUMENTS/Technical%20Resources/Manuals%20and%20Guides/Workhorse/Rio%20Grande%20ADCP%20Guide_Sep13.pdf.
5. Pat. 2108424, RF. Sposob vypravleniya rusla reki s zashchitoy yego ot razmyva / S.S. Medvedev, A.O. Shcherbakov i dr.
6. Shcherbakov A.O., Yermakov G.G. Metod pofraktsionnogo rascheta raspredeleniya nanosov v ruslovom potoke // Melioratsiya i vodnoye khozyaystvo. 2014. № 5. S. 65–69.
7. Shcherbakov A.O., Medvedev S.S. Razrabotka novykh sposobov regulirovaniya tverdogo i zhidkogo stoka na gidromeliorativnykh sistemakh // Kompleksnyye melioratsii — sredstvo povysheniya produktivnosti sel'skokhozyaystvennykh zemel' Materialy yubileynoy mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. M.: VNIIGiM im. A.N. Kostyakova, 2014. S. 255–263.
8. Baramykov M.R. Dopolnitel'nyye vozmozhnosti ispol'zovaniya ADCP dlya resheniya zadach rechnoy gidravliki // Puti povysheniya effektivnosti oroshayemogo zemledeliya. 2018. № 2(70). S. 212–217.

Щербаков Алексей Олегович, канд. техн. наук, зав. отделом гидротехники и гидравлики, asher5@mail.ru (ФНЦ ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова, г. Москва).

УДК 631.614

ОПТИМИЗАЦИЯ СОДЕРЖАНИЯ ГУМУСА АГРОМЕЛИОРАТИВНЫМИ ПРИЕМАМИ ПРИ ОСВОЕНИИ ЗАЛЕЖНЫХ ЗЕМЕЛЬ НЕЧЕРНОЗЕМНОЙ ЗОНЫ

В.А. ШЕВЧЕНКО, А.М. СОЛОВЬЕВ, Г.И. БОНДАРЕВА, Н.П. ПОПОВА

Ключевые слова: залежные земли, система удобрения, гумус, органическое вещество почвы.

Keywords: degraded lands, fertilizer system, humus, soil organic matter.

Аннотация. Изучено влияние разнотрубной заделки соломисто-пожнивных остатков (контроль), расчетных доз минеральных удобрений под запланированную урожайность полевых культур пяти полного плодосменного зернопропашного севооборота и органических отходов свиного комплекса в безопасных дозах на динамику накопления гумуса по слоям корнеобитаемого слоя при освоении малопродуктивных дерново-подзолистых земель Нечерноземной зоны легкосуглинистого гранулометрического состава с промывным типом водного режима.

Установлено, что при всех системах применения удобрения максимальное накопление гумуса в посевном слое 0...10 см обеспечивает минимальная обработка, в пахотном 0...20 см — отвальная вспашка и в подпахотном горизонте 20...40 см — чизелевание.

Отмечено наличие сильной прямой корреляционной зависимости между системой удобрения и накоплением гумуса в корнеобитаемом слое ($r=0,72...0,78$), средней положительной между способом заделки удобрения и синтезом гумусовых соединений ($r=0,39...0,44$) и слабой прямой между культурами севооборота и формированием запасов гумуса в пахотном 0...20 см и подпахотном 20...40 см горизонтах почвы ($r=0,26...0,29$).

Abstract. The influence of the multi-depth sealing of straw-crop residues (control), calculated doses of mineral fertilizers for the planned yield of field crops of five-field fruit-bearing grain crop rotation and organic waste of the pig complex in safe doses on the dynamics of humus accumulation along the layers of the root layer during the development of unproductive sod-podzolic lands of the Non-Chernozem zone of light loamy granulometric composition with a washing type of water regime was studied.

It was found that with all systems of fertilizer application, the maximum accumulation of humus in the seed layer of 0–10 cm is provided by minimal processing, in the arable 0–20 cm — dump plowing and in the sub-arable horizon of 20–40 cm — chiseling.

The presence of a strong direct correlation between the fertilizer system and the accumulation of humus in the root layer ($r=0,72-0,78$), an average positive relationship between the method of fertilization and the synthesis of humus compounds ($r=0,39-0,44$) and a weak direct relationship between crop rotation crops and the formation of humus reserves in arable 0–20 cm and sub-arable 20–40 cm of soil horizons ($r=0,26-0,29$).

Введение. Содержание гумуса в пахотном слое почвы регулируется главным образом количеством поступающих в его состав органических удобрений, а также растительных остатков от посевов, поэтому возделывание сельскохозяйственных культур, оставляющих после себя много соломисто-пожнивных и корневых остатков, а также заделка сидератов способствуют его накоплению [1–6].

По данным И.С. Шатилова с сотрудниками [3] оптимальным содержанием гумуса в почве следует считать такую величину, которая обеспечивает урожайность возделываемых культур, соответствующую биоклиматическому потенциалу региона.

Согласно классификации, предложенной Л.В. Кирейчевой с сотрудниками [7–9] дерново-подзолистые суглинистые почвы должны иметь в своем составе более 2 % гумуса, поскольку при содержании 2 % они относятся к слабой степени деградации, при 1,5 % — к средней, а при 1 % — сильной степени, при которой

возделывание всех видов продукции растениеводства теряет практический смысл.

Целью наших исследований явилось изучение динамики накопления гумуса в корнеобитаемом слое почвы в зависимости от комплексного влияния систем удобрения и агромелиоративных приемов при освоении выбывших из оборота малопродуктивных, ранее мелиорированных земель.

Место и методика исследований. Опыты по изучению комплексного влияния систем удобрения (фактор А), способов их заделки почвы (фактор С) и последствия культур севооборота (фактор В) при введении в оборот легкосуглинистых дерново-подзолистых земель на динамику гумуса проводили в течение ротации пятипольного плодосменного зернопропашного севооборота в период с 2015 по 2019 гг. на освоенных землях ООО «Ручьевское» Ржевского района, Тверской области, вышедших из оборота в 1994 г.

Агрохимическая характеристика почвы: содержание гумуса 1,76...1,78 мг/кг — очень низкое; P_2O_5 106...109 мг/кг — повышенное; K_2O 90...100 мг/кг — среднее; pH_{KCl} 4,88...5 ед. — слабокислая.

Расчет доз минеральных удобрений под запланированную урожайность (для люпина узколистного на зерно — сорт Белозерный 110 — 1,8 т/га; кукурузы на зеленую массу — гибрид ПР39Бх29 — 40 т/га; озимой пшеницы — сорт Скипетр — 4,5 т/га; ярового рапса — сорт Новосел — 2 т/га и ячменя — сорт Саншайн — 4 т/га) выполнен по методике М.К. Каюмова [10], которые вносили дробно: под предпосевную культивацию — 50 %, при посеве — 25 % и в подкормки — 25 %. Жидкие стоки в дозе 80 м³/га утилизировали с помощью технологии шланговых систем под предпосевную обработку. Твердую фракцию навоза с нормой 40 т/га распределяли по делянкам при помощи прицепа-разбрасывателя ПРТ-10. Все виды удобрений вносили по фону измельченных соломисто-пожнивных остатков предшественника и заделывали в пахотный слой осваиваемых земель тремя способами: дисковыми лушильниками на глубину 7...10 см; отвальными плугами на 18...20 см и чизельными орудиями на 27...30 см.

Жидкие стоки в среднем содержали: сухие вещества — 3 %; общий азот — 0,1 %; фосфор подвижный — 0,03 %; калий обменный — 0,28 %; pH — 7,4 ед. Твердые фракции навоза имели следующий состав: сухие вещества — 35...40 %; азот общий — 0,54 %; фосфор подвижный — 0,29 %; калий обменный — 0,6 %; pH — 7,8 ед.

Опыт заложен в 4-кратной повторности методом рендомизированных повторений. Площадь посевной делянки — 240 м², учетный 120 м².

Статистическая обработка экспериментальных данных проведена методом дисперсионного и корреляционного анализа в изложении Б.А. Доспехова [11].

Результаты и их обсуждение. Установлено, что при закладке эксперимента концентрация гумуса в посевном слое почвы 0...10 см находилась в интервале от 1,7 до 1,73 %, что при $HCP_{05} = 0,1\%$ является недостоверным различием (табл. 1). В пахотном слое 0...20 см исходная концентрация гумуса составляла в среднем 1,68...1,72 %, что по современной классификации позволяет отнести осваиваемые земли к средней степени деградации по его количеству.

Исследования по комплексному влиянию систем удобрения, сельскохозяйственных культур и агромеритивных приемов на динамику содержания гумуса по слоям почвы за ротацию пятипольного плодосменного зернопропашного севооборота позволили установить, что на контрольном варианте, где осуществлялось внесение в почву измельченных соломисто-пожнивных остатков возделываемых растений отмечено снижение концентрации гумуса при всех технологиях их утилизации (табл. 2).

В нашем опыте заделка расчетных доз минеральных удобрений по фону измельченных соломисто-пожнивных остатков определяет неодинаковое изменение содержания гумуса по почвенным слоям при разных способах обработки.

Установлено, что заделка расчетных доз минеральных удобрений под запланированную урожайность полевых культур в сочетании с измельченной побочной продукцией обеспечивает при минимальной обработке положительное влияние на содержание гумуса в посевном слое 0...10 см, при отвальной вспашке на пахотный слой 0...20 см и при чизелевании — на подпахотный слой 20...40 см.

Из этого можно заключить, что чизельная обработка в сочетании с применением минеральной системы удобрения эффективна для повышения плодородия почв Нечерноземной зоны с маломощным пахотным слоем.

Внесение жидких стоков свиноводческих комплексов в безопасной дозе $80 \text{ м}^3/\text{га}$ и припосевного удобрения P_{10} кг д.в. с помощью минимальной обработки способствует достоверному увеличению концентрации гумуса в слое 0...10 см (+0,28 % к исходному значению при HCP_{05} для взаимодействия $ABC = 0,2\%$), в то время как в слоях 10...20 и 20...30 см обнаружено его снижение на 0,06...0,07 %, а в слое 30...40 см повышение на 0,03 %, что во всех случаях явилось несущественным отклонением от исходного содержания.

что во всех случаях явилось несущественным отклонением от исходного содержания.

Заделка жидкой фракции с помощью отвальной вспашки обеспечивает за ротацию севооборота повышение содержания гумуса по всем слоям корнеобитаемого слоя относительно первоначального значения, которое составило в изученных слоях почвы соответственно 0,18; 0,19; 0,14 и 0,18 %, что во всех случаях было достоверным увеличением для фактора А, а также для комплексного взаимодействия факторов ABC у нижнего слоя пахотного (10...20 см) и подпахотного (30...40 см) горизонта.

Чизельный способ утилизации жидких стоков с разной интенсивностью повышает концентрацию гумуса в пахотном (на 0,12...0,15 %) и подпахотном (на 0,25...0,29 %) слоях почвы.

В наших исследованиях наибольшее положительное влияние на концентрацию гумуса в пахотном слое почвы оказывает внесение твердой фракции навоза при всех способах их заделки.

Таким образом, при всех изученных системах удобрения их заделка в пахотный слой с помощью минимальной обработки оказывает наибольшее положительное значение лишь на слой 0—10 см, в то время как отвальная вспашка способствует повышению содержания гумуса по всему пахотному слою 0—20 см. Чизелевание обеспечивает однородное распределение

Таблица 1

Исходное содержание гумуса по слоям почвы при закладке опыта, %

Система удобрения	Культуры севооборота	Слой почвы, см			
		0...10	10...20	20...30	30...40
Контроль (без удобрений)	Люпин узколистный	1,76	1,74	1,33	0,71
	Кукуруза на силос	1,73	1,72	1,34	0,71
	Озимая пшеница	1,72	1,72	1,31	0,70
	Яровой рапс	1,71	1,67	1,31	0,70
	Ячмень	1,71	1,66	1,32	0,71
	В среднем	1,73	1,70	1,32	0,71
Расчетные дозы минеральных удобрений на запланированный урожай	Люпин узколистный	1,76	1,72	1,31	0,72
	Кукуруза на силос	1,74	1,70	1,35	0,71
	Озимая пшеница	1,72	1,71	1,30	0,69
	Яровой рапс	1,71	1,67	1,31	0,70
	Ячмень	1,68	1,66	1,30	0,69
	В среднем	1,72	1,69	1,31	0,70
Жидкие стоки, $80 \text{ м}^3/\text{га}$	Люпин узколистный	1,73	1,68	1,29	0,66
	Кукуруза на силос	1,75	1,71	1,34	0,72
	Озимая пшеница	1,74	1,69	1,27	0,71
	Яровой рапс	1,72	1,68	1,26	0,65
	Ячмень	1,69	1,65	1,27	0,66
	В среднем	1,73	1,68	1,29	0,68
Твердая фракция навоза, 40 т/га	Люпин узколистный	1,72	1,70	1,30	0,72
	Кукуруза на силос	1,69	1,65	1,25	0,67
	Озимая пшеница	1,71	1,66	1,27	0,70
	Яровой рапс	1,68	1,64	1,23	0,65
	Ячмень	1,70	1,67	1,24	0,66
	В среднем	1,70	1,66	1,26	0,68
HCP_{05}		0,10	0,10	0,08	0,04

Таблица 2

Комплексное влияние систем удобрения, способов их заделки и сельскохозяйственных культур, на динамику содержания гумуса, %, по слоям почвы, см, за ротацию севооборота

Система удобрения (фактор А)	Культуры севооборота (фактор В)	Способ заделки (фактор С)											
		Минимальная обработка на 7...10 см				Отвальная вспашка на 18...20 см				Чизелевание на 27...30 см			
		0...10	10...20	20...30	30...40	0...10	10...20	20...30	30...40	0...10	10...20	20...30	30...40
Контроль (без удобрений)	Люпин узколистный	1,73	1,47	1,09	0,58	1,69	1,68	1,24	0,65	1,64	1,58	1,28	0,74
	Кукуруза на силос	1,70	1,44	1,00	0,56	1,68	1,65	1,20	0,64	1,60	1,55	1,23	0,72
	Озимая пшеница	1,69	1,42	1,02	0,54	1,65	1,62	1,17	0,60	1,59	1,53	1,27	0,73
	Яровой рапс	1,75	1,49	1,04	0,57	1,70	1,69	1,25	0,66	1,65	1,60	1,29	0,76
	Ячмень	1,68	1,41	0,98	0,50	1,66	1,64	1,16	0,59	1,61	1,52	1,18	0,71
	В среднем	1,71	1,45	1,03	0,55	1,68	1,66	1,20	0,63	1,62	1,56	1,25	0,73
Расчетные дозы мин. уд. на запланированный урожай + Р ₁₀ при посеве	Люпин узколистный	1,92	1,54	1,17	0,65	1,79	1,75	1,34	0,72	1,72	1,70	1,39	0,82
	Кукуруза на силос	1,89	1,52	1,14	0,64	1,77	1,73	1,30	0,71	1,69	1,66	1,37	0,80
	Озимая пшеница	1,88	1,50	1,12	0,62	1,75	1,71	1,28	0,69	1,70	1,64	1,35	0,79
	Яровой рапс	1,93	1,55	1,19	0,69	1,80	1,77	1,36	0,75	1,74	1,70	1,41	0,85
	Ячмень	1,90	1,49	1,10	0,60	1,76	1,74	1,26	0,70	1,68	1,67	1,35	0,81
	В среднем	1,90	1,52	1,14	0,64	1,77	1,74	1,31	0,71	1,71	1,67	1,37	0,81
Жидкие стоки, 80 м ³ /га + Р ₁₀ при посеве	Люпин узколистный	2,05	1,65	1,23	0,72	1,92	1,87	1,44	0,88	1,89	1,81	1,60	0,95
	Кукуруза на силос	2,00	1,61	1,19	0,71	1,90	1,85	1,42	0,86	1,87	1,79	1,59	0,92
	Озимая пшеница	1,98	1,60	1,22	0,70	1,91	1,85	1,40	0,85	1,88	1,80	1,57	0,90
	Яровой рапс	2,06	1,67	1,25	0,73	1,94	1,90	1,46	0,89	1,90	1,82	1,61	0,97
	Ячмень	1,97	1,58	1,20	0,68	1,89	1,86	1,41	0,84	1,85	1,78	1,54	0,89
	В среднем	2,01	1,62	1,22	0,71	1,91	1,87	1,43	0,86	1,88	1,80	1,58	0,93
Твердая фракция навоза, 40 т/га + Р ₁₀ при посеве	Люпин узколистный	2,17	1,74	1,20	0,69	2,05	1,98	1,39	0,79	1,95	1,88	1,49	0,88
	Кукуруза на силос	2,13	1,70	1,18	0,68	2,03	1,95	1,38	0,78	1,92	1,86	1,47	0,86
	Озимая пшеница	2,10	1,68	1,17	0,67	2,04	1,96	1,37	0,77	1,94	1,85	1,45	0,85
	Яровой рапс	2,18	1,76	1,22	0,70	2,07	2,00	1,40	0,81	1,99	1,89	1,50	0,90
	Ячмень	2,09	1,65	1,16	0,66	2,00	1,90	1,36	0,76	1,91	1,83	1,44	0,83
	В среднем	2,13	1,71	1,19	0,68	2,04	1,96	1,39	0,78	1,94	1,86	1,47	0,86
НСР ₀₅	Для фактора А	0,12	0,09	0,07	0,04								
	Для фактора В	0,11	0,10	0,08	0,05								
	Для фактора С	0,11	0,10	0,09	0,05								
	Для ABC	0,20	0,16	0,14	0,08								

удобрительных средств по профилю корнеобитаемого слоя, поэтому на легких по гранулометрическому составу почвах оно положительно влияет на накопление и закрепление гумуса как в пахотном, так и в подпахотном горизонтах, что особенно важно при освоении малопродуктивных деградированных земель Нечерноземной зоны.

На основании корреляционно-регрессионного анализа нами установлено наличие сильной прямой корреляционной зависимости между системой удобрения и накоплением гумуса в корнеобитаемом слое осваиваемых залежных земель ($r=0,72...0,78$); средней положительной между способом заделки удобрений в пахотный слой и синтезом в нем гумусовых соединений ($r=0,39...0,44$) и слабой прямой между культурами севооборота и формированием запасов гумуса в пахотном 0...20 см и подпахотном 20...40 см слоях почвы ($r=0,26...0,29$).

Следовательно, варьирование коэффициентов корреляции в выше приведенных значениях позволяет заключить, что степень сопряженности между системой удобрения и накоплением гумуса в почве

определяет 51,8...60,8 %; между способами обработки и синтезом органического вещества 15,2...19,4 % и между культурами севооборота и концентрацией гумуса 6,8...8,4 % изменений. Таким образом, комплексное влияние систем удобрения (фактор А), способов обработки (фактор С) и последствий культур севооборота (фактор В) обуславливают при введении в оборот легкосуглинистых дерново-подзолистых почв с промывным типом водного режима 73,8...88,6 % поступления гумусовых веществ в почву. Остальная же часть сопряженности (11,4...26,2 %) обусловлена другими факторами, и в первую очередь агроклиматическими ресурсами региона, влияющими на интенсивность синтеза органического вещества, его вынос и закрепление.

Выводы

1. При всех системах применения удобрения на осваиваемых легкосуглинистых дерново-подзолистых почвах Нечерноземной зоны минимальная обработка почвы обеспечивает за ротацию 5-польного плодосменного зернопропашного севооборота максимальное накопление гумуса в посевном слое 0...10 см, в то вре-

мя как отвальная вспашка способствует повышению концентрации органического вещества в пахотном слое 0...20 см, а чизелевание — в подпахотном горизонте 20...40 см.

2. Установлено, что при всех способах заделки измельченных солоомисто-познивных остатков в корнеобитаемый слой деградированных земель, а также при внесении минеральной системы удобрения не удастся обеспечить стабилизацию гумусного состояния пахотного слоя относительно исходного значения в течение одной ротации 5-польного севооборота.

3. Наибольшее положительное влияние на увеличение содержания гумуса в пахотном слое малопродуктивных земель оказывает внесение твердой фракции навоза по фону измельченных растительных остатков предшественника при всех способах их утилизации. Так, в конце ротации севооборота содержание органического вещества в слое 0...20 см повысилось относительно исходного значения при минимальной обработке в среднем на 14,3%, при отвальной вспашке — на 19% и при чизелевании на 13,1%, что во всех случаях явилось достоверной прибавкой для фактора А.

4. Согласно результатов корреляционно-регрессионного анализа выявлено, что комплексное влияние систем удобрения, способов их заделки и последствия культур севооборота в сумме определяют 73,8...88,6% поступления гумуса в почву при вовлечении в оборот легкосуглинистых дерново-подзолистых почв Нечерноземной зоны. Остальная часть его накопления (11,4...26,2%) обусловлена другими факторами и в первую очередь агроклиматическими ресурсами региона, влияющими на интенсивность синтеза органического вещества и его закрепление в пахотном слое.

ЛИТЕРАТУРА

1. Сычев В.Г. Современное состояние плодородия почв и основные аспекты его регулирования. М.: РАН, 2019. 325 с.
2. Шевченко В.А., Соловьев А.М., Попова Н.П. Динамика содержания органического вещества при освоении выбывших из оборота малопродуктивных мелиорируемых земель в зависимости от системы удобрения и предшественников // Плодородие. 2019. № 6. С. 6—10.
3. Шатилов И.С., Замараев А.Г. Программирование урожайности полевых культур и динамика воспроизводства гумуса в дерново-подзолистой почве // Известия ТСХА. 1991. № 6. С. 3—16.
4. Реабилитация и восстановление плодородия почв в условиях воздействия неблагоприятных техногенных факторов в Центральном районе Нечерноземной зоны / Е.В. Попов, В.Ф. Кирдин, В.Д. Штырхун, А.С. Каланчина // Аграрная Россия. 2022. № 5. С. 3—9. DOI: 10.30906/1999-5636-2022-5-3-9.
5. Кузьменко Н.Н. Восполнение гумуса за счет пожнивных-корневых остатков в льянных севооборотах // Агрохимия. 2023. № 7. С. 3—8. DOI: 10.31857/S0002188123070074, EDN: OFWFIL.
6. Турусов В.И., Коновалова Е.Я. Влияние элементов биологизации на структуру микробного ценоза почвы в различных севооборотах // Плодородие. 2023. № 5. С. 87—90. DOI: 10.25680/S19948603.2023.134.22.
7. Кирейчева Л.В., Пуховская Т.Ю. Природоподобные технологии для повышения плодородия почвы // Плодородие. 2024. № 3. С. 10—14. DOI: 10.24412/1994-8603-2024-3138-10-14. EDN: CBFQSD.
8. Методика подбора состава удобрительно-мелиорирующей смеси на основе агрохимических показателей для восстановления

энергетической функции деградированных почв / Л.В. Кирейчева, Т.Ю. Пуховская, В.М. Яшин, В.Ю. Павлова; под ред. В.А. Шевченко. М.: ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова, 2020. 58 с.

9. Научное обоснование и практическая реализация вовлечения в оборот залежных земель Нечерноземной зоны Российской Федерации и восстановления их плодородия: монография / В.А. Шевченко, Л.В. Кирейчева, С.А. Новиков, А.М., Соловьев Г.И. Бондарева, Н.П. Попова, С.А. Меньшикова. М.: ФНЦ ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова, 2024. 490 с. DOI: 10.37738/VNIIGIM.2024.55.80.001.

10. Каюмов М.К. Программирование урожаев сельскохозяйственных культур. М.: Агропромиздат, 1989. 320 с.

11. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). 5-е изд., доп. и перераб. М.: Агропромиздат, 1985. 351 с.

REFERENCES

1. Sychev V.G. The current state of soil fertility and the main aspects of its regulation. M.: RAS, 2019. 325 p.
2. Shevchenko V.A., Solovyov A.M., Popova N.P. Dynamics of the content of organic matter in the development of unproductive reclaimed lands that have been retired from circulation depending on the fertilizer system and precursors // Fertility. 2019. No. 6. Pp. 6—10.
3. Shatilov I.S., Zamaraev A.G. Programming of field crop yields and dynamics of humus reproduction in sod-podzolic soil // Izvestiya TSKhA. 1991. No. 6. Pp. 3—16.
4. Popov E.V., Kirdin V.F., Shtyrkhunov V.D., Kalanchina A.S. Rehabilitation and restoration of soil fertility under the influence of adverse anthropogenic factors in the Central region of the Non-Chernozem zone // Agrarian Russia. 2022. No. 5. Pp. 3—9. DOI: 10.30906/1999-5636-2022-5-3-9.
5. Kuzmenko N.N. Replenishment of humus due to crop and root residues in flax crop rotations // Agrochemistry. 2023 No. 7. Pp. 3—8. DOI: 10.31857/S0002188123070074, EDN: OFWFIL.
6. Turusov V.I., Kononova E.Ya. The influence of biologization elements on the structure of microbial cenosis of soil in various crop rotations // Fertility. 2023. No. 5. Pp. 87—90. DOI: 10.25680/S19948603.2023.134.22.
7. Kireicheva L.V., Pukhovskaya T.Y. Nature-like technologies for increasing soil fertility // Fertility. 2024. No. 3. Pp. 10—14. DOI: 10.24412/1994-8603-2024-3138-10-14. EDN: CBFQSD.
8. Kireicheva L.V., Pukhovskaya T.Yu., Yashin V.M., Pavlova V.Yu. Methodology for selecting the composition of a fertilizer-reclamation mixture based on agrochemical indicators to restore the energy function of degraded soils / Edited by V.A. Shevchenko. M.: VNIIGiM named after A.N. Kostyakov, 2020. 58 p.
9. Shevchenko V.A., Kireicheva L.V., Novikov S.A., Solovyov A.M., Bondareva G.I., Popova N.P., Mentshikova S.A. Scientific justification and practical implementation of the involvement in the turnover of fallow lands of the Non-Chernozem zone of the Russian Federation and the restoration of their fertility: monograph. M.: VNIIGiM named after A.N. Kostyakov, 2024. 490 p. DOI: 10.37738/VNIIGIM.2024.55.80.001
10. Kayumov M.K. Programming of agricultural crops. M.: Agropromizdat, 1989. 320 p.
11. Dospekhov B.A. Methodology of field experience (with the basics of statistical processing of research results). 5th ed., supplement and revision. M.: Agropromizdat, 1985. 351 p.

Шевченко Виктор Александрович, доктор с.-х. наук, профессор, академик РАН, директор, SPIN-код: 8028-2743; ORCID: 0000-0002-5444-9693; ID РИНЦ 479685; **Соловьев Алексей Малахович**, доктор с.-х. наук, профессор, зав. отделом управления плодородием почв мелиорируемых земель, SPIN-код: 6080-1245; ORCID: 0000-0002-8387-0989; ID РИНЦ 756344; **Бондарева Галина Ивановна**, доктор техн. наук, доцент, гл. науч. сотрудник отдела управления плодородием почв мелиорируемых земель, SPIN-код: 1626-3289, ORCID: 0000-0001-7816-7968, AuthorID: 277984; **Попова Наталья Павловна**, канд. с.-х. наук, доцент, вед. науч. сотрудник отдела управления плодородием почв мелиорируемых земель, SPIN-код: 1891-2369; ORCID: 0000-0002-9301-027X; ID РИНЦ 891027 (ФНЦ ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова», г. Москва).

УДК 631.67

ПРИМЕНЕНИЕ ГЛУБОКОГО РЫХЛЕНИЯ ДЛЯ ВОЗВРАЩЕНИЯ В ОБОРОТ НЕИСПОЛЬЗУЕМЫХ ЗЕМЕЛЬ ГУМИДНОЙ ЗОНЫ

Г.Х. БЕДРЕТДИНОВ

Ключевые слова: первичная обработка почв, неиспользуемые земли, глубокое рыхление, аккумулирующая емкость, коэффициент разрыхления, атмосферные осадки, водоотводящая сеть, тяжелые почвы, обработка почв, подстилающий грунт, уплотнение почвогрунта, закрепление разрыхленного грунта, схема эксплуатации земель.

Key words: primary soil cultivation, unused land, deep loosening, storage capacity, loosening coefficient, precipitation, drainage network, heavy soils, soil tillage, underlying soil, soil-soil compaction, consolidation of loosened soil, land exploitation scheme.

Аннотация. В статье на основании проведенных исследований обоснована целесообразность проведения первичной обработки тяжелых почв на глубину до 0,8 м при возвращении в сельскохозяйственный оборот неиспользуемых земель в зоне избыточного увлажнения. Установлены основные требования для выполнения первичной обработки почвы вместе с подстилающим грунтом и предложен способ мелиорации тяжелых почв, совмещающий первичную обработку с устройством сети для регулирования влажности почвы. Приведены зависимости для расчета объема аккумулирующих емкостей разрыхленного слоя и установленные по количеству атмосферных осадков параметры для расчета режимов работы отводящей сети. Даны результаты оценки эффективности закрепления разрыхленного грунта по глубине обработки и предложена рациональная технология работ, обеспечивающая повышение периодичности глубокого рыхления при эксплуатации сельскохозяйственных земель.

Abstract. The article, based on the research carried out, substantiates the feasibility of carrying out primary cultivation of heavy soils to a depth of 0,8 m when returning unused lands in the zone of excess moisture to agricultural use. The basic requirements for performing primary tillage of the soil together with the underlying soil have been established, and a method for reclamation of heavy soils has been proposed, combining primary tillage with the construction of a network to regulate soil moisture. Dependencies for calculating the volume of storage tanks of the loosened layer and parameters established by the amount of precipitation for calculating operating modes of the outlet network are given. The results of assessing the effectiveness of fixing loosened soil according to the depth of cultivation are given and a rational technology of work is proposed that ensures an increase in the frequency of deep loosening during the exploitation of agricultural lands.

Введение. Неиспользуемые земли составляют резерв производства сельскохозяйственной продукции, а введение их в оборот становится наиболее актуальным в условиях постоянно увеличивающихся санкций со стороны недружественных государств.

Существующее состояние таких земель по степени деградации и почвенному плодородию требует проведения культуртехнических работ, в состав которых включаются: расчистка площадей, первичная обработка и окультуривание почв для последующего сельскохозяйственного использования. Снижение сроков возвращения земель связано с совершенствованием способов и технических средств первичной обработки, традиционно выполняемой с применением отвальной вспашки или безотвального рыхления. При проведении работ на тяжелых почвах, составляющих основу земель гумидной зоны страны, наиболее эффективно применение глубокого рыхления [1].

Глубокое рыхление, как способ обработки тяжелых почв, известно давно и успешно применяется в агротехнологиях и при производстве мелиоративных работ. Агротехническое рыхление проводится в процессе сельскохозяйственной обработки почвы для разрыхления уплотненной плужной подошвы. При возделывании

сельскохозяйственных культур глубокое рыхление выполняется прицепными машинами с рабочими органами стоечного типа. Для обеспечения требуемого качества и глубины рыхления в различных грунтовых условиях стойки оснащаются: усиленными накладками «параплау», клиновидными лемехами «дельтаплау» и чизельными элементами. Глубина обработки назначается по параметрам корневой системы выращиваемых культур.

Мелиоративное глубокое рыхление направлено на обеспечение требуемого водно-воздушного режима почв. В аридной зоне оно проводится с целью накопления и сохранения влаги в почве. Выполняется в виде сплошных или полосовых профильных полос по всей площади поля. В гумидной зоне мелиоративное рыхление выполняется только на фоне существующего дренажа [2]. Глубина рыхления назначается по глубине уложенных дрен.

Материалы и методы включают анализ существующих исследований с синтезом перспективных направлений совершенствования технологических приемов первичной обработки почв, рациональных схем глубокого рыхления и параметров сети для регулирования влажности почвы.

Результаты и обсуждение. Особенность проведения безотвального рыхления на неиспользуемых землях связана с необходимостью разработки трехслойной среды, состоящей из растительности с корневой системой, почвенного слоя и подстилающего грунта. При таких условиях качество безотвальной обработки связано с наличием травянисто дернового покрова, который препятствует подъему почвы, уменьшает углы скола и эффективную глубину рыхления. Кроме того, качество рыхления снижается за счет неравномерного высыхания почвенного слоя и подстилающего грунта, что наиболее существенно проявляется при обработке тяжелых почв. В результате проведенных исследований [3] установлено, что перспективные технологии возвращения земель в сельскохозяйственный оборот должны:

- исключить влияние растительности и дернового слоя на процесс рыхления почвы и подстилающего грунта;
- выровнять влажности почвенного и подстилающего слоев до рациональных значений;
- учитывать влияние на подготовленную поверхность поля атмосферных осадков, и нагрузки от ходовых частей почвообрабатывающих машин.

Соблюдение указанных требований обеспечивается предварительным измельчением растительной массы вместе с корневой системой и устройством регулирующей сети, позволяющей отводить излишки воды в периоды интенсивных атмосферных осадков летом и весной в период снеготаяния. Конструкция регулирующей сети должна обеспечивать возможность акку-

мулирования избытков влаги и использования ее в засушливый период вегетации растений.

В результате исследований предложен новый способ мелиорации переувлажненных земель, защищенный патентом РФ [4], совмещающий первичную обработку почвы безотвальным рыхлением с устройством сети для регулирования влажности почвы. Способ обеспечивает возможность раскисления почвенного слоя и закрепления структуры разрыхленного подстилающего грунта внесением мелиорантов на основе извести. Закрепление структуры подстилающего грунта сохраняет объем пор, снижает интенсивность уплотнения почвенного слоя в процессе эксплуатации земель.

Регулирующая сеть (рис. 1) прокладывается перед проведением глубокого рыхления, выполняется в виде щелей шириной 0,1...0,25 м с заполнением их фильтрующим материалом до нижнего уровня разрыхленного подстилающего грунта. Устья щелей соединяются с фильтрующей засыпкой, проложенной по дну водосборного канала, выполняемого в понижениях рельефа. Отвод излишков грунтовой воды осуществляется открытием регулировочной заслонки и перепуском ее в накопительный водоприемный колодец. Накопленная в колодце вода используется для доувлажнения почвы в засушливый период.

Технология работ на основе предлагаемого способа включает: 1 – измелчение травянистой растительности вместе с почвой и внесение мелиоранта; 2 – полосовое рыхление профиля водоприемного канала; 3 – нарезку щелей; 4 – засыпку щелей фильтрующим материалом; 5 – устройство выемки канала; 6 – отведение воды; 7 – засыпку дна выемки ФМ; 8 – обратную засыпку выемки; 9 – вспашку с оборотом пласта и рыхлением подстилающего грунта. При этом операции 1 и 2 выполняются осенью, 3 и 4 – после промерзания грунта на 8...10 см, 5...9 – весной после схода снежного покрова.

Режимы работы осушительной сети на подготовленных землях определяются соотношением объемов аккумулирующей емкости в почвенно-грунтовой среде Q_a и сезонных атмосферных осадков Q_c .

Объем аккумулирующей емкости в предлагаемой конструкции регулирующей сети определяется суммой: $Q_a = q_r + q_{щ} + q_k$, где q_r , $q_{щ}$, q_k – аккумулирующие емкости соответственно: разрыхленного грунта, низа щелей и дна канала, засыпанных фильтрующим материалом.

Составляющие аккумулирующих емкостей определяются их геометрическими размерами и объемом пор в элементах сети.

Объем пор в разрыхленном слое определяется коэффициентом разрыхления, а в фильтрующей засыпке – коэффициентом пустотности.

При известной площади участка $F=AB$ объем рыхления грунта составляет Fh_p , а объем пор определяется $k_p - 1$, где A – ширина участка; B – длина участка; k_p – коэффициент разрыхления почвогрунта.

Объем проложенных щелей $F: b(h_{щ} - h_p)$, а объем пор $k_{пн}$, где b – расстояние между щелями; $b_{щ}$ – ширина щелей; $h_{щ}$ – глубина

укладки щелей; $k_{пн}$ – коэффициент пустотности фильтрующего материала.

Объем засыпки водосборного канала $F: B(b_d + mh_3)$, а объем пор $k_{пн}$, где b_d – ширина канала по дну; m – коэффициент заложения откосов канала; h_3 – высота засыпки дна канала.

С учетом значений составляющих суммарное выражение аккумулирующей емкости регулирующей сети:

$$Q_a = Fh_p(k_p - 1) + (Fb_{щ}/b)(h_{щ} - h_p)k_{пн} + (Fh_3/B)(b_d + mh_3)k_{пн}.$$

Из полученного выражения суммарный объем аккумулирующей емкости Q_a зависит от глубины рыхления почвогрунта, параметров выполняемых водопроводящих щелей и водосборного канала. Для оценки влияния указанных параметров на работу сети рассчитаны удельные составляющие аккумулирующих емкостей на 1 га площади участка. В проведенных расчетах приняты характерные значения: глубина рыхления 0,6, 0,7 и 0,8 м, ширина щели 0,25 м, глубина засыпки щелей 0,3 м, ширина канала по дну 0,4 м, коэффициент заложения откосов 1, высота засыпки 0,3 м от дна канала. Объем аккумулирующей емкости рассчитан по коэффициенту разрыхления после первичной обработки $k_p = 1,25$, при коэффициенте пустотности фильтрующей засыпки $k_{пн} = 0,2$.

Сравнение показывает (табл. 1), что 97...98 % объема аккумулирующей емкости сосредоточено в разрыхленном слое почвогрунта. Увеличение глубины рыхления с 0,6 до 0,8 м повышает объем аккумулирующей емкости на 33 %, что создает основу для гарантированного отвода избыточной влаги из почвенного слоя в периоды снеготаяния и интенсивных атмосферных осадков.

Комплексное воздействие периодических атмосферных осадков и ходовых частей почвообрабатывающих машин повышает плотность почвы и снижает аккумулирующую способность подстилающего грунта в процессе эксплуатации земель. Для оценки снижения объема аккумулирующей способности подстилающего грунта проведены по граничным значениям коэффи-

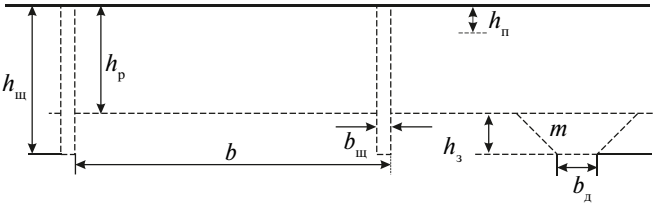


Рис. 1. Основные параметры первичной обработки тяжелых почв и элементов регулирующей сети

Таблица 1

Расчетные значения аккумулирующих емкостей разрыхленного слоя и элементов осушительной сети

Глубина рыхления, м	Составляющие и суммарный объем аккумулирующей емкости, м³/га			
	Разрыхленный почвогрунт	Проводящие щели	Сборный канал	Суммарный объем
0,6	1500 (97,2 %)	37,5 (2,4 %)	4,9 (0,3 %)	1542,4
0,7	1750 (97,6 %)	37,5 (2,1 %)	4,9 (0,27 %)	1792,4
0,8	2000 (97,9 %)	37,5 (1,8 %)	4,9 (0,24 %)	2042,4

Таблица 2

Граничные значения аккумулирующих емкостей подстилающего грунта и объемы атмосферных осадков

Глубина рыхления, суммарная (подсти­лающего грунта), м	Суммарный объем аккумулирующих емко­стей, м³/га, при коэффициентах разрыхления		Объем осадков, м³/га, при коли­честве атмосферных осадков, мм				
	1,25	1,05	20	30	40	50	60
0,6 (0,35)	917,4	217,4	200	300	400	500	600
0,7 (0,45)	1167,4	267,4					
0,8 (0,55)	1417,4	317,4					

циентов разрыхления 1,25 – соответствующим началу эксплуатации, и остаточному значению 1,05 – перед проведением повторного глубокого рыхления.

Объем выпадающих осадков при заданной площади вводимого в оборот участка определялся по зависимости: $Q=0,001Fh_o$, где h_o – количество атмосферных осадков в мм.

Расчеты показывают (табл. 2) что при снижении коэффициента разрыхления от 1,25 до 1,05 объем аккумулирующей емкости уменьшается в 4,2...4,4 раза. В начальный период эксплуатации земель объем аккумулирующей емкости существенно выше среднемесячного объема (30...40 мм) поступающих атмосферных осадков, а перед повторным рыхлением ее объем ниже поступающих атмосферных осадков.

Снижение объема аккумулирующей емкости с вероятностью выпадения ливневых осадков летом и накоплением осадков в виде снега зимой вызывает необходимость включения в работу отводящей сети. При этом объем отводящей воды определяется: $Q_n = Fh_n(k_{rp} - 1)$, где h_n – мощность почвенного слоя, k_{rp} – коэффициент разрыхления почвенного слоя. А время отвода рассчитывается с учетом фильтрационных свойств почв, подстилающего грунта и фильтрационных сопротивлений проводящей сети.

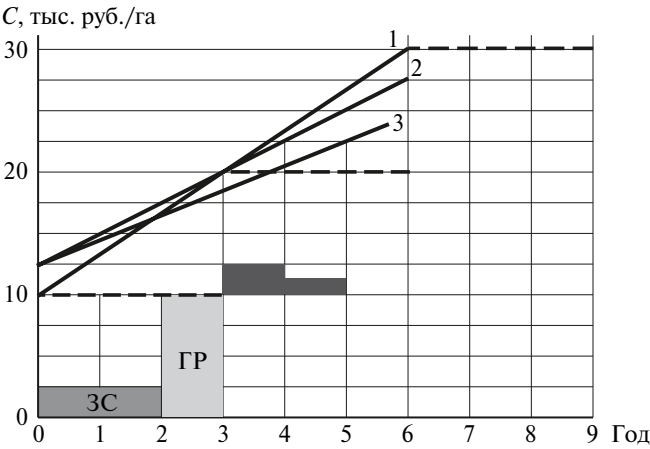


Рис. 2. Зависимость стоимости от периодичности глубокого рыхления тяжелых почв: 1 – стоимости глубокого рыхления (ГР) при периодичности его проведения через 3 года; 2, 3 – стоимости глубокого рыхления с закреплением структуры (ЗС) при увеличении периодичности соответственно на один и на два года

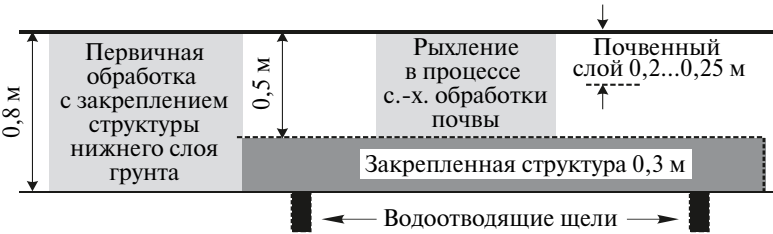


Рис. 3. Комбинированная технология обработки тяжелых почв

Существенное снижение объема аккумулирующей емкости в процессе эксплуатации земель требует проведения повторного глубокого рыхления подстилающего грунта. Существующие рекомендации определяют необходимость проведения повторного рыхления через три года эксплуатации [1]. Проведенный анализ существующих исследований показал возможность увеличения периодичности глубокого рыхления закреплением структуры подстилающего грунта.

Для оценки эффективности закрепления проведен сравнительный расчет стоимостей первичной обработки тяжелых почв периодическим глубоким рыхлением через три года и закреплением разрыхленной структуры подстилающего грунта. В качестве ведущей машины принят рыхлитель РС-0,8. В результате установлено, что эффективность закрепления структуры подпочвенного слоя зависит от соотношения стоимостей рыхления и закрепляющих материалов.

Расчеты показывают (рис. 2), что эффективность закрепления структуры подстилающего грунта обеспечивается при стоимости применяемых материалов до 30 % от стоимости глубокого рыхления. При этом повышение периодичности рыхления за счет закрепления структуры на один год обеспечивает снижение стоимости работ на третий год, а на два года – на второй год эксплуатации земель.

Снижение стоимости материалов может обеспечиваться за счет уменьшения слоя закрепляемого подстилающего грунта, а для закрепления его структуры могут применяться традиционные гипс или известь содержащие материалы.

В результате сопоставления параметров первичной обработки по глубине и агротехнических возможностей рыхления предложена комбинированная технология возвращения в оборот неиспользуемых залежных земель (рис. 3).

Технология включает первичную обработку почв рыхлением на глубину до 0,8 м с закреплением структуры разрыхленного подстилающего грунта на глубине от 0,5 до 0,8 м и периодическим рыхлением на глубину до 0,5 м, выполняемым в процессе подготовки почвы к посеву сельскохозяйственных культур. Рекомендуемая технология за счет уменьшения расхода закрепляющих материалов и глубины периодического рыхления до 0,5 м, обеспечивает снижение стоимости работ и повышение срока проведения повторного рыхления до 4...5 лет.

Выводы

1. Первичная обработка тяжелых почв вместе с подстилающим грунтом на глубину до 0,8 м создает аккумулярующую емкость, объем которой соизмерим со среднемесячной нормой атмосферных осадков, однако в периоды их аномальных значений требуется устройство дополнительной регулирующей сети, обеспечивающей отвод излишней влаги и комплексную подготовку почвы для сельскохозяйственного использования.

2. Эффективное регулирование водного и воздушного режимов в почвенном слое возможно устройством регулирующей сети, состоящей из проложенных под разрыхленным слоем и заполненных фильтрующим материалом щелей, соединенных каналом с регулирующим водоприемным колодцем, используемым для накопления излишков воды и использования ее в засушливый период вегетации сельскохозяйственных культур.

3. Сопоставление периодической глубокой обработки с закреплением структуры разрыхленного подстилающего грунта показало целесообразность закрепления нижнего слоя на глубину от 0,5 до 0,8 м, при этом эксплуатацию возвращенных в оборот земель рационально проводить совмещением агротехнических и агромелиоративных технологий подготовки почв.

ЛИТЕРАТУРА

1. Рекомендации по производству культуртехнических работ и окультуриванию мелиорируемых земель. Л.: СевНИИГиМ; Ленортгехвдстрой, 1981. 152 с.

2. Кизяев, Б.М., Маммаев З.М., Першина О.Ф. Агро-мелиоративные мероприятия на минеральных переувлажненных землях. М.: ВНИИА, 2014. 140 с.

3. Бедретдинов Г.Х., Пунинский В.С. Технологические приемы первичной обработки почв для возвращения в оборот неиспользуемых сельскохозяйственных земель // Мелиорация и орошаемое земледелие в решении задач устойчивого развития АПК: сборник научных трудов. М.: ФГБНУ «ФНЦ ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова», 2024. С. 29–39.

4. Патент 2819443 Российская Федерация, (51)МПК А 01 В 79/00, А 01 В 13/16. Способ мелиорации переувлажненных земель / Г.Х. Бедретдинов, В.И. Сметанин, П.В. Кононов; заявитель и патентооладатель ФНЦ ФГБНУ «ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова»; заявка № 2023126047; заявл. 11.10.2023; опубл. 21.05.2024, Бюл. № 15.

REFERENCES

1. Recommendations for the production of cultural and technical works and the cultivation of reclaimed lands. L.: SevNIIGiM; Lenortekhvodstroy, 1981. 152 p.

2. Kizyaev B.M. Agromeliorative measures on mineral waterlogged lands / B.M. Kizyaev, Z.M. Mammaev, O.F. Pershina. M.: VNIIA, 2014. 140 p.

3. Bedretdinov G.Kh. Technological methods of primary soil cultivation for the return of unused agricultural land to circulation / G.Kh. Bedretdinov, V.S. Puninsky // Land reclamation and irrigated agriculture in solving problems of sustainable development of the agro-industrial complex: collection of scientific papers. M.: FGBNU «FNTs VNIIGiM im. A.N. Kostyakova», 2024. Pp. 29–39.

4. Patent 2819443 Russian Federation, (51) IPC A 01 B 79/00, A 01 B 13/16. Method for reclamation of waterlogged lands. / Bedretdinov G.Kh., Smetanin V.I., Kononov P.V.; applicant and patent holder of the Federal Scientific Center VNIIGiM named after A.N. Kostyakova; application No. 2023126047; application 10/11/2023; publ. 05.21.2024, Bul. No. 15.

Бедретдинов Гаяр Хамзьянович, канд. техн. наук, зав. отделом механизации мелиоративных работ, gayar@vniigim.ru (ФНЦ ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова, г. Москва).

УДК 502/504:631.6

КОМПЛЕКСНЫЙ ГУМУСОВЫЙ БИОГЕОХИМИЧЕСКИЙ БАРЬЕР ПРИ МЕЛИОРАЦИИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ЗЕМЕЛЬ

С.А. МАКСИМОВ

Ключевые слова: формирование и функционирование гумусовых барьеров, динамика запасов гумуса, лабильная часть гумуса, плодородие, скомпенсированный баланс гумуса, показатель плодородия.

Keywords: formation and functioning of humus barriers, dynamics of humus reserves, labile part of humus, fertility, compensated humus balance, fertility index.

Аннотация. Изменение запасов гумуса в почве характеризуется интенсивностью его выноса из почвы, а также накопления. Для количественной оценки динамики запасов гумуса во времени и в пределах формирующегося в почве гумусового барьера составляется уравнение баланса гумуса. Отрицательный баланс обычно складывается в почвах при невысокой культуре земледелия. Для целинных почв характерны компенсированный или положительный баланс гумуса. Динамика приходных и расходных статей баланса гумуса в почве может быть оценена экспериментальными или расчетными методами по содержанию азота или углерода в почве. Моделирование комплексного гумусового биогеохимического барьера и расчеты многолетней динамики составляющих баланса гумуса в почвах проводились нами для условий опытных участков принадлежащих Агробиостанции МГУ им. М.В. Ломоносова и расположенных на сопряженных супераккумулятивной, трансаллювиальной и аллювиальной фациях в пойме реки Клязьма в Московской области, Солнечногорском районе, вблизи поселка Чашниково.

Abstract. The change in humus reserves in the soil is characterized by the intensity of its removal from the soil, as well as accumulation. To quantify the dynamics of humus reserves in time and within the humus barrier formed in the soil, the humus balance equation is compiled. A negative balance is usually formed in soils with a low crop of agriculture. Virgin soils are characterized by a compensated or positive humus balance. The dynamics of the input and

output items of the humus balance in the soil can be estimated by experimental or calculated methods based on the content of nitrogen or carbon in the soil. Modeling of the complex humus biogeochemical barrier and calculations of the long-term dynamics of the components of the humus balance in soils were carried out for the conditions of the experimental plots belonging to the Agrobiostation of Lomonosov Moscow State University and located on the conjugated superqual, transalluvial and alluvial facies in the floodplain of the Klyazma River in the Moscow region, Solnechnogorsk district, near the village of Chashnikovo.

Введение. Количество гумуса, интенсивность его накопления или расходования в почвах во времени, являются одними из важнейших показателей оценки плодородия почв, улучшения земель и качества проводимых мелиоративных мероприятий. Наличие гумусовых горизонтов в почвах, процессы образования, накопления или расходования гумуса в них, в контексте настоящей работы, позволяет говорить о формировании почвенного гумусового биогеохимического барьера.

Изучению процессов образования, накопления, расходования и трансформации органических веществ, гумуса, как основного природного источника биогенных элементов в почве на сельскохозяйственных землях, и в том числе при проведении мелиоративных мероприятий, посвящено большое количество работ отечественных и зарубежных исследователей: Докучаев, 1949; Роде,

1946; Тюрин, 1966; Ковда, 1973; В.А. Ковда, Б.Г. Розанов, 1988; Розанов, 1979; Розанов, 2004; Д.С. Орлов, Л.А. Гришина, Н.Л. Ерошичева, 1969; Д.С. Орлов, О.Н. Бирюкова, Н.И. Суханова, 1996; Г.В. Добровольский, Е.Д. Никитин, 1990; Гришина, 1986; Войтович, 1997; Панкова, 2000; и многие др. Мониторинг плодородия земель показателем, которого, в некоторой степени, является количество гумуса в почве, осуществляется и на государственном уровне (ФГНУ «Росинформагротех», 2003). Тем не менее, оценка изменения запасов гумуса этих с привлечением основ теории биогеохимических барьеров осуществляется впервые.

Особый интерес представляет изучение формирования и функционирования гумусовых барьеров, которые образуются в почвах, расположенных на сопряженных фациях в пределах одной ландшафтной катены. Такая постановка интересна тем, что генетически сопряженные фации представляют собой единый комплексный латеральный гидрофизический барьер. Процессы влагопереноса в пределах которого, определяют водный, воздушный, тепловой, химический, пищевой режимы почв и существенно влияют на динамику запасов гумуса в почвах, а следовательно, и на плодородие почв.

Изменение запасов гумуса в почве характеризуется интенсивностью его выноса из почвы, а также накопления. Для количественной оценки динамики запасов гумуса во времени и в пределах формирующегося в почве гумусового барьера составляется уравнение баланса гумуса.

Источниками поступления гумуса в почвах агроландшафтов являются пожнивные остатки, органические удобрения, постмортальные остатки различных организмов, которые в результате сложных специфических для каждого из вариантов сочетания природных условий процессов физико-химико-биологической трансформации (гумификации), образуют вещество гумуса. Основным источником поступления гумуса на сельскохозяйственных землях являются органические удобрения, следовательно, анализ динамики составляющих баланса гумуса необходим для оценки потребности почв в органических удобрениях. Внесение же минеральных удобрений не увеличивает содержание гумуса в почве, а лишь снижает темпы его расходования [2–5].

Гумусовое вещество встроено во все цепочки взаимоотношений почвенных организмов (микроорганизмов, растений, грибов). Гумусовое вещество представлено гумусовыми кислотами, к которым относят гуминовые кислоты, гиматомелановые кислоты, фолыевые кислоты и их соединениями. По разным оценкам, в гумусе находится до 99 % азота почвы, 60 % фосфора, до 80 % серы. Эти биогенные вещества становятся доступными для растения после растворения в почвенной влаге фульвокислот, входящих в состав гумуса и других веществ, растворимых и образованных в результате физико-химико-биологической дегумификации.

Интересно, что не все вещества входящие в состав гумуса участвуют в формировании плодородия почв агроландшафтов. В органическом веществе почв агроландшафтов [6] выделяют устойчивую инертную (консервативную) группу и неустойчивую легкоминерализу-

емую (лабильную) группу веществ. Это обстоятельство делает решение задачи оптимизации количества гумуса в почвах агроландшафтов более сложным, комплексным, и основанным на научно обоснованной системе взаимосвязанных мероприятий агрономического, мелиоративного, фертигационного характера в земледелии.

Именно лабильная форма гумуса подвержена биодеструкции, играет важнейшую роль поставщика биогенных веществ, стимулирующих продуцирование биомассы растений, и является естественным регулятором в системе отношений «почва–растение» [7, 8].

В.И. Вернадский писал: «...на земной поверхности нет химической силы более постоянно действующей, а потому и более могущественной по своим конечным последствиям, чем живые организмы, взятые в целом». Это наиболее ярко проявляется в пределах гумусового барьера образующегося в почвах в процессе почвообразования.

Многочисленными исследованиями (Колосов, 1962; Федотов, 1974; и др.) установлено, что растения вместе с другими представителями почвенной биоты образуют симбиотические сообщества. Примерами симбиотических сообществ в почве могут быть микоризные грибы и растения (микотрофия), клубеньковые бактерии и растения (бактериотрофия). Такие сообщества активно регулируют трансформации, происходящие в гумусом в почве и веществами входящими в его состав, т. е. они участвуют не только в образовании и аккумуляции нового гумуса в почве, но и при необходимости активно формируют условия для разложения гумуса. Более того для симбиотических сообществ эти процессы являются проявлением элементарных биологических функций. При этом образуются симбиотические связи (мутуализм и комменсализм) (В.С. Артамонова, Л.Ю. Диц, 2006).

Известно, что растения и грибы как часть почвенного симбиотического сообщества не только способствуют продуцированию микробиотой подвижных форм в почве (Звягинцев, и др., 1992; [13]), но и выделяют в поровый раствор биологически активные вещества и ферменты, стимулирующие биодеструкцию лабильной части гумусового вещества микробиотой [10]. Особенно велика в этих процессах роль почвенных грибов (корни 80 % видов высших растений образуют симбиотические отношения с грибами), которые способны изменять количественные показатели биомассы, благодаря чрезвычайно высокой изменчивости и пластичности влиять на видовое разнообразие растений, животных, микробиоты почвы (Теренова, 2004). При этом известно, что макроколичества выделяемых ими ферментов и биологически активных веществ способны катализировать процессы биодеструкции гумусового вещества, увеличивая ее скорость в миллионы раз.

Расходование и трансформация изменения соотношения лабильной и консервативной части гумусового вещества в почве агроландшафта зависит также и от агротехнологий, фертигации, применения различных приемов мелиорации. Так, например, согласно данным [10], миграция водорастворимых органических веществ из почвы, при известковании дерново-подзолистой супесчаной почвы с последующим изменением

гидролитической кислотности почвы, а также изменении условий для функционирования почвенной симбиоты, становится более интенсивной. Следовательно, лабильное вещество гумуса, в почвах разного генезиса в различных гидрохимических и что очевидно, гидро-термических условиях, обладает различной доступностью для разложения микроорганизмами, но также неоднородно и с точки зрения податливости вымыванию. Этот интереснейший и сложный вопрос, безусловно, заслуживает внимания и требует дальнейшего изучения.

Расходование гумуса в почве происходит также в результате физического выноса неподвижной составляющей гумусового вещества вследствие эрозии или дефляции почвы и выноса подвижной составляющей гумусового вещества в грунтовые воды или подстилающие горизонты почвы с нисходящими потоками влаги при промывном водном режиме почв, а также дыхания почвы, т. е. выделения из почвы CO_2 .

Опыт и теория. Можно записать уравнение баланса запасов гумуса в почве:

$$\Delta GUM = GUM_{\text{кг}} - GUM_{\text{нг}} = +A\beta - B - C + D\gamma - E - G_{\text{ср}}C_r,$$

где ΔGUM — изменение запасов гумуса в почве, происходящее за год, т; $GUM_{\text{кг}}$ — запасы гумуса в почве на конец года, т; $GUM_{\text{нг}}$ — запасы гумуса в почве на начало года, т; A — ежегодное количество поступающих в почву пожнивных органических остатков, т/га; β — коэффициенты гумификации растительных остатков; B — ежегодное расходование гумуса на формирование биомассы выращиваемых растений, т/га (количественно эта составляющая баланса гумуса определяется крайне сложно, поскольку чрезвычайно трудно дифференцировать поступление основных биогенных элементов в растения в зависимости от формы и состояния их в почве и выделить то количество веществ, т. е. того количества биогенов которое приходится именно на лабильную или консервативную формы гумусового вещества почвы); C — ежегодные потери гумуса в следствие его естественного разложения, $\text{м}^3/\text{га}$; D — ежегодное количество вносимых органических удобрений, т/га, (в наших расчетах принимаются по рекомендациям Роскомзем (РосНИИзем-проект, 1996); γ — коэффициент гумификации органических удобрений; E — ежегодный вынос гумуса в следствие процессов эрозии и дефляции почв, $\text{м}^3/\text{га}$; $G_{\text{ср}}$ — среднегодовая величина водообмена (объем воды проходящий через нижнюю границу гумусового горизонта за год, определяется в ходе прогнозных расчетов водного режима почв), $\text{м}^3/\text{га}$; C_r — концентрация гумуса, растворенного в почвенных водах (0,2...0,5), г/л.

Ежегодная ориентировочная доза органических удобрений, компенсирующая потери гумуса в почве на мелиорируемом участке ($\Delta GUM = 0$), может быть определена:

$$D\gamma = -A\beta + B + C + E + G_{\text{ср}}g.$$

Сроки и дозы внесения органических удобрений зависят от формы органического удобрения (навоз, гуминовые концентраты, сточные воды, и т. п.), физиологии растения, климата, гидрофизических и гидрохимических свойств почвы, геологических и гидрогеологических условий, технологии внесения органических удобрений.

Ежегодное поступление гумуса в почву с растительными остатками и органическими удобрениями:

$$(GUM+) = +A\beta + D\gamma,$$

Ежегодное поступление гумуса в почву при гумификации растительных остатков при известном урожае U_{ϕ} :

$$A\beta = U_{\phi} K_{\text{св}} \beta.$$

Ежегодное поступление гумуса при минерализации органических удобрений:

$$D\gamma = D_n K_{\text{св}} \gamma,$$

где $K_{\text{св}}$ — доля сухой массы в урожае, в навозе или в сидератах; D_n — ежегодная норма внесения органических удобрений и, или запахиваемых сидератов, т/га.

В расчетах принимается, что 1 т биомассы в среднем дает 120, а 1 т навоза — 50...70 кг нового гумуса [3].

Ежегодное расходование гумуса:

$$(GUM-) = -B - C - E - G_{\text{ср}}g.$$

Ежегодное расходование гумуса на формирование биомассы выращиваемых растений, т/га (может быть приближено оценено по азоту):

$$B = RAS_N / K_N.$$

Ежегодные потери гумуса вследствие его естественного разложения (Голованов, 2014) для южной тайги, дерново-подзолистых почв составляют $C = 0,399m$.

Считая почвы слабо эродируемыми при ежегодном смыве почвы $W_{\text{эп}} = 3$ т/га в год, слое почвы 20 см, с плотностью γ , $\text{т}/\text{м}^3$, ежегодный вынос гумуса вследствие процессов эрозии и дефляции почв составит, $\text{м}^3/\text{га}$:

$$E = W_{\text{эп}} \Delta GUM / (10^4 \gamma h).$$

Потери гумуса при нисходящих токах влаги и известной среднегодовой величине водообмена. Вымыв гумуса, оценивается с учетом того сколько подвижной фракции гумуса в виде фульвокислот растворяется в почвенной влаге:

$$\text{Вым} = 0,01 G_{\text{ср}} C_r,$$

где C_r — растворимость гумуса, $\text{кг}/\text{м}^3$.

Концентрация фульвокислот в почвенной влаге зависит от щелочности почвы или от содержания натрия в почвенном поглощающем комплексе (от степени осолонцевания):

Na в ППК, %	0	2	4	6	8	10	15	20
C_r , $\text{кг}/\text{м}^3$	0,35	0,42	0,55	0,62	0,70	0,85	1,22	2,15

В целом, можно выделить три типа баланса органических веществ в почве:

- скомпенсированный (бездефицитный) баланс, когда расход и потери органических веществ в почве за определенный промежуток времени уравновешены образованием или поступлением органических веществ извне;
- положительный баланс, когда образование и поступление органических веществ извне превышает их расход или потери;
- отрицательный баланс, когда расход и потери органических веществ превышают их образование или поступление извне.

Отрицательный баланс обычно складывается в почвах при невысокой культуре земледелия. Для целинных почв характерны скомпенсированный или положительный баланс гумуса.

Динамика приходных и расходных статей баланса гумуса в почве может быть оценена экспериментальными или расчетными методами по содержанию азота или углерода в почве [1].

Моделирование комплексного гумусового биогеохимического барьера и расчеты многолетней динамики составляющих баланса гумуса в почвах проводились нами для условий опытных участков принадлежащих Агробиостанции МГУ им. М.В. Ломоносова и расположенных на сопряженных супераквальной, трансаллювиальной и аллювиальной фациях в пойме реки Клязьма в Московской области, Солнечногорском районе, вблизи поселка Чашниково.

Участок расположен в Можайско-Загорском ландшафтно-сельскохозяйственном округе, Солнечногорском ландшафтно-сельскохозяйственном районе.

Для оценки динамики составляющих баланса гумуса на мелиорируемых землях были выполнены многолетние прогнозные расчеты мелиоративного режима. Расчеты осуществлены по программе «Катена», разработанной на кафедре мелиорации и рекультивации земель. В основе программы лежит двумерная модель влагопереноса и расчет мелиоративного режима для совокупности сопряженных фаций. Расчеты проводились для имеющихся в нашем распоряжении метеоданных (метеостанция Клин) за период с 1968 по 2010 г.

В расчетах было принято, что участок, расположенный на аллювиальной фации, используется для выращивания картофеля (с орошением), а участок, расположенный на супераквальной фации (пойменный участок) используется для выращивания многолетних трав (без орошения). Расчеты проводились при следующих

начальных условиях и исходных данных: есть дрена — река слева. Есть ловчая дрена у основания склона. Есть систематический дренаж в низине. Нет систематического дренажа на склоне. Нет систематического дренажа на возвышенности. Орошение на возвышенности.

Расчет многолетней динамики составляющих баланса гумуса на нижнем и верхнем участках проводится для верхнего 20-сантиметрового слоя почвы. Годовое изменение запасов гумуса, т/га [9, 10]:

$$dG/dt = A - BG,$$

где G — текущие запасы гумуса, т/га:

$$G = A / (B + (G_0 - A) \exp(-Bt));$$

$$A = G_{\text{нов}} + G_{\text{уд}} - \text{Вым},$$

где $G_{\text{нов}}$ — темпы образования нового гумуса.

Новообразованный гумус (по эквивалентному содержанию углерода), т/га в год:

$$G_{\text{нов}} = 1,72 K_{\text{гум}} K_{\text{с}} B_{\text{ро}},$$

где 1,72 — коэффициент, учитывающий долю углерода в гумусе $1/0,58 = 1,724$; $K_{\text{гум}}$ — коэффициент гумификации растительных остатков или навоза; $K_{\text{с}}$ — доля углерода в сухой биомассе или в навозе; $B_{\text{ро}}$ — сухая биомасса растительных остатков при известном урожае $U_{\text{ф}}$, кг/га в год:

$$B_{\text{ро}} = (U_{\text{ф}} K_{\text{св}} (1 - K_{\text{ур}}) / K_{\text{ур}}),$$

где $G_{\text{уд}}$ — темпы минерализации растительных остатков или органических удобрений, в том числе и сидератов, т/га в год:

$$G_{\text{уд}} = 1,72 K_{\text{гум}} K_{\text{св}} L_{\text{н}},$$

где $K_{\text{св}}$ — доля сухой массы в урожае, в навозе или в сидератах; $L_{\text{н}}$ — ежегодная доза навоза или запахищаемых сидератах, т/га в год.

Исходные данные для расчета баланса гумуса для пойменного участка (на супераквальной фации)

Растворимость гумуса C_f (при N_a в ППК = 2%), кг/м ³	$B_{\text{эр}}$	Проектный урожай, т/га	$B_{\text{мин}}$	Площадь участка, га	Начальные запасы гумуса GUM_0 , т/га
0,42	0,00125	11	0,0075	51	100

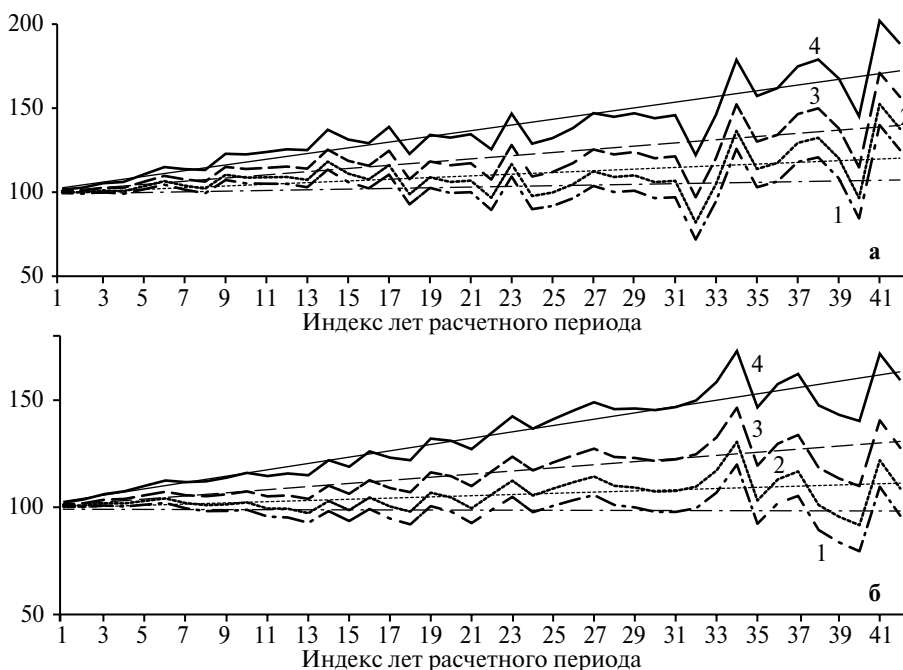


Рис. 1. Динамика запасов гумуса при разных дозах внесения удобрений: а — на нижнем участке (супераквальная фация); б — на верхнем участке (аллювиальная фация); 1 — 0 т/га; 2 — 6 т/га; 3 — 15 т/га; 4 — 30 т/га

Принимается, что 1 т биомассы в среднем дает 120, а 1 т навоза — 50...70 кг нового гумуса [9, 10].

B — коэффициент, учитывающий разложение или минерализацию гумуса $B_{\text{мин}}$, а также его потери $B_{\text{эр}}$ при эрозии, год⁻¹ (таблица): $B = B_{\text{мин}} + B_{\text{эр}}$.

Результаты прогнозных многолетних расчетов динамики запасов гумуса на верхнем и нижнем участках при разных дозах внесения удобрений приведены на рис. 1.

Изменчивость текущих запасов гумуса dG/dt , интенсивности образования нового гумуса, потерь гумуса при промывном режиме в течение расчетного периода времени связана с естественной изменчивостью основных составляющих водного режима и особенностями климата. Тем не менее, для данных конкретных условий можно подобрать такой вариант мелиоративного режима и такие дозы внесения органических удобрений, т. е. подобрать такие режимы работы совокупности биогеохимических барьеров сопряженных ландшафтных фаций, при которых будет обеспечена положительная

динамика запасов гумуса в почве, а следовательно, достигнута цель мелиорации — расширенное воспроизводство плодородия земель. На рис. 2 показаны: изменение текущих запасов гумуса dG/dt , образование нового гумуса — A , потери гумуса при промывном режиме — $В_{\text{ым}}$ (при дозе внесения органических удобрений 15 т/га), Чашниково.

Для оценки процессов накопления и расходования гумуса на рассматриваемом комплексном биогеохимическом барьере использованы предложенные автором [11] показатели.

1. Ёмкость гумусового биогеохимического барьера в рассматриваемых вариантах регулирования оценивается ежегодным приростом суммарных запасов гумуса (рис. 3). Для верхнего участка ёмкость гумусового барьера в различные годы в течение расчетного периода времени изменяется от 1,3 до 40,6 т/га. Для нижнего участка ёмкость гумусового барьера в течение расчетного периода времени изменяется от 0,8 до 71,1 т/га.

На рис. 3 видно, что за расчетный период времени в данных природных условиях ёмкость гумусового барьера, как на верхнем, так и на нижнем участке, не достигает своего физико-химически возможного предельного значения.

2. Устойчивость гумусового биогеохимического барьера в условиях рассматриваемых участков — высокая и оценивается периодом времени, значительно превышающим расчетный. Изменчивость скорости накопления текущих запасов гумуса dG/dt , интенсивности образования нового гумуса, потерь гумуса при промывном режиме в течение расчетного периода времени связана с естественной изменчивостью основных составляющих водного режима и особенностями климата. Тем не менее, для данных конкретных условий можно подобрать такой вариант мелиоративного режима и такие дозы внесения органических удобрений, т. е. подобрать такие режимы работы совокупности биогеохимических барьеров сопряженных ландшафтных фаций, при которых будет обеспечена положительная динамика запасов гумуса в почве, а следовательно, достигнута цель

мелиорации — расширенное воспроизводство плодородия земель.

3. Скорость накопления гумуса в пределах барьера (рис. 4).

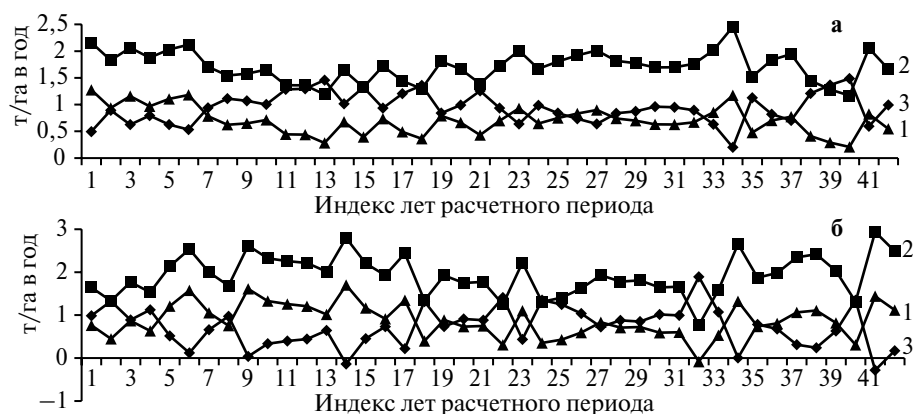


Рис. 2. Изменение dG/dt (1), A (2), $В_{\text{ым}}$ (3), Чашниково: а — нижний участок; б — верхний участок

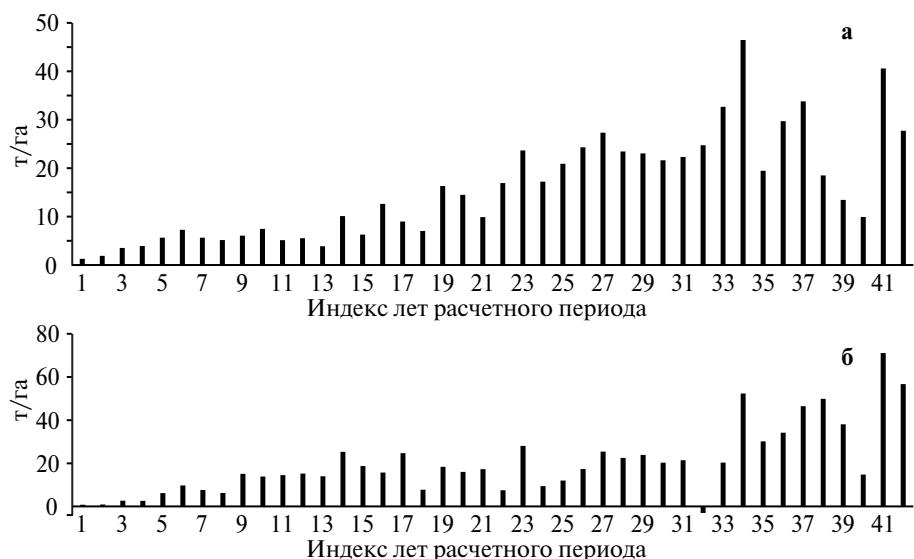


Рис. 3. Ёмкость барьера при дозе внесения органических удобрений 15 т/га, Чашниково: а — верхний участок; б — нижний участок

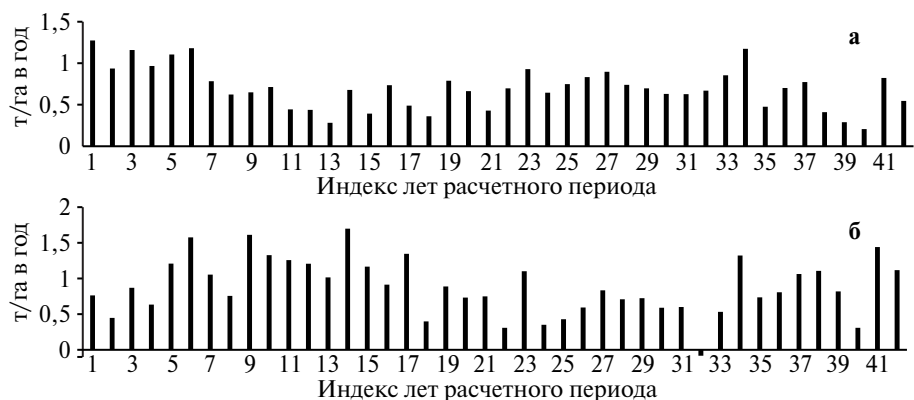


Рис. 4. Скорость ежегодного накопления гумуса при дозе внесения органических удобрений 15 т/га, Чашниково: а — верхний участок; б — нижний участок

4. Скорость физико-химической трансформации гумуса на верхнем и нижнем участках при дозе внесения органических удобрений 15 т/га по результатам расчетов составляет 1,75...1,76 т/га в год.

5. Контрастность барьера (рис. 5).

На рис. 5 видно, что контрастность гумусового барьера меняется в соответствии с динамикой накопления гумуса, но зависит от естественной изменчивости погодных условий характерной для условий расчета.

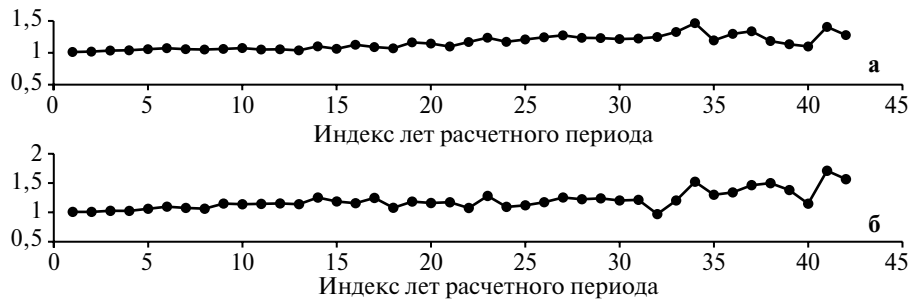


Рис. 5. Контрастность гумусового барьера при дозе внесения органических удобрений 15 т/га в год, Чашниково:

а — верхний участок; б — нижний участок

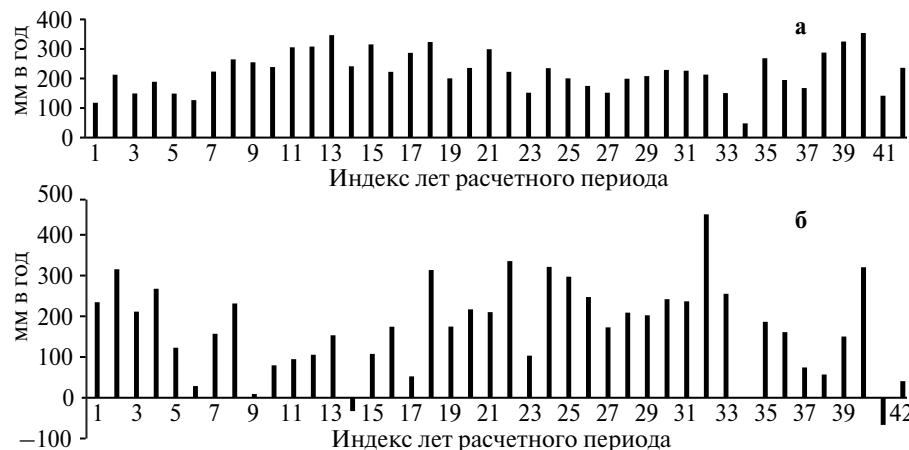


Рис. 6. Водообмен, Чашниково:

а — верхний участок; б — нижний участок

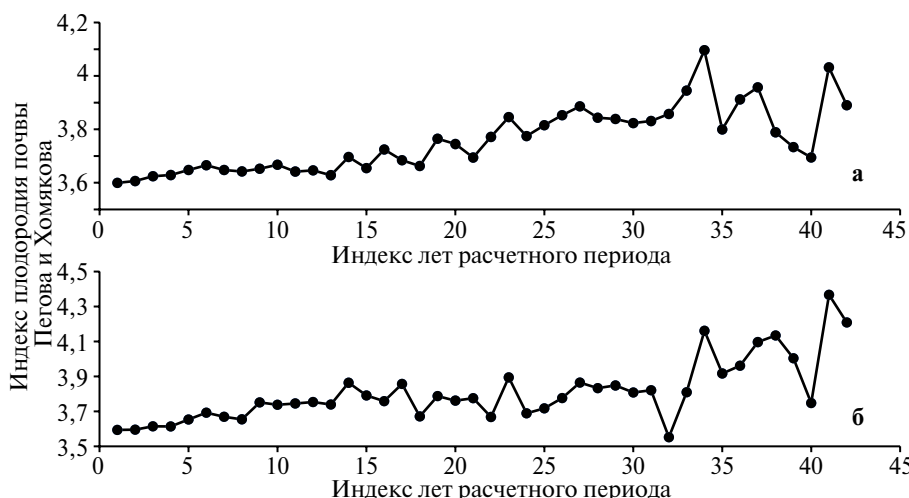


Рис. 7. Индекс плодородия Пегова и Хомякова для расчетного периода, Чашниково:

а — верхний участок; б — нижний участок

6. Величина и направление водообмена (рис. 6).

Для оценки относительных изменений плодородия почв на участках использован показатель относительной величины плодородия (С.А. Пегов, П.М. Хомяков, 1991):

$$S = \alpha(G_{\Gamma} + 0,2G_{\Phi}) + \beta\sqrt{\text{NPK}} + \gamma e^{\frac{|H_{\Gamma}-1|}{\alpha_0}},$$

где S — относительная величина плодородия почв, в баллах; G_{Γ} и G_{Φ} — запасы гуматного и фульватного гумуса, т/га; NPK — содержание элементов минерального питания, в долях от максимального содержания. По данным И.П. Айдарова (2004), для центрального экономического района РФ в 2000 г. соответственно составляет: 0,36; 0,17; 0,44; H_{Γ} — гидролитическая кислотность, мг-экв/на 100 г. По Айдарову (2004): α_0 , β и γ — коэффициенты пропорциональности $\alpha=0,011$ г/т; $\alpha_0=4$ мг-экв/100 г; $\beta=8,5$; $\gamma=5,1$.

Результаты прогнозных расчетов показателей плодородия почв на верхнем и нижнем участках приведены на рис. 7.

Эти расчеты показывают, что за расчетный период плодородие почв показатель плодородия почвы Пегова и Хомякова для верхнего и нижнего участка имеет явно выраженную тенденцию роста. Снижение показателя плодородия характерно для избыточно влажных лет, когда при усилении промывного режима и, особенно, на фоне работающего дренажа из почвы интенсивно вымываются органические вещества.

Однако этот интегральный показатель имеет существенные недостатки: аддитивность структуры показателя, не позволяет учитывать важнейшие факторы, влияющие на плодородие почвы, такие как тепло и влагообеспеченность. В выполненных расчетах интегральным показателем плодородия почвы может служить более объективный и более реалистичный показатель продуктивности, предложенный В.В. Шабановым [13], мультипликативно связывающий отклонения от оптимальных значений всех факторов, влияющих на продуктивность растений:

$$P = \frac{U_{\Phi}}{U_{\text{пр}}} = K_t K_{\omega} K_{\text{NPK}} K_{\text{рН}},$$

где P — продуктивность или относительная урожайность; $U_{\text{ф}}$ — фактическая урожайность, т/га; $U_{\text{пр}}$ — проектная урожайность, т/га; K_t — коэффициент учитывающий отклонение температуры атмосферного воздуха от оптимальных значений; K_{ω} — коэффициент, учитывающий отклонение влажности корнеобитаемого слоя почвы от оптимальных значений; $K_{\text{НРК}}$ — коэффициент, учитывающий отклонение содержания биогенных элементов в почве от оптимальных значений; $K_{\text{рН}}$ — коэффициент, учитывающий отклонение значений гидролитической кислотности от оптимальных значений.

Выводы

1. При проведении мелиоративных мероприятий, предусматривающих двухстороннее регулирование водного режима, необходимо учитывать, особенно на легких почвах, где значительно (в десятки раз) усиливается интенсивность и величина водообмена между почвой и подстилающими грунтами. Это значительно увеличивает потери органических веществ. Сбалансированный водообмен на мелиорируемых землях позволяет уменьшить, вымыв органических веществ в подстилающие горизонты почвы, а также и снизить компенсационные затраты.

2. Изменчивость текущих запасов гумуса dG/dt , интенсивности образования нового гумуса, потерь гумуса при промывном режиме в течение расчетного периода времени связана с естественной изменчивостью основных составляющих водного режима и особенностями климата. Тем не менее, для данных конкретных условий на основе предварительных прогнозных расчетов можно подобрать такой вариант мелиоративного режима и такие дозы внесения органических удобрений, т. е. подобрать такие режимы работы совокупности биогеохимических барьеров сопряженных ландшафтных фаций, при которых будет обеспечена положительная динамика запасов гумуса в почве. А, следовательно, будет достигнута цель мелиорации — расширенное воспроизводство плодородия земель.

ЛИТЕРАТУРА

1. Методические указания по проведению комплексного мониторинга плодородия почв земель сельскохозяйственного назначения. М.: ФГНУ «Росинформагротех». 2003. 240 с.
2. Дьяконов К.Н., Аношко В.С. Мелиоративная география. М.: Изд-во МГУ, 1995. 256 с.
3. Лыков А.М. Органическое вещество — решающий фактор плодородия дерновоподзолистых почв в интенсивном земледелии // Плодородие почв и пути его повышения. М.: Колос, 1983. С. 138–146.
4. Кауричев И.С. Проблема гумуса пахотных почв при интенсивном земледелии // Почвоведение. 1979. № 12. С. 5–12.
5. Шевцова Л.К. Трансформация гумуса дерновоподзолистых почв в опытах с длительным применением удобрений // Почвоведение. 1998. № 7. С. 825–831.
6. Концепция оптимизации режима органического вещества почв в агроландшафтах / В.И. Кирюшин и др. М.: Изд-во МСХА, 1993. 98 с.
7. Комаров А.А. Гумусоподобные соединения из лигнина и их действие на растения. СПб.: Невский стандарт, 2004. 120 с.
8. Ермаков Е.И., Комаров А.А. Теоретические основы физиологической регуляции ростовых процессов в регулируемых агроэкосистемах // Труды Всерос. конф. с международным участием «Про-

дукционный процесс растений: теория и практика эффективного и ресурсосберегающего управления». СПб.: ГНУ АФИ Россельхозакадемии, 2009.

9. Голованов А.И. Динамика запасов гумуса при мелиорации земель // Природообустройство. 2014. № 4. С. 7–11.

10. Изменение содержания и состава гумуса при мелиорации кислых почв. Эмпирические модели процесса трансформации гуминовых кислот при известковании / А.В. Литвинович, О.Ю. Павлова, А.В. Лавришев, В.М. Буре. СПб.: ФГБНУ АФИ, 2016. 104 с.

11. Максимов С.А. Обоснование мелиорации и рекультивации земель на основе представлений о формировании барьерных свойств природных объектов: дис. ... д-ра техн. наук. М., 2020. 346 с.

12. Шабанов В.В. Пушкарёва Т.В. Землянов Ю.М. Некоторые закономерности продуцирования микроорганизмами подвижных форм азота в торфяно-болотной почве // Комплексное мелиоративное регулирование почвенных процессов: сборник научных трудов МГМИ. М.: МГУП, 1982.

13. Шабанов В.В. Биоклиматическое обоснование мелиораций. Ленинград: Гидрометеиздат, 1973. 164 с.

REFERENCES

1. Methodological guidelines for conducting comprehensive monitoring of soil fertility of agricultural lands. M.: FSBI «Rosinformagrotech», 2003. 240 s.
2. Dyakonov K.N., Anoshko V.S. Meliorative geography. M.: Publishing House of Moscow State University, 1995. 256 p.
3. Lykov A.M. Organic matter is a decisive factor in the fertility of turf-podzolic soils in intensive agriculture // Soil fertility and ways to increase it. M.: Kolos, 1983. Pp. 138–146.
4. Kaurichev I.S. The problem of humus of arable soils in intensive agriculture // Soil science. 1979. No. 12. Pp. 5–12.
5. Shevtsova L.K. Transformation of humus of turf-podzolic soils in experiments with long-term use of fertilizers // Soil science. 1998. No. 7. Pp. 825–831.
6. Kiryushin V.I. et al. The concept of optimizing the regime of soil organic matter in agro-landscapes. M.: Publishing House of the Ministry of Agriculture, 1993. 98 p.
7. Komarov A.A. Humus-like compounds from lignin and their effect on plants. St. Petersburg: Nevsky Standart, 2004. 120 p.
8. Ermakov E.I., Komarov A.A. Theoretical foundations of physiological regulation of growth processes in regulated agroecosystems // Proceedings of the All-Russian Conference with international participation «Plant production process: theory and practice of effective and resource-saving management». St. Petersburg: GNU AFI of the Russian Agricultural Academy, 2009.
9. Golovanov A.I. Dynamics of humus reserves during land reclamation // Prirodoobustroystvo. 2014. No. 4. Pp. 7–11.
10. Changes in the content and composition of humus during reclamation of acidic soils. Empirical models of the transformation process of humic acids during liming / A.V. Litvinovich, O.Y. Pavlova, A.V. Lavrishev, V.M. Bure. Sankt-Petersburg: FGBNU AFI, 2016. 104 p.
11. Maksimov S.A. Dissertation for the degree of Doctor of Technical Sciences «Justification of land reclamation and reclamation based on ideas about the formation of barrier properties of natural objects. M., 2020. 346 p.
12. Shabanov V.V. Pushkareva T.V. Zemlyanov Yu.M. Some patterns of production by microorganisms of mobile forms of nitrogen in peat-bog soil // Complex reclamation regulation of soil processes. Collection of scientific papers of MGMI. M.: MGUP, 1982.
13. Shabanov V.V. Bioclimatic justification of land reclamation. Leningrad: Hidroeteoizdat, 1973. 164 p.

Максимов Сергей Алексеевич, доктор техн. наук, доцент, s.a.maksimov@mail.ru, зав. отделом мелиорации земель, гл. науч. сотрудник (ФНЦ ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова, г. Москва); профессор кафедры сельскохозяйственных мелиораций (РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, г. Москва).

УДК 631.6

ОЦЕНКА РОСТОВЫХ ФУНКЦИЙ СЕМЕННОГО КАРТОФЕЛЯ НА ОРОШАЕМЫХ ЗЕМЛЯХ ВОЛГОГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ

О.В. РУЛЕВА, С.Я. СЕМЕНЕНКО, З.М. КАЗИЕВА

Ключевые слова: орошаемое земледелие, биологические методы защиты, ростовые функции, семенной картофель.

Keywords: irrigated agriculture, biological methods of protection, growth functions, seed potatoes.

Аннотация. В настоящее время в сельском хозяйстве активно развивается органическое производство, направленное на получение экологически чистой продукции без дополнительной химической нагрузки на окружающую среду. Проведены фенологические наблюдения за прохождением фаз развития раннего картофеля Гулливер в вариантах применения биологической, интегрированной и химической средств защиты растений, при двух режимах орошения с поддержанием в расчетном слое 0,4 м влажности не ниже 80% НВ и 70% НВ. Цель исследования заключается в оценке ростовых функций семенного картофеля для научного обоснования применяемых приемов защиты, основанных на принципах биологизации и экологической безопасности. Фенологические исследования в стадии цветения показали максимальные размеры прироста габитуса ботвы. Параметры габитуса ботвы под влиянием биологической и интегрированной защиты превышали ростовые значения картофеля, произрастающего под химической защитой. Максимальный прирост ботвы на исследуемых способах защиты наблюдался в период с начала бутонизации и до конца цветения. При изучении влияния средств защиты на формирование биометрических показателей роста и развития растений картофеля было выявлено, что применение биологических препаратов защиты способствовало росту и образованию продуктивных стеблей, и листьев растений картофеля. Разница в приросте на варианте биологической и химической защиты составила на режиме орошения 70% НВ – 0,073 м, а на 80% НВ – 0,097 см.

Abstract. Currently, organic production is actively developing in agriculture, aimed at obtaining environmentally friendly products without additional chemical stress on the environment. Phenological observations were carried out on the passage of the phases of development of early Gulliver potatoes in the application of biological, integrated and chemical plant protection products, under two irrigation regimes with a moisture content of 0,4 m in the calculated layer of at least 80% HB and 70% HB. The purpose of the study is to evaluate the growth functions of seed potatoes for the scientific justification of the applied protection techniques based on the principles of biologization and environmental safety. Phenological studies at the flowering stage have shown the maximum size of the growth of the habitus of the tops. The parameters of the habitus of the tops under the influence of biological and integrated protection exceeded the growth values of potatoes growing under chemical protection. The maximum growth of the tops on the studied methods of protection was observed in the period from the beginning of budding to the end of flowering. When studying the effect of protective agents on the formation of biometric indicators of growth and development of potato plants, it was revealed that the use of biological protective agents contributed to the growth and formation of productive stems and leaves of potato plants. The difference in growth in the biological and chemical protection variant was 70% HB – 0,073 m in the irrigation mode, and 0,097 cm in 80% HB.

Введение. Применение удобрений и химических средств защиты растений приводит к увеличению затрат на сельскохозяйственное производство и ухудшению экологической ситуации в агроэкосистемах [9, 10]. Возникает необходимость в поиске экономически эффективных и экологически безопасных методов, направленных на повышение урожайности сельскохозяйственных культур. Эффективным способом оптимизации функционирования агроландшафтов является применение принципов агролесомелиорации и мелиорации [8].

Одним из приоритетных направлений для увеличения продуктивности культур и улучшения качества продукции является использование биологических методов защиты от патогенных организмов, которые обладают избирательным действием [1, 4]. Результа-

тивность применения биологических методов защиты тесно связана с созданием благоприятной фитосанитарной обстановки и в безопасном воздействии на человека и других представителей биоценоза [2, 5].

Использование биопрепаратов способствует увеличению урожайности в среднем на 10...22% за счет стимулирующего, защитного и антистрессового воздействия на рост растений. По мнению ряда ученых, развитость габитуса ботвы тесно взаимосвязана с продуктивностью сельскохозяйственных культур [3, 7, 10].

Научные исследования по изучению современного потенциала средств защиты картофеля, основанных на экологических принципах в степных условиях Волгоградской области проводились в течение последних нескольких лет [1, 6, 11]. При этом исследований закономерностей влияния биологических средств защиты на ростовые функции не проводилось. В связи с чем, изучение влияния экологических методов защиты с учетом агроэкологических аспектов на развитие картофеля для достижения высокой эффективности с минимальным негативным воздействием на агроэкосистему является актуальной задачей.

Цель исследования заключается в оценке ростовых функций семенного картофеля для научного обоснования применяемых приемов защиты, основанных на принципах биологизации и экологической безопасности.

Материалы и методы. Исследования проводились в течение трех лет с 2021 по 2023 г. на опытном участке ОС «Орошаемая» Всероссийского научно-исследовательского института орошаемого земледелия. Проведены фенологические наблюдения за прохождением фаз развития раннего картофеля Гулливер на вариантах применения биологической, интегрированной и химической средств защиты растений, при двух режимах орошения: с поддержанием в расчетном слое 0,4 м влажности не ниже 80% НВ и 70% НВ.

Повторность опыта трехкратная, площадь делянки 240 м², учетная площадь 42 м² (2,8 × 15 м). Способ полива – дождевание.

В опыте с вариантом биологической системой защиты применяли препараты:

- обработка клубней перед посадкой – БСка-3 (5 л/т) + Гумат (7,1 л/га) + Гелиос Азот (2 л/га);
- при появлении единичных всходов – (Геостим-Фит Ж, БСка-3, Импровер);
- дальнейшие обработки по вегетирующим растениям в фазы: активный рост, смыкание в рядке, бутонизация и цветение биопрепаратами.

В варианте с интегрированным способом защиты агроценоза картофеля для обработки посадочного материала применялся химический фунгицид Максим. Дальнейшие обработки проводятся биопрепаратами, аналогично, как и при биологической системе.

В качестве контроля определен химический способ защиты агроценозов с применением, распространенных в картофелеводстве региона химических препаратов. Дозы устанавливаются в соответствии с регламентами применения средств защиты растений.

Агроклиматические условия вегетационного сезона в 2021 г. были неблагоприятными для формирования клубней картофеля, особенно в июле и августе, стояла жаркая и сухая погода, что отрицательно сказалось на величине урожая. В 2022 г. средняя температура воздуха за вегетационный сезон была в июне–августе 22,7...23,1 °С, что соответствует требованиям культуры. В 2023 г. показатели температуры были оптимальными для развития картофеля [14].

Была выдвинута гипотеза, что рост картофеля за период вегетации описывается логистической функцией:

$$H_p = \frac{H_{\max} - H_{\min}}{1 + e^{a-b\tau}} + H_{\min},$$

где $H_{\min}$ – высота растения во время посадки (принимается равной нулю); $H_{\max}$ – максимальная высота растения; τ – время вегетации; a и b – константы, определяющие наклон, изгиб и точку перегиба кривой.

Данная гипотеза была подвергнута проверке в вегетационном сезоне 2023 г. на картофеле сорта Гулливер при разных способах защиты.

Экспериментальные данные обрабатывали методом дисперсионного анализа с использованием пакета прикладных программ Microsoft Excel.

Результаты. Исследования показали, что на развитие растений в определенной степени влияет применяемая система защиты. Это апробировано с помощью дисперсионного анализа. Установлено, что использование биологических препаратов по фазам роста и развития картофеля в условиях орошения оказывает положительное влияние. Развита по срокам ботва картофеля сорта Гулливер имеет прямую зависимость с клубневой продуктивностью, поскольку компоненты продуктивности формируются в процессе всего онтогенеза растений, но максимальная потребность растений в пита-

тельных веществах наблюдается в фазе бутонизация–цветение, когда габитус ботвы находится на пике своего развития: 20.07.2023 – бутонизация; 08.08.2023 – начало цветения; 22.08.2023 – начало отмирания ботвы.

Проведенные фенологические наблюдения за ростом картофеля, основанные на разных принципах защиты в фазу бутонизации, показали, что способы защиты оказывают влияние на ростовые функции и образование продуктивных стеблей. В табл. 1 показаны средние значения высоты стебля и количества листьев при разных способах защиты и уровнях водообеспеченности.

На площадках с биологической защитой наблюдается небольшое опережение в развитии, встречаются единичные цветки (15 %). При биологической защите отмечается наибольший прирост ботвы и количества листьев. Среднее значение высоты стеблей при водном режиме почвы не ниже 70 % НВ – 0,301 м, на 80 % НВ – 0,334 м. Среднее количество листьев – 12,3 шт. при 70 % НВ и 14,4 шт. при 80 % НВ. На площадках с химическим и интегрированным способом защиты существенных отличий в прохождении фенологических фаз не выявлено. При химической защите средние показатели высоты стеблей при режиме орошения не ниже 70 % НВ составила 0,264 м, на уровне 80 % НВ – 0,275 м, среднее количество листьев – 10 шт. при 70 % НВ и 10,6 шт. при 80 % НВ. При интегрированной защите средняя высота стеблей, произрастающих на площадках при водном режиме полива не ниже 70 % НВ – 0,286 м, на 80 % НВ – 0,3 м. Среднее количество листьев – 12 шт. при 70 % НВ и 13 шт. при 80 % НВ.

Фенологические исследования в стадии цветения показали максимальные размеры прироста габитуса ботвы (табл. 2). В варианте химической защиты картофель находился в фазе активного цветения. В варианте биологической защиты наблюдалась начальная стадия перехода к следующей фазе развития – созревание (естественное отмирание ботвы). Параметры габитуса ботвы под влиянием вариантов биологической и интегрированной защит превышали ростовые значения картофеля, произрастающего под химической защитой.

Таблица 1

Биометрические характеристики картофеля (фаза «бутонизация»)

Уровень водообеспеченности	Кол-во кустов (к) – стеблей (с), шт.	Среднее значение длины стебля, м	Среднее кол-во листьев, шт.	Кол-во кустов (к) – стеблей (с), шт.	Среднее значение длины стебля, м	Среднее кол-во листьев, шт.	Кол-во кустов (к) – стеблей (с), шт.	Среднее значение длины стебля, м	Среднее кол-во листьев, шт.		
	Химическая защита			Интегрированная защита			Биологическая защита				
70 % НВ	1 к – 4 с	0,306	9,3	1 к – 4 с	0,286	12,3	1 к – 5 с	0,298	11,6		
	2 к – 3 с	0,255	10,1	2 к – 5 с	0,28	11	2 к – 5 с	0,292	11,8		
	3 к – 4 с	0,333	12,3	3 к – 4 с	0,315	13	3 к – 3 с	0,296	15,0		
	4 к – 4 с	0,260	9,8	4 к – 3 с	0,30	13,6	4 к – 4 с	0,341	12,25		
	5 к – 3 с	0,175	9,0	5 к – 4 с	0,257	10,2	5 к – 5 с	0,278	11,2		
		0,266	10,1			0,288	12,0			0,301	12,4
80 % НВ	1 к – 6 с	0,223	9,5	1 к – 5 с	0,243	10	1 к – 3 с	0,36	16,6		
	2 к – 6 с	0,260	9,5	2 к – 7 с	0,315	14,3	2 к – 4 с	0,352	16		
	3 к – 6 с	0,315	11,0	3 к – 3 с	0,340	16	3 к – 4 с	0,35	16		
	4 к – 3 с	0,263	10,0	4 к – 6 с	0,257	10,7	4 к – 3 с	0,31	12		
	5 к – 4 с	0,315	13,0	5 к – 4 с	0,340	15,5	5 к – 3 с	0,30	11,6		
		0,275	10,6			0,299	13,3			0,334	14,4

Таблица 2

Биометрические характеристики картофеля (фаза «цветение»)

Уровень водообеспеченности	Кол-во кустов (к) – стеблей (с), шт.	Среднее значение длины стебля, м	Среднее кол-во листьев, шт.	Кол-во кустов (к) – стеблей (с), шт.	Среднее значение длины стебля, м	Среднее кол-во листьев, шт.	Кол-во кустов (к) – стеблей (с), шт.	Среднее значение длины стебля, м	Среднее кол-во листьев, шт.
Химическая защита			Интегрированная защита			Биологическая защита			
70 % НВ	1 к – 2 с	0,385	11	1 к – 3 с	0,336	12,3	1 к – 2 с	0,432	12
	2 к – 3 с	0,430	12	2 к – 3 с	0,415	11,5	2 к – 3 с	0,402	12
	3 к – 4 с	0,392	10,3	3 к – 5 с	0,43	13,5	3 к – 2 с	0,488	15
	4 к – 3 с	0,416	11,3	4 к – 3 с	0,40	13	4 к – 4 с	0,338	12,5
	5 к – 3 с	0,360	9,5	5 к – 5 с	0,406	11,4	5 к – 4 с	0,43	11,5
		0,397	10,8			0,397	13,9	0,418	12,6
80 % НВ	1 к – 5 с	0,382	11,2	1 к – 3 с	0,380	11,0	1 к – 3 с	0,445	17
	2 к – 6 с	0,391	11,5	2 к – 4 с	0,413	14,3	2 к – 4 с	0,453	16
	3 к – 2 с	0,38	10,0	3 к – 3 с	0,422	16,0	3 к – 4 с	0,442	16
	4 к – 7 с	0,415	11,4	4 к – 4 с	0,41	10,7	4 к – 3 с	0,420	12,3
	5 к – 4 с	0,435	13,0	5 к – 4 с	0,434	15,5	5 к – 3 с	0,410	11,6
		0,406	11,4			0,412	13,5	0,426	14,6

Фенологические наблюдения 22 августа 2023 г. позволили выявить наступление фазы естественного увядания ботвы – созревания клубней (табл. 3).

Максимальный прирост ботвы на исследуемых способах защиты наблюдался в период с начала бутонизации и до конца цветения. Среднее значение высоты стеблей в фазу цветения в опыте с биологической защитой при водном режиме почвы не ниже 70 % НВ – 0,418 м., на 80 % НВ – 0,426 м. Среднее количество листьев – 12,6 при 70 % НВ и 14,6 при 80 % НВ.

При интегрированной защите средняя высота стеблей, произрастающих на площадках в варианте водного режима почв 70 % НВ – 0,286 м, на 80 % НВ – 0,3 м. Среднее количество листьев – 12,3 шт. при 70 % НВ и 13,5 шт. при 80 % НВ. В варианте химической защитой средние показатели высоты стеблей при предположительном порогом влажности 70 % НВ составили 0,396 м, не ниже 80 % НВ – 0,4 м, среднее количество листьев – 11 шт. при 70 % НВ и 11,5 шт. при 80 % НВ.

Наибольшая урожайность картофеля была в вариантах водного режима не ниже 70 и 80 % НВ в 2022 г. и составила 28,5 и 33,4 т/га соответственно [6].

Таким образом, при разных способах защиты, наблюдаемые параметры роста картофеля отличаются дифференцированными показателями.

Заключение. При изучении влияния систем защиты на формирование биометрических показателей роста и развития растений картофеля было выявлено, что применение биологических препаратов защиты способствовало более интенсивному росту и образованию продуктивных стеблей и листьев растений картофеля, разница в приросте на варианте биологической и химической защитой составила в варианте режима орошения 70 % НВ – 0,073 м и на 80 % НВ – 0,097 м. Достоверно установлено, что при применении средств биологической защиты наблюдается опережение в прохождении фенологических фаз развития культуры картофеля, а так же динамичное нарастание габитуса ботвы растений в фазе «бутонизация–цветение»

Таблица 3

Биометрические характеристики картофеля (фаза «отмирание ботвы»)

Уровень водообеспеченности	Кол-во кустов (к) – стеблей (с), шт.	Среднее значение длины стебля, см	Среднее кол-во листьев, шт	Кол-во кустов (к) – стеблей (с), шт.	Среднее значение длины стебля, м	Среднее кол-во листьев, шт	Кол-во кустов (к) – стеблей (с), шт.	Среднее значение длины стебля, м	Среднее кол-во листьев, шт.
Химическая защита			Интегрированная защита			Биологическая защита			
70 % НВ	1 к – 2 с	0,368	11,6	1 к – 2 с	0,305	8,9	1 к – 5 с	0,377	8
	2 к – 3 с	0,405	11,2	2 к – 2 с	0,40	10,2	2 к – 4 с	0,387	7
	3 к – 2 с	0,396	12,0	3 к – 5 с	0,402	11	3 к – 2 с	0,351	11
	4 к – 4 с	0,386	11,2	4 к – 4 с	0,36	9,8	4 к – 5 с	0,380	9
	5 к – 4 с	0,363	10,1	5 к – 3 с	0,38	10	5 к – 4 с	0,360	8,5
		0,384	11,22			0,369	10,0	0,371	8,7
80 % НВ	1 к – 3 с	0,374	10,0	1 к – 3 с	0,37	9,6	1 к – 5 с	0,396	8
	2 к – 4 с	0,407	12,0	2 к – 4 с	0,406	15,0	2 к – 4 с	0,372	9,5
	3 к – 4 с	0,413	13,0	3 к – 3 с	0,344	9,0	3 к – 4 с	0,403	9
	4 к – 3 с	0,363	11,6	4 к – 4 с	0,377	13,0	4 к – 6 с	0,385	10
	5 к – 3 с	0,400	10,8	5 к – 4 с	0,37	10,0	5 к – 5 с	0,38	8,3
		0,391	11,5			0,373	11,3	0,379	9,0

по сравнению с вариантом химической и интегрированной защитой.

ЛИТЕРАТУРА

1. Агроэкологическая оценка перспективных сортов картофеля и особенности агротехники на светло-каштановых почвах Волгоградской области / А.Е. Новиков, А.А. Новиков, О.Г. Гиченкова [и др.] // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2022. № 3(67). С. 14–24.
2. Дзедаев Х.Т. Биологизированная технология возделывания картофеля в условиях РСО Алания // Научные труды студентов. 2021. № 1. С. 3–5.
3. Газданова И.О., Дзедаев Х.Т., Моргоев Т.А. Биологическая защита картофеля в Республике Северная Осетия – Алания // Вестник КрасГАУ. 2022. № 1. С. 76–82. DOI: 10.36718/1819-4036-2022-1-76-82.
4. Нугманова Т.А. Биопрепараты в овощеводстве и картофелеводстве // Картофель и овощи. 2017. № 6. С. 2–4.
5. Попов Ю.В., Рукин В.Ф., Торопчин И.С. Биологическая направленность защиты картофеля от вредных организмов в условиях ЦЧР // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. 2022. Т. 15. № 4(75). С. 52–67.
6. Родин К.А., Новиков А.А., Новиков А.Е. Совершенствование технологии возделывания картофеля при разных системах защиты растений в условиях Нижнего Поволжья // Мелиорация и гидротехника. 2023. Т. 13. № 4. С. 349–361.
7. Рулева О.В., Казиева З.М. Оценка влияния лесных полос на развитие раннего картофеля в засушливых условиях Астраханской области // Инновационные технологии в агропромышленном комплексе в условиях цифровой трансформации: материалы Международной научно-практической конференции. Волгоград, 2022. С. 443–448.
8. Рулева О.В., Казиева З.М. Методологический подход при исследовании биопродуктивности картофеля в зоне влияния лесных полос Нижнего Поволжья // Известия НВ АУК. 2023. № 1(69). С. 106–114. DOI: 10.32786/2071-9485-2023-01-10.
9. Эффективность нового биопрепарата Картофин на основе *Bacillus subtilis* при выращивании картофеля / М.К. Деревягина [и др.] // Аграрный научный журнал. 2019. № 5. С. 8–14.
10. Шафеева Э.И., Комиссаров А.В., Ардуванова Ф.Ф. Динамика роста надземной части среднераннего картофеля сорта невский в южной лесостепи республики Башкортостан // Вестник КрасГАУ. 2017. № 8(131). С. 9–16.
11. Changes in dry weight and starch content in potato under the effect of herbicides and biostimulants / K. Zarzecka // Plant Soil Environ. 2021. № 67.
12. Parker W.E., Howard Ju.J. The biology and management of wireworms (*Agriotes* spp.) on potato with particular reference to the U.K. // Agricultural and Forest Entomology. 2014. № 2. P. 85–98.
13. Processing of specific growth of various potato varieties under drip irrigation in Lower Volga region / N.N. Dubenok, V.V. Melikhov, A.A. Novikov, D.A. Bolotin, D.I. Vasilyuk // IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 2021. V. 624. 012014.
14. [https://rp5.ru/Архив_погоды_в_Волгограде_\(аэропорт\),_METAR](https://rp5.ru/Архив_погоды_в_Волгограде_(аэропорт),_METAR).

REFERENCES

1. Novikov A.E., Novikov A.A., Gichenkova O.G. et al. Agroecological assessment of promising potato varieties and features of agrotechnics on light chestnut soils of the Volgograd region. Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp. 2022; 3(67): 14–24.
2. Dzedae H.T. Biologized technology of potato cultivation in the conditions of the Russian Federation // Scientific works of students. 2021. No. 1. Pp. 3–5.
3. Gazdanova I.O., Dzedae H.T., Morgoev T.A. Biological protection of potatoes in the Republic of North Ossetia – Alania // Bulletin of KrasGAU. 2022. No. 1. Pp. 76–82. DOI: 10.36718/1819-4036-2022-1-76-82.
4. Nugmanova T.A. Biopreparations in vegetable and potato growing // Potatoes and vegetables. 2017. No. 6. Pp. 2–4.
5. Popov Yu.V., Rukin V.F., Toropchin I.S. Biological orientation of potato protection from harmful organisms in the conditions of the Central Nervous System // Bulletin of the Voronezh State Agrarian University. 2022. Vol. 15. No. 4(75). Pp. 52–67.
6. Rodin K.A., Novikov A.A., Novikov A.E. Improvement of potato cultivation technology with different plant protection systems in the conditions of the Lower Volga region // Land reclamation and hydraulic engineering. 2023. Vol. 13. No. 4. Pp. 349–361.
7. Ruleva O.V., Kazieva Z.M. Assessment of the influence of forest strips on the development of early potatoes in arid conditions of the Astrakhan region // Innovative technologies in the agro-industrial complex in the context of digital transformation. Materials of the International Scientific and Practical Conference. Volgograd, 2022. Pp. 443–448.
8. Ruleva O.V., Kazieva Z.M. Methodological approach in the study of potato bioproductivity in the zone of influence of forest strips of the Lower Volga region // Izvestia NV AUK. 2023. 1(69). 106–114. DOI: 10.32786/2071-9485-2023-01-10.
9. The effectiveness of a new potato biopreparation based on *Bacillus subtilis* in potato cultivation / M.K. Derevyagina [et al.] // Agrarian Scientific Journal. 2019. No. 5. Pp. 8–14.
10. Shafееva E.I., Komissarov A.V., Arduvanova F.F. Dynamics of growth of the aboveground part of the medium-early potato of the Nevsky variety in the southern forest-steppe of the Republic of Bashkortostan // Bulletin of KrasGAU. 2017. No. 8 (131). Pp. 9–16.
11. Changes in dry weight and starch content in potato under the effect of herbicides and biostimulants / K. Zarzecka // Plant Soil Environ. 2021. № 67.
12. Parker W.E., Howard Ju.J. The biology and management of wireworms (*Agriotes* spp.) on potato with particular reference to the U.K. // Agricultural and Forest Entomology. 2014. № 2. P. 85–98.
13. Processing of specific growth of various potato varieties under drip irrigation in Lower Volga region / N.N. Dubenok, V.V. Melikhov, A.A. Novikov, D.A. Bolotin, D.I. Vasilyuk // IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 2021. V. 624. 012014.
14. [https://rp5.ru/Weather_archive_volgograd_\(airport\),_METAR](https://rp5.ru/Weather_archive_volgograd_(airport),_METAR).

Рулева Ольга Васильевна, доктор с.-х. наук, вед. науч. сотрудник, bifu@mail.ru, ORCID: 0000-0002-7343-422; **Семененко Сергей Яковлевич**, доктор с.-х. наук, гл. науч. сотрудник, semenenkossy.vniioz@yandex.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-00015992-8127>; **Казиева Зульфия Муратовна**, ст. лаборант-исследователь, zraskaliyeva@mail.ru, ORCID: 0000-0001-8202-0387 (ВНИИОЗ – филиал ФНЦ ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова, г. Волгоград).

УДК 631.6;631.1

НАУЧНОЕ ОБОСНОВАНИЕ МЕЛИОРАЦИИ ДЛЯ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РОССИИ

В.А. ШЕВЧЕНКО, Л.В. КИРЕЙЧЕВА

Ключевые слова: мелиорация земель, залежные земли, климатические риски, опустынивание, водные ресурсы, гидромелиоративные системы, цифровизация, автоматизация агропроизводства.

Keywords: land reclamation, fallow lands, climatic risks, desertification, water resources, hydro-reclamation systems, digitalization, automation in agriculture.

Аннотация. В статье приведено научное обоснование необходимости развития мелиорации в России для продуктивного и устойчивого сельскохозяйственного производства в условиях современных вызовов, среди которых важную роль играют климатические изменения. Показано, что в настоящее время мелиоративной наукой, в частности уче-

ными ФГБНУ ФНЦ «ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова», накоплен значительный научный потенциал, который необходимо использовать для эффективного и устойчивого развития сельского хозяйства. Предложены современные мероприятия и технические решения для повышения плодородия почв, рационального использования водных ресурсов, создания современных гидромелиоративных систем, повышения надежности и безопасности гидротехнических сооружений.

Abstract. The article is devoted to scientific justification of the land reclamation development in Russia to provide productive and sustainable agriculture under modern challenges, climate change playing an important role. Undoubtedly significant scientific potential, including scientists of the

Federal State Budgetary Scientific Research Center «VNIIGiM named after A.N. Kostyakov», which must be used for efficient and sustainable development of agriculture have been accumulated in reclamation science, Modern measures and technical solutions are proposed to increase soil fertility, to improve water management, to create modern hydraulic reclamation systems, as well as to increase the reliability and safety of hydraulic structures.

Введение. Устойчивое развитие сельскохозяйственно-го производства в России немыслимо без осуществления мелиоративной деятельности. Мелиорация земель в большинстве регионов нашей страны является важным условием эффективного ведения сельского хозяйства. Необходимость широкого развития мелиорации и ее масштабность подтверждаются задачами Доктрины продовольственной безопасности России, Федеральных целевых программ по социально-экономическому развитию Российской Федерации, по развитию сельского хозяйства, эффективному вовлечению в оборот земель сельскохозяйственного назначения.

Значительная роль в научном обосновании комплексных мелиораций в нашей стране принадлежит ФГБНУ «ФНЦ гидротехники и мелиорации им. А.Н. Костякова», который организован в 2023 г. на базе ВНИИГиМ в качестве головного научного учреждения в области гидромелиоративных сооружений и мелиорации земель сельскохозяйственного назначения. В 2024 г. исполняется 100 лет со дня основания ВНИИГиМ. Здесь были заложены основы мелиоративной науки академиком А.Н. Костяковым и его сподвижниками (А.Д. Брудастов, И.А. Шаров, Е.А. Замарин, А.В. Потапов, Л.П. Розов, С.В. Астапов и др.). Выполненные учеными института в течение многих лет фундаментальные и прикладные исследования внесли значительный вклад в развитие теории мелиоративной науки и практической реализации в сфере гидравлики, гидротехники, механизации, орошения и осушения земель и по многим другим направлениям. Эти исследования активно ведутся и в настоящее время.

Во всех странах мира мелиорированным землям придают особый статус, создают необходимый для устойчивого развития объем мелиоративного фонда. По данным ФАО, мелиорированные земли в развитых странах составляют 30...40 % площади пашни и на них получают до 40 % растениеводческой продукции.

В период активного развития мелиорации в нашей стране (с 1966 по 1990 г.) площадь мелиорированных земель достигала 11,5 млн га (10 % площади пашни). Были построены крупные оросительные и оросительно-обводнительные системы, интенсивно развивались осушительные мелиорации в Нечерноземной зоне, Сибири и на Дальнем Востоке, проводились мероприятия по освоению новых территорий и повышению плодородия почв. Выполненный объем мелиоративных работ позволил увеличить к 1990 г. среднюю продуктивность орошаемого гектара до 4,2...4,6, осушаемого до 2,7...3 тыс. к. ед., что в засушливые годы в 4...5 раз превышало урожайность на богаре. Мелиоративная отрасль производила до 15 % валового производства сельскохозяйственной продукции.

Современный мелиоративный комплекс имеет 9,45 млн га или около 7 % пашни, из которых 4,67 млн га — орошаемые, 4,78 млн га — осушаемые земли. Одна-

ко не все мелиорируемые земли используются по прямому назначению, часть земель по разным причинам выведена из сельскохозяйственного оборота. По итогам 2014—2017 гг. на фактически поливаемых землях (чуть более 1 млн га) было собрано: кормовых культур 27,5 %, овощей 80 %, картофеля 20,5 %, риса 100 %, плодовых и ягодных культур 70 %, кукурузы на зерно 12 %, сои 26 %, что подтверждает целесообразность и необходимость дальнейшего развития мелиорации [1, 2].

В нашей стране мелиорации всегда придавалось большое значение, а в будущем необходимость в проведении мелиоративных работ будет только возрастать, это связано с нарастающей турбулентностью климата, ухудшением природных ресурсов и надвигающимся мировом голодом, также обусловлено рядом внутренних причин, из которых в первую очередь следует назвать: многообразие и сложность климатических, ландшафтных и почвенных условий для ведения сельского хозяйства, неравномерность распределения водных ресурсов, социально-экономические процессы. На современном этапе в сельском хозяйстве наблюдается нарастающая деградация агросистем и водных объектов, что значительно повышает роль мелиорации для устойчивого и высокопродуктивного развития сельского хозяйства. В стране 84,8 млн га пашни подвержены эрозии и дефляции, на значительных территориях наблюдаются процессы опустынивания и засухи, около 3 % пашни занимают засоленные и 8...9 % солонцовые почвы. Общая площадь неиспользуемых земель пригодных для аграрного производства в России оценивается в 44 млн га, половина из которых пашня.

В 2021 г. стартовала Госпрограмма эффективного вовлечения в оборот земель сельскохозяйственного назначения и развития мелиоративного комплекса, рассчитанная до 2031 г. Она направлена на предотвращение выбытия из оборота сельскохозяйственных земель, ввод в оборот неиспользуемых земель, сохранение и повышение плодородия почв, а также обновление и развитие мелиоративного комплекса.

В первую очередь это относится к Нечерноземной зоне. Состояние дел в этом регионе имеет крайне важное социально-экономическое значение. Преимущество ведения сельского хозяйства в Нечерноземье определяется наличием значительного количества земель, пригодных для сельскохозяйственного производства, и хорошей влагообеспеченностью, что позволяет получать гарантированные урожаи даже в остро-засушливые годы. О необходимости развития Нечерноземья говорил выдающийся агрохимик академик Д.Н. Прянишников. В своих трудах он писал: «Нечерноземье сильных засух не знает, при этом урожайность при правильном подходе дает хорошую. Поэтому его стратегически выгодно превратить в житницу страны. Это как построить дамбу, которая навсегда защитит от неурожая» [3]. Помимо того, развитие мелиорации в данном регионе приведет к созданию новых рабочих мест, а значит существенно улучшит социальные условия региона и демографические показатели, что является важнейшим условием эффективного развития сельского хозяйства в стране.

Результаты и обсуждение. Для успешной реализации Госпрограммы в Центре разработаны и внедрены в производство перспективные агромелиоративные приемы и способы освоения выбывших из оборота земель. Они включают рациональную систему применения органических, минеральных удобрений и арборицидов; адаптивные приемы борьбы с сорной растительностью и фитопатогенными микроорганизмами, защиту агроценозов от вредных организмов альтернативными способами, производство органически чистой сельскохозяйственной продукции на вновь вводимых в оборот землях. В процессе многолетних исследований определена роль отдельных культур зернопропашного севооборота в обогащении почвы органическим веществом и элементами минерального питания за счет пожнивно-корневых остатков, а также биомассы пожнивного сидерата. Предложенные приемы заделки в почву органических удобрений и растительных остатков в сочетании с внесением компенсационных доз минеральных удобрений под планируемую урожайность стабилизируют содержание гумуса в почве на уровне 3 % и обеспечивают в первой ротации севооборота урожайность озимой пшеницы более 5,5 т/га, ячменя — 3,5 т/га, картофеля более 25 т/га и однолетних трав на сено более 4,5 т/га. [4]. С использованием современных информационных технологий для оценки потенциальной продуктивности агроэкосистем Нечерноземной зоне РФ составлена база данных и разработана автоматизированная информационно-коммуникационная система, обеспечивающая поддержку сельхозпроизводителя в выборе агротехнических и мелиоративных мероприятий для повышения урожайности сельскохозяйственных культур и плодородия почвы [5].

Для ускоренного ввода неиспользуемых земель в сельскохозяйственный оборот обоснован комплекс культуртехнических работ, обеспечивающий восстановление плодородия выбывших из оборота земель для дальнейшего эффективного использования [6]. С целью оценки целесообразности и эффективности возврата, выбывших из оборота сельскохозяйственных угодий, с учетом проявления разного рода рисков предложена «Методика эколого-экономического обоснования введения земель в сельскохозяйственный оборот или перевод их в другие категории» [7].

Среди современных вызовов сельскому хозяйству выделяются климатические риски, которые в соответствии со Стратегией экологической безопасности Российской Федерации, отнесены к угрозам национальной безопасности, также как опустынивание, засуха, деградация земель и почв и водных объектов и т. д. Статистика показывает, что с изменением климата увеличиваются повторяемость и мощность стихийных бедствий, включая как высокие весенние паводки, так и летне-осенние половодья; это одно из проявлений глобальных климатических проявлений, снижающих надежность и безопасность работы гидротехнических сооружений. Проводимые в Центре исследования по разработке мониторинга мелиоративных систем направлены на оценку технического состояния ГТС и предупреждение негативных последствий. В ближай-

шее время намечено организовать работу по осуществлению технико-экологического аудита мелиоративных систем и ГТС, который позволит оценить эффективность их функционирования на текущий момент времени, объемы восстановительных работ для перспективного планирования проведения восстановительных работ и наметить очередность их проведения.

В настоящее время более 100 млн га сельскохозяйственных угодий, на которых проживает около половины населения страны и производится более 70 % сельскохозяйственной продукции, фактически или потенциально подвержены засухам и опустыниванию. Орошение и обводнение территорий, наряду с агромелиоративными приемами и фитомелиорацией, становятся действенными мерами предупреждения и снижения воздействий воздушной и почвенной засухи. Чтобы уменьшить ущербы от климатических изменений необходимо адаптировать модели ведения сельского хозяйства в различных зонах посредством внедрения эффективных агротехнических и мелиоративных мероприятий, направленных на повышение водообеспеченности территории. В них входят: применение комбинированных малообъемных способов орошения; повторное использование сбросных коммунальных и дренажных вод; изменение структуры севооборотов; восстановление и эффективное функционирование гидротехнических сооружений; проведение реконструкции и осуществление строительства оросительных систем; широкое использование фито- и лесомелиорации и пр. Это сократит потери продукции АПК в годы экстремальных погодных аномалий.

Разработанная специалистами Центра Концепция экологического обоснования комплексных мелиораций для предотвращения опустынивания территорий, приемы и технологии восстановления пастбищных экосистем и повышение плодородия почв на основе фитоагролесомелиорации, позволяют снизить негативные проявления и сохранить до 50 % урожая. Для восстановления вторично засоленных почв с близким залеганием грунтовых вод предложена технология формирования мелиорированного агрофитоценоза, а также приемы создания лиманных агроэкосистем, способствующие восстановлению продуктивных качеств фитоценозов на разных типах почв. С целью восстановления деградированных пастбищных угодий разработана методика и создана база данных «Геоботанический мониторинг естественных угодий пустынной зоны Республики Калмыкия», что позволяет организовать рациональное использование сельскохозяйственных угодий, провести фитомелиоративные работы на деградированных землях, рассчитать кормовую емкость пастбищ [8].

Стратегическим направлением дальнейшего развития гидромелиорации должно стать создание гидромелиоративных систем нового поколения, в том числе малообъемного орошения, обеспечивающих прецизионное управление поливами в автоматизированном режиме. Сотрудниками Центра реализована возможность совместного использования капельного орошения, как основного элемента регулирования водного режима

почвы, и мелкодисперсного дождевания для улучшения микроклимата посевов и защиты посевов от климатических рисков [6]. Такие системы нашли применение в фермерских хозяйствах сухостепной зоны Волгоградской области. Разрабатываются новые конструкции гидромелиоративных систем двухстороннего регулирования водного режима почвы и водооборотные системы, обеспечивающие повторное использование дренажных вод на орошение с технологическими узлами по очистке и водоподготовке дренажных вод.

Научное решение проблемы переувлажнения сельскохозяйственных угодий связано с детальным исследованием текущего состояния осушительных систем и осушенных земель. В сельскохозяйственном обороте в настоящее время используется 3,25 млн га осушенных земель, однако фактическое регулирование водного режима осуществляется на площади около 1 млн га. Перспективным направлением становится разработка и внедрение инновационных технологий осушения и создание автоматизированных дренажных систем, позволяющих регулировать дренажный сток при помощи специальных устройств со встроенной структурой управления, что стоит в плане исследований Центра.

В зоне неустойчивого земледелия из общей площади 3860 тыс. га, используемых в агропроизводстве орошаемых земель в настоящее время поливается только 32 % (1238,69 тыс. га), что связано со многими причинами. Одна из них — значительный износ основных фондов оросительных систем, составляющих более 77 %, что требует проведения реконструкции, направленной на водо- и энергосбережение путем применения современных облицовок магистральных и межхозяйственных каналов; создание автоматизированных систем управления водораспределением и систем водочета, что позволит повысить использование водных ресурсов до 90...95 %. Указанные направления решаются Центром при обосновании экосистемного водопользования в водно-мелиоративном комплексе.

Многолетние климатические изменения привели к снижению водности ряда рек России. За последние годы произошло сокращение величины годового стока в Волжско-Камском бассейне, в бассейне рек Дон и Кубань. Произошло сезонное перераспределение стока в сторону увеличения в летне-осеннюю и зимнюю межени. Это существенно влияет на орошаемое земледелие, поскольку в вегетационный период уменьшился объем доступной для орошения воды. Специалистами Центра составлен долгосрочный прогноз изменения водных ресурсов бассейна реки Дон и определены меры по обеспечению населения и объектов экономики водными ресурсами в маловодные периоды. Определены перспективы использования водных ресурсов бассейна р. Кубань, разработаны рекомендации по повышению водообеспечения рисовых оросительных систем [9]. Проведено районирование территории Республики Калмыкия по обеспеченности поверхностными и подземными водами, и установлено, что дефицит водных ресурсов составляет 84 млн м³. Для эффективного управления водными ресурсами разработана Геоинформационная веб-система поддержки принятия решений

по управлению водохозяйственным комплексом Республики Калмыкия. Система разработана и апробирована на примере Сарпинской ООС. Одним из направлений по снижению дефицита водных ресурсов является возможность использования подземных вод на орошение. Районирование юга европейской части России по величине водообеспеченности орошения, выполненное в Центре, показало, что запасы подземных вод, потенциально доступные для временного изъятия в остро-засушливые годы, есть практически во всех вододефицитных регионах. Около 65 % подземных вод можно использовать без предварительной очистки [10].

С учетом современной ситуации в Республике Крым разрабатываются методы, модели, алгоритмы нормирования водопользования, оперативного планирования водораспределения на оросительных системах в условиях резкого дефицита водных ресурсов. Предложено и обосновано использование нормативно-очищенных сточных вод на орошение с учетом обеспечения экологической безопасности орошаемых агробиocenozов. Это позволит ввести в оборот еще 7,2 тыс. га дополнительных площадей. Новые подходы по обоснованию дифференцированных режимов орошения сельскохозяйственных культур в условиях изменения климата позволяют обеспечить сокращение оросительных норм на 10...12 % без потери урожайности [11].

В филиале Центра проводятся исследования по научному обоснованию адаптивно-ландшафтных систем орошаемого земледелия и возделыванию сельскохозяйственных культур, адаптированных к климатическим изменениям. Созданы и прошли проверку новые гибриды кукурузы и сои, разработаны технологии их возделывания на орошаемых землях, предложены севообороты разной специализации. Внедряются разработанные системы агромелиоративных технологий, включающие способы обработки почв, применение удобрений и средств защиты растений, эффективные режимы орошения, обеспечивающие высокий уровень продуктивности орошаемых земель при сохранении их плодородия. Разработана и апробирована водосберегающая технология возделывания суходольного риса периодическими поливами на оросительных системах общего назначения. Для улучшения качества воды в водоисточниках предложено использовать микроводоросль *Chlorella vulgaris*. Все это позволяет повысить устойчивость сельскохозяйственного производства в остро-засушливой зоне страны.

Цифровизация и автоматизация агропроизводства становится признанной необходимостью для всех сфер, включая мелиоративный комплекс. Предложена структура платформы «Цифровая мелиорация», которая позволяет интегрировать весь объем знаний, информации и сведений в сфере мелиоративной деятельности, необходимой для принятия решений на всех уровнях.

Заключение. Таким образом, средствами комплексной мелиорации обеспечивается возможность компенсации негативных проявлений на сельскохозяйственных землях, снижение рисков, связанных с климатическими, почвенными и хозяйственными изменениями, что обеспечивает повышение устойчивости и продук-

тивности сельского хозяйства, а также решаются ряд экономических и социальных региональных проблем. Научный потенциал ФГБНУ ФНЦ «ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова», имеющий вековой опыт проведения и реализации фундаментальных и прикладных исследований, позволяет успешно решать современные проблемы в области гидротехники, комплексной мелиорации, водном хозяйстве и мелиоративном земледелии.

ЛИТЕРАТУРА

1. Мелиоративный комплекс Российской Федерации: информ. издание. М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2020. 304 с.
2. Развитие мелиоративного комплекса: строительство, модернизация и техническое перевооружение: справ. изд. М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2021. 88 с.
3. Шевченко, В.А. Мелиорация земель, как основа повышения эффективности сельскохозяйственного производства в Нечерноземье // Главный агроном. 2019. № 12.
4. Научное обоснование и практическая реализация вовлечения в оборот залежных земель нечерноземной зоны Российской Федерации и восстановления их плодородия / В.А. Шевченко, Л.В. Кирейчева, С.А. Новиков [и др.]. М.: ФНЦ гидротехники и мелиорации им. А.Н. Костякова, 2024. 490 с.
5. Научные основы и технологические приемы комплексного регулирования параметров агроэкосистемы / Под ред. Л.В. Кирейчевой. М.: ФГБНУ «ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова», 2022. 234 с.
6. Технологии и технические средства повышения продуктивности сельскохозяйственных земель комплексными мелиорациями / Под ред. Л.В. Кирейчевой. М.: ФГБНУ «ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова», 2022. 217 с.
7. Кирейчева Л.В., Юрченко И.Ф. Методики эколого-экономического обоснования введения земель в сельскохозяйственный оборот или перевод их в другие категории / Под ред. В.А. Шевченко. М.: МЭСХ, 2020. 130 с.
8. Дедова Э.Б., Гольдварг Б.А., Цаган-Манджиев Н.Л. Дegradация земель Республики Калмыкия: проблемы и пути их восстановления // Аридные экосистемы. 2020. Т. 26. № 2(83). С. 63–71.
9. Кирейчева Л.В., Максимов С.А. Оценка возможности использования очищенных сточных вод на орошение в Республике Крым // Экология и промышленность России. 2024. Т. 28. № 2. С. 54–59.
10. Бородычев В.В., Дедова Э.Б., Сазанов М.А. Водные ресурсы республики Калмыкия и мероприятия по совершенствованию водохозяйственного комплекса // Доклады Российской академии сельскохозяйственных наук. 2015. № 4. С. 41–45.
11. Научно-методическое обоснование перспективы эффективного обеспечения водой орошаемых сельскохозяйственных зе-

мель Республики Крым / С.А. Максимов, В.А. Шевченко, Л.В. Кирейчева [и др.]. М.: ФНЦ гидротехники и мелиорации им. А.Н. Костякова, 2023. 520 с.

REFERENCES

1. The reclamation complex of the Russian Federation: inform. edition. M.: FSBI «Rosinformagrotech», 2020. 304 p.
2. Development of the meliorative complex: construction, modernization and technical re-equipment: reference ed. M.: FSBI «Rosinformagrotech», 2021. 88 p.
3. Shevchenko V.A. Land reclamation as a basis for increasing the efficiency of agricultural production in the Non-Chernozem region // Chief agronomist. 2019. № 12.
4. Scientific justification and practical implementation of the involvement in the turnover of fallow lands of the non-chernozem zone of the Russian Federation and the restoration of their fertility / V.A. Shevchenko, L.V. Kireicheva, S.A. Novikov [et al.]. M.: FSC for Hydraulic Engineering and Melioration named after A.N. Kostyakov, 2024. 490 p.
5. Scientific foundations and technological techniques for complex regulation of agroecosystem parameters. Edited by L.V. Kireicheva. M.: VNIIGiM named after A.N. Kostyakov, 2022. 234 p.
6. Technologies and technical means of increasing the productivity of agricultural lands by complex land reclamation. Edited by L.V. Kireicheva. M.: VNIIGiM named after A.N. Kostyakov, 2022. 217 p.
7. Kireicheva L.V., Yurchenko I.F. Methods of ecological and economic justification of the introduction of land into agricultural circulation or their transfer to other categories. Edited by V.A. Shevchenko. M.: MESKH, 2020. 130 p.
8. Dedova E.B., Goldvarg B.A., Tsagan-Manjiev N.L. Land degradation of the Republic of Kalmykia: problems and ways of their restoration // Arid ecosystems. 2020. Vol. 26. No. 2(83). Pp. 63–71.
9. Kireicheva L.V., Maksimov S.A. Assessment of the possibility of using treated wastewater for irrigation in the Republic of Crimea // Ecology and industry of Russia. 2024. Vol. 28. No. 2. Pp. 54–59.
10. Borodychev V.V., Dedova E.B., Sazanov M.A. Water resources of the Republic of Kalmykia and measures to improve the water management complex // Reports of the Russian Academy of Agricultural Sciences. 2015. No. 4. Pp. 41–45.
11. Scientific and methodological substantiation of the prospects for effective water supply of irrigated agricultural lands of the Republic of Crimea / S.A. Maksimov, V.A. Shevchenko, L.V. Kireicheva [et al.]. M.: FSC for Hydraulic Engineering and Melioration named after A.N. Kostyakov, 2023. 520 p.

Шевченко Виктор Александрович, академик РАН, доктор с.-х. наук, профессор, директор; **Кирейчева Людмила Владимировна**, доктор техн. наук, профессор, рук. научного направления (ФНЦ ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова, г. Москва).

УДК 631.861:631.871

ВЕБ-ГИС-СИСТЕМА ДЛЯ ОБОСНОВАНИЯ РЕШЕНИЙ ПО ИНТЕГРАЛЬНОМУ УПРАВЛЕНИЮ МЕЛИОРАТИВНО-ВОДОХОЗЯЙСТВЕННЫМ КОМПЛЕКСОМ

Э.Б. ДЕДОВА, С.Д. ИСАЕВА, А.В. МАТВЕЕВ, Р.М. ШАБАНОВ

Ключевые слова: геоинформационные технологии, мелиоративно-водохозяйственный комплекс, интегральное управление, водные ресурсы, мелиорированные земли, гидротехнические сооружения.

Keywords: geoinformation technologies, reclamation and water management complex, integrated management, water resources, reclaimed lands, hydraulic structures.

Аннотация. Представлены результаты исследований по разработке экспертной геоинформационной веб-системы поддержки принятия решений, направленной на интегральное управление мелиоративно-водохозяйственным комплексом, при котором реализуется синхронный процесс контроля и комплексного управления техническим состоянием гидротехнических сооружений, экологическим состоянием мелиорированных земель и состоянием водных объектов. Веб-ГИС-система предназначена для сбора, хранения, анализа и предоставления необходимой для интегрального управления информации, сужения области

поиска рационального решения на основании предоставляемых результатов системных исследований, для повышения обоснованности принимаемых решений.

Abstract. The results of research on the development of an expert geoinformation web-based decision support system aimed at integrated management of the reclamation and water management complex, which implements a synchronous process of monitoring and integrated management of the technical condition of hydraulic structures, the environmental condition of reclaimed lands and the condition of water bodies. The web GIS system is designed to collect, store, analyze and provide information necessary for integrated management, narrow the search area for a rational solution based on the results of system research provided, to increase the validity of decisions made.

Введение. В настоящее время создание информационных технологий и экспертных систем управ-

ления процессами функционирования мелиоративно-водохозяйственного комплекса и производства сельскохозяйственной продукции является важным направлением научно-технического прогресса [1–3]. Продуктивность орошаемых земель во многом определяется тремя основными компонентами производства сельскохозяйственной продукции, а именно: техническим состоянием гидромелиоративных систем (ГМС), водными ресурсами, эколого-мелиоративным состоянием и плодородием почв. Обеспечение высокой продуктивности земель возможно на основе комплексного, или интегрального, управления состоянием указанных компонентов. При этом экспертная геоинформационная веб-система должна быть направлена на *интегральное управление мелиоративно-водохозяйственным комплексом*, позволяя его реализовать как синхронный процесс контроля и комплексного (системного) управления техническим состоянием гидротехнических сооружений (ГТС), экологическим состоянием мелиорированных земель и состоянием водных объектов (водоисточников и водоприемников). Такой научно-методический подход позволяет обеспечить рациональное использование водных и земельных ресурсов, эффективное ведение сельского хозяйства [1, 4].

Цель создания геоинформационной веб-системы поддержки принятия решений — сбор, хранение, пополнение, анализ и предоставление необходимой для управления мелиоративно-водохозяйственным комплексом (МВК) информации, сужение области поиска рационального решения на основании предоставляемых результатов системных исследований, повышение обоснованности принимаемых решений [2, 3].

Методология исследований. Разработка геоинформационной веб-системы поддержки принятия решений по интегральному управлению региональным мелиоративно-водохозяйственным комплексом основано на принципах, которые включают:

- предоставление возможности коллективного пользования в режиме 24/7 для всех заинтересованных участников;
- в основу веб-системы должна быть заложена клиент-серверная технология и блочно-модульная архитектура, позволяющая расширять функциональные возможности, обеспечивать бесшовную интеграцию со сторонними программными продуктами и онлайн-сервисами, повышенную производительность и улучшенную масштабируемость;
- система может быть централизованной, децентрализованной относительно хранения информации, а также интегрированной для доступа к информационным хранилищам (реляционная база данных, Wiki-портал с базой знаний, облачное хранилище данных);
- необходим интуитивно понятный пользовательский веб-интерфейс, развитый поисковый механизм с возможностью ранжирования результатов;
- централизованный сбор и обработку информации мониторинга с помощью автоматизированных метео-, агрохимических станций, гидропостов, дистанционных устройств с применением современных коммуникационных средств;

- система должна обеспечивать соблюдение правовых основ на владение, распоряжение и пользование информацией.

Объект исследований. Работы по созданию веб-ГИС-системы выполнены на примере Сарпинской обводнительно-оросительной системы (СООС), расположенной в Республике Калмыкия. В Республике, как и всей территории зоны недостаточного увлажнения на юге Европейской части страны [5, 6], происходит усиление засушливости климата, проявления аномальных погодных явлений, развитие дефицита водных ресурсов, что определяет рост климатических рисков и сложность ведения сельского хозяйства [1, 3, 5–7].

В основу разработок положены многолетние научно-производственные исследования, выполняемые на территории СООС учеными ВНИИГиМ и Калмыцкого филиала. Проводимый на протяжении ряда лет комплексный экологический мониторинг состояния водных ресурсов, мелиорированных земель, мелиоративных систем, позволили накопить значительный объем необходимой информации, что в сочетании с полученными результатами исследований по адаптации геоинформационных технологий применительно к решению водохозяйственных и мелиоративных задач открывает новые перспективы для их применения в управлении мелиоративными и водохозяйственными системами локального и регионального уровня.

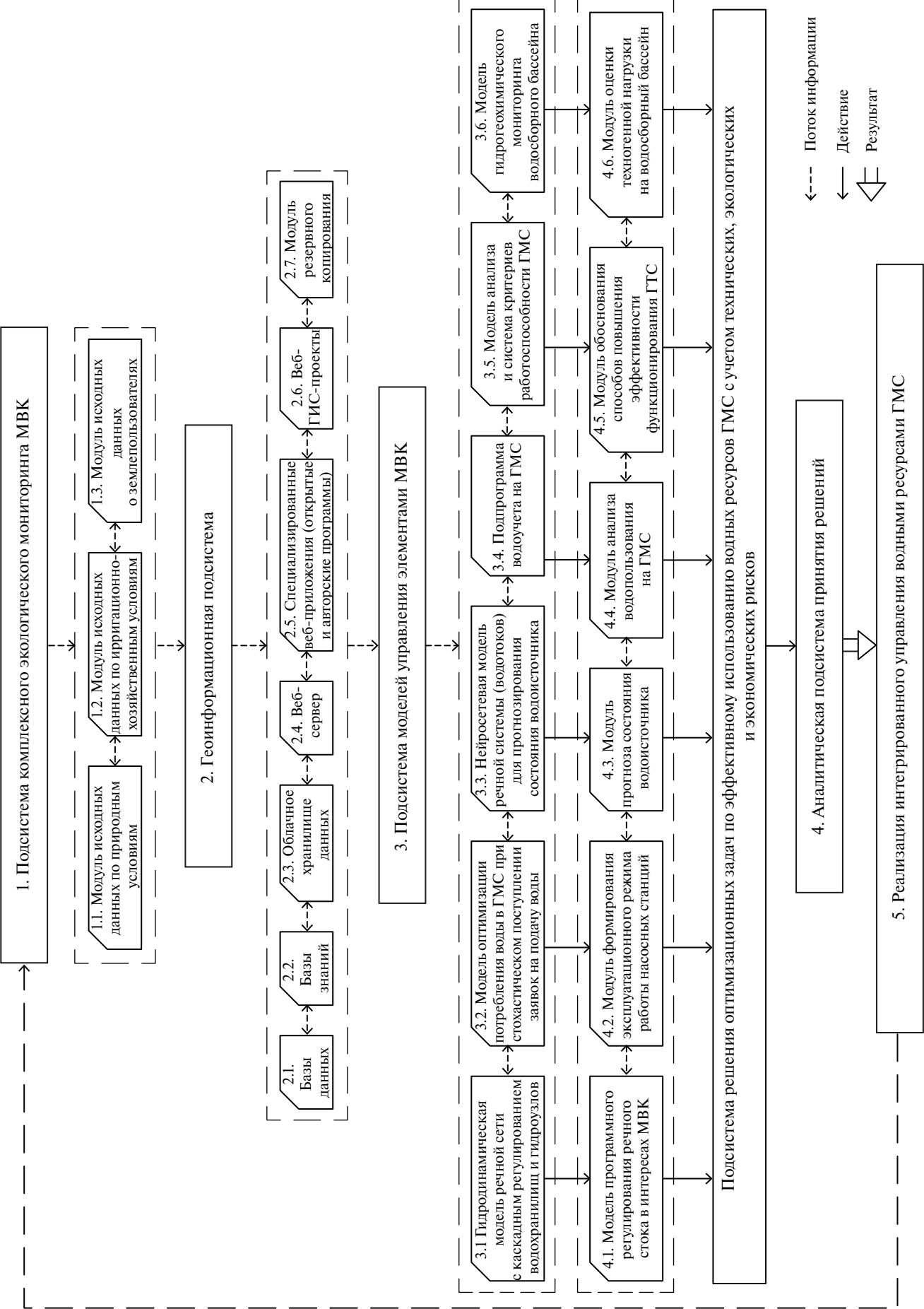
В программу обоснования принятия решений включены фактические технико-эксплуатационные параметры Сарпинской обводнительно-оросительной системы, данные комплексного экологического мониторинга в ее пределах, сведения о видах орошения, способах полива, дозах вносимых удобрений земледельцами в разрезе поля, участка, о величинах фактической и потенциальной урожайности, результаты проведенных тематических многолетних исследований, полевых и лабораторных экспериментов. Включены также рекомендации по приемам выращивания различных сельскохозяйственных культур на мелиорированных землях Республики Калмыкия и экспертная оценка эколого-экономической эффективности сельскохозяйственного производства.

Результаты исследований и их обсуждение

Архитектура геоинформационной веб-системы.

В результате проведенных исследований разработан алгоритм многоуровневой информационно-аналитической системы поддержки принятия решений по интегральному управлению мелиоративно-водохозяйственным комплексом. В архитектуру входят подсистемы: комплексного экологического мониторинга, геоинформационная, подсистема моделей управления элементами водохозяйственного комплекса (ВХК) с блоком решения оптимизационных задач по эффективному использованию водных ресурсов ГМС с учетом технических, экологических и экономических рисков (рисунк).

Подсистема комплексного экологического мониторинга (измерительно-диагностическая подсистема) является начальным модулем системы, в который поступают необходимые для интегрального управления



Многоуровневая информационно-аналитическая система поддержки принятия решений по интегрированному управлению мелиоративно-водохозяйственным комплексом (МВК)

исходные данные. Мониторинг представляет собой систему непрерывного слежения и контроля, куда входят три составляющих:

- контроль за техническим состоянием мелиоративных систем и гидротехнических сооружений (плотин, дамб, каналов, водорегулирующих, водопроводящих и сбросных ГТС);
- контроль за объемами и химическим составом воды водоисточников, а также в водоприемниках;
- контроль за эколого-мелиоративным состоянием орошаемых земель и прилегающих территорий (режим грунтовых вод, динамика почвенных процессов).

В этот модуль поступают данные дистанционного зондирования Земли, автоматизированных и визуальных наблюдений за показателями состояния компонентов системы производства сельхозпродукции, данные с метеостанций, показания датчиков влажности почвы, вносятся результаты натурных и лабораторных исследований и пр. Собранные данные группируются в трех модулях исходных данных: природные условия, ирригационно-хозяйственные условия и сведения о землепользователях. Информация передается в *геоинформационный блок*, где происходит наполнение баз и банков данных, в том числе с использованием облачных систем хранения.

Для анализа и обработки данных мониторинга в структуре геоинформационной веб-системы поддержки принятия решений предусматривается *подсистема моделей управления элементами МВК (моделирующий блок)*, содержащая модели для статистической обработки данных, а также математические, экологические, экономические. Программные продукты позволяют выполнить оценку текущего состояния почвенного покрова, гидротехнических сооружений и водных ресурсов. Проводится аналитическое обоснование объемов и технологии водопользования, сравнение разных режимов орошения и технологий поливов, анализ факторов роста и развития растений, динамики свойств почвенного покрова. В этом блоке на основе моделей предполагается сценарная оценка рисков развития неблагоприятных экологических процессов при орошении, определение эффективности и оптимизация использования водных ресурсов, системы производства сельскохозяйственной продукции.

Результаты модельных исследований используются в *аналитической подсистеме* обоснования тактических и стратегических решений по управлению состоянием ГТС, мелиоративным состоянием земель, использованием водных ресурсов и, прежде всего, за счет формирования системы плановых инженерных и мелиоративных мероприятий по снижению экологического риска, оптимизации водопользования, повышению продуктивности земель.

Определяющее значение в разрабатываемой экспертной веб-ГИС-системе имеет служебный блок, который, помимо программ сетевого взаимодействия должен включать модуль согласования типов и форматов данных при необходимости интеграции разнородных баз данных, а также модуль резервного копирования. Система обеспечивает интеграцию готовых программных продуктов, веб-ГИС-проектов и онлайн-сервисов

в единую технологию поддержки принятия решений и возможность свободного развития и совершенствования на основе собственных исследований.

Информационное обеспечение веб-ГИС-системы. Разработанная веб-ГИС-система [8] основана на клиент-серверной технологии и позволяет подключаться ответственному пользователю с персонального компьютера или мобильного устройства через сеть Интернет. Количество одновременно работающих в веб-системе пользователей может превышать десятки и даже сотни человек. При необходимости может быть настроено шифрование передаваемых данных. Информационное обеспечение созданной веб-ГИС-системы включает веб-сервер Apache, систему управления базами данных MySQL, геоинформационную систему QGIS с плагином qgis2web, инструмент Phpmysedit для создания веб-форм с поддержкой SQL, облачное хранилище данных Nextcloud. Все используемые компоненты являются свободно распространяемым программным обеспечением с открытым исходным кодом. Кроме того, в веб-ГИС-систему входят разработанные авторами веб-приложения, созданные на высокоуровневом языке программирования Python с использованием библиотек Pandas, Plotly, Folium, Scikit-learn и веб-фреймворка Dash):

- *Treemap* — построение иерархической древовидной карты землепользователей Республики Калмыкия;
- *Scatter* — построение графиков зависимости урожайности от различных факторов с временной шкалой (по годам) для землепользователей;
- *Yield* — построение графиков урожайности сельскохозяйственных культур и оросительной нормы для конкретного землепользователя;
- *App* — построение графиков урожайности сельскохозяйственных культур и дельты оросительной нормы (разница между плановой и фактической) с возможностью одновременного выбора нескольких землепользователей для сравнительной оценки;
- *Snowflake* — построение полярных диаграмм с целью экспресс-анализа хозяйства (Урожайность, Мелиоративное состояние, Затраты, Состояние ГТС, Качество воды);
- *Webmap* — создание интерактивных веб-карт (веб-ГИС-проектов); Согг — построение корреляционных матриц (зависимости pH, Na, CaCO₃, содержание гумуса, емкость катионного обмена, содержание солей для разных типов почв);
- *Plotter* — построение диаграмм рассеяния, например отношение «pH—содержание гумуса» для разных типов почв;
- *Dashboard* — визуальное отображение данных и реализация веб-интерфейса, позволяющего пользователю работать с таблицами и диаграммами в интерактивном режиме, анализ данных для оценки динамики различных показателей, выявление закономерностей, трендов, «выбросов данных» и т. д. [9]. При этом возможно выполнение следующих функций: выборка необходимых данных на основе спектра критериев; визуализация данных в виде специализированных диаграмм, временных серий; визуализация рассчитанных корре-

ляционных зависимостей; классификация (модифицированным методом k -средних $kmeans + /silhouette$) разбивкой на кластеры; быстрое проведение сравнения.

- *Myndvi* – программа расчета нормализованного относительного индекса растительности NDVI и составления карт вегетационной активности на основе цифровых аэро- и космических снимков [10].

В своей работе веб-ГИС-система использует базы данных (БД) Access (созданы сотрудниками Калмыцкого филиала ФГБНУ «ФНЦ ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова»), базу данных SQL и отдельные наборы GeoJSON и CSV-файлов, где непосредственно хранятся данные:

- БД землепользователей Республики Калмыкия;
- БД водных объектов, содержащих сведения об объемах поверхностных и подземных водных ресурсов, их минерализации, химическом составе и динамике показателей во времени;

- БД о состоянии мелиорированных земель в разрезе гидромелиоративных систем и отдельных хозяйств, включая характеристику почвенного покрова, показатели их мелиоративного состояния (степень и характер засоления, режим грунтовых вод), а также плодородия почв, особенностей выращивания сельскохозяйственных культур;

- БД по характеристике технического состояния и эффективности работы гидротехнических сооружений гидромелиоративных систем.

При разработке экспертной веб-ГИС-системы для выбранного объекта особое внимание уделено аспектам организации информационного взаимодействия между веб-приложением, базами данных, базами знаний, веб-ГИС-проектами и средой Интернет, а также обеспечению безопасности сетевых сервисов (сетевой уровень) и непосредственно защите данных (локальный уровень) [8, 10].

Веб-ГИС-система позволяет строить сравнительные графики урожайности и оросительной нормы по годам для разных землепользователей Республики Калмыкия. Для каждого интегрированного в веб-ГИС-систему ГИС-проекта хозяйства разработана своя «мини-база знаний», включающая агрохимические показатели почвы, гранулометрический состав, химический состав водной вытяжки почвы, значение pH и содержание гумуса, корреляционные зависимости между различными почвенными показателями, показатели качества воды, данные дистанционного зондирования земли, индексы растительности NDVI и т. д.

Заключение. Геоинформационная веб-система может быть использована в качестве системы поддержки принятия решений в агрохолдингах, фермерских хозяйствах и других сельскохозяйственных организациях различных форм собственности, в органах управления агропромышленного комплекса (АПК), региональных ФГБУ «Мелиоводхоз», водохозяйственных и проектных организациях, а также в процессах обучения студентов и аспирантов сельскохозяйственных ВУЗов и при повышении квалификации специалистов АПК. Кроме того, на основе подобной системы возможна разработка информационно-аналитических технологий планирования экосистемного водопользования при орошении земель и оперативного управления

водораспределением на гидромелиоративных системах. Возможности современных геоинформационных и веб-технологий значительно повышают ценность информационного обеспечения и эффективность управления мелиоративно-водохозяйственным комплексом. Лицо, принимающее решения, получает возможность оперативно рассматривать большое количество альтернатив, использовать модели при анализе информации и формировании систем возможных решений, их оценки по выбранным критериям, а также оценки последствий принятого решения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шевченко В.А. Исаева С.Д., Дедова Э.Б. Новый этап развития мелиоративно-водохозяйственного комплекса Российской Федерации // Вестник Российской академии наук. 2023. Т. 93. № 4. С. 355–361.
2. Коломийцев Н.В., Матвеев А.В. Создание информационно-справочной системы на базе веб-технологий для обоснования выбора технологий восстановления плодородия почв и рекультивации деградированных агроландшафтов // Роль мелиорации в обеспечении продовольственной безопасности. М., 2022. С. 345–352.
3. Создание экспертной системы с применением геоинформационных и веб-технологий для совершенствования организации управления мелиоративно-водохозяйственным комплексом / А.В. Матвеев, Р.М. Шабанов, Э.Б. Дедова, С.Д. Исаева // Сельский механизатор. 2024. № 2. С. 35–36. DOI 10.47336/0131-7393-2024-2-34-35-36.
4. Подходы к формированию информационной системы «Цифровая мелиорация» / В.Н. Щедрин, С.М. Васильев, В.В. Слабунов, А.В. Слабунова, А.А. Завалин // Информационные технологии и вычислительные системы. 2020. № 1. С. 54–64.
5. Кониева Г.Н., Дедова Э.Б. Проблемы водообеспечения при развитии кормопроизводства в Республике Калмыкия // Материалы международной научно-практической конференции «Роль мелиорации в обеспечении продовольственной безопасности», 14–15 апреля 2022 г. М.: ВНИИГиМ, 2022. С. 207–213.
6. Агроэкологический мониторинг состояния Сарпинской обводнительно-оросительной системы / В.А. Широкова, А.А. Дедов, Р.А. Шабанов, Э.Б. Дедова // Цифровизация землепользования и кадастров: тенденции и перспективы: материалы международной научно-практической конференции, 25 сентября 2020 г. М.: ГУЗ, 2020. С. 496–500.
7. Дедова Э.Б., Шабанов Р.М., Дедов А.А. Зональная шкала оценки качества поливных вод для условий Северо-Западного Прикаспия. Свидетельство о регистрации базы данных 2021620676, 09.04.2021. Заявка № 2021620532 от 31.03.2021.
8. Геоинформационная веб-система поддержки принятия решений по интегрированному управлению мелиоративно-водохозяйственным комплексом Республики Калмыкия / А.В. Матвеев, Э.Б. Дедова, С.Д. Исаева, Р.М. Шабанов. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ RU 2023663383, 22.06.2023. Заявка № 2023662056 от 07.06.2023. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ RU 2023663383, 22.06.2023. Заявка № 2023662056 от 07.06.2023.
9. Матвеев А.В. Информационная веб-панель для интерактивной визуализации и анализа данных. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ RU 202461450, 01.02.2024. Заявка 2024611123 от 23.01.2024.
10. Программное обеспечение для анализа вегетационной активности растительного покрова сельскохозяйственных угодий по данным дистанционного зондирования / А.В. Матвеев, Э.Б. Дедова, С.Д. Исаева, Р.М. Шабанов. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ RU 2023685941, 01.12.2023. Заявка 2023684516 от 15.11.2023.

REFERENCES

1. Shevchenko V.A. Isaeva S.D., Dedova E.B. A new stage in the development of the reclamation and water management complex of the Russian Federation // Bulletin of the Russian Academy of Sciences. 2023. V. 93. No. 4. P. 355–361.
2. Kolomiitsev N.V., Matveev A.V. Creation of a web-based information and reference system to justify the choice of technologies for restoring soil fertility and reclamation of degraded agricultural landscapes. // The role of reclamation in ensuring food security. M., 2022. Pp. 345–352.

3. Matveev A.V., Shabanov R.M., Dedova E.B., Isaeva S.D. Sozdanie ehkspertnoj sistemy s primeneniem geoinformacionnykh i veb-tehnologij dlya sovershenstvovaniya organizacii upravleniya meliorativno-vodokhozyajstvennym kompleksom // Sel'skij mekhanizator. 2024. № 2. S. 35–36. DOI 10.47336/0131-7393-2024-2-34-35-36.

4. Shchedrin V.N., Vasiliev S.M., Slabunov V.V., Slabunova A.V., Zavalin A.A. Approaches to the formation of the «Digital Land Reclamation» information system // Information Technologies and Computing Systems. 2020. № 1. P. 54–64.

5. Konieva G.N., Dedova E.B. Problems of water supply during the development of feed production in the Republic of Kalmykia // Materials of the international scientific and practical conference «The role of land reclamation in ensuring food security», April 14–15, 2022. M.: VNIIGiM, 2022. P. 207–213.

6. Shirokova V.A., Dedov A.A., Shabanov R.A., Dedova E.B. Agroekhologicheskij monitoring sostoyaniya Sarpinskoj obvodnitel'no-rositel'noj sistemy // Cifrovizaciya zemlepol'zovaniya i kadaстров: tendencii i perspektivy. Materialy mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii 25 sentyabrya 2020 g. M.: GUZ, 2020. S. 496–500.

7. Dedova E.B., Shabanov R.M., Dedov A.A. Zonal'naya shkala ocenki kachestva polivnykh vod dlya uslovij Severo-Zapadnogo Prikaspiya. Svidetel'stvo o registracii bazy dannykh 2021620676, 09.04.2021. Zayavka № 2021620532 ot 31.03.2021.

8. Matveev A.V., Dedova E.B., Isaeva S.D., Shabanov R.M. Geoinformacionnaya veb-sistema podderzhki prinyatiya reshenij po integrirovannomu upravleniyu meliorativno-vodokhozyajstvennym

kompleksom Respubliki Kalmykiya. Svidetel'stvo o gosudarstvennoj registracii programmy dlya EHVM RU 2023663383, 22.06.2023. Zayavka № 2023662056 ot 07.06.2023. Svidetel'stvo o gosudarstvennoj registracii programmy dlya EVM RU 2023663383, 22.06.2023. Zayavka № 2023662056 ot 07.06.2023.

9. Matveev A.V. Informacionnaya veb-panel' dlya interaktivnoj vizualizacii i analiza dannykh. Svidetel'stvo o gosudarstvennoj registracii programmy dlya EVM RU 202461450, 01.02.2024. Zayavka 2024611123 ot 23.01.2024.

10. Matveev A.V., Dedova E.B., Isaeva S.D., Shabanov R.M. Programmnoe obespechenie dlya analiza vegetacionnoj aktivnosti rastitel'nogo pokrova sel'skokhozyajstvennykh ugodij po dannym distancionnogo zondirovaniya. Svidetel'stvo o gosudarstvennoj registracii programmy dlya EVM RU 2023685941, 01.12.2023. Zayavka 2023684516 ot 15.11.2023.

Дедова Эльвира Батыревна, доктор с.-х. наук, профессор РАН, зам. директора по науке, гл. науч. сотрудник, dedova@vniigim.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0640-911X>, Researcher ID: C-1822-2014, Scopus: 57130902500; **Исаева София Давидовна**, доктор техн. наук, гл. науч. сотрудник, isaevasofia@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-9640-2191>, Scopus: 57193422572; **Матвеев Андрей Валерьевич**, канд. техн. наук, вед. науч. сотрудник, andrey@vniigim.ru (ФНЦ ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова, г. Москва); **Шабанов Рустам Михайлович**, канд. с.-х. наук, вед. науч. сотрудник, rustam1_9@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8012-692X>, Scopus: 57220038266 (Калмыцкий филиал ФНЦ ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова, г. Элиста).

УДК 631.67

КООРДИНАЦИОННАЯ РАБОТА ВНИИГИМ И ВНИИОЗ ПО ПРОГРАММЕ «МЕЛИОРАЦИЯ»: ПРОШЛОЕ, НАСТОЯЩЕЕ, БУДУЩЕЕ

А.Е. НОВИКОВ, И.П. КРУЖИЛИН, А.А. НОВИКОВ, О.П. КОМАРОВА

Ключевые слова: мелиорация, орошение, адаптивно-ландшафтные системы земледелия, координация научных исследований.

Keywords: melioration, irrigation, adaptive landscape farming systems, coordination of scientific research.

Аннотация. В статье рассмотрена координационная работа ВНИИ гидротехники и мелиорации им. А.Н. Костякова и ВНИИ орошаемого земледелия по выполнению НТП «Мелиорация». Показано, что итогом реализации программы «Мелиорация земель» стала разработка систем и технологий управления комплексной мелиорацией сельскохозяйственных угодий и моделей экологически адаптивных систем орошаемого земледелия на ландшафтной основе для различных регионов Российской Федерации. Их освоение позволяет обеспечить устойчивое производство экологически безопасной сельскохозяйственной продукции на орошаемых землях России при высоком (более 50%) уровне рентабельности. Результаты исследований по различным природным зонам страны легли в основу создания систем орошаемого земледелия, адаптированных к почвенно-климатическим условиям с целью повышения продуктивности агроландшафтов.

Abstract. The article considers the coordination work of the All-Russian Research Institute of Hydraulic Engineering and Land Reclamation named after A.N. Kostyakov and the All-Russian Research Institute of Irrigated Agriculture in implementing the Scientific and Technical Program «Land Reclamation». It is shown that the result of the implementation of the «Land Reclamation» program was the development of systems and technologies for managing complex reclamation of agricultural lands and models of ecologically adaptive systems of irrigated agriculture on a landscape basis for various regions of the Russian Federation. Their development allows for sustainable production of environmentally friendly agricultural products on irrigated lands in Russia at a high (more than 50%) level of profitability. The results of studies on various natural zones of the country formed the basis for the creation of irrigated agriculture systems adapted to soil and climatic conditions in order to increase the productivity of agricultural landscapes.

С момента организации Россельхозакадемии Указом Президента РФ «О Российской академии сельскохозяйственных наук» от 30 января 1992 г. № 84 на нее

возложено научное обеспечение развития отечественного агропромышленного комплекса и координация научно-исследовательских работ. Во исполнение этого Указа и в соответствии с федеральным законом РФ «О науке и государственной научно-технологической политике» от 23 августа 1996 г. № 127-ФЗ Отделение мелиорации, водного и лесного хозяйства РАСХН, объединившее ведущие мелиоративные институты, в числе которых были ВНИИГиМ и ВНИИОЗ – в настоящее время Федеральный научный центр гидротехники и мелиорации им. А.Н. Костякова, с 2001 по 2010 г. проводило исследования в рамках Межведомственной координационной программы фундаментальных и приоритетных прикладных исследований по научному обеспечению развития АПК РФ. С 2010 г. общее руководство координацией НИР по сельскохозяйственным наукам начал осуществлять Межведомственный координационный совет по научному развитию агропромышленного комплекса Российской Федерации при Президиуме Россельхозакадемии.

Цель координации научных исследований в сельскохозяйственной науке состояла в повышении комплексности научных исследований, устранении дублирования, интеграции усилий научно-исследовательских учреждений всех министерств и ведомств для решения проблем отечественного АПК.

С 1990 по 2015 г. мелиоративными институтами Отделения мелиорации, водного и лесного хозяйства РАСХН, проводились исследования в рамках выполнения НТП «Мелиорация» по разработке:

- научных основ и технологий комплексной, экологически безопасной мелиорации земель, водообеспечения, формирования устойчивых, экологически сбалансированных агролесоландшафтов на эродированных и аридных землях;

- методологии и информационных технологий формирования и управления функционированием мелиоративных, водохозяйственных, агролесомелиоративных и лесохозяйственных комплексов.

Роль координатора НИР взял на себя ВНИИГиМ, став головным научно-методическим и координирующим центром мелиоративной науки (руководитель НИР по проблеме — академик РАН Б.М. Кизяев). Головным институтом по реализации программы «Мелиорация» по направлению орошаемое земледелие был определен ВНИИОЗ (руководитель НИР — академик РАН И.П. Кружилин).

Важность проведения исследований по созданию научных основ орошаемого земледелия определялась необходимостью гарантированного обеспечения потребностей населения сельскохозяйственной продукцией на базе широкого развития мелиорации как одного из факторов повышения устойчивости развития сельского хозяйства, сохранения и роста продуктивности земель, поиска эффективных путей их использования с учетом современных требований ландшафтного земледелия. В этих условиях дальнейшее совершенствование теории, методов и технологий управления комплексной мелиорацией земель с обоснованием принципов оптимизации структуры агроландшафтов, допустимых пределов насыщения их орошаемыми землями, созданием мелиоративных систем многоцелевого использования и адаптивно-ландшафтных систем орошаемого земледелия, основанных на ресурсосбережении, экологизации и автоматизации технологических процессов, являлось и будет актуальным для высокопродуктивного и устойчивого ведения сельскохозяйственного производства в засушливых регионах страны [1–3].

При реализации Программы ВНИИ орошаемого земледелия совместно с институтами-соисполнителями решались задачи по направлениям [4]:

- разработка схем севооборотов с научно-обоснованным набором высокопродуктивных видов и сортов сельскохозяйственных культур, обеспечивающих воспроизводство плодородия почвы и экономически оправданный выход продукции с гектара орошаемой пашни;

- разработка способов управления производственными процессами орошаемых агрофитоценозов, обеспечивающих выход на запланированные уровни урожайности (10...15 тыс. к.ед./га), ресурсо- и энергосбережение (10...20 %), сохранение или расширенное воспроизводство плодородия почвы;

- разработка дифференцированных систем комплексной мелиорации экологически дестабилизированных земель, способствующих восстановлению продуктивного потенциала;

- разработка научно обоснованных водосберегающих технологий орошения овощных культур при сохранении экологической безопасности;

- введение в культуру новых видов и экотипов кормовых растений многоцелевого использования на основе мобилизации растительных ресурсов, комплексного изучения, оценки и освоения на деградированных лугах и пахотных угодьях, выведенных из сельскохозяйственного оборота;

- разработка научных основ биологизированной ресурсосберегающей системы применения хлореллы, различных видов органических удобрений в сочетании с минеральными в орошаемых севооборотах;

- проведение фитосанитарной оценки агроценозов в биологизированных орошаемых севооборотах и усовершенствование комплексной системы защиты растений;

- создание для условий орошения новых энергосберегающих, высокоурожайных сортов-генотипов растений зерновых, масличных культур и трав с хозяйственно ценными признаками, устойчивостью к стрессовым факторам и с многоцелевым использованием конечной продукции;

- проведение оценки эффективности инвестиций в орошаемом земледелии.

В 2002 г. во ВНИИ орошаемого земледелия начал работу координационный совет «Орошаемое земледелие». В его состав входили руководители и ведущие ученые Россельхозакадемии, Депмелиоводхоза МСХ, исследовательских и образовательных учреждений России, специалисты Облкомсельхоза Волгоградской области. Основной задачей координационной деятельности ВНИИОЗ являлось проведение и систематизация научных исследований в различных регионах по разработке и освоению адаптивных систем орошаемого земледелия, обеспечивающих устойчивое ведение сельскохозяйственного производства, повышение продуктивности мелиорированных агроландшафтов при сохранении плодородия почвы.

В выполнении задания в разные годы участвовало более 30 институтов, в числе которых ВНИИ мелиорированных земель, ВНИИ риса, ВНИИ кормов им. В.Р. Вильямса, ВНИИ орошаемого овощеводства и бахчеводства, Башкирский НИИСХ, Дагестанский НИИСХ, Донской зональный НИИСХ, Уральский НИИСХ, Калмыцкий филиал ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова, НИИСХ ЦЧП им. В.В. Докучаева, Самарский НИИСХ им. Н.М. Тулайкова, Сибирский НИИСХ, Прикаспийский НИИ аридного земледелия, Челябинский НИИСХ, Краснодарский НИИСХ, Сибирский НИИ кормов, Поволжский НИИСС им. П.Н. Константинова, ВНИИ картофельного хозяйства им. А.Г. Лорха, ВНИИ зерновых культур им. И.Г. Калининко, Ставропольский НИИ животноводства и кормопроизводства, Оренбургский НИИСХ, Татарский НИИСХ, Поволжский НИИ эколого-мелиоративных технологий, Российский НИИ проблем мелиорации, Волжский ВНИИГиМ, Ставропольский ВНИИГиМ, Сибирский ВНИИГиМ, ВНИИ «Радуга», Новочеркасская ГМА, Дагестанская ГСХА.

В рамках выполнения поставленных задач ВНИИОЗ и институтами-соисполнителями разрабатывались технологические схемы создания устойчивых систем орошаемого земледелия на основе нового поколения

машин, перспективных сортов сельскохозяйственных культур, обеспечивающих повышение продуктивности мелиорируемого гектара на 30...40 %.

В исследованиях ВНИИОЗ, Дагестанского и Сибирского НИИСХ, других институтов были установлены основные принципы конструирования и освоения экологически обоснованных схем кормовых, зерно-кормовых и других севооборотов в системах орошаемого земледелия [5, 6]. Обоснована агробиологическая целесообразность, экономическая эффективность и экологическая защищенность освоения в крупных орошаемых хозяйствах 6...7-польных севооборотов, которые рекомендуются формировать из 2...3 имеющих определенную самостоятельность модулей, придающих севообороту гибкость, пластичность, с уровнем продуктивности до 10 тыс. к.ед./га севооборотной площади. В хозяйствах, имеющих небольшие площади орошения, рекомендовано использование 3...5-польных севооборотов с использованием рейтинговых культур. Установлено, что в качестве базовых культур во всех типах севооборотов необходимо использовать многолетние травы (таблица).

Самарским и Башкирским НИИСХ, НИИСХ ЦЧП им. В.В. Докучаева установлена высокая отзывчивость культур севооборотов на применение удобрений, обеспечивающих получение до 8,2 т/га сухого вещества, 3,8...4,2 т/га озимой пшеницы, 5...6 т/га кукурузы.

По данным Сибирского НИИСХ, насыщение севооборотов бобовыми травами и их смесями с мятликовыми позволило снизить применение азотных удобрений без ущерба для продуктивности посевов и качества продукции. В исследованиях ВНИИОЗ отмечен положительный баланс гумуса при запашке соломы 6 т/га с внесением за ротацию $N_{360}P_{240}K_{240}$ [7–9].

Продолжались исследования по разработке ресурсосберегающих технологий орошения зерновых, кормовых и технических культур при различных способах полива (поверхностное, дождевание, капельное), обеспечивающих повышение продуктивности культур при уменьшении энергопотребления, предотвращении деградации мелиорированных земель. Особого внимания заслуживают разработки под руководством академика РАН И.П. Кружилина по агротехнике риса [10–12].

ВНИИОЗ, ВНИИ риса, Дагестанской ГСХА проводились исследования по разработке технологии воз-

делывания риса с периодическими поливами, прерывистым (импульсным) и постоянным затоплением чеков. Установлено, что продуктивность риса сорта Волгоградский изменялась от 4,2 до 4,8 т/га при суммарном водопотреблении 4,7 тыс. м³/га, что в 3,5 раза меньше, чем при затоплении чеков.

Результаты исследований ВНИИ риса показали, что прерывистое затопление чеков снижает полегаемость риса, экономия оросительной воды составляет 1,7...3,6 тыс. м³/га, а урожайность лишь на 2,3...4,5 % ниже, чем при постоянном затоплении. В опытах Дагестанской ГСХА наибольшая урожайность риса была получена при укороченном затоплении чеков – 6,1...7,2 т/га по гербицидной и 4,3...5,1 по без гербицидной технологиях.

Опыты, проведенные ВНИИОЗ по орошению сои капельным способом и при дождевании, показали, что количество поливов изменяется в разные годы от 8 до 20, оросительная норма – от 1680 до 2350 м³/га. Суммарное водопотребление составляло 2,9...3,5 тыс. м³/га. Максимальную урожайность – 3,9...4,2 т/га – соя сформировала при предположимом пороге влажности 80 % НВ и внесении $N_{216}P_{75}K_{54}$, минимальную – 1,63 т/га – при 70 % НВ и $N_{88}P_{35}K_{27}$ [13].

ВНИИОЗ, Калмыцкий филиал ВНИИГиМ, Сибирский, Донской зональный и Самарский НИИСХ исследования по орошению культур севооборотов проводили при дождевании современными зарубежными дождевальными машинами Rainstar Bauer. Установлено, что новые машины отличаются мобильностью, высоким коэффициентом надежности, но по интенсивности дождя они уступают российским аналогам [14, 15].

ВНИИОЗ разработана информационная система оперативного управления водным режимом почвы с учетом климатической ситуации для получения запланированной урожайности зерновых, кормовых и овощных культур при дождевании, поверхностном и капельном способах полива при различных сочетаниях факторов жизни растений и установлении закономерностей продукционных процессов агрофитоценозов (рисунок) [15].

Заслуживают внимания результаты исследований ВНИИОЗ по разработке комплексного метода мелиорации орошаемых солонцов на естественно дренированных землях, в которых обоснован метод повышения их плодородия при использовании в качестве ме-

Севообороты для орошаемого земледелия

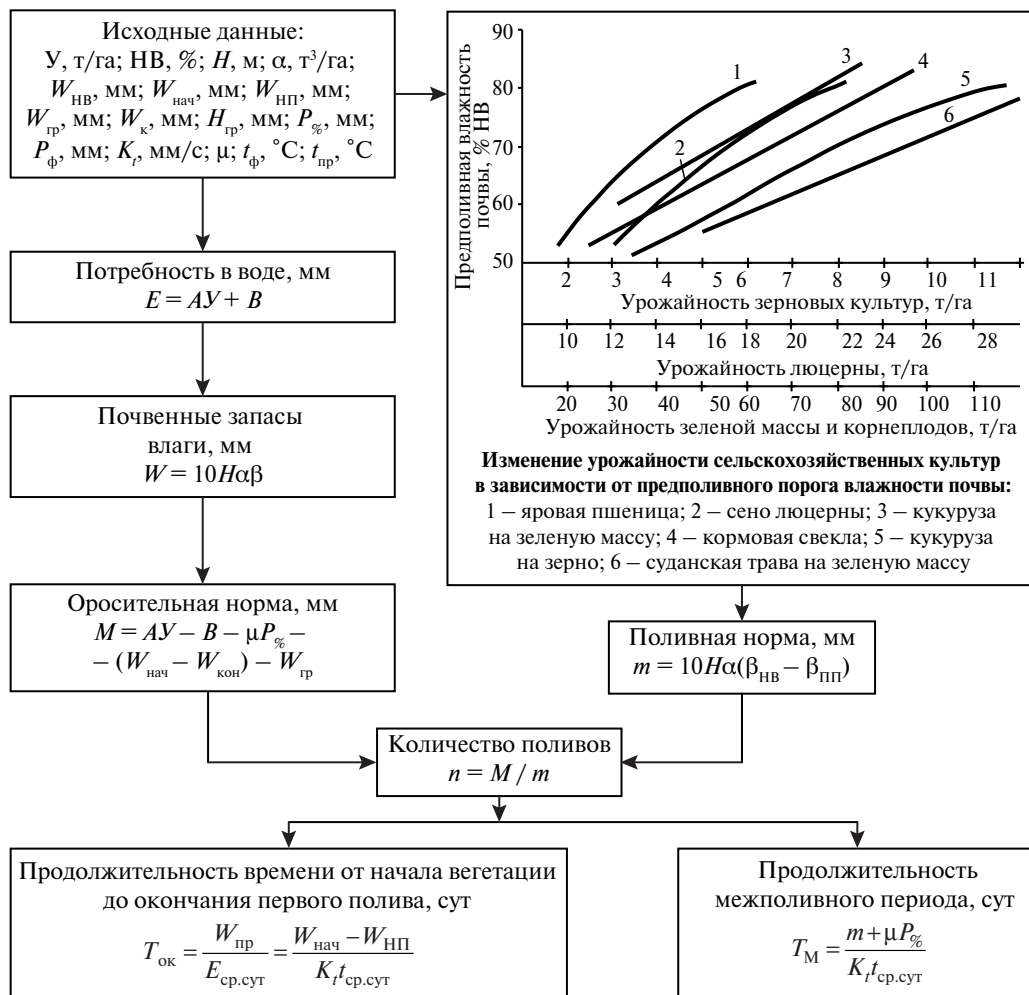
Зерно-овоще-кормовой	Зерно-овощной	Зерно-кормовой	Семенной кормовых культур
Структура севооборота			
1. Люцерна под покровом яровых колосовых. 2, 3. Люцерна. 4. Кукуруза на зерно. 5. Овощи, картофель. 6. Кукуруза на силос	1. Вико-овсяная смесь. 2. Озимая пшеница + пожнивные. 3. Зернобобовые (соя). 4. Кукуруза на зерно. 5. Картофель, овощи. 7. Смеси однолетних культур	1–3. Люцерна на зеленую массу. 4. Люцерна 1-й укос. 5. Озимая пшеница + пожнивные. 6. Яровые колосовые (ячмень, яровая пшеница). 7. Суданская трава, сорго на семена	1. Вико-овсяная смесь. 2. Озимая рожь + поукосные. 3. Суданская трава. 4. Смеси однолетних культур (кукуруза + соя, кукуруза + сорго + соя)
Суммарное водопотребление севооборотной площади, м ³ /га			
6550	6100	5900	5320
Энергетическая емкость севооборотной площади, ГДж/га			
52,0	46,9	42,6	36,8

лиорантов навоза, гипса и сернокислого железа. Установлено, что дробное внесение навоза, гипса и сернокислого железа способствовало повышению плодородия солонцов почти до уровня таксонов зональной почвы. Реставрация плотности и щелочности солонцов произошла через 3 года постмелиоративного периода – количество водопрочных агрегатов (>0,25 мм) в слое 0...0,4 м по сравнению с исходным состоянием увеличилось с 23,3...23,7 до 34,7...35 %, общая порозность – с 49...43,1 до 51...46,6 %, водопроницаемость с поверхности почвы – с 44,8 до 74,7 мм/ч. Одновременно с этим плотность почвы снизилась с 1,28...1,44 до 1,23...1,35 т/м³, а также наметилась тенденция увеличения содержания гумуса (с 1,47...1,28 до 1,77...1,36 %) [16, 17].

Одним из разделов координационной программы является разработка научных основ управления продукционным процессом и ресурсосберегающих экологически безопасных технологий возделывания сельскохозяйственных культур, обеспечивающих высокую продуктивность, сохранение и приумножение почвенного плодородия.

ВНИИОЗ и институтами-соисполнителями установлены основные параметры управления продукционным процессом и адаптивных технологий возделывания кормовых зерновых, технических, овощных культур на основе применения новых видов и сортов растений, рациональных сочетаний водного и пищевого режимов почвы, обеспечивающих получение запланированных уровней урожайности при экономии водных и энергетических ресурсов.

Во ВНИИОЗ впервые в регионе была научно обоснована и экспериментально подтверждена система управления продукционным процессом поликомпонентных смесей из многолетних трав при 3...5- и 7-летнем использовании травостоя на основе сочетания основных урожаяобразующих факторов: виды трав, соотношение компонентов, размещение компонентов, нормы высева, сорта, режимы орошения и расчетные дозы удобрений.



Блок-схема расчета режима орошения

Разработанные рациональные сочетания позволяют формировать хозяйствам с различным ресурсным обеспечением от 20...30 до 70...90 т/га зеленой массы с высоким содержанием переваримого протеина и обменной энергии.

ВНИИОЗ, Калмыцкий филиал ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова, Новочеркасская ГМА, СтавНИИЖиК, Башкирский и Сибирский НИИСХ разработаны технологии возделывания одновидовых и смешанных посевов однолетних кормовых культур: сорго, суданской травы, амаранта, подсолнечника, кормовых бобов, озимой ржи, редьки, могоара. Установлено, что кормовая продуктивность этих культур достигает 7,5...11 тыс. к. ед. с гектара. При этом, например, в Башкирии, на 1 кг д.в. НРК прибавка урожая составляет 1,3...1,4 тыс. кормовых единиц, в НИИСХ ЦЧП им. В.В. Докучаева расчетные системы удобрений обеспечивают получение урожая озимой ржи от 24 до 37, кукурузы – от 31 до 77, свеклы – от 91 до 147 т/га.

В Дагестанском НИИСХ смешанные посевы топинамбура с кукурузой формируют 40...45 т/га зеленой массы кукурузы и 12...13 т/га клубней топинамбура.

Таким образом, на основе комплексной оценки основных урожаяобразующих факторов ВНИИОЗ и институтами-соисполнителями разработаны техно-

логические схемы и рекомендации по управлению производственным процессом орошаемых агрофитоценозов, ресурсосберегающие технологии возделывания сельскохозяйственных культур, обеспечивающие получение заданных уровней продуктивности, высокое качество продукции, сохранение почвенного плодородия и экологическую безопасность окружающей среды. Результаты исследований позволили создать системы орошаемого земледелия, адаптированные к почвенно-климатическим условиям регионов России с целью обеспечения устойчивого производства сельскохозяйственной продукции и повышения продуктивности агроландшафтов [19, 20].

С учетом опыта прошлых лет успешной координации научных исследований необходимо восстановить эту работу в рамках выполнения Программы ФНИ. Созданный федеральный научный центр гидротехники и мелиорации им. А.Н. Костякова, объединивший ВНИИГиМ и ВНИИОЗ, сегодня обладает такими компетенциями и готов осуществлять научное обеспечение комплексных мелиораций, в том числе по научным направлениям «Орошаемое земледелие» и «Орошаемое кормопроизводство», основные задачи которых связаны с разработкой новых агротехнологий, моделей севооборотов разной специализации и ротации культур, адаптивно-ландшафтных систем орошаемого земледелия в целях достижения уровня продуктивности орошаемого гектара 15 тыс. к. ед. и более при сохранении плодородия почвы.

ЛИТЕРАТУРА

- Новиков А.Е. Задачи мелиорации, очередные и главные // Орошаемое земледелие. 2023. № 2(41). С. 5–6.
- Новиков А.Е., Новиков А.А. Научное обеспечение орошаемого земледелия // Орошаемое земледелие. 2023. № 3 (42). С. 5–7.
- Новиков А.Е., Комарова О.П. Проблемы и направления исследований в орошаемом земледелии // Мелиорация и водное хозяйство. 2021. № 5. С. 8–10.
- Новиков А.Е., Новиков А.А. Научное обеспечение орошаемого земледелия аридных территорий. ВНИИОЗу – 55 лет! // Орошаемое земледелие. 2022. № 3. С. 8–10.
- Кормовые севообороты в условиях орошения / О.Г. Чамурлиев, З.П. Гудкова, Н.П. Мелихова и др. // Кормопроизводство в Нижнем Поволжье: сб. науч. тр. Волгоград: ВНИИОЗ, 1999. С. 13–18.
- Некоторые итоги по сравнительной оценке различных орошаемых севооборотов и влиянию их на плодородие светло-каштановых почв / О.Г. Чамурлиев, В.Ф. Мамин, З.П. Гудкова и др. // Орошаемое земледелие в агроландшафтах степей: сб. науч. тр. Волгоград: ВНИИОЗ, 1994. С. 45–49.
- Дронова Т.Н. Клевер луговой на орошаемых землях Нижнего Поволжья: монография. Волгоград: ВНИИОЗ, 2004. 236 с.
- Ресурсосберегающие технологии возделывания клевера лугового на орошаемых землях Российской Федерации: рекомендации / Т.Н. Дронова, Н.И. Бурцева, О.П. Комарова и др. М., 2005. 69 с.
- Бобово-мятликовые травосмеси на орошаемых землях Нижнего Поволжья: монография / Т.Н. Дронова, Н.И. Бурцева, Е.И. Молоканцева и др. Волгоград: ВНИИОЗ, 2022. 108 с.
- Кружилин И.П., Новиков А.Е., Дубенок Н.Н. Обоснование водного режима почвы и регламента поливов аэробного риса // Вестник российской сельскохозяйственной науки. 2021. № 1. С. 62–66.
- Патент на изобретение № 2687527 Российская Федерация, МПК А01G 22/22, А01B 79/02, А01G 25/02. Способ возделывания риса при малообъемном приземном дождевании // М.А. Ганиев, И.П. Кружилин, В.В. Мелихов и др. Опубл. 14.05.2019.
- Водопотребление риса и удельные затраты на формирование урожая зерна при разных способах полива / И.П. Кружилин, М.А. Ганиев, Н.В. Кузнецова и др. // Известия НВ АУК. 2018. № 1(49). С. 108–117.
- Чамурлиев О.Г., Мелихова Н.П., Зинченко Е.В. Минимизация способов основной обработки почвы под сою на орошаемых землях Нижнего Поволжья: монография. Волгоград, 2013. 104 с.
- Проектирование и расчет систем дождевания и капельного орошения сельскохозяйственных культур: метод. пособие / В.В. Мелихов, И.П. Кружилин, Н.Н. Дубенок и др. Волгоград: ВНИИОЗ, 2017. 184 с.
- Научное обоснование дождевальной техники и режимов орошения сельскохозяйственных культур в Нижнем Поволжье: метод. рекомендации / В.В. Мелихов, И.П. Кружилин, А.Г. Болотин и др. Волгоград: ВНИИОЗ, 2015. 40 с.
- Кружилин И.П., Казакова Л.А. Комплексная мелиорация солонцов на орошаемых землях Волго-Донского междуречья // Почвоведение. 2003. № 5. С. 623–629.
- Кружилин И.П., Казакова Л.А. Комплексная мелиорация почв солонцовых комплексов в Нижнем Поволжье // Доклады Российской академии сельскохозяйственных наук. 2011. № 1. С. 38–40.
- Дронова Т.Н., Бурцева Н.И., Молоканцева Е.И. Научные результаты исследований по многолетним травам // Известия НВ АУК. 2017. № 3(47). С. 46–56.
- Иванов А.Л., Кулик К.Н. Система адаптивно-ландшафтного земледелия Волгоградской области на период до 2015 года. Волгоград, 2009. 302 с.
- Кружилин И.П. Системы орошаемого земледелия в засушливых регионах России // Мелиорация и водное хозяйство. 1996. № 6. С. 9.

REFERENCES

- Novikov A.E. Land reclamation tasks, immediate and main // Irrigated agriculture. 2023. No. 2 (41). P. 5–6.
- Novikov A.E., Novikov A.A. Scientific support for irrigated agriculture // Irrigated agriculture. 2023. No. 3(42). P. 5–7.
- Novikov A.E., Komarova O.P. Problems and directions of research in irrigated agriculture // Melioration and Water Management. 2021. No. 5. P. 8–10.
- Novikov A.E., Novikov A.A. Scientific support for irrigated agriculture in arid territories. VNIIOZ is 55 years old! // Irrigated agriculture. 2022. No. 3. P. 8–10.
- Forage crop rotations under irrigation conditions / O.G. Chamurliiev, Z.P. Gudkova, N.P. Melikhova, et al. // Forage production in the Lower Volga region: collection of scientific papers. Volgograd: VNIIOZ, 1999. P. 13–18.
- Some results on the comparative assessment of various irrigated crop rotations and their influence on the fertility of light chestnut soils / O.G. Chamurliiev, V.F. Mamin, Z.P. Gudkova, et al. // Irrigated agriculture in steppe agrolandscapes: collection of scientific papers. Volgograd: VNIIOZ, 1994. P. 45–49.
- Dronova T.N. Red clover on irrigated lands of the Lower Volga region: monograph. Volgograd: VNIIOZ, 2004. 236 p.
- Resource-saving technologies for cultivating red clover on irrigated lands of the Russian Federation: recommendations / T.N. Dronova, N.I. Burtseva, O.P. Komarova et al. M., 2005. 69 p.
- Legume-bluegrass grass mixtures on irrigated lands of the Lower Volga region: monograph / T.N. Dronova, N.I. Burtseva, E.I. Molokantseva et al. / VNIIOZ. Volgograd, 2022. 108 p.
- Kruzhilin I.P., Novikov A.E., Dubenok N.N. Justification of the soil water regime and irrigation regulations for aerobic rice // Vestnik of the Russian agricultural sciences. 2021. No. 1. P. 62–66.
- Patent for invention No. 2687527 Russian Federation, IPC A01G 22/22, A01B 79/02, A01G 25/02. Method for cultivating rice with low-volume surface sprinkling / M.A. Ganiev, I.P. Kruzhilin, V.V. Melikhov et al. Published 14.05.2019.
- Water consumption of rice and specific costs for grain yield formation with different irrigation methods / I.P. Kruzhilin, M.A. Ganiev, N.V. Kuznetsova et al. // Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp. 2018. No. 1 (49). P. 108–117.
- Chamurliiev O.G., Melikhova N.P., Zinchenko E.V. Minimization of primary tillage methods for soybeans on irrigated lands of the Lower Volga region: monograph. Volgograd, 2013. 104 p.
- Design and calculation of sprinkler and drip irrigation systems for agricultural crops: method. manual / V.V. Melikhov, I.P. Kruzhilin, N.N. Dubenok et al. Volgograd: VNIIOZ, 2017. 184 p.
- Scientific substantiation of sprinkler equipment and irrigation modes for agricultural crops in the Lower Volga region: method. recommendations / V.V. Melikhov, I.P. Kruzhilin, A.G. Bolotin et al. Volgograd: VNIIOZ, 2015. 40 p.

16. Kruzhilin I.P., Kazakova L.A. Integrated melioration of solonetz soils on irrigated lands of the Volga-Don interfluvium // Eurasian Soil Science. 2003. No. 5. P. 623–629.

17. Kruzhilin I.P., Kazakova L.A. Integrated melioration of solonetz soils in the Lower Volga region // Russian Agricultural Sciences. 2011. No. 1. P. 38–40.

18. Dronova T.N., Burtseva N.I., Molokantseva E.I. Scientific results of research on perennial grasses // Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp. 2017. No. 3(47). P. 46–56.

19. Ivanov A.L., Kulik K.N. Adaptive landscape farming system of the Volgograd region for the period up to 2015. Volgograd, 2009. 302 p.

20. Kruzhilin I.P. Irrigated farming systems in arid regions of Russia // Melioration and Water Management. 1996. No. 6. P. 9.

Новиков Андрей Евгеньевич, доктор техн. наук, член-корр. РАН, директор, ae_novikov@mail.ru, ORCID: 0000-0002-8051-4786; **Кружилин Иван Пантелеевич**, доктор с.-х. наук, профессор, академик РАН, гл. науч. сотрудник, vnioz@yandex.ru, ORCID: 0009-0001-8749-4044; **Новиков Алексей Андреевич**, доктор с.-х. наук, зам. директора по научной работе, alexeynovikov@inbox.ru, ORCID: 0000-0002-7698-8268; **Комарова Ольга Петровна**, канд. с.-х. наук, вед. науч. сотрудник, komarova62@rambler.ru, ORCID: 0000-0001-9129-6932 (ВНИИОЗ – филиал ФНЦ ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова, г. Волгоград).

УДК 631.6

ВКЛАД 70-ЛЕТНЕЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ МЕЩЕРСКОГО ФИЛИАЛА К 100-ЛЕТИЮ ВНИИГИМ

А.В. ИЛЬИНСКИЙ, П.И. ПЫЛЕНКО

Ключевые слова: мелиорация, осушение, орошение, экспериментальные исследования.

Keywords: land reclamation, drainage, irrigation, experimental research.

Аннотация. Подведены итоги 70-летней научной деятельности Мещерского филиала, их роль и место в результатах и достижениях ФГБНУ «ФНЦ ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова» в связи со 100-летним юбилеем. Определены перспективные направления исследований, обеспечивающие развитие мелиоративного комплекса и обеспечение экологической безопасности мелиорации земель Нечерноземной зоны России.

Abstract. The results of the 70-year scientific activity of the Meshchersk branch, their role and place in the results and achievements of the Federal State Budgetary Institution «FNC VNIIGiM named after A.N. Kostyakov» in connection with the 100th anniversary are summarized. Promising research directions have been identified to ensure the development of the reclamation complex and ensure the environmental safety of land reclamation in the Non-Chernozem zone of Russia.

В период масштабной мелиорации в стране, начавшейся в 1966 г. по постановлению ЦК КПСС «О широком развитии мелиорации земель для получения высоких и устойчивых урожаев зерновых и других сельскохозяйственных культур», Всероссийский научно-исследовательский институт гидротехники и мелиорации имени А.Н. Костякова (ВНИИГиМ), как головной и координирующий центр мелиоративной науки, создает широкую сеть опытно-мелиоративных станций и опорных пунктов. В их число вошла и Мещерская зональная опытно-мелиоративная станция (МЗОМС), созданная в 1954 г. в 20 км от г. Рязани по распоряжению Совмина СССР от 09.07.1954 № 7418-Р на базе закрывшейся в то время Орловской ОМС. Целью создания МЗОМС ставилось проведение научно-исследовательских работ по вопросам мелиорации земель Мещерской низменности, обширной заболоченной территории в границах Московской, Рязанской и Владимирской областей. В задачи станции входили научные исследования и внедрение научных достижений в колхозное и совхозное производство по вопросам мелиорации земель и их сельскохозяйственного использования, а также обобщение передового аграрного опыта в условиях Мещерской низменности. Структура станции состояла из четырех отделов (осушения, освоения, механизации, экономики), трех лабораторий (гидромелиоративной, почвенно-мелиоративной и радиоизотопной), трех опорных пун-

ктов (Правобережный – г. Кадом, Клепиковский – г. Спас-Клепики и Владимирский – п. Собинка, Владимирской области), а также опытно-производственного хозяйства ОПХ «Полково» [1, 2].

Первым научным работником, прибывшим в Мещеру, был инженер-гидротехник Борис Степанович Маслов, только что окончивший институт. Первым директором МЗОМС стал Антон Изотович Федоров, возглавлявший в то время Кировскую луго-болотную станцию. Им выбрано место для станции и организован научный коллектив, но из Кировской области его не отпустили, а директором был назначен Карелин Тимофей Иванович. При нем были организованы опытные участки для проведения полевых наблюдений. В дальнейшем много лет МЗОМС возглавлял Антонов Всеволод Иванович, организовавший исследования по дренажу, в т. ч. пластмассовому, созданию мелиоративной техники. Последним директором МЗОМС был Родин Константин Иванович.

В результате проведенных исследований и их производственной проверки научным коллективом МЗОМС были разработаны и переданы производству научно обоснованные рекомендации: по методам и способам осушения земель; по интенсивному использованию земель Приокской поймы; по освоению и сельскохозяйственному использованию осушаемых болот и пойменных земель; эффективно-му использованию мелиорируемых земель Рязанской области. Учеными станции, в содружестве с проектно-конструкторскими организациями, были созданы бестраншейный дренаж ДПБН-1,8 и ложбиноделатель ЛН-0,4. Для оценки водного баланса мелиорируемых земель и определения оптимальных норм осушения проводились лизиметрические исследования с применением лизиметров конструкции ВНИИГиМ. Для оценки влияния осушения на окружающую среду в 1976 г. на станции был организован сектор охраны природы при мелиорации земель. В МЗОМС работали над кандидатскими диссертациями будущие доктора наук Г.И. Сухоручкин, Б.С. Маслов, А.И. Голованов, Х.Н. Стариков, подготовил докторскую диссертацию Д.Г. Головкин, работал д.б.н. К.А. Кур-

кин, к.с.-х.н. Бахулин, к.г.н. А.А. Исполинов, к.т.н. В.А. Минаев, к.т.н. В.Д. Степанов, к.т.н. В.Ф. Ходаков, к.с.-х.н. И.М. Чекунов. Здесь стали кандидатами наук В.П. Зоткин, В.А. Лисютин, З.В. Лисютина, Р.Н. Марчук, А.С. Медведева, Л.П. Овцов, К.И. Родин, Ю.А. Томин, П.И. Пыленок, И.В. Сидоров и др. На специально организованных курсах велась подготовка мастеров-мелиораторов и поливальщиков. За передовые научные исследования по мелиорации земель Мещеры и практическую помощь производству Мещерской ЗОМС в 1974 г. было вручено Красное Знамя Министерства мелиорации и водного хозяйства.

В 1978 г. на базе МЗОМС и Рязанского отдела мелиорации ВНИИГиМ в соответствии с решением Коллегии государственного комитета Совета Министров СССР по науке и технике от 27 декабря 1977 г. (протокол № 64 п. VIII) и по приказу Министерства мелиорации и водного хозяйства СССР от 28 марта 1978 г. был организован Мещерский филиал ВНИИГиМ, принявший эстафету в подготовке научных кадров и продолжении научных исследований, проводившихся на созданных к тому времени мелиоративно-болотных стационарах на объектах «Тинки-П», «Вожа», «Совка», «Пра», «Макеевский мыс» и др. Первым директором филиала стал руководитель Рязанского отдела мелиорации ВНИИГиМ к.т.н. Е.С. Анциферов. Структура научных подразделений Мещерского филиала включала: лабораторию осушения, лабораторию орошения, лабораторию технологии строительства и эксплуатации мелиоративных систем, лабораторию мелиоративного земледелия, лабораторию охраны природы при мелиорации, сектор экономики. В целях более детального изучения вопросов оросительных мелиораций при филиале было создано два новых опорных пункта (Мордовский и Рязанский) [3].

В 1970—80-е годы коллективом филиала проводилась разработка способов и режимов осушения болот и заболоченных земель, конструкций осушительно-увлажнительных и польдерных систем, режимов орошения сельскохозяйственных культур, технологии строительства узкотраншейного и бестраншейного дренажа, изучение влияния мелиорации на окружающую среду и разрабатывались природоохранные мероприятия по ее охране и рациональному использованию природных ресурсов [4, 5]. В коллектив опытных ученых филиала влились молодые сотрудники: к.т.н. Е.А. Стельмах, к.т.н. П.И. Пыленок, к.с.х.н. Ю.А. Мажайский, к.с.х.н. В.Ф. Евтюхин, к.с.х.н. В.Н., Сельмен к.т.н. К.Н. Евсенкин, внесшие новую струю в развитие научных исследований. При мелиоративном фонде осушения в 320 тыс. га было осушено около 100 тыс. га, в том числе около 40 тыс. га — закрытым дренажом. Глубокое научное обоснование позволило создать в Рязанской области современные, технически совершенные системы осушения с машинным водоподъемом, осушительно-увлажнительные системы с двусторонним регулированием водного режима почв, такие как: «Совка», площадью свыше 8 тыс. га; «Макеевский мыс», площадью более 2 тыс. га; «Тюковский», площадью около 1 тыс. га и ряд других объектов. В эти годы с помощью ученых Мещерского филиала были построены оросительные систе-

мы на площади около 40 тыс. га. Совместно с учеными ВНИИГиМ разработан и внедрен мелкодисперсный способ дождевания. Изготовлено и опробовано приспособление к дождевальной установке ДДА-100, позволившее уменьшить расход воды при поливе овощей в 5...6 раз. На основе расчета элементов водного баланса были уточнены режимы орошения пастбищ, сенокосов, кормовых и овощных культур на пойменных землях. Крупнейшие производители овощей, такие как совхоз «Овощевод» (около 20 тыс. т овощей в год), совхоз «Московский» (около 10 тыс. т овощей в год), полностью обеспечивали потребность населения областного центра в овощной продукции. Оросительная система с клеточнозагонной пастбой коров в ОПХ «Полково» позволяла держать высокий надой и неоднократно являлась полигоном для проведения областных конкурсов мастеров машинного доения [2].

В постсоветский период работы по мелиорации земель стали быстро сворачиваться, соответственно, снижалась и востребованность научных разработок. Однако Мещерский филиал под руководством головного института продолжал исследования по таким актуальным направлениям, финансируемым из госбюджета по линии РАСХН [6], как разработка: новых конструкций водооборотных осушительно-увлажнительных систем; природоохранных мелиоративных режимов, в т. ч. в условиях антропогенного загрязнения земель; технологий возделывания сельскохозяйственных культур на мелиорируемых землях; методов, средств и форм управления режимами комплексных мелиораций земель для различных природных комплексов; научно-методических основ экологически безопасного и экономически эффективного функционирования систем водопользования в АПК с обоснованием экологического аудирования; агробиологических мелиораций техногенно загрязненных почв южной части Нечерноземной зоны Российской Федерации и др. Обозначенные разработки изложены в научном издании ВНИИГиМ «Методы и технологии комплексной мелиорации и экосистемного водопользования», изданном 2006 г.

Под новые условия изменялась и структура филиала, включающая четыре научных подразделения: лаборатория природоохранных мелиоративных технологий, лаборатория экологии природообустройства, почвенно-мелиоративная лаборатория, аналитическая лаборатория. Экспериментальная база включала: экополигон «Мещера» на землях ОПХ «Полково», лизиметрическую станцию на экополигоне «Мещера», ОПУ «Пойма». В этот период продолжалась и подготовка научных кадров. Кандидатами наук стали К.Н. Евсенкин, А.В. Ильинский, С.В. Перегудов, Л.И. Москвина, Е.Ю. Шилова, Р.И. Матюхин, Е.В. Жигулина и др. Подготовили и защитили докторские диссертации Ю.А. Мажайский, П.И. Пыленок.

Несомненным успехом научного коллектива стало участие филиала в 1990-х годах в международном российско-германском научно-техническом проекте «Ока-Эльба — чистые реки». В результате исследований совместно с немецкими учеными были установлены закономерности антропогенного загрязнения поймен-

ных агроландшафтов, получены методы оценки процесса седиментации аллювиальных почв в условиях паводков, разработаны технологии фиторемедиации загрязненных аллювиальных почв пойм Оки и Эльбы. Результаты этих исследований отражены в совместных трудах, опубликованных в России и Германии [7, 8].

Приоритетными направлениями в исследованиях филиала также стали: водорезимные эколого-мелиоративные исследования в бассейнах рек и на агроландшафтах; разработка методов, способов и технологий ведения инженерно-экологического мониторинга; исследования методов и способов утилизации сточных вод и животноводческих стоков; нормирование качественного и количественного водопользования в орошаемом земледелии; разработка системы земледелия в условиях комплексных мелиораций и т. д.

В сентябре 2014 г. ФГБНУ «ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова» и его филиалы из-под управления Российской академии наук и Россельхозакадемии перешли в ведение вновь созданного Федерального агентства научных организаций (ФАНО). В соответствии с Указом Президента Российской Федерации от 15 мая 2018 г. № 215 «О структуре федеральных органов исполнительной власти» и распоряжения Правительства Российской Федерации от 27 июня 2018 г. 1293-р ФАНО России было упразднено, правопреемником ФАНО России выступает Министерство науки и высшего образования Российской Федерации. После научной реформы в структуру филиала были внесены изменения: вместо существовавшей функциональной был осуществлен переход на проектную структуру, были созданы творческие группы по научным направлениям, отраженным прежде всего в госпрограмме. Мещерский филиал как структурное подразделение Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Всероссийский научно-исследовательский институт гидротехники и мелиорации имени А.Н. Костякова», был создан, прежде всего, как экспериментальная база института. Филиал проводит научные мониторинговые работы на мелиоративных объектах и в местах проведения полевых испытаний, участвует в рамках государственного задания в подготовке научных отчетов в части экспериментальных обоснований и разработке выходных документов, предусмотренных планом научно-исследовательской работы ФГБНУ «ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова». Направление научных исследований Мещерского филиала в области мелиоративного земледелия соответствует концепции развития сельского хозяйства России на текущее десятилетие, предусматривающей переход на модель устойчивого развития в долгосрочной перспективе, обеспечивающей решение задач снабжения населения высококачественной и экологически безопасной сельскохозяйственной продукцией и сохранения природно-ресурсного потенциала с ростом почвенного плодородия [3].

Изменение экономических отношений в стране в постсоветский период, проведение массовой приватизации сельхозугодий привели к тому, что в настоящее время значительные мелиорированные территории находятся в неудобстве, подвержены деградации, вто-

ричному заболачиванию, заочкаренности и закустаренности. Состояние почв на мелиорируемых землях не соответствует показателям, необходимым для получения высоких урожаев качественной растениеводческой продукции. Низкий уровень технического обеспечения тракторами, сельскохозяйственными и мелиоративными машинами, недостаток традиционных органических и минеральных удобрений, прежде всего у частного собственника земель, указывают на то, что рекомендации и технологии, разработанные в прошлом столетии, нуждаются в совершенствовании и адаптации к современным экономическим и экологическим требованиям. В этой связи одним из приоритетных направлений научных исследований Мещерского филиала является разработка современных мелиоративных и технологических решений по восстановлению и сохранению почвенного плодородия, получению экологически безопасной сельскохозяйственной продукции с соблюдением экологических требований и сохранением естественных природных ландшафтов, водных объектов и водно-болотных угодий. Перспективной территорией проведения научных исследований Мещерского филиала является южная часть Нечерноземной зоны Российской Федерации (Брянская, Орловская, Калужская, Липецкая, Рязанская области, Республика Мордовия) и Мещерская низменность, включающая в себя частично Московскую, Рязанскую, Владимирскую и Нижегородскую области.

В основу современных научных исследований и разработок Мещерского филиала в первую очередь положено участие в выполнении фундаментальных научных исследований под руководством ФГБНУ «ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова» по пункту: «145. Фундаментальные проблемы создания и эксплуатации оросительных и осушительных систем нового поколения, в том числе систем двустороннего регулирования влажности почвы в целях сохранения природно-ресурсного потенциала и производства высококачественной сельскохозяйственной продукции» программы ФНИ государственных академий наук на 2013–2020 гг., в соответствии с планами научно-исследовательской работы ФГБНУ «ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова» на 2017–2019 гг. и 2019–2021 гг. Одним из приоритетных направлений научных исследований филиала в области мелиорации земель также является разработка рециклинговых технологий управления водным режимом и соответствующих конструкций мелиоративных систем, обеспечивающих рациональное использование водных ресурсов, экологическую и пожарную безопасность мелиорируемых земель и прилегающих к ним территорий.

За период 2014–2018 гг. в Мещерском филиале были разработаны теоретические основы создания постиндустриальных гидромелиоративных систем для условий Нечерноземной зоны РФ, позволяющие осуществить переход от традиционного шлюзования и водоборотных технологий к рециклинговым технологиям и обеспечивающие многократную утилизацию дренажных вод. Научные основы изложены в монографии [5] и включают: методы и способы гидромелиоративного рециклинга; расчетные модели для определения объ-

емов аккумуляции дренажных вод и площади увлажнения дренажными водами; типовые схемы гидромелиоративных систем рециклингового типа; природоохранные мелиоративные режимы и технологии; способы ренатурализации осушенных болот. В обозначенный период времени в рамках программы ФНИ государственных академий наук филиалом совместно с головным институтом также были разработаны современные технологии восстановления плодородия почв в условиях усиления антропогенной нагрузки и рекультивации деградированных земель на основе комплексов мелиоративных мероприятий, создано руководство по применению мелиоративных технологий восстановления плодородия почв и рекультивации деградированных ландшафтов [9–12].

Практические результаты научной деятельности Мещерского филиала внедряются при разработке рекомендаций и технологий для водохозяйственных и сельскохозяйственных организаций и управлений, фермерских и кооперативных хозяйств, проектно-исследовательских институтов, промышленных предприятий и организаций, земли которых нуждаются в мелиоративных и реабилитационных мероприятиях, восстановлении плодородия для получения качественной и экологически безопасной сельскохозяйственной продукции и восстановления природных сообществ, а также улучшения экологической обстановки. Внедрение результатов научно-исследовательской работы на протяжении ряда лет осуществлялось в: ФГБУ «Управление Рязаньмелиоводхоз», ООО ТПК «Камский-сапропель», проектно-институте «Рязаньпроект», ООО Концерн «Нефтепродукт» и ряда хозяйств на территории Рязанской области. Разработанные Мещерским филиалом новые технологии и конструкции мелиоративных систем востребованы и сегодня, например, при восстановлении природного комплекса объекта «Завидово». В составе проекта обводнения выработанных торфяников была разработана научно обоснованная концепция восстановления болотных экосистем с целью обеспечения экологической и пожарной безопасности [9].

Основные результаты научно-исследовательской работы, подготовленные Мещерским филиалом под руководством головного института, в виде методических документов и рекомендаций: Технология регулирования водного режима почв с применением гидроавтоматов, 1991; Руководство по длительному сельскохозяйственному использованию осушаемых торфяных почв Нечерноземной зоны Российской Федерации, 1999; Технологии регулирования водного режима мелиорируемых почв при возрастающих антропогенных нагрузках для получения экологически чистой продукции, 2002; Научно обоснованные рекомендации по регулированию водного режима антропогенно загрязненных почв с применением усовершенствованных конструкций водооборотных гидромелиоративных систем, 2002; Рекомендации по проведению эколого-мелиоративных мероприятий рекультивации техногенно загрязненных и деградированных культурных ландшафтов, 2002; Технология восстановления природ-

но-ресурсного потенциала (плодородия почв) деградированных агроландшафтов, 2005; Технология санации техногенно загрязненных деградированных почв, 2005; Технология полива сельскохозяйственных культур в условиях техногенного загрязнения мелиорируемых агроландшафтов, 2005; Технология биологической очистки дренажного стока, 2005; Усовершенствованная технология биоактивации сельскохозяйственных культур с применением лазерного облучения (рекомендации), 2006; Научно обоснованные рекомендации по природоохранным режимам комплексной мелиорации агроландшафтов на основе замкнутого водооборотного цикла с использованием биотехнологий, 2008; Технология применения агрохимического способа мелиорации почв, обеспечивающая снижение их загрязненности тяжелыми металлами, для условий южной части Нечерноземной зоны РФ, 2010; Научно обоснованные параметры рециклинговых мелиоративных технологий в условиях болотных и пойменных агроландшафтов, 2012; Новые технологические приемы повышения продуктивности сработанных торфяных почв с применением подпочвенного увлажнения и нового мелиоранта, 2012; Методические положения по расчету объемов аккумуляции дренажных вод для целей увлажнения осушаемых земель, 2014; Технология безопасного использования загрязненных сельскохозяйственных угодий в условиях антропогенной нагрузки, 2015; Методы и способы гидромелиоративного рециклинга, 2016; Технология биологической очистки загрязненных нефтепродуктами почв земель сельскохозяйственного назначения на основе комплексного использования фиторемедиации и многоцелевого органоминерального удобрения, 2016; Улучшенные технологии восстановления плодородия сработанных торфяных почв путем внесения нового органоминерального мелиоранта на фоне регулирования водного режима почв шлюзованием и реабилитации техногенно загрязненных сельскохозяйственных земель на основе комплексов мелиоративных мероприятий, 2017; Руководство по восстановлению плодородия сработанных торфяных почв путем внесения нового органоминерального мелиоранта на фоне регулирования водного режима почв шлюзованием и по применению современной мелиоративной технологии реабилитации почв земель сельскохозяйственного назначения, загрязненных нефтепродуктами, 2018.

Научно-исследовательская работа выполняется в соответствии Программой фундаментальных научных исследований в Российской Федерации на долгосрочный период (2021–2030 гг.), утвержденной распоряжением Правительства Российской Федерации от 31 декабря 2020 г. № 3684-р. В соответствии с Программой научные задачи оптимизации сельскохозяйственного природопользования и восстановления экологических функций почв деградированных мелиорированных земель должны быть ориентированы на разработку новых высокоэффективных природоподобных технологий восстановления плодородия мелиорированных земель в изменяющихся климатических условиях, что позволит обеспечить производство

растениеводческой продукции заданного количества и качества.

Экспериментальные исследования по государственным темам выполняются в условиях полевых опытов на мелиорированных пойменных землях АО «ИнвестАгро» и АО «Московское»; на лизиметрических площадках в п. «Полково» и ФГБОУ ВО «РГАТУ им. П.А. Костычева» на основании договоров о сотрудничестве с обозначенными организациями.

В 2022–2024 гг. в рамках реализации государственного задания (68.31.00: Сельское хозяйство) Мещерский филиал является соисполнителем двух тем:

1. *«Разработать научно обоснованные мелиоративные приемы и технологии освоения вовлекаемых в оборот земель сельскохозяйственного назначения, обеспечивающие регулирование потоков биогенных элементов в агроэкосистеме» (FGUF-2022–0005).* В рамках задания Мещерским филиалом в качестве объекта исследований выбраны способы управления круговоротом воды и биогенных веществ в осушаемых агроландшафтах в системе естественного геологического (большого) и биотического (малого) круговоротов. В основе исследований лежит анализ многолетних экспериментальных данных по изменению водно-физических свойств и минерализации осушаемых торфяно-болотных почв стационара «Кальское», расположенного на одноименном болоте в южной части Мещерской низменности, в 30 км к северу от г. Рязани, около с. Заборье, строительство осушительной системы выполнено в 1953–1954 гг.

Научная новизна исследований 2023 г. заключалась в разработке информационной балансовой модели трансформации торфа и научно обоснованных способов управления мелиоративным режимом и продуктивностью агрофитоценоза при осушении торфяно-болотных почв в условиях Нечерноземной зоны России с учетом экологических ограничений. Объектом исследований являлся мелиоративный режим и баланс углерода при осушении и сельскохозяйственном использовании торфяно-болотных почв. Предметом исследований являлись способы управления мелиоративным режимом при осушении торфяно-болотных почв в условиях Нечерноземной зоны России. Целью исследований являлась разработка научно обоснованных способов регулирования мелиоративного режима и продуктивности агрофитоценоза торфяно-болотных почв в условиях Нечерноземной зоны России на основе анализа многолетних экспериментальных данных с учетом экологических ограничений.

Основные задачи исследований включали: системный анализ и синтез факторов минерализации торфа и эмиссии углерода при осушении болот; разработку информационной модели изменения массы торфа при взаимодействии влажности торфа, температура и активности почвенно-биотического комплекса; разработку агро-мелиоративных приемов ослабления минерализации торфа и оптимизации продуктивности фитоценоза.

В рамках разработки научно обоснованных способов регулирования мелиоративного режима и продуктивности агрофитоценоза торфяно-болотных почв

в условиях Нечерноземной зоны России основные результаты работ включали: информационную графическую модель трансформации торфа и балансовую модель органического вещества торфа; методы и способы управления мелиоративным режимом торфяно-болотных почв с учетом экологических ограничений; способ определения суммарной потери углерода и интегральной эмиссии диоксида углерода при осушении болот (патент РФ); результаты экспериментальных исследований включают показатели дренажного стока на мелиоративном стационаре Кальское, физико-химические показатели и содержание углерода в дренажных, грунтовых и поровых водах, а так же в атмосферных осадках.

Результаты НИР 2023 г. служат основой для разработки в 2024 г. усовершенствованной технологии управления мелиоративным режимом торфяно-болотных почв, обеспечивающей оптимизацию их продуктивности с учетом экологических ограничений, в условиях Нечерноземной зоны России.

2. *«Разработать научно-методическое обоснование природоподобных технологий восстановления плодородия и повышения продуктивности деградированных мелиорированных земель в изменяющихся климатических условиях» (FGUF-2022–0008).* Новизна исследований в 2023 г. заключалась в разработке и экспериментальной проверке для условий южной части Нечерноземной зоны России новых научно обоснованных биомелиоративных способов восстановления плодородия деградированных почв (дерново-подзолистой, аллювиальной и серой лесной) мелиорированных сельскохозяйственных земель на основе комплексного применения биокомпостов и биопрепаратов. Объектом исследований являлся комплекс природоподобных технологий, направленный на восстановление плодородия почв деградированных мелиорированных земель и улучшение экологической обстановки в изменяющихся климатических условиях южной части Нечерноземной зоны России. Предметом исследований являлась система агро- и биомелиоративных приемов для восстановления плодородия и повышения продуктивности почв деградированных мелиорированных земель с использованием биокомпостов, полученных из отходов сельского и коммунального хозяйства, и биопрепаратов в условиях южной части Нечерноземной зоны России. Целью НИР являлось научно-методическое обоснование системы агро- и биомелиоративных приемов для восстановления плодородия и повышения продуктивности почв деградированных мелиорированных земель с использованием биокомпостов и биопрепаратов в условиях южной части Нечерноземной зоны России.

Для достижения поставленной цели в отчетном году были решены следующие задачи: обобщены материалы экспериментальных исследований предыдущих лет по проблеме восстановления плодородия и повышения продуктивности почв деградированных мелиорированных земель посредством использования биокомпостов и биопрепаратов в условиях южной части Нечерноземной зоны России; получены экспериментальные данные по изучению эффективности последовательности применения биокомпостов и биопрепаратов

для восстановления плодородия почв деградированных мелиорированных земель в условиях лизиметрических и полевых опытов; подготовлено научно-методическое обоснование способов восстановления плодородия почв деградированных мелиорированных земель с использованием биокомпостов и биопрепаратов в условиях южной части Нечерноземной зоны России.

В рамках научно-методического обоснования системы агро- и биомелиоративных приемов для восстановления плодородия и повышения продуктивности почв деградированных мелиорированных земель с использованием биокомпостов и биопрепаратов в условиях южной части Нечерноземной зоны Российской Федерации разработаны, имеющий прикладной характер: способ восстановления плодородия деградированной дерново-подзолистой супесчаной почвы мелиорированных земель на основе комплексного применения эффлюента и микробиологического удобрения; способ восстановления плодородия деградированной аллювиальной луговой среднесуглинистой почвы мелиорированных земель на основе комплексного применения удобрительного биокомпоста, полученного в результате компостирования животноводческих отходов с осадком сточных вод канализационных очистных сооружений жилищно-коммунального хозяйства, и микробиологического удобрения; способ восстановления плодородия деградированных серых лесных почв мелиорированных земель на основе использования компоста многофункционального назначения совместно с жидкофазным биопрепаратом.

Результаты НИР 2023 г. служат основой для разработки в 2024 г. «Научно-методических рекомендаций по применению системы агро- и биомелиоративных приемов природоподобных технологий при восстановлении плодородия и повышении продуктивности почв деградированных мелиорированных земель в условиях южной части Нечерноземной зоны России».

Научные разработки, полученные в рамках выполнения государственного задания в 2023 г., были внедрены в производственно-хозяйственных организаций, занимающихся решением научно-практических задач в сфере сельского, коммунального хозяйства и рационального природопользования: ФГБУ «Станция агрохимической службы «Рязанская»; АО «Московское»; ООО «Кедрь-Проект»; МУП ЖКХ «Быт»; ООО «Мещерский научно-технический центр», ООО «Институт «Рязаньпроект» при:

- разработке системы управления применения отходов животноводства в сельском хозяйстве для повышения плодородия почв мелиорированных сельскохозяйственных земель и повышения их продуктивности;
- обосновании инновационных агро- и биомелиоративных приемов по возврату в сельскохозяйственное использование ранее выведенных из оборота деградированных и загрязненных сельскохозяйственных земель Рязанской области;
- разработке рекомендаций по сохранению и повышению плодородия почв длительно используемых и вводимых в оборот земель сельскохозяйственного назначения на территории Рязанской области;

- при подготовке в составе проектных решений рекомендаций и предложений по снижению и исключению негативного влияния строительных объектов на окружающую среду.

- для проведения исследований по изучению миграции тяжелых металлов в агроэкосистеме при разработке комплексной системы эколого-мелиоративного мониторинга состояния агроландшафтов;

- при сборе, обработке, анализе данных об экологическом состоянии природной среды и техногенной нагрузки на агроландшафт в составе инженерно-экологических изысканий и при проведении локального экологического мониторинга для выявления тенденций количественного и качественного изменения состояния окружающей природной среды в зоне воздействия техно-природных объектов;

- при оптимизации сельскохозяйственного использования мелиорированных земель поймы р. Ока в выращивании кормовых культур на основе регулирования потоков макро- и микроэлементов в агроэкосистемах на территории Рязанской области с положительным эколого-экономическим эффектом.

Перспективы развития Мещерского филиала на 2025–2027 гг. определяются:

- стратегией научно-технологического развития Российской Федерации, утв. Указом Президента Российской Федерации от 28 февраля 2024 г. № 145;

- стратегией экологической безопасности Российской Федерации, утв. Указом Президента Российской Федерации от 19 апреля 2017 г. № 176;

- Федеральной научно-технической программой в области экологического развития Российской Федерации и климатических изменений на 2021–2030 гг., утв. постановлением Правительства Российской Федерации от 8 февраля 2022 г. № 133;

- Государственной программой эффективного вовлечения в оборот земель сельскохозяйственного назначения и развития мелиоративного комплекса Российской Федерации, утв. постановлением Правительства Российской Федерации от 14 мая 2021 г. № 731;

- Государственной программой Российской Федерации «Охрана окружающей среды», утв. постановлением Правительства Российской Федерации, утв. постановлением Правительства от 15 апреля 2014 г. № 326;

- программой фундаментальных научных исследований в Российской Федерации на долгосрочный период (2021–2030 гг.), утв. распоряжением Правительства Российской Федерации от 31 декабря 2020 г. № 3684-р;

- планами научно-исследовательской работы ФГБНУ «ФНЦ ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова» на 2022–2024 гг. и 2025–2027 гг.

Научное развитие Мещерского филиала во многом обусловлено необходимостью разработки новых концептуальных подходов и экологически сбалансированных агро- и биомелиоративных технологий для восстановления деградированных сельскохозяйственных угодий южной части Нечерноземной зоны России на фоне изменяющихся климатических условий, а также пироген-

ных земель, с учетом современных фундаментальных знаний о научных основах мелиоративной деятельности и представлений об интеграции знаний мелиоративной науки с другими отраслями научных направлений, разработки способов обеспечения экологически благоприятного и экономически эффективного функционирования мелиоративного комплекса.

Перспективными направлениями научно-исследовательской работы филиала с целью обеспечения требований мелиоративной отрасли являются:

- разработка экологизированных природно-антропогенных технологий реабилитации и восстановления плодородия деградированных почв с использованием органоминеральных мелиорантов на основе отходов сельского хозяйства, осадков сточных вод и органических отходов урбанизированных территорий;
- разработка инновационных технологий управления водными ресурсами мелиорируемых водосборов на основе гидромелиоративного рециклинга, обеспечивающего многократное использование дренажных вод и ренатурализацию постмелиоративных болотных ландшафтов;
- разработка технологии управления процессом разложения органического вещества почвы и торфа для оптимизации продуктивности и повышения экологической эффективности мелиоративного земледелия;
- разработка научных основ охраны и рационального природопользования осушенных болот и прилегающих к ним сельскохозяйственных угодий Рязанской Мещеры;
- разработка современных высокоэффективных технологий реабилитации техногенно загрязненных почв земель сельскохозяйственного назначения на основе экологически сбалансированных комплексов агро- и биофитомелиоративных приемов;
- разработка инновационной технологии получения растениеводческой продукции с помощью многоярусных конвейерных светоустановок для регионов России с экстремальными климатическими условиями и повышением рисков загрязнения традиционных сельскохозяйственных территорий.

ЛИТЕРАТУРА

1. Маслов Б.С. Мещерская зональная опытно-мелиоративная станция (МЗОМС) ВНИИГиМ // Мелиоративная энциклопедия. М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2004. Т2 (К-П). С. 171–172.
2. Лисютин В.А., Тomin Ю.А. Вклад Мещерского филиала ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова в развитие мелиорации Мещерской низменности // Экологическое состояние природной среды и научно-практические аспекты современных мелиоративных технологий. Рязань, 2004. С. 3–10.
3. Концепция развития ФГБНУ «ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова» на 2017–2025 гг. М.: ФГБНУ ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова, 2017. 42 с.
4. Лисютин В.А., Тomin Ю.А. Мещерский филиал ВНИИГиМ // Мелиоративная энциклопедия. М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2004. Т2 (К-П). С. 172.
5. Пыленок П.И. Гидромелиоративный рециклинг. Научные основы, технология, экология. LAPLAMBERTAcademicPublishing, 2018. 258 с.
6. Регулирование режимов комплексных мелиораций в условиях техногенного загрязнения агроландшафтов // Методы и технологии комплексной мелиорации и экосистемного водопользова-

ния / В.М. Яшин, Л.В. Кирейчева, Ю.А. Мажайский, А.В. Ильинский. М., 2006. С. 67–87.

7. Использование инновационной лизиметрической технологии в российско-германских исследованиях / П.И. Пыленок, С.В. Перегудов, В.М. Яшин, Р. Майснер, Х. Рупп и др. // Вестник Российской академии сельскохозяйственных наук. 2012. № 5. С. 3–8.
8. Техногенное загрязнение речных экосистем / В.Н. Новосельцев и др. М.: Научный мир, 2002. 140 с.
9. Пыленок П.И. Агромелиоративное природопользование. Научно-технологические и экологические основы: монография. М.: ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова, 2022. 215 с. DOI 10.37738/VNIIGIM.2022.94.88.001.
10. Маслов Б.С., Пыленок П.И. Болото и пиар природных стихий. 2-е изд., перераб. и доп. М.: ФГБНУ ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова, 2019. 76 с.
11. Кирейчева Л.В., Ильинский А.В. Обоснование комплексного применения фиторемедиантов и комбинированных органоминеральных удобрений для биологической очистки от нефтепродуктов почв сельскохозяйственных земель // Основные результаты научных исследований института за 2017 год: сборник научных трудов. М.: Изд. ВНИИГиМ, 2018. С. 208–213.
12. Кирейчева Л.В., Яшин В.М., Ильинский А.В. К вопросу фиторемедиации почв, загрязненных комплексом тяжелых металлов // Мелиорация и водное хозяйство. 2016. № 4. С. 8–13.

REFERENCES

1. Maslov B.S. Meshcherskaya zonal'naya opytно-meliorativnaya stanciya (MZOMS) VNIIGiM // Meliorativnaya enciklopediya. M.: FGNU «Rosinformagrotekh», 2004. T2 (K-P). S. 171–172.
2. Lisyutin V.A., Tomin Yu.A. Vklad Meshcherskogo filiala VNIIGiM im. A.N. Kostyakova v razvitiye melioratsii Meshcherskoj nizmennosti // Ekologicheskoe sostoyanie prirodnoy sredy i nauchno-prakticheskie aspekty sovremennykh meliorativnykh tekhnologij. Ryazan', 2004. S. 3–10.
3. Konceptiya razvitiya FGBNU «VNIIGiM im. A.N. Kostyakova» na 2017–2025 gg. M.: FGBNU VNIIGiM im. A.N. Kostyakova, 2017. 42 s.
4. Lisyutin V.A., Tomin Yu.A. Meshcherskij filial VNIIGiM // Meliorativnaya enciklopediya. M.: FGNU «Rosinformagrotekh», 2004. T2 (K-P). S. 172.
5. Pylenok P.I. Gidromeliorativnyj recikling. Nauchnye osnovy, tekhnologiya, ekologiya. LAPLAMBERTAcademicPublishing, 2018. 258 s.
6. Yashin V.M., Kirejcheva L.V., Mazhayskiy YU.A., Il'inskiy A.V. Regulirovanie rezhimov kompleksnykh melioratsiy v usloviyakh tekhnogennogo zagryazneniya agrolandshaftov // Metody i tekhnologii kompleksnoy melioratsii i ekosistemnogo vodopol'zovaniya. Nauchnoe izdanie. M., 2006. S. 67–87.
7. Pylenok P.I., Peregudov S.V., Yashin V.M., Majsner R., Rupp H. i dr. Ispol'zovanie innovacionnoy lizimetricheskoj tekhnologii v rossijsko-germanskih issledovaniyakh // Vestnik Rossijskoj akademii sel'skhozaystvennykh nauk. 2012. № 5. S. 3–8.
8. Tekhnogennoe zagryaznenie rechnykh ekosistem / V.N. Novosel'cev i dr. M.: Nauchnyj mir, 2002. 140 s.
9. Pylenok P.I. Aгромелиоративное природопользование. Научно-технологические и экологические основы: монография. М.: ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова, 2022. 215 с. DOI 10.37738/VNIIGIM.2022.94.88.001.
10. Boloto i piar prirodnih stihij / B.S. Maslov, P.I. Pylenok. 2-e izd., pererab. i dop. M.: FGBNU VNIIGiM im. A.N. Kostyakova, 2019. 76 s.
11. Kirejcheva L.V., Il'inskiy A.V. Obosnovanie kompleksnogo primeneniya fitoremediantov i kombinirovannykh organomineral'nykh udobrenij dlya biologicheskoy ochistki ot nefteproduktov pochv sel'skhozaystvennykh zemel' // Osnovnye rezul'taty nauchnykh issledovaniy instituta za 2017 god. Sbornik nauchnykh trudov. M.: Izd. VNIIGiM, 2018. S. 208–213.
12. Kirejcheva L.V., Yashin V.M., Il'inskiy A.V. K voprosu fitoremediatsii pochv, zagryaznyonnykh kompleksom tyazhyolykh metallov // Melioratsiya i vodnoye hozyajstvo. 2016. № 4. S. 8–13.

Ильинский Андрей Валерьевич, канд. с.-х. наук, доцент, директор; **Пыленок Петр Иванович**, доктор техн. наук, ст. науч. сотрудник, доцент, гл. науч. сотрудник (Мещерский филиал ФНЦ ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова, г. Рязань).

УДК 633:631.67

РОЛЬ ПРИКЛАДНЫХ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ В РАЗВИТИИ ОРОШАЕМОГО КОРМОПРОИЗВОДСТВА

В.В. МЕЛИХОВ, А.А. НОВИКОВ, О.П. КОМАРОВА, Н.И. БУРЦЕВА

Ключевые слова: мелиорация земель, кормопроизводство, кормовые культуры, схемы сырьевых конвейеров, нетрадиционные кормовые культуры, природные кормовые угодья, орошение.

Keywords: land reclamation, forage production, forage crops, raw material conveyor schemes, non-traditional forage crops, natural forage lands, irrigation.

Аннотация. В статье рассмотрены итоги и перспективы координационной работы Всероссийского научно-исследовательского института орошаемого земледелия по выполнению подраздела «Орошаемое кормопроизводство» научно-технической программы «Кормопроизводство». Показано, что в результате реализации программы созданы адаптированные для почвенно-климатических зон страны сорта кормовых культур, обладающие комплексом хозяйственно ценных признаков по кормовой и семенной продуктивности для условий орошения, предложены схемы семеноводства новых сортов; по зонам страны разработаны схемы сырьевых конвейеров производства высококачественных концентрированных и объемистых кормов; разработаны энергосберегающие технологии улучшения природных кормовых угодий и освоения неиспользуемой и выведенной из сельскохозяйственного оборота пашни под сенокосы и пастбища, обеспечивающие увеличение производства кормов, сохранение сельскохозяйственных угодий от деградации и повышение устойчивости мелиорируемых агроландшафтов. Получены новые знания о возможности интродукции нетрадиционных кормовых культур в агроценозы с целью повышения адаптационного потенциала кормовых фитоценозов для засушливых, засоленных почв и почв с нарушенным мелиоративным состоянием. Разработаны способы комплексного управления продукционными и средообразующими процессами перспективных луговых агроэкосистем, обеспечивающие увеличение производства высококачественных кормов в 2...5 раз. Результаты исследований по различным природным зонам страны легли в основу создания адаптивно-ландшафтных систем орошаемого земледелия России.

Abstract. The article considers the results and prospects of the coordination work of the All-Russian Scientific Research Institute of Irrigated Agriculture on the implementation of the subsection «Irrigated feed production» of the Program «Feed production». It is shown that as a result of the implementation of the program, varieties of forage crops adapted to the soil and climatic zones of the country have been created, possessing a complex of economically valuable characteristics in terms of feed and seed productivity for irrigation conditions, schemes of seed production of new varieties have been proposed; schemes of raw material conveyors for the production of high-quality concentrated and voluminous feeds have been developed in the country's zones; energy-saving technologies have been developed to improve natural forage lands and develop unused and decommissioned arable land for hay and pastures, ensuring an increase in feed production, preserving agricultural land from degradation and increasing the sustainability of reclaimed agricultural landscapes. New knowledge has been obtained about the possibility of introducing non-traditional forage crops into agrocenoses in order to increase the adaptive potential of forage phytocenoses for arid, saline soils and soils with impaired reclamation status. Methods of integrated management of production and environmental processes of promising meadow agroecosystems have been developed, ensuring an increase in the production of high-quality feed by 2–5 times. The results of research on various natural areas of the country formed the basis for the creation of adaptive landscape systems of irrigated agriculture in Russia.

Президент Российской академии наук Г.Я. Красников назвал совершенствование механизма координации фундаментальных и поисковых научных исследований в стране залогом успешной реализации Стратегии научно-технологического развития России и выполнения Программ фундаментальных научных исследований [1]. Организация и координация научных исследований включает большой комплекс вопросов, направленных на повышение эффективности и качества исследований за счет обеспечения комплексно-

сти проведенных научных исследований, устранения дублирования, интеграции усилий НИУ всех министерств и ведомств, решающих проблемы АПК России.

В период с 1990 по 2015 г. Всероссийский НИИ орошаемого земледелия совместно с институтами-соисполнителями работал над выполнением подраздела «Орошаемое кормопроизводство» НТП «Кормопроизводство» Межведомственной координационной программы и плана фундаментальных и приоритетных прикладных исследований по научному обеспечению АПК РФ.

В выполнении программы в 1990–2015 гг. принимали участие 15 научно-исследовательских учреждений из Северо-Кавказского, Южного, Приволжского и Сибирского федеральных округов, фактически охватывая большую часть российских регионов с интенсивным производством кормов на орошаемых угодьях. Координационная сеть ВНИИОЗ включала: Калмыцкий ф-л ВНИИГиМ; НИИСХ ЦЧП; Самарский НИИСХ; СибНИИ кормов; ПНИИАЗ; Ставропольский НИИСХ; Башкирский НИИСХ; ВНИИОБ; Дагестанский НИИСХ; Донской ЗНИИСХ; Уральский НИИСХ; Челябинский НИИСХ; Ставропольский НИИЖК; Дагестанскую ГСХА.

Всероссийский НИИ орошаемого земледелия был определен головным институтом по реализации раздела «Орошаемое кормопроизводство» НТП «Кормопроизводство» (названия институтов приведены на момент реализации Программы) [2, 3].

Основной целью координационной работы совета Координационной сети ВНИИОЗ и институтов-соисполнителей являлась разработка концепции устойчивого кормопроизводства на орошаемых землях, создание и освоение адаптивных региональных систем полевого и лугового кормопроизводства, устойчиво обеспечивающих животноводство сбалансированными кормами за счет роста продуктивности орошаемого гектара, сохранения и приумножения плодородия почв, в т. ч. с нарушенным мелиоративным состоянием.

При реализации раздела «Орошаемое кормопроизводство» Программы «Кормопроизводство» Всероссийским НИИ орошаемого земледелия совместно с институтами-соисполнителями решались задачи по разработке для условий орошения биогеоэкологических принципов селекции и эффективных селекционных технологий кормовых культур разного целевого назначения; разработке научных основ агроэкологического семеноводства сортов и гибридов кормовых культур нового поколения; разработке технологий полевого кормопроизводства на основе рационального использования биологических, природно-климатических и антропогенных факторов; разработке для различных почвенно-климатических зон страны схем сырьевых конвейеров производства высококачественных

концентрированных и объемистых кормов; разработке энергосберегающих технологий улучшения природных кормовых угодий и освоения неиспользуемой и выведенной из сельскохозяйственного оборота пашни под сенокосы и пастбища [4].

И в рамках исполнения координационной программы многое удалось сделать.

С целью формирования сбалансированных рационов кормления скота различными научными учреждениями проводилась работа по селекции зерновых, зернобобовых и травяных культур.

Учеными Всероссийского НИИ орошаемого земледелия, Ставропольского НИИСХ и Всероссийского НИИ орошаемого овощеводства и бахчеводства (Астраханская область) были выведены новые сорта и гибриды зерновых и зернобобовых культур. В результате проведенных исследований выделен ряд линий для создания родительских форм гибридов, сочетающих засухоустойчивость с высокой продуктивностью и довольно быстрой влагоотдачей. В раннеспелой группе на богаре выделялись гибриды с урожаем зерна до 4,5, на орошении — на уровне 7...12 т/га при стандартной влажности. В группе среднеранних гибридов урожайность составила соответственно 3,5...5,8 и 8...12 т/га. Лучшими гибридными комбинациями оказались Поволжский 266 СВ, ППГ 260 С, Ньютон и ряд других [5].

Для условий Северного Предкавказья выведены новые сорта сорго кормового направления Ставропольский 63 и гибрид Силосный 88, которые формируют от 30 до 70 т/га зеленой массы. Сорта Зерста 80, Зерста 90 обеспечивают получение до 5 т/га зерна. В условиях дельты Волги по показателям продуктивности выделились сортообразцы сорго Калаус и Состав [5].

Ставропольскими селекционерами созданы новые адаптивные сорта многолетних трав с высокой кормовой и семенной продуктивностью, соле- и засухоустойчивые, толерантные к болезням: мятлик луговой Жемчужный, овсяница красная Изумрудная, полевица белая Дюна. Были проведены широкие исследования по подбору селекционного материала многолетних трав сенокосно-пастбищного типа для орошаемых и богарных условий Северо-Кавказского региона [6, 7].

Во Всероссийском НИИ орошаемого бахчеводства проведены успешные исследования по интродукции в кормопроизводство засушливых регионов России сортообразцов многолетних мятликовых трав (житняк, волоснец, кострец, пырейник) из различных эколого-географических зон страны. Создан новый сорт сафлора бесшиповой формы, обеспечивающий урожайность 50...60 т/га зеленой массы [8].

Таким образом, скоординированные исследования ученых научных учреждений, расположенных в различных почвенно-климатических зонах, позволили по результатам экологической оценки селекционного материала создать коллекции исходного селекционного материала и вывести новые сорта кормовых культур для условий орошения засушливых территорий России.

Исследованиями ученых Всероссийского НИИ орошаемого земледелия, Ставропольского НИИСХ и Сибирского НИИСХ отработаны оптимальные сочетания

пищевого, водного режимов почв, состава и способа посева поликомпонентных смесей многолетних трав. Так, внесение расчетных доз удобрений при оптимизации условий водного режима почвы обеспечило увеличение плотности травостоев смесей на 7,2...12,8% [9–11].

В результате проведенных во ВНИИОЗ исследований разработана технология возделывания поликомпонентных посевов многолетних трав для получения высокой урожайности (до 80...90 т/га зеленой массы) при трех-, пяти-, семилетнем использовании травостоев [12–14].

Интересны исследования СтавНИИСХ по подбору различных видов многолетних трав и многолетнего сорго в различных сочетаниях с добавлением природных травосмесей — «агrostепь», содержащих десятки видов дикорастущей флоры, в том числе и низовые злаки. Использование таких смесей позволяет получить 2 укоса с урожайностью от 11,8 до 31,2 т/га зеленой массы [15, 16].

При моделировании систем производства растительного сырья, отвечающего требованиям кормления высокопродуктивных животных, в СтавНИИЖК проведена оценка питательности кормосмесей. Установлено, что наиболее продуктивными смесями однолетних кормовых культур на светло-каштановых почвах являются смеси суданской травы с донником и многолетнего сорго с донником, которые обеспечили выход 2,4...2,6 тыс. кормовых единиц и 310...380 кг/га переваримого протеина. Заслуживает внимания смесь редьки с овсом и горохом, которая формирует от 35,4 до 42 т/га зеленой массы. Также рекомендованы смеси суданской травы с подсолнечником и соей. Максимальная урожайность суданской травы с соей — 80...84 т и суданской травы с подсолнечником — 80...83 т/га [17].

Важным направлением являлись исследования по разработке кормовых конвейеров для бесперебойного обеспечения зелеными, концентрированными и объемистыми кормами. Изучение видового состава однолетних смесей для получения сбалансированных кормов показало, что на черноземах Западной Сибири наибольшие урожаи формируют овес с викой и горохом — 40,5...45 и овес с горохом — 35...37 т/га зеленой массы при внесении $N_{96}P_{42}K_{40}$ [18].

Исследования Ставропольского НИИ сельского хозяйства посвящены организации непрерывного производства зеленых кормов в течение теплого времени года в рамках одного кормового севооборота, совершенствованию традиционных и разработке новых технологических приемов возделывания кормовых культур в системе зеленого конвейера [19].

В Донском зональном НИИСХ в рамках исследований по разработке кормовых конвейеров в травяно-зернопропашном севообороте урожайность зерна гороха составила 2,5 т/га, кукурузы — до 9,8 т/га зерна и до 51,1 т/га зеленой массы, люцерны — 31...36 т/га зеленой массы [20].

Башкирский НИИСХ в сферу своих исследовательских работ включил разработку технологий выращивания кормовых культур для производства кормов в лугопастбищных и прифермских севооборотах. Уста-

новлено, что для почвенно-климатических условий Урала внесение расчетных доз удобрений при орошении способствовало получению прибавки урожая в лугопастбищном севообороте до 1,15...1,31 т/га сухого вещества, а в прифермском — 2,23...2,35 т/га. Обосновано, что интенсивные кормовые севообороты в степной зоне Южного Урала позволяют получать урожайность сухой массы близкую к 10 т/га [21–23].

В Калмыцком филиале ВНИИГиМ разработаны и осваиваются по зонам республики различные типы севооборотов по производству зеленых, концентрированных и объемистых кормов. Основной кормовой и мелиорирующей культурой в орошаемых севооборотах республики является люцерна. Исследованиями установлено, что доля ее должна составлять от 20...30 до 40...50 % от площади кормовых культур. Из однолетних культур рекомендованы кукуруза на зерно, на зеленый корм, капустные на корм, корнеплоды, суданская трава и др. [24].

Научным коллективом Челябинского НИИСХ проведены исследования по разработке зеленых и сырьевых конвейеров для условий северной лесостепи южного Урала путем подбора однолетних и многолетних кормовых культур и их смесей с повышенным содержанием протеина. В состав конвейеров включены шавель кормовой, свербига восточная и озимая рожь — культуры раннего срока созревания (июнь). Смесь козлятника восточного с кострцом безостым, клевер луговой, люцерна, горец забайкальский — культуры среднего срока (июль). Гарантированный урожай в августе формировали поукосные посевы суданской травы и проса [25].

Немаловажны исследования ученых из различных географических регионов страны по включению в рационы кормления новых нетрадиционных кормовых культур, что повышает питательные достоинства корма. Так, в частности, корма из трав естественных лугов оказывают благоприятное влияние на продуктивность животных и качество продукции.

В ходе исследований, проведенных большой группой ученых из Всероссийского НИИ орошаемого земледелия, Калмыцкого филиала ВНИИГиМ, Дагестанской ГСХА и Дагестанского НИИ сельского хозяйства, Прикаспийского НИИ аридного земледелия, Пензенского НИИСХ, Донского ЗНИИСХ и других определены перспективные для введения в культуру и для селекционного улучшения, отличающиеся высокой продуктивностью и устойчивостью к условиям аридной зоны новые виды растений такие как: терескен серый, формирующий урожай сухой массы на уровне 0,45...0,51 т/га, прутняк — 0,33...0,36, камфоросма — 0,31, черноголовник — 0,58, пырей — 0,65...0,71, житняк — 0,68, волоснец — 0,52 т/га. Облиственность исследуемых растений составляла 47...53 %, содержание переваримого протеина — 33...52 г/кг [26].

Дагестанский НИИСХ впервые в условиях Терско-Кумской низменности разработал технологические приемы улучшения сенокосов и пастбищ при возделывании саженцев джугуна безлистного. Установлено, что декабрьские сроки посадки обеспечивают наибольшую приживаемость черенков — 73,3 %. Воз-

делывание на сильнозасоленной почве пырея удлиненного и житняка гребневидного и соблюдение соответствующей технологии (способы обработки и режимы орошения), позволяет перевести сильнозасоленную почву по содержанию сульфатов и хлоридов в разряд средней степени засоления [27].

В Пензенском НИИСХ разработаны способы залужения временно неиспользуемых и необоснованно распаханых сельскохозяйственных угодий, деградированных и эрозионных участков на выщелоченных, среднесмытых черноземах с использованием двух типов залежей — некосимые и косимые. Из изучаемых трав по продуктивности выделились эспарцет и люцерна (31,5...42,5 т/га зеленой массы). Мятликовые травы и их смеси с бобовыми формировали от 14 до 23,6 т/га зеленой массы [28].

В Прикаспийском НИИ аридного земледелия для восстановления вторично засоленных орошаемых земель проведена работа по подбору растений-мелиорантов. Лучшими из них оказались сведа высокая, пырей сизый и солодка голая. Сведа высокая характеризуется исключительной солевыносливостью (до 2,5...3 %) и способна накапливать в биомассе до 25 % солей. На сильно засоленных землях она формирует 6...7 т/га сухой массы, что соответствует выносу 1,5...1,7 т/га солей. При средней и слабой засоленности почв целесообразно использовать пырей сизый и солодку голую, формирующих до 6...10,6 т/га сухой биомассы высокого качества. Созданы новые сорта растений-мелиорантов: кохия веничная Дельта, кохия простертая Бархан, камфоросма Лессинга Ногана и терескен серый Фаворит. Растения этих сортов отличаются высокой соле- и засухоустойчивостью, продуктивностью от 3 до 6...8 т/га сухого вещества, высоким (до 14...15 %) содержанием протеина [29, 30].

В Донском ЗНИИСХ обоснована необходимость более широкого введения в севообороты культур — фитомелиорантов. Проведен подбор культур, сортов и гибридов для конкретных почвенных разностей, обоснованы влагосберегающие режимы орошения, программируемые дозы удобрений, применение сидератов и энергообоснованных способов обработки, что способствует усилению экологической безопасности мелиорированных степных агроландшафтов и рациональному их использованию [20].

Коллективом Сибирского НИИ кормов разработаны теоретические и практические основы мелиорации низкопродуктивных естественных кормовых угодий на комплексных солонцовых почвах с преобладанием мелких и средних много натриевых солонцов содово-сульфатного засоления, тяжелого механического состава.

Установлено положительное влияние фитомелиоративных севооборотов на комплексных солонцовых почвах по накоплению продуктивной влаги перед посевом на 6,2...48 % в сравнении с целиной. Содержание токсичных ионов уменьшилось в паровом поле на 68, а в севооборотах — на 37...62 %. В сумме за три ротации наибольший сбор питательных веществ обеспечил севооборот, где однолетние предварительная культура

просо возделывалась в течение года, а затем высевались многолетние травы [18].

Высокая продуктивность нетрадиционной кормовой культуры козлятника восточного установлена по результатам экспериментов в СибНИИСХ. Посевы козлятника на 13-м году жизни обеспечили сбор 7,4...8,5 т/га сухой массы при применении удобрений, а на неудобренном контроле от 4,7 до 7,2 т/га. Выявлена особая эффективность козлятника для склоновых, песчаных, деградированных земель и пашни, выведенной из оборота [31].

Ученые СтавНИИЖК на эрозионно-опасных участках рекомендуют высевать 3- и 4-компонентные смеси из многолетних трав с участием волоснеца, эспарцета, житняка, люцерны, обеспечивающие получение 13,8...18,6 т/га сухой массы, выход 2,1...2,6 тыс. кормовых единиц, 260...345 кг переваримого протеина и 23...28,3 ГДж/га обменной энергии. Испытание сортов многолетнего сорго местной селекции Караван и Травинка показало, что они в засушливых условиях способны формировать 17,9...19,3 т/га зеленой массы в первом укосе и давать отаву в пределах 2...5 т/га [17].

В зоне орошения Терско-Сулакской низменности Дагестанским НИИСХ установлено, что прутняк глинистый и песчаный, пырей удлиненный по эколого-биологическим и хозяйственно-технологическим показателям являются перспективными кормовыми растениями для введения в культуру аридных зон и характеризуются формированием мощной корневой системы, экономным расходом влаги, высокой засухоустойчивостью [27].

Для кормопроизводства южных регионов России большое значение имеют корма, получаемые на лиманных лугах при искусственном орошении.

Во ВНИИОЗ сформулирована теория управления водным режимом и составом фитоценозов на основе разработанной в институте агроэкологической концепции мелиорации лиманов, предложены новые принципы водопользования и конструирования технологий поверхностного и коренного улучшений. Реализация разработанных нормативов проведения поверхностного, коренного улучшения и эксплуатации лугов методов обеспечила максимально возможное использование кормового потенциала лиманных лугов и достижения стабильного уровня их хозяйственной урожайности до 3 т/га сена без проведения минеральных подкормок и до 5 т/га сена при внесении минеральных удобрений при одноразовом поливе затоплением [32, 33]. Проведены исследования по предупреждению деградации интенсивно используемых луговых лиманов Северного Прикаспия. Разработана технология фитомелиорации лиманных лугов, базирующаяся на способе ризомного омоложения травостоев союдами с использованием возможностей вегетативного размножения корневищных и корнеотпрысковых растений [34].

Заключение. Разработанные аграрными институтами России в рамках выполнения координационной программы «Орошаемое кормопроизводство» технологии, выведенные сорта и гибриды кормовых культур

органической частью вошли в разработанные зональные системы земледелия большинства засушливых регионов России, в которых орошаемое кормопроизводство предусматривалось не только как основа производства достаточного количества сырья для формирования полноценных рационов питания высокопродуктивного скота, но и как эффективный способ сохранения и повышения плодородия почвы. Научно-технические разработки, полученные при реализации координационной программы, позволят для большинства засушливых регионов России создать надежную кормовую базу для реализации новых проектов по производству продукции животноводства, что обеспечит формирование более высокой прибавочной стоимости в агропромышленном комплексе России.

ЛИТЕРАТУРА

1. Красников Г.Я., Дубина М.В. Об основных результатах работы РАН в отчетном периоде и о приоритетных направлениях ее деятельности. Постановление Общего собрания членов РАН // Вестник Российской академии наук. 2023. Т. 93. № 8. С. 772–778. DOI 10.31857/S0869587323080121.
2. Новиков А.Е., Комарова О.П. Проблемы и направления исследований в орошаемом земледелии // Мелиорация и водное хозяйство. 2021. № 5. С. 8–10.
3. Новиков А.Е., Новиков А.А. Научное обеспечение орошаемого земледелия // Орошаемое земледелие. 2023. № 3(42). С. 5–7.
4. Новиков А.Е., Новиков А.А. Научное обеспечение орошаемого земледелия аридных территорий. ВНИИОЗу – 55 лет! // Орошаемое земледелие. 2022. № 3. С. 8–10.
5. Мелихов В.В., Дронова Т.Н. Основные итоги выполнения координационной программы по полевому кормопроизводству за 2001–2005 гг. // Научные основы эффективного использования орошаемых земель аридных территорий России: Сборник научных трудов. Волгоград: НП «Здоровье и экология», 2007. С. 92–101.
6. Сорта и гибриды сельскохозяйственных культур селекции ФГБНУ «Северо-Кавказский ФНАЦ» / В.В. Кулинцев, В.В. Чумакова, В.В. Кравцов [и др.]. 9-е изд., доп. Ставрополь: Северо-Кавказский федеральный научный аграрный центр, 2019. 165 с.
7. Кравцов В.В., Кравцов В.А., Капустин А.С. Сорта многолетних трав для создания и улучшения сенокосов и пастбищ в засушливых зонах Юга России // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. 2019. № 2. С. 52–55.
8. Тютюма Н.В., Туз Р.К. Прикаспийский НИИ аридного земледелия – аридная наука на Нижней Волге // Вестник Волгоградского государственного университета. Серия 11: Естественные науки. 2017. Т. 7, № 1. С. 67–76. DOI 10.15688/jvolsu11.2017.1.8. EDN YTNIFZ.
9. Дронова Т.Н. Клевер луговой на орошаемых землях Нижнего Поволжья: монография. Волгоград: ВНИИОЗ, 2004. 236 с.
10. Гребенников В.Г., Хонина О.В., Шипилов И.А. Перспективные многолетние травосмеси для сенокосов и пастбищ центрального Предкавказья // Кормопроизводство. 2007. № 9. С. 8–11.
11. Межрегиональная схема размещения и специализации сельскохозяйственного производства в субъектах Российской Федерации Сибирского федерального округа / А.С. Донченко, В.К. Калличкин, Р.П. Митякова [и др.] / Новосибирск: Изд-во ИИЦ ГНУ СибНХБ Россельхозакадемии, 2016. 255 с.
12. Ресурсосберегающие технологии возделывания клевера лугового на орошаемых землях Российской Федерации: рекомендации / Т.Н. Дронова, Н.И. Бурцева, О.П. Комарова и др. М., 2005. 69 с.
13. Дронова Т.Н., Бурцева Н.И., Молоканцева Е.И. Научные результаты исследований по многолетним травам // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2017. № 3(47). С. 46–56.
14. Бобово-мятликовые травосмеси на орошаемых землях Нижнего Поволжья: монография / Т.Н. Дронова, Н.И. Бурцева, Е.И. Молоканцева и др. Волгоград: ВНИИОЗ, 2022. 108 с.
15. Дружинин В.А. Альтернативное развитие кормовой базы на основе обогащенных агростепей сообществ в условиях Ставропольской возвышенности // Горные растительные ресурсы: теория и прогноз освоения и воспроизводства: материалы Кавказского сим-

позиума, Махачкала—Гуниб, 20–23 сентября 1999 г. Махачкала—Гуниб: Дагестанский государственный университет, 1999. С. 14–16.

16. Дзыбов Д.С., Лапенко Н.Г. Особенности пастбищного хозяйства юга России и его обеспечение посевным агротехническим материалом // Экономика и организация семеноводства зерновых и других сельскохозяйственных культур в Южном федеральном округе в условиях рыночной экономики: материалы международной научно-практической конференции, Ставрополь, 7–8 июня 2001 г. Ставрополь: Краевой комитет государственной статистики, 2001. С. 124–131.

17. Кормовые ресурсы центрального Предкавказья и пути их улучшения / В.Г. Гребенников, И.А. Шипилов, Н.С. Дыба [и др.] // Сборник научных трудов Ставропольского научно-исследовательского института животноводства и кормопроизводства. 2005. Т. 2. № 2. С. 7–11.

18. Юшкевич Л.В., Храмцов И.Ф. Основные принципы адаптации систем земледелия к природным агроландшафтам Омской области // Актуальные проблемы развития прикладных исследований и пути повышения их эффективности в сельскохозяйственном производстве: материалы международной научно-практической конференции, посвященной 80-летию ТатНИИСХ, Казань, 10–12 июля 2000 г. Казань: РИЦ «Школа», 2001. С. 193–195.

19. Дриггер В.К. Специализированные севообороты зелено-го конвейера и технологии возделывания кормовых культур. Ставрополь: АГРУС, 2010. 193 с.

20. Растениеводство / В.А. Алабушев, А.В. Алабушев, В.В. Алабушев [и др.]. Ростов-на-Дону: Издательский центр «МарТ», 2001. 384 с.

21. Идрисов Р.А. Многолетние травы на деградированных склонах в степном Зауралье // Социально-экономические и экологические проблемы развития Уральского региона Республики Башкортостан: тезисы докладов, Сибай, 1–2 июня 2000 г. Том 1. Сибай: Сибайский институт (филиал) Башкирского государственного университета, 2000. С. 206–208.

22. Маликова М.Г., Фенченко Н.Г. Химический состав, питательность кормов Республики Башкортостан и пути их рационального использования. Уфа: Типография ПЛ-1, 2002. 256 с.

23. Адаптивные технологии кормопроизводства в Башкортостане. Уфа: Министерство сельского хозяйства Республики Башкортостан, 2004. 76 с.

24. Демкин О.В., Сазанов М.А., Дедова Э.Б. Проблемы орошаемого земледелия в Республике Калмыкия // Мелиорация и водное хозяйство. 2004. № 4. С. 31–35.

25. Совершенствование полевого кормопроизводства / В.Н. Ломов, Р.А. Салыхов, Н.М. Семенова, В.Я. Крамаренко // Земледелие. 2004. № 5. С. 7–8.

26. Манджиева А.Н., Дедова Э.Б. Использование нетрадиционных культур в качестве фитомелиорантов // Новые и редкие растения Северного Кавказа: материалы 1-й региональной конференции молодых ученых, Владикавказ, 27–28 ноября 2003 г. Том Часть 2. Владикавказ: Горский государственный аграрный университет, 2003. С. 54–55.

27. Гасанов Г.Н., Курбанов С.А. Фитомелиорация засоленных почв Западного Прикаспия. М.: Наука. 2004. 270 с.

28. Производство кормов в зеленом конвейере: Рекомендации / В.Б. Беляя, А.А. Смирнов, А.Д. Ишмуратова [и др.]. Пенза: Пензенская государственная сельскохозяйственная академия, 2005. 32 с.

29. Туманян А.Ф., Зволинский О.В. Возможность семеноводства терескена серого в Нижнем Поволжье // Вестник Российской академии сельскохозяйственных наук. 2005. № 5. С. 46–47. EDN HRYEVV.

30. Туманян А.Ф. Введение галоксерофитных растений в агрофитоценозы сухостепной зоны Нижнего Поволжья // Вестник Российской академии сельскохозяйственных наук. 2005. № 6. С. 58–60.

31. Юшкевич Л.В., Храмцов И.Ф., Холмов В.Г. Проблемы земледелия засушливых зон равнинных агроландшафтов Западной Сибири // Деградация почвенного покрова и проблемы агроландшафтного земледелия: материалы Первой Международной научной конференции, Ставрополь, 24–28 сентября 2001 г. Ставрополь: Ставропольская государственная сельскохозяйственная академия, 2001. С. 218–219.

32. Мамин В.Ф. Экологические проблемы использования лиманных лугов на современном этапе. Волгоград: Всероссийский научно-исследовательский институт орошаемого земледелия, 2022. 196 с.

33. Мамин В.Ф. Опыт познания экологии луговых лиманов Прикаспийской низменности. Волгоград: Всероссийский научно-исследовательский институт орошаемого земледелия, 2022. 232 с.

34. Мамин В.Ф., Новиков А.Е. Солодка голая в агроландшафтах низовий Волги. Экология, биопотенциал, мелиорация солодов-

ников. Волгоград: Всероссийский научно-исследовательский институт орошаемого земледелия, 2023. 200 с.

REFERENCES

1. Krasnikov G.Ya., Dubina M.V. On the main results of the RAS work in the reporting period and on the priority areas of its activities. Resolution of the General Meeting of RAS Members // Bulletin of the Russian Academy of Sciences. 2023. Vol. 93. No. 8. Pp. 772–778. DOI 10.31857/S0869587323080121.

2. Novikov A.E., Komarova O.P. Problems and directions of research in irrigated agriculture // Melioration and water management. 2021. No. 5. Pp. 8–10.

3. Novikov A.E., Novikov A.A. Scientific support of irrigated agriculture // Irrigated agriculture. 2023. No. 3(42). Pp. 5–7.

4. Novikov A.E., Novikov A.A. Scientific support of irrigated agriculture in arid territories. VNIIOZ is 55 years old! // Irrigated agriculture. 2022. No. 3. Pp. 8–10.

5. Melikhov V.V., Dronova T.N. The main results of the implementation of the coordination program on field forage production for 2001–2005 // Scientific foundations of the effective use of irrigated lands of arid territories of Russia: A collection of scientific papers. Volgograd: NP «Health and Ecology», 2007. Pp. 92–101.

6. Varieties and hybrids of agricultural crops of wildebeest breeding «North Caucasian people» / V.V. Kulintsev, V.V. Chumakova, V.V. Kravtsov [et al.]. 9th ed., add. M.: North Caucasian Federal University, 2019. 165 p.

7. Kravtsov V.V., Kravtsov V.A., Kapustin A.S. A variety of perennial grasses for the creation and improvement of hayfields and pastures in the arid zones of Southern Russia // Bulletin of the Kursk State Agricultural Academy. 2019. No. 2. Pp. 52–55.

8. Tyutyuma N.V., Tuz R.K. Caspian Research Institute of Arid Agriculture-arid science on the Lower Volga // Bulletin of the Volgograd State University. Episode 11: Natural Sciences. 2017. Vol. 7, No. 1. Pp. 67–76. DOI 10.15688/jvolsu11.2017.1.8.

9. Dronova T.N. Meadow clover on irrigated lands of the Lower Volga region: monograph. Volgograd: VNIIOZ, 2004. 236 p.

10. Grebennikov V.G., Honina O.V., Shipilov I.A. Promising long-term grass mixtures for hayfields and pastures of the central Caucasus // Forage production. 2007. No. 9. Pp. 8–11.

11. Interregional scheme of placement and specialization of agricultural production in the subjects of the Russian Federation of the Siberian Federal District / A.S. Donchenko, V.K. Kalichkin, R.P. Mityakova [et al.]. Novosibirsk: Publishing House of the IIC GNU SibNSHB of the Russian Agricultural Academy, 2016. 255 p.

12. Resource-saving technologies of cultivation of meadow clover on irrigated lands of the Russian Federation: recommendations / T.N. Dronova, N.I. Burtseva, O.P. Komarova, et al., 2005. 69 p.

13. Dronova T.N., Burtseva N.I., Molokanova E.I. Scientific results of research on perennial herbs // Izvestiya Nizhnevolszhskiy agrouniversity complex: science and higher professional education. 2017. No. 3(47). Pp. 46–56.

14. Bean-bluegrass grass mixtures on irrigated lands of the Lower Volga region: monograph / T.N. Dronova, N.I. Burtseva, E.I. Molokantseva, et al. Volgograd: VNIIOZ, 2022. 108 p.

15. Druzhinin V.A. Alternative development of a forage base based on enriched agrostes of communities in the conditions of the Stavropol upland // Mountain plant resources: theory and forecast of development and reproduction: materials of the Caucasian Symposium, Makhachkala-Gunib, September 20–23, 1999. Makhachkala-Gunib: Dagestan State University, 1999. Pp. 14–16.

16. Dzybov D.S., Lapenko N.G. Features of pasture farming in the south of Russia and its provision with agricultural seed material // Economics and organization of seed production of cereals and other agricultural crops in the Southern Federal District in a market economy: Proceedings of the International scientific and practical conference, Stavropol, June 7–8, 2001. Stavropol: Regional Committee of State Statistics, 2001. Pp. 124–131.

17. Fodder resources of the central Caucasus and ways to improve them / V.G. Grebennikov, I.A. Shipilov, N.S. Dyba [et al.] // Collection of scientific papers of the Stavropol Scientific Research Institute of Animal Husbandry and feed production. 2005. Vol. 2. No. 2. Pp. 7–11.

18. Yushkevich L.V., Khramtsov I.F. Basic principles of adaptation of farming systems to natural agricultural landscapes of the Omsk region // Actual problems of development of applied research and ways to increase their effectiveness in agricultural production: materials of the international scientific and practical conference dedicated to the

80th anniversary of TatNIISKh, Kazan, July 10–12, 2000. Kazan: RIC «School», 2001. Pp. 193–195.

19. Dridiger V.K. Specialized crop rotations of the green conveyor and technologies of cultivation of forage crops. Stavropol: AGRUS, 2010. 193 p.

20. Crop production / V.A. Alabushev, A.V. Alabushev, V.V. Alabushev [et al.]. Rostov-on-Don: Publishing Center «March», 2001. 384 p.

21. Idrisov R.A. Perennial grasses on degraded slopes in the steppe Trans-Urals // Socio-economic and environmental problems of the development of the Ural region of the Republic of Bashkortostan: Abstracts, Sibai, June 1–2, 2000. Volume 1. Sibai: Sibai Institute (branch) of the Federal State budgetary educational institution of higher professional education «Bashkir State University», 2000. Pp. 206–208.

22. Malikova M.G., Fenchenko N.G. Chemical composition, nutritional value of feeds of the REPUBLIC of Bashkortostan and ways of their rational use. Ufa: Printing house PL-1, 2002. 256 p.

23. Adaptive technologies of feed production in Bashkortostan. Ufa: Ministry of Agriculture of the Republic of Bashkortostan, 2004. 76 p.

24. Demkin O.V., Sazonov M.A., Dedova E.B. Problems of irrigated agriculture in the Republic of Kalmykia // Melioration and water management. 2004. No. 4. Pp. 31–35.

25. Improvement of field forage production / V. N. Lomov, R.A. Salyakhov, N.M. Semenova, V.Ya. Kramarenko // Agriculture. 2004. No. 5. Pp. 7–8.

26. Mandzhieva A.N., Dedova E.B. The use of non-traditional crops as phytomeliorants // New and rare plants of the North Caucasus: Proceedings of the 1st regional conference of young scientists, Vladikavkaz, November 27–28, 2003. Volume Part 2. Vladikavkaz: Gorsky State Agrarian University, 2003. Pp. 54–55.

27. Gasanov G.N., Musaev M.R., Kurbanov S.A. Phytomelioration of saline soils of the Western Caspian Sea. M.: Nauka, 2004. 270 p.

28. Feed production in the green conveyor: Recommendations / V.B. Belyak, A.A. Smirnov, A.D. Ishmuratova [et al.]; Penza Scientific Research Institute of Agriculture, Department of Agriculture of the Penza region. Penza: Penza State Agricultural Academy, 2005. 32 p.

29. Tumanyan A.F., Zvolinsky O.V. The possibility of seed production of *terresken* gray in the Lower Volga region // Bulletin of the Russian Academy of Agricultural Sciences. 2005. No. 5. Pp. 46–47.

30. Tumanyan A.F. Introduction of haloxerophytic plants into agrophytocenoses of the dry steppe zone of the Lower Volga region // Bulletin of the Russian Academy of Agricultural Sciences. 2005. No. 6. Pp. 58–60.

31. Yushkevich L.V., Khramtsov I.F., Kholmov V.G. Problems of agriculture in arid zones of lowland agricultural landscapes of Western Siberia // Degradation of soil cover and problems of agro-landscape agriculture: Materials of the First International Scientific Conference, Stavropol, September 24–28, 2001. Stavropol: Stavropol State Agricultural Academy, 2001. Pp. 218–219.

32. Mamin V.F. Ecological problems of using estuarine meadows at the present stage. Volgograd: All-Russian Scientific Research Institute of Irrigated Agriculture, 2022. 196 p.

33. Mamin V.F. The experience of cognition of the ecology of meadow estuaries of the Caspian lowland. Volgograd: All-Russian Scientific Research Institute of Irrigated Agriculture, 2022. 232 p.

34. Mamin V.F., Novikov A.E. Naked licorice in the agricultural landscapes of the lower Volga. Ecology, biopotential, melioration of malt houses / Volgograd: All-Russian Scientific Research Institute of Irrigated Agriculture, 2023. 200 p.

Мелихов Виктор Васильевич, доктор с.-х. наук, член-корр. РАН, гл. науч. сотрудник, vnioz@yandex.ru, ORCID: 0000-0002-8240-3385; **Новиков Алексей Андреевич**, доктор с.-х. наук, зам. директора по научной работе, alexeynovikov@inbox.ru, ORCID: 0000-0002-7698-8268; **Комарова Ольга Петровна**, канд. с.-х. наук, вед. науч. сотрудник, komarova62@rambler.ru, ORCID: 0000-0001-9129-6932; **Бурцева Наталья Ивановна**, канд. с.-х. наук, вед. науч. сотрудник, burceva.58@yandex.ru, ORCID: 0000-0002-9787-7321 (ВНИИОЗ – филиал ФНЦ ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова, г. Волгоград).

УДК 631.6

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ УПРАВЛЕНИЯ ВОДОПОЛЬЗОВАНИЕМ НА ОРОШЕНИИ

Д.А. РОГАЧЕВ

Ключевые слова: искусственный интеллект, водопользование, водораспределение, информационная система, искусственная нейронная сеть, экономико-математическое моделирование, модели-двойники.

Keywords: artificial intelligence, water use, water distribution, information system, artificial neural network, economic and mathematical modeling, twin models.

Аннотация. В статье характеризуются методы построения и алгоритмы функционирования информационно-аналитической системы управления технологическими и финансово-экономическими процессами водопользования на межхозяйственных оросительных системах с использованием математических и нейросетевых моделей, а также модели-двойников организации.

Abstract. The paper characterizes the methods of construction and algorithms for the functioning of an information and analytical management system for technological and financial and economic processes of water use in inter-state irrigation systems using mathematical and neural network models, as well as organization twin models.

Введение. Дефицит пресной воды в ближайшей перспективе может стать одним из наиболее острых глобальных вызовов человечеству. Урбанизация, изменения климата, повышение антропогенной нагрузки привели к повышению потреблению воды в различных отраслях экономики. Несмотря на то, что Россия обладает большими запасами питьевой воды, ее рациональное использование является крайне важным. Дефицит поливной воды уже сейчас и, по большей мере, в бли-

жайшей перспективе становится актуальной проблемой в ряде регионов РФ с низким уровнем водообеспеченности. Проведенный анализ отечественной практики водопользования свидетельствует о необходимости существенного снижения непроизводительных затрат поливной воды: на фильтрацию, испарение, сбросы, приближающихся в некоторых случаях к 30...40 %.

Теория и практика задач планирования, реализации, совершенствования и развития водопользования орошаемого земледелия всегда были и остаются предметом пристального внимания многих советских и российских ученых. В последнее время решениями по анализу и разработке технологий оптимизации и планирования водораспределения в условиях дефицита поливной воды занимались: И. Бегимов, А. Бубер, С. Васильев, Ю. Добрачев, В. Духовный, Ю. Домашенко, Л. Кирейчева, С. Найденев, Г. Ольгаренко, И. Ольгаренко, И. Юрченко и другие ученые [1–7]. Масштабное применение в мелиоративном секторе российского АПК инновационных информационных технологий позволит, по мнению экспертов, существенно сократить объемы забора воды из источников орошения [1, 2, 6].

В статье изложены результаты НИР, проводимые ФГБНУ «Федеральный научный центр гидротехники

и мелиорации им. А.Н. Костякова» по разработке технологий управления системным водопользованием, в том числе в условиях дефицита, с использованием интеллектуальных решений.

Материалы и методы. В качестве методологической основы исследований используются труды отечественных и зарубежных ученых в области водопользования мелиоративного сектора АПК, информационных технологий, в том числе базирующихся на решениях и инструментариях цифровой трансформации, фундаментальных положений математического программирования, теории оптимизации.

Методы настоящих исследований включают: системный, сравнительный, эвристический анализы; математическое и экономико-математическое моделирование; методы математико-статистического подхода, оценки эколого-экономической эффективности, информационно-аналитической и интеллектуальной поддержки принятия решений; теорию и практику обработки и трансформации массивов больших данных (Big Data) в сфере системного водопользования с применением искусственного интеллекта (ИИ).

Современный мировой опыт и отечественная практика показывают, что приоритетным направлением снижения рисков планирования и оперативной реализации водоподдачи на ОС является использование автоматизированных систем управления технологическими процессами и производством.

Результаты и обсуждение. Планирование водораспределения на межхозяйственных оросительных системах в настоящее время опирается на обеспечение декадных заявок сельхозпроизводителей в пределах лимитов поливной воды, предусмотренных производственным планом водохозяйственной организации. В условиях дефицита решение о подаче воды осуществляется, как правило, на основании экспертных оценок лица принимающего решения, преимущественно без учета интересов мелких потребителей. При таком подходе оптимальность критериев распределения водных ресурсов четко не формулируется, а последствия результатов принятого варианта не оцениваются. Подобный подход способствует формированию проблемы нарушения базовых принципов, декларируемых плановым водопользованием — равноправности водопотребителей и непрерывности водоподдачи, усугубляющейся в периоды дефицита водообеспеченности орошения [8].

Проблемы системного водораспределения во многом связаны со старением и неудовлетворительным состоянием гидротехнических сооружений, что приводит к потерям поливной воды и отказу предоставляемых услуг.

В составе НИР разработаны предложения по модернизации и совершенствованию управления водопользованием на межхозяйственных оросительных системах, базирующиеся на методологии моделирования и создания прототипов (цифровых двойников) моделируемых процедур, операций и процессов.

С этой целью выполнены следующие работы:

- описаны стадии становления системного водопользования; охарактеризовано его актуальное состо-

яние, определены узкие места действующих подходов к его управлению, возможности и перспективы рационализации системного водопользования на орошении;

- установлены наиболее важные направления и определены задачи совершенствования системного водопользования, опирающиеся на научно обоснованные подходы и методологию реализации управляющих воздействий [9, 10];

- выявлены критерии оптимизации и спроектированы экономико-математические модели выбора мероприятий технической эксплуатации на межхозяйственных оросительных системах, планирования водораспределения в условиях дефицита поливной воды и финансово-экономическая модель — «Цифровой двойник» водохозяйственной организации;

- разработаны алгоритмы процедур водопользования, в том числе в условиях дефицита поливной воды [7];

- правленческих решений на материалах службы эксплуатации Городищенской оросительной системы (Волгоградская область) и Красногвардейской оросительной системы (Республика Крым) [11];

- разработан прототип интеллектуальной автоматизированной системы управления водопользованием ИАС «Водопользование ОС»;

- выполнена пилотная программная реализация подсистемы ИАС «Техническая эксплуатация» с использованием эволюционно-генетических вычислений и средств визуализации ГИС (свидет. о гос. регистрации № 2024667866).

Базовые концептуальные положения этих исследований в части моделирования процессов системного водопользования, разработки прототипа интеллектуальной автоматизированной системы и программной реализации подсистемы ИАС характеризуются в настоящей публикации.

Моделирование процессов системного водопользования. Перечень разработанных в рамках НИР математических моделей процессов системного водопользования и решаемых ими задач приведен в таблице.

На сегодняшний день эффективным инструментарием реализации оптимизационных моделей становятся интеллектуальные информационные технологии с приоритетным использованием нейросетевых технологий. Во всех отраслях экономики, включая агропромышленный комплекс, они занимают ведущие позиции в системах поддержки принятия решений [12]. На смену классическим методам оптимизации при многокритериальности или нелинейности целевой функции приходят методы эволюционно-генетического программирования, являющиеся одним из направлений ИИ.

Обоснованием необходимости использования методов ИИ в задачах управления водопользованием на межхозяйственных ОС с применением моделей многокритериальной оптимизации является отсутствие четкого алгоритма решения в связи с его высокой вариабельностью, неопределенность поведения моделей, а также необходимость повышения эффективности применения автоматизированных систем управления, как производством в целом, так и отдельными технологическими процессами производства.

Математические модели процессов системного водопользования

Название модели	Решаемые задачи
1. Экономико—математическая модель оптимального распределения ограниченных водных ресурсов на межхозяйственных оросительных системах	Моделирование сценариев тактического и оперативного планирования водораспределения
2. Стохастическая модель системного водораспределения в условиях дефицита водных ресурсов	Оптимизация площадей орошения в пределах ОС с учетом ретроспективных данных водопользования
3. Модель планирования мероприятий технической эксплуатации	Моделирование сценариев выделения средств в условиях ограничения финансирования ремонтно-восстановительных работ
4. Финансово-экономическая модель — «Цифровой двойник» водохозяйственной организации	Оценка последствий принятых решений по водопользованию на показатели работы организации
5. Статистическая модель прогнозирования временных рядов урожайности сельскохозяйственных культур в процедурах планирования системного водораспределения	Прогнозирование урожайности на базе ретроспективных данных для оценки альтернативных сценариев водораспределения

Прототип интеллектуальной автоматизированной системы управления водопользованием ИАС «Водопользование ОС». В рамках НИР была сформирована структурно-функциональная схема автоматизированной системы управления ИАС «Водопользование ОС».

Целью создания ИАС «Водопользование ОС» является повышение качества управления:

- технологическим процессом планирования оптимального тактического (годового) и оперативного (суточного) водораспределения на межхозяйственных оросительных системах, имеющего решающее значение в условиях маловодья источников орошения, аварий и других форс-мажорных обстоятельств;
- техническим состоянием и ремонтно-восстановительными работами на ГТС по результатам плановых обследований, обеспечивающих возможность реализации управляющих воздействий системной водоподачи;

• финансово-экономическими процессами водохозяйственной организации, необходимыми для сохранения и расширения требующихся предприятий при усиливающейся конкуренции на рынке сельскохозяйственной продукции.

Функциональная модель ИАС интегрирует: картографическую и атрибутивную реляционные базы данных (БД); процедуры экономико-математического моделирования; модели искусственного интеллекта для оптимизации нелинейных многокритериальных целевых функций водораспределения; интеллектуальные модели прогнозирования технического состояния водопроводящих ГТС, а также финансово—экономическую модель оценки качества управления водохозяйственной организацией (рис. 1).

Система реализует информационную и технологическую поддержку специалистов службы водохо-



Рис. 1. Структурно-функциональная схема ИАС «Водопользование ОС»

зяйственной организации путем совершенствования структуры потоков информации, обеспечивая системное планирование водораспределения за счет внедрения многокритериальных экономико-математических моделей оптимизации, реализуемых методами ИИ.

В настоящее время в процессе разработки ИАС реализована пилотная версия подсистемы «Техническая эксплуатация» (свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2024667866).

Программное обеспечение ИАС. Разработка прототипа автоматизированной системы управления ведется на базе технологической платформы 1С-Предприятие 8.3, обеспечивающей возможность интеграции с типовыми тиражными решениями на базе программного комплекса «1С». Для реализации функционала ГИС использовано тиражируемое решение компаний «1С» и «Центр Программ Систем» 1С-GIS «Управление пространственными данными» [13].

Такой подход позволяет применять готовые решения по визуализации пространственной информации и сфокусироваться на реализации содержательных аспектов функционала системы.

Подсистема «Техническая эксплуатация», обеспечивая решение задачи оптимизации мероприятий технической эксплуатации, осуществляет так же и учет технического состояния объектов ОС, данных водопотребителей и дополнительных объектов, позволяющих визуализировать пространственно-ориентированные данные на карте.

Программное решение позволяет упростить ведение учета объектов технической эксплуатации и связанных с ними элементов, реализует хранение сведений об иерархической структуре системы, в том числе с возможностью визуализации объектов на линейной схеме.

Решение задачи оптимизации выполняется с использованием надстройки «Поиск решения» программного комплекса MS Excel, адаптированной автором для рассматриваемой модели [3]. На рис. 2 представлены результаты оптимизации распределения ограниченных финансовых ресурсов на ремонт насосных станций. Расчеты выполнены на материалах службы эксплуатации Красногвардейской оросительной системы ГБУ Республика Крым «Крымское управление водного хозяйства и мелиорации».

Система позволяет визуализацию информации по объектам учета (количество отказов за контролируемый период времени, даты капитального ремонта, реконструкции, потребности в финансировании последних и т. п. сведения). В качестве подложки ГИС возможно использовать карты и спутниковые снимки.

В рамках дальнейших исследований планируется разработка:

- подсистемы «Водораспределение» АСУ «Водопользование ОС», для решения задач планирования водоподачи и водораспределения;
- подсистемы «Прогнозирование» АСУ «Водопользование ОС», для прогнозирования урожайно-

C:\Проекты\ДВ\04_2024_Разработка ГИС - Крым\Результаты расчета\Результат...										
1	2	3	4	5	6	7	8	9		
1	Вид ограничения	Переменные оптимизационной модели							От	
2		НС №1	НС №2	НС №3	НС №4	НС №5	НС №6	НС №7	Расчет	
3		1	1	1	0	0	0	1	-	
4	Финансирование ремонта, тыс.руб	2025,00	6983,00	756,50	775,00	1750,00	175,00	217,50	9982,00	
5	Площадь орошения, га	652,80	1396,60	151,30	155,00	350,00	35,00	43,50	2244,20	
6	Сокращение потерь воды, тыс. м3	783,36	1340,74	90,78	124,00	182,00	29,40	24,36	2239,24	
7	Финансовый результат в/х организации, тыс.руб	522,24	223,46	605,20	62,00	980,00	21,00	34,80	1385,70	
8	Интегральная функция	0,751998276	1,11362138	0,336753209	0,129152918	0,596611212	0,032565987	0,039297017	2,24	
9										
10										
11										
12										
13										
14	№ п.п.	Подкомандные площади насосных станций	Площадь орошения, га	Валовая стоимость с-хоз продукции, тыс. руб	Водоподача после ремонта, тыс. м3	Удельные затраты на водоподачу, тыс.руб./т тыс. м3	Удельная стоимость водоподачи, тыс.руб./тыс. м3	Финансовый результат в/х организации, тыс.	Сокращение потерь воды, тыс. м3	Финансовый результат
15	1	ООО «Борис — Агро»	652,8	7180,8	2611,2	1,8	2	522,24	785,3	3264
16	2	О «Крымская фруктовая компания»	1396,6	15362,6	5586,4	1,96	2	223,456	1336,6	6983
17	3	ООО ПО "Надежда"	151,3	1664,3	605,2	1	2	605,2	90,3	756,2
18	4	ООО "СП "Октябрьское"	155	1705	620	1,9	2	62	124,6	775
19	5	ООО "Крымагроцех	350	3850	1400	1,3	2	980	186,3	1750
20	6	ИП К(Ф)Х Семашко Т.В.	35	385	140	1,85	2	21	30	175
21	7	ИП К(Ф)Х Семашко О.Ю.	43,5	478,5	174	1,8	2	34,8	25,3	217,5
22				2784,2	30626,2	11136,8			2448,696	

Рис. 2. Результаты оптимизации распределения средств на ремонтно-восстановительные работы

сти, погодных явления и решения прочих вспомогательных задач;

- моделей двойников-организаций и их интеграция с АСУ «Водопользование ОС» на базе тиражируемых решений ИС.

Внедрение системы автоматизации управления эксплуатацией планируется на ОС в Республике Крым.

В заключение следует отметить, что при всей важности решения проблемы совершенствования управления водопользованием на ОС мелиоративного водохозяйственного комплекса с приоритетным использованием инновационных решений, отвечающих современным требованиям агропроизводства, потенциал методов и способов искусственного интеллекта не имеет должного уровня реализации в сфере управленческих решений по мелиорации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бегимов И. Автоматизация каналов Ферганской долины. Итоги работ по проекту. Ташкент, 2010. [Электронный ресурс]. URL: <http://sic.icwc-aral.uz>.
2. Ольгаренко И.В. Информационные технологии планирования водопользования и оперативного управления водораспределением на оросительных системах: дис. ... д-ра техн. наук: 06.01.02. Новочеркасск, 2013. 448 с. EDN SVAPAZ.
3. Кирейчева Л.В., Юрченко И.Ф., Яшин В.М. Модели и информационные технологии управления водопользованием на мелиоративных системах, обеспечивающие благоприятный мелиоративный режим // Мелиорация и водное хозяйство. 2014. № 5–6. С. 50–55. EDN SZNXEV.
4. Актуализированные программные методы расчета водопотребления и проектных норм орошения в рамках современных требований с учетом биоклиматического потенциала сельскохозяйственных культур, наилучших доступных аграрных технологий и пространственно-временной изменчивости почвенно-климатических условий: методические рекомендации / Г.В. Ольгаренко, С.С. Турапин, Т.А. Капустина [и др.]. Коломна: ИП «Лавренов А.В.», 2020. 112 с. EDN QKUDDF.
5. Бубе, А.Л., Добрачев Ю.П. Задача планирования и управления водными ресурсами в интересах водопользователей АПК. 2019. № 5. С. 36–40. EDN YIACCL.
6. Духовный В.А., Муминов Ш.Х., Мирзаев Н.Н. Потенциал агропромышленных кластеров по внедрению рыночных механизмов управления и финансирования водного хозяйства Узбекистана // «Мелиорация и водное хозяйство». 2021. № 1. С. 34–39; Найденов С.В., Домашенко Ю.Е., Васильев С.М. Оптимизация водораспределения на оросительных системах при дефиците водных ресурсов // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. 2018. № 1(69). С. 132–136.
7. Оптимизация распределения ограниченных водных ресурсов методами эволюционно-генетического программирования / Л.В. Кирейчева, Д.А. Рогачев, И.Ф. Юрченко, А.Ф. Рогачев // Международный сельскохозяйственный журнал. 2024. № 2(398). С. 233–238. DOI 10.55186/25876740_2024_67_2_233. EDN QABDGE.
8. Федеральный закон о мелиорации земель. Принят Государственной Думой 8 декабря 1995 г. (редакция с поправками от 2022 г.)
9. Рогачев Д.А., Юрченко И.Ф., Рогачев А.Ф. Управление системным водораспределением на основе экономико-математического моделирования и методов искусственного интеллекта // Мелиорация и гидротехника. 2023. Т. 13, № 3. С. 87–106. DOI 10.31774/2712-9357-2023-13-3-87-106. EDN YPTZVK.
10. Rogachev D.A., Yurchenko I.F., Rogachev A.F. Management and Optimization of Systematic Water Adjustment by Economic-Mathematic Modeling Methods and AI // International Russian Automation Conference (RusAutoCon), Sochi, 10–16 сентября 2023 г. Sochi: Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2023. P. 888–893. DOI 10.1109/RusAutoCon58002.2023.10272907.
11. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2024611825 Российская Федерация. «Оптимизация распределения оросительной воды в условиях дефицита методом эволюционно-генетических вычислений с нелинейной многокритери-

альной целевой функцией». № 2023688940: заявл. 22.12.2023: опубл. 25.01.2024 / Д.А. Рогачев; заявитель Федеральный научный центр гидротехники и мелиорации имени А.Н. Костякова. EDN KIKMXC.

12. Указ Президента Российской Федерации «О развитии искусственного интеллекта в Российской Федерации» от 10.10. 2019 г. № 490 (вместе с «Национальной стратегией развития искусственного интеллекта на период до 2030 года»).

13. IC: Предприятие 8. GIS Управление пространственными данными. URL: <https://solutions.1c.ru/catalog/gis/features> (дата обращения 27.05.24).

REFERENCES

1. Begimov I. Automation of Ferghana Valley canals. The results of the work on the project. Tashkent, 2010. [Electronic resource]. URL: <http://sic.icwc-aral.uz>.
2. Olgarenko I.V. Information technologies of water use planning and operational management of water distribution in irrigation systems: specialty 06.01.02 «Land reclamation, reclamation and protection of lands»: dissertation for the degree of Doctor of Technical Sciences. Novocherkassk, 2013. 448 p. EDN SVAPAZ.
3. Kireicheva L.V., Yurchenko I.F., Yashin V.M. Models and information technologies of water use management on meliorative systems providing a favorable meliorative regime // Melioration and water management. 2014. № 5–6. Pp. 50–55. EDN SZNXEV.
4. Updated software methods for calculating water consumption and design irrigation standards within the framework of modern requirements, taking into account the bioclimatic potential of agricultural crops, the best available agricultural technologies and spatial and temporal variability of soil and climatic conditions: Methodological recommendations / G.V. Olgarenko, S.S. Turapin, T.A. Kapustina [et al.]. Kolomna: IP «Lavrenov A.V.», 2020. 112 p. EDN QKUDDF.
5. Buber A.L., Dobrachev Yu.P. The task of planning and managing water resources in the interests of water users of the agro-industrial complex. 2019. № 5. Pp. 36–40. EDN YIACCL.
6. Dukhovny V.A., Muminov Sh.Kh., Mirzaev N.N. The potential of agro-industrial clusters for the introduction of market mechanisms for managing and financing water management in Uzbekistan // Melioration and water management. 2021. 1. Pp. 34–39; Naydenov S.V., Domashenko Yu.E., Vasiliev S.M. Optimization of water distribution in irrigation systems with a shortage of water resources // Ways to increase the efficiency of irrigated agriculture. 2018. № 1(69). Pp. 132–136.
7. Optimization of the distribution of limited water resources by methods of evolutionary genetic programming / L.V. Kireicheva, D.A. Rogachev, I.F. Yurchenko, A.F. Rogachev // International Agricultural Journal. 2024. № 2(398). Pp. 233–238. DOI 10.55186/25876740_2024_67_2_233. EDN QABDGE.
8. Federal Law on Land Reclamation. Adopted by the State Duma on December 8, 1995 (as amended in 2022).
9. Rogachev D.A., Yurchenko I.F., Rogachev A.F. Management of systemic water distribution based on economic and mathematical modeling and artificial intelligence methods // Melioration and hydraulic engineering. 2023. Vol. 13, No. 3. Pp. 87–106. DOI 10.31774/2712-9357-2023-13-3-87-106. EDN YPTZVK.
10. Rogachev D.A., Yurchenko I.F., Rogachev A.F. Management and Optimization of Systematic Water Adjustment by Economic-Mathematic Modeling Methods and AI // 2023 International Russian Automation Conference (RusAutoCon), Sochi, September 10–16, 2023. Sochi: Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2023. P. 888–893. DOI 10.1109/RusAutoCon58002.2023.10272907.
11. Certificate of state registration of the computer program No. 2024611825 Russian Federation. «Optimization of irrigation water distribution in conditions of deficits by the method of evolutionary genetic calculations with a nonlinear multicriteria objective function»: No. 2023688940: application. 12/22/2023: publ. 25.01.2024 / D.A. Rogachev; applicant Federal Scientific Center for Hydraulic Engineering and Melioration named after A.N. Kostyakov. EDN KIKMXC.
12. Decree of the President of the Russian Federation «On the development of artificial intelligence in the Russian Federation» dated 10.10. 2019 No. 490 (together with the «National Strategy for the Development of Artificial Intelligence for the period up to 2030»).
13. IC: Enterprise 8. GIS Spatial Data Management. <https://solutions.1c.ru/catalog/gis/features> (accessed 05/27/24).

Рогачев Дмитрий Алексеевич, канд. техн. наук, вед. науч. сотрудник отдела природоохранных и информационных технологий, Rogachev.soft@gmail.com (ФНЦ ВНИИГИМ им. А.Н. Костякова, г. Москва).

УДК 628.6:631.6 (470.47)

ВОДНЫЕ РЕСУРСЫ ДЛЯ ОРОШЕНИЯ ЗЕМЕЛЬ

С.Д. ИСАЕВА, Э.Б. ДЕДОВА

Ключевые слова: водообеспеченность, орошение, районирование, экосистемное водопользование, сельское хозяйство, изменения климата.

Keywords: water availability, irrigation, zoning, ecosystem water use, agriculture, climate change.

Аннотация. Проведен анализ обеспеченности орошения водными ресурсами в южных регионах России с учетом климатических изменений. Предложены принципы, разработана таксономическая схема и выполнено районирование регионов по обеспеченности сельскохозяйственного водоснабжения водными ресурсами. Дана оценка антропогенной нагрузки на водные объекты, потребности в воде для сельскохозяйственного водоснабжения на перспективу до 2035–2050 гг. Выполненные исследования в процессе районирования могут служить основой для определения направлений и принципов совершенствования управления водными ресурсами при орошении земель.

Abstract. The analysis of the availability of irrigation with water resources in the southern regions of Russia, taking into account climatic changes, is carried out. The principles are proposed, a taxonomic scheme is developed and the regions are zoned according to the provision of agricultural water supply with water resources. An assessment of the anthropogenic load on water bodies and the need for water for agricultural water supply for the future up to 2035–2050 is given. The research carried out in the process of zoning can serve as a basis for determining the directions and principles of improving water resources management in land irrigation.

Введение. Экологически безопасное, экономически эффективное развитие агропромышленного комплекса Российской Федерации в значительной мере зависит от наличия водных ресурсов, необходимых для сельскохозяйственного водоснабжения, а также технического состояния мелиоративно-водохозяйственного комплекса, предназначенного для обеспечения рационального водопользования при орошении и обводнении.

Цель исследований заключалась в анализе обеспеченности орошения водными ресурсами в южных регионах России в настоящее время и на перспективу, исходя из прогнозов климатических изменений, влияющих на условия формирования поверхностных и грунтовых вод и возделывание сельскохозяйственных культур.

Методология исследований базировалась на системном подходе, аналитических, расчетных и статистических методах, а также геоинформационных исследованиях, на современных разработках ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова в области экосистемного водопользования, состояния и развития мелиоративно-водохозяйственного комплекса АПК. По метеоданным Росгидромета в зоне недостаточного увлажнения, выполнены статистические расчеты, характеризующие динамику поступления атмосферных осадков и изменения температуры воздуха

Результаты исследования и их обсуждение. В целях водопользования преимущественно используются поверхностные воды. Обеспечение водными ресурсами населения и экономики, как известно, осложнено неравномерным распределением поверхностных и подземных вод по территории страны, и зависит от развития производственного и сельскохозяйственного секторов экономики, в меньшей степени — от плотности

населения и других факторов. Можно отметить, что по экономическим и природно-хозяйственным причинам с 2013 г. по 2022 г. в РФ сократился отбор свежей воды для использования в разных целях. Так, в 2013 г. всего было изъято из водных источников 69,9 км³ воды, а в 2022 г. — 65,65 км³. Из этого объема для использования было предназначено в 2013 г. — 56,8 км³, в 2022 — 53,1 км³, из которых для орошения и сельскохозяйственного водоснабжения в 2013 г. использовано соответственно 6,6 км³ и 353,2 млн м³; а в 2022 г. — 6,2 км³ и 256,7 млн м³ [1]. По данным Росводресурсов [2], на первом месте по забору воды находятся реки в бассейне Каспийского моря: в 2022 г. объем изъятия поверхностного стока составил 23,4 км³. Основной водозабор приходится на р. Волгу и ее притоки, в 2022 г. доля водопотребления в бассейне составила примерно 67,6 % от водопользования в бассейне Каспийского моря [1–2]. С 2013 по 2022 г. произошло снижение водозабора в данном бассейне в целом с 28,8 до 23,4 км³, или на 18,7 %. При этом в регионе установлены самые высокие значения потерь воды при транспортировке, которые в 2022 г. составили 2,9 км³. В этих потерях роль сельского хозяйства велика из-за состояния водохозяйственных систем, физических износ которых на мелиорированных землях в пределах федеральных округов в среднем достигает 79 % и более.

На втором месте по изъятию воды находятся реки Азовского бассейна: в 2022 г. водозабор составил 16,8 км³. На этот бассейн приходится примерно 25,6 % от общего показателя водопользования по Российской Федерации. Отличительной особенностью бассейна является увеличение (на общем фоне снижения) отбора поверхностных вод с 2013 по 2022 г. от 15,3 до 16,8 км³ (на 10 %). Объем потерь воды при транспортировке в 2022 г. достаточно высокий — 2,5 км³, или 37,3 % от общероссийской величины [1, 2].

В ряде южных регионов, характеризующихся засухами, ощущается дефицит воды, прежде всего, пригодной для хозяйственно-питьевого водоснабжения, не хватает водных ресурсов в сухие годы для орошения земель. Ситуация усугубляется в связи с текущими климатическими изменениями [1, 3–6]. С увеличением засушливости летнего периода связывают ожидаемое к концу XXI в. снижение урожайности озимой пшеницы в южных регионах. К этой территории относятся Республика Калмыкия (на 1,5 %), Дагестан (на 0,7 %) и Астраханская область (1,5 %), Ставропольский край (1,9 %) [7].

По данным Росгидромета [4], в процессе климатических изменений наблюдаются тенденции, характеризующиеся ощутимым повышением температуры в зимний период, ростом испаряемости в летний, учащением повторяемости засух, аномально высоких температур, а также интенсивным колебанием годового стока рек,

его сезонным перераспределением, аномально высокими паводками и наводнениями, что ярко подтверждается весенними событиями 2024 г. При этом ресурсы речного стока в 2022 г. в Астраханской области были ниже среднегодовой многолетней величины на 9 %, в Волгоградской — на 10,3 %, в Ростовской — на 39,4 %, в Краснодарском Крае — на 19,1 % [2]. На юге европейской территории России отмечается максимум летнего потепления. По данным [2, 4] к 2022 г. для ЮФО градиент потепления составил $+0,74^{\circ}\text{C}/10$ лет. Происходит постепенное увеличение засушливости климата в южных регионах, что делает проблему водообеспечения особенно острой [2, 5, 7–10].

Выявленные тенденции подтверждаются исследованиями ФНЦ ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова [5–12]. В 2022 г. проведены статистические исследования и сопоставлены прогнозные аналитические данные с фактической климатической ситуацией. Анализ метеоданных и графические построения, отражающие динамику осадков и температуры воздуха за периоды от 30 до 130 лет, выполнены по метеостанциям, расположенным в регионах с повышенным риском засух. На основе расчетов и аппроксимации установлены линейные тренды, отражающие многолетнюю положительную динамику температуры приземного слоя воздуха, и полиномиальные (3-й, 5-й степени) — в изменении осадков.

В динамичных климатических условиях, учитывая необходимость обеспечения продовольственной безопасности нашей страны, необходимо оценить ситуацию в сфере обеспечения орошения водными ресурсами по основным регионам, определяющим объемы производства сельскохозяйственной продукции [7, 9]. С этой целью использован комплексный подход, опирающийся на анализ существующего водопотребления в сельском хозяйстве, оценку тенденций развития сельскохозяйственного производства и динамики населения на юге европейской части РФ и определение потребности в водных ресурсах на перспективу. На основе исследований ФНЦ ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова выполнено районирование территории недостаточного увлажнения европейской части РФ по обеспеченности орошения и сельхозводоснабжения водными ресурсами. Вопросы гидрогеологического и гидрогеолого-мелиоративного районирования исследовались П.В. Отоцким, В.С. Ильиным, О.К. Ланге, Н.М. Решеткиной, Д.М. Кацем, Л.В. Кирейчевой и др. Агроклиматическое районирование территории СССР по условиям увлажнения проводилось Г.Т. Селяниновым, С.А. Сапожниковой, Д.И. Шашко. Районирование европейской части РФ по формированию поверхностных водных ресурсов выполнялось учеными ИВП РАН, по применимости ресурсосберегающих технологий орошения — учеными ВНИИГиМ К.В. Губером, М.Ю. Храбровым, В.К. Губиным и др. Исходя из анализа существующих систем районирования, концепции экосистемного водопользования, принципов комплексного экологического мониторинга [5, 7–14], направленности работы на обеспечение орошения и сельхозводоснабжения водными ресурсами, предложена схема и выполнено районирование терри-

тории зоны недостаточного увлажнения европейской части РФ по водообеспеченности. Районирование проведено с использованием современных цифровых и геоинформационных технологий.

В качестве основных принципов районирования приняты:

- районирование направлено на обеспечение сельского населения и сельхозпроизводства водными ресурсами в необходимых объемах нормативного качества;
- при анализе доступных объемов водных ресурсов для орошения требуется соблюдение экологических ограничений на водопользование для сохранения экологической устойчивости природной среды к водохозяйственному воздействию, в том числе, в целях охраны водных ресурсов от истощения и загрязнения, сохранения благоприятного экологического состояния водных и земельных ресурсов для будущих поколений;
- максимальное использование существующих карт в процессе районирования, отражающих закономерности формирования и динамики гидрологических и гидрогеологических факторов, определяющих условия сельскохозяйственного водоснабжения;
- учет и отражение в районировании климатических изменений как фактора формирования водных ресурсов, в том числе, для последующего определения дополнительных источников для орошения;
- рассмотрение геосистем водообменных бассейнов как единых водосборов поверхностных и подземных вод [13, 15];

В пределах рассматриваемого региона (Самарская, Волгоградская, Саратовская, Астраханская, Ростовская области, Республика Калмыкия, Краснодарский и Ставропольский край) количество атмосферных осадков уменьшается с 450...500 до 250...300 мм, испаряемость увеличивается от 450 до 1000 и более мм. Условия увлажнения территории отражены посредством гидротермического коэффициента. Соответственно увеличение испаряемости и дефицита влажности воздуха ухудшает условия инфильтрации атмосферных осадков как источника питания подземных вод, сокращаются модули подземного стока. В пределах зоны районирования по увлажнению выделены две категории: засушливая и сухая.

Для отражения водообменных систем выделены артезианские бассейны второго порядка в соответствии с существующей картой гидрогеологического районирования. В зону исследований вошли территории Волго-Камского, Сурско-Хопёрского бассейнов II порядка; Сыртовского, Ергенинского, Северо-Каспийского; Азово-Кубанского и Восточно-Предкавказского. В процессе проведения районирования были проанализированы материалы, характеризующие запасы подземных вод, условия формирования и объемы возобновляемых поверхностных водных ресурсов и подземных, техногенную нагрузку на водные объекты, оценены объемы потенциально доступных для временного изъятия в остросушливые периоды ресурсов подземных вод. Проведен комплексный анализ социального и экономического развития регионов, в том числе и сельского хозяйства, орошаемого земледелия для прогнозной

оценки потребности в воде. Схема природного районирования синтезирована с информацией по сельскохозяйственному освоению и мелиорации земель рассматриваемых областей. При этом использованы официальные информационные ресурсы Минприроды России и Минсельхоза России, а также исследования ИВП РАН, ВСЕГИНГЕО [13]. В процессе проведенных исследований разработана цифровая и геоинформационная база данных с выдачей аналитических отчетов об использовании поверхностных и подземных вод для орошения и сельхозводоснабжения населения [14, 16].

В целом, схема районирования юга европейской части РФ включает следующие таксономические единицы:

- агроклиматические зоны (по Г.Т. Селянинову);
- артезианские бассейны II порядка (по карте гидрогеологического районирования СССР, ВСЕГИНГЕО);
- величина среднегодовых естественных ресурсов поверхностных вод;
- величина возобновляемых ресурсов поверхностных вод;
- величина запасов подземных вод;
- величина восполнения запасов подземных вод;
- степень антропогенной нагрузки на водные ресурсы;
- потенциально доступные для временного изъятия ресурсы подземных вод.

По разработанной таксономической схеме выполнено районирование по водообеспеченности орошения водными ресурсами.

Изучены условия использования водных ресурсов в новых климатических условиях для Самарской, Волгоградской, Саратовской, Астраханской, Ростовской области, Республики Калмыкия, Краснодарского и Ставропольского края. Для каждой области проведенные исследования по районированию позволили проанализировать текущие объемы водных ресурсов, используемых для орошения и сельхозводоснабжения с учетом особенностей сельскохозяйственного производства, источника водоснабжения, технического состояния мелиоративно-водохозяйственного комплекса и пр. Дан оценочный прогноз потребности в воде для сельскохозяйственного водоснабжения в целом на пер-

спективу до 2035–2050 гг. с рассмотрением развития сельскохозяйственного производства, изменения численности населения и динамики климата в рассматриваемых регионах. Для определения перспектив водопользования по данным информационных ресурсов Минприроды России рассчитана существующая антропогенная нагрузка на водные объекты (табл. 1).

К сожалению, по регионам страны наблюдается сокращение площади полива, что во многом определяется экономическими причинами, обуславливающими отсутствие ремонтных и восстановительных работ на мелиоративных системах, недостаток поливной техники, вывод земель из оборота. Развитие орошения потребует дополнительной подачи воды (табл. 2), что требует как решения экономических проблем, так и совершенствования системы управления мелиоративно-водохозяйственным комплексом и повышения водообеспеченности территории [7, 14]. Одним из направлений является модернизация технологии и интегральное управление мелиоративно-водохозяйственным комплексом, включающее управление водными ресурсами, мелиоративным состоянием земель техническим состоянием ГТС мелиоративных систем с применением геоинформационных и веб-технологий [14].

Как показали расчеты, на европейской части страны водные объекты подвержены интенсивной техногенной разгрузке. Тем не менее, резервы для увеличения использования поверхностных вод в комплексе с подземными, в зависимости от потребности регионов и наличия объемов возобновляемых поверхностных и подземных вод, есть. По выполненным расчетным оценкам по регионам бассейна Нижней Волги потребность в водных ресурсах для населения составляет 0,91 км³/год, из них для городского – 0,69 км³/год, для сельского – 0,22 км³/год. Наибольшая потребность в водных ресурсах отмечена в Республике Татарстан – 0,25 км³/год. При расчетах потребностей в воде для животноводства учитывалось поголовье крупного (потребность в воде составляет 60–65 л/сут) и мелкого рогатого скота (козы, овцы 3...10 л/сут), а также лошадей (45...60 л/сут). Для развития отрасли животноводства потребность в водных ресурсах для поения скота по регионам достаточная.

Таблица 1

Ресурсы подземных и поверхностных вод, их извлечение и техногенная нагрузка на водные ресурсы

Регион	Возобновляемые ресурсы, км ³ /год		Водоотбор, км ³ /год			Нагрузка на водные ресурсы	
	подземных вод	поверхностных вод	подземных вод	поверхностных вод	Всего	Использование, %	Степень нагрузки
Республика Калмыкия	0,04	1,1	0,02	0,33	0,35	30,1	Средневысокая
Краснодарский край	2,6	23,0	1,2	5,71*	6,9	26,9	Средневысокая
Астраханская область	0,48	237,7	0,0	0,70	0,7	0,2	Умеренная или допустимая
Волгоградская область	1,34	2545,2	0,06	0,91*	0,97	3,8	Умеренная
Ростовская область	1,4	26,1	0,1	3,32*	3,42	13,1	Умеренная
Ставропольский край	0,3	6,0	0,07	2,38*	2,4	38,2	Высокая
Самарская область	1,95	236,8	0,2	0,57	0,77	0,3	Умеренная
Саратовская область	2,0	241,5	0,07	0,84*	0,91	0,3	Умеренная

Таблица 2

Площади орошаемых земель и потребность в водных ресурсах для орошения

Наименование субъекта	Площадь орошаемых земель, тыс. га		Потребность в воде, млн м ³		
	используемая в с.-х. производстве	из них фактически поливается	Необходимо для орошения используемых в с.-х. производстве земель	Фактически используется для орошения	Потребность для орошения
Регионы в пределах бассейна Нижней Волги					
Астраханская обл.	86,12	83,06	206,69	199,34	7,34
Волгоградская обл.	90,51	52,08	217,22	124,99	92,23
Респ. Калмыкия	47,15	26,55	113,16	63,72	49,44
Респ. Татарстан	165,17	97,00	396,41	232,80	163,61
Самарская обл.	135,14	24,54	324,34	58,90	265,44
Саратовская обл.	257,30	115,00	617,52	276,00	341,52
Регионы Западной Сибири					
Омская обл.	80,94	7,40	194,26	17,76	176,50
Новосибирская обл.	35,83	10,87	85,99	26,09	59,90
Кемеровская обл.	21,66	0,88	51,98	2,11	49,87
Алтайский край	69,78	5,80	167,47	13,92	153,55
Курганская обл.	17,40	3,30	41,76	7,92	33,84
Свердловская обл.	28,17	0,82	67,61	1,97	65,64
Челябинская обл.	62,70	12,50	150,48	30,00	120,48

Выполненные прогнозные сценарные исследования по определению потребности в водных ресурсах для орошения на перспективу 2035–2050 гг., в предположении восстановления мелиоративного фонда, показали, что все регионы Нижней Волги и юга Западной Сибири, испытывают недостаток водных ресурсов для орошения сельхозкультур. Наибольшая площадь орошаемых земель, используемая в сельскохозяйственном производстве, расположена в регионах бассейна Нижней Волги – 804,91 тыс. га. Суммарная потребность в воде для орошения в регионах Нижней Волги составляет 1931,8 млн м³/год воды. Потребность в водных ресурсах – 969,6 млн м³/год. При этом большая доля поливаемых земель приходится на Саратовскую область – 257,3 тыс. га при площади орошения порядка 0,5 млн га. При развитии орошения потребность по прогнозу в водных ресурсах составит 341,52 млн м³.

В регионах Западной Сибири площадь сельскохозяйственных орошаемых земель составляет 325,72 тыс. га. Площади в основном сосредоточены в Омской, Челябинской области и в Алтайском крае. Дефицит по регионам варьирует от 1,51 млн м³ (Тюменская область) до 176,5 млн м³ (Омская область), и в целом, при суммарной потребности в воде для орошения порядка 753,8 млн м³/год, ее недостаток составляет 518,3 млн м³/год. Даже в регионах Дальнего Востока, а именно, в Республике Бурятия дефицит водных ресурсов для полива сельскохозяйственных культур составляет 191,69 млн м³.

Выполненное районирование позволяет установить общие закономерности формирования, оценить объемы доступных для орошения водных ресурсов и оценить в региональном плане возможность получения дополнительных объемов вод для использования в сельском хозяйстве. Перспективно ликвидация водного дефицита за счет частичного перераспределения стока рек. Источниками повышения водообеспеченно-

сти многих регионов нашей страны являются водосбережение и использование подземных вод в комплексе с поверхностными, особенно в долгосрочной перспективе при постепенном развитии орошения до объемов, соответствующих 1970–1980 гг. Во всех случаях необходима ликвидация различий в обеспечении регионов страны водой, прежде всего при решении задач питьевого водоснабжения. При экономии водных ресурсов за счет ремонта и восстановления гидротехнических сооружений на мелиоративных системах, перехода на инновационные способы и технологии орошения с автоматизированными системами управления, несомненно, будут получены дополнительные объемы воды для орошения. Вопрос упирается в финансирование не только ремонтных работ, но и НИР по разработке современных технологий водопользования.

В настоящее время процент освоения подземных вод во многих областях много ниже разведанных и утвержденных запасов. При надлежащем качестве они могут служить дополнением к поверхностным водным ресурсам при орошении и обводнении земель. При значительных объемах запасов подземных вод используется в Краснодарском крае 24 %, в Ставропольском – 11,4 %, в Волгоградской области – 5,6 %, в Саратовской – 1,9 %, в Самарской 1 % и т. д. [15]. Менее всего запасами обеспечены Республика Калмыкия (0,06 млн м³/сут), Астраханская обл. (0,08 млн м³/сут). Для использования вод для орошения, прежде всего, перспективны Саратовская, Волгоградская и др. области. В критические, экстремальные по вододефициту годы возможно кратковременное изъятие запасов подземных вод.

Заключение. Проведенные исследования и статистическая обработка данных метеонаблюдений по ряду метеостанций, характеризующих динамику атмосферных осадков и температуры воздуха за периоды, продолжительностью от 30 до 130 лет наблюде-

ний, подтвердили прогнозные данные Росгидромета о потеплении климата и выявили повышение рисков экстремальных засух. Это обстоятельство увеличивает значимость орошения в обеспечении устойчивости сельского хозяйства и обеспечении продовольственной безопасности страны. Для анализа условий формирования поверхностных и подземных водных ресурсов в зависимости от изменяющихся климатических, природных и техногенных условий выполнено районирование по водообеспеченности орошения в регионах, подверженных засухе. В процессе исследований предложены принципы и сформирована таксономическая схема районирования, отражающая агроклиматические зоны, водообменные системы, среднегодовые естественные и возобновляемые ресурсы поверхностных вод, запасы и величину их восполнения, степень антропогенной нагрузки на водные объекты, оценку потенциально доступных для временного изъятия ресурсов подземных вод. Районирование позволило установить общие закономерности формирования водных ресурсов и оценить в региональном плане возможность получения доступных для использования объемов водных ресурсов и, при необходимости, дополнительных водоисточников для использования в сельском хозяйстве.

На основе районирования выполнены сценарные исследования по определению потребности в водных ресурсах для орошения на перспективу 2035–2050 гг., в предположении восстановления мелиоративного фонда. Показано, что основными источниками повышения водообеспеченности многих регионов нашей страны, несомненно, являются водосбережение и использование поверхностных вод в комплексе с подземными. В целом, выполненные работы по районированию регионов в зоне недостаточного увлажнения по водообеспеченности орошения могут служить основой при определении направлений и принципов совершенствования методов управления водными ресурсами. Одним из направлений является модернизация технологии и интегральное управление мелиоративно-водохозяйственным комплексом, включающее управление водными ресурсами, мелиоративным состоянием земель техническим состоянием ГТС мелиоративных систем с применением геоинформационных и веб-технологий. Разработка направления активно проводится в исследованиях ФНЦ ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова.

ЛИТЕРАТУРА

1. О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2022 году. Государственный доклад. М.: Минприроды России; МГУ имени М.В.Ломоносова, 2023. 686 с.
2. Доклад «О состоянии и использовании водных ресурсов Российской Федерации в 2020 году». М.: Росводресурсы, НИА-Природа, 2022. 510 с.
3. Шестой оценочный доклад МГЭИК: изменение климата в 2022 году UNEP – UN Environment Programme. URL: <https://www.unep.org/ru/resources/doklad/shestoy-ocenochnyy-doklad-mgeik-izmenenie-klimata-v-2022-godu>.
4. Изменение Климата России [Электронный ресурс]. URL: <http://climatechange.ru> (дата обращения 26.09.2023).
5. Исаева С.Д., Дедова Э.Б. Развитие экосистемного водопользования в сельском хозяйстве с учетом новых климатических явле-

ний // Наука, техника и инновационные технологии в период Возрождения новой эпохи могущественного государства: Материалы международной научной конференции, Ашхабат, 12–13 июня 2023 г. Ашхабат: Ylym, 2023. С. 256–258. EDN MUSYUQ.

6. Формирование базы данных по объектам мелиорации на юге Европейской части РФ // Роль мелиорации в обеспечении продовольственной безопасности / В.Б. Бубер, В.Р. Енакаева, Н.М. Попова и др. Москва, 14–15 апреля 2022 г. Москва: ВНИИГиМ, 2022. С. 82–89. EDN PWGSJS.
7. Шевченко В.А. Исаева С.Д., Дедова Э.Б. Новый этап развития мелиоративно-водохозяйственного комплекса Российской Федерации // Вестник Российской академии наук. 2023. Т. 93. № 4. С. 355–361.
8. Методические положения создания комплексного мониторинга водных ресурсов и мелиоративных систем Республики Калмыкия / Э.Б. Дедова, Н.Н. Дубенок, В.В. Бородычев, С.Д. Исаева, М.А. Сазанов. М., 2017. 97 с.
9. Кизяев Б.М., Исаева С.Д. К вопросу о сельскохозяйственном водоснабжении // Мелиорация и водное хозяйство. 2020. № 3. С. 17–22.
10. Мониторинг водных ресурсов Республики Калмыкия и проблемы экосистемного водопользования в агропромышленном комплексе / А.С. Овчинников, В.В. Бородычев, Э.Б. Дедова, М.А. Сазанов // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2015. № 3(39). С. 9–19.
11. Безднина С.Я. Экосистемное водопользование. М.: Изд-во «Рома», 1997. 137 с.
12. Исаева С.Д. Научное обоснование экосистемного водопользования // Сельский механизатор. 2019. № 10. С. 22–23.
13. Куренной В.В. Научно-методические основы структурно-гидрогеологического анализа и оценки условий локализации ресурсов питьевых подземных вод: автореф. дис. в виде научного ... д-ра геол.-мин. наук. Информационный URL: <https://new-dissert.ru/avtoreferats/01004803345.pdf>.
14. Создание экспертной системы с применением геоинформационных и веб-технологий для совершенствования организации управления мелиоративно-водохозяйственным комплексом / А.В. Матвеев, Р.М. Шабанов, Э.Б. Дедова, С.Д. Исаева // Сельский механизатор. 2024. № 2. С. 35–36. DOI 10.47336/0131-7393-2024-2-34-35-36. EDN ALTNAD.
15. Современные ресурсы подземных и поверхностных вод европейской части России. Формирование, распределение, использование. М.: Изд. ГЕОС, 2015. 320 с.
16. Шевченко В.А., Исаева С.Д., Дедова Э.Б. Модель принятия решений в инновационных проектах развития сельскохозяйственного водопользования // Международный сельскохозяйственный журнал. 2022. № 2(386). С. 124–128.

REFERENCES

1. On the state and protection of the environment of the Russian Federation in 2022. State report. M.: Ministry of Natural Resources and Environment of Russia; Moscow State University named after M.V. Lomonosov, 2023. 686 p.
2. Doklad «O sostoyanii i ispol'zovanii vodnyh resursov Rossijskoj Federacii v 2020 godu». M.: Rosvodresursy, NIA-Priroda, 2022. 510 s.
3. Shestoj ocenochnyj doklad MGEIK: izmenenie klimata v 2022 godu UNEP – UN Environment Programme. URL: <https://www.unep.org/ru/resources/doklad/shestoy-ocenochnyy-doklad-mgeik-izmenenie-klimata-v-2022-godu>
4. Climate Change in Russia [Electronic resource]. URL: <http://climatechange.ru>.
5. Isaeva S.D., Dedova E.B. Development of ecosystem water use in agriculture taking into account new climatic phenomena // Science, technology and innovative technologies during the Renaissance of a new era of a powerful state: Proceedings of the international scientific conference, Ashgabat, June 12–13, 2023. Ashgabat: Ylym, 2023. P. 56–258. EDN MUSYUQ.
6. Buber V.B., Enakaeva V.R., Popova N.M. et al. Formation of a database on land reclamation objects in the south of the European part of the Russian Federation // The role of land reclamation in ensuring food security. Moscow, April 14–15, 2022. Moscow: All-Russian Research Institute of Hydraulic Engineering and Land Reclamation named after A.N. Kostyakova, 2022. P. 82–89. EDN PWGSJS.
7. Shevchenko V.A., Isaeva S.D., Dedova E.B. A new stage in the development of the land reclamation and water management complex of

the Russian Federation // Herald of the Russian Academy of Sciences. 2023. T. 93. № 4. С. 355–361.

8. Dedova E.B., Dubenok N.N., Borodychev V.V., Isaeva S.D., Sazanov M.A. Methodological provisions for the creation of integrated monitoring of water resources and reclamation systems of the Republic of Kalmykia. Moscow, 2017. 97 p.

9. Kizyaev B.M., Isaeva S.D. On the issue of agricultural water supply // Reclamation and water management. 2020. No. 3. P. 17–22.

10. Monitoring vodnyh resursov Respubliki Kalmykiya i problemy ekosistemnogo vodopol'zovaniya v agropro-myshlennom komplekse / A.S. Ovchinnikov, V.V. Borodychev, E.B. Dedova, M.A. Sazanov // Izvestiya Nizhnevolskogo ag-rouniversitetskogo kompleksa: Nauka i vysshee professional'noe obrazovanie. 2015. № 3(39). S. 9–19.

11. Bezdina S.Ya. Ecosystem water use. M.: Publishing house «Roma», 1997. 137 p.

12. Isaeva S.D. Scientific substantiation of ecosystem water use // Rural mechanizer. 2019. No. 10. P. 22–23.

13. Kurennoy V.V. Scientific and methodological foundations of structural-hydrogeological analysis and assessment of localization conditions for drinking groundwater resources. Author's abstract. dis. in the form of a scientific report for the thesis. uch. Art. Doctor of

Geological and Mineralogical Sciences. URL: <https://new-disser.ru/avtoreferats/01004803345.pdf>.

14. Matveev A.V., Shabanov R.M., Dedova E.H.B., Isaeva S.D. Sozdanie ehkspertnoj sistemy s primeneniem geoinformacionnykh i veb-tehnologij dlya sovershenstvovaniya organizatsii upravleniya meliorativno-vodokhozaystvennym kompleksom // Sel'skij mekhanizator. 2024. № 2. S. 35–36. DOI 10.47336/0131-7393-2024-2-34-35-36.

15. Modern resources of ground and surface waters of the European part of Russia. Formation, distribution, use. M.: Publishing house GEOS, 2015. 320 p.

16. Shevchenko V.A., Isaeva S.D., Dedova E.B. Decision-making model in innovative projects for the development of agricultural water use // International Agricultural Journal. 2022. No. 2(386). Pp. 124–128. DOI 10.55186/25876740_2022_65_2_124. EDN VIPLPI.

Дедова Эльвира Батыревна, доктор с.-х. наук, профессор РАН, зам. директора по науке, гл. науч. сотрудник, dedova@vniigim.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0640-911X>, Researcher ID: C-1822-2014, Scopus: 57130902500; **Исаева София Давидовна**, доктор техн. наук, гл. науч. сотрудник, isaevasofia@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-9640-2191>, Scopus: 57193422572 (ФНЦ ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова, г. Москва).

УДК 631.6;556

ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ВОДОСБЕРЕЖЕНИЯ В ОРОШАЕМОМ ЗЕМЛЕДЕЛИИ РОССИИ

Л.В. КИРЕЙЧЕВА

Ключевые слова: орошаемое земледелие водные ресурсы, водосбережение, малообъемные технологии, водооборотные системы.

Keywords: irrigated agriculture, water resources, water conservation, low-volume technologies, water circulation systems.

Аннотация. Рассмотрено существующее положение орошаемого земледелия в стране и выявлены основные причины снижения эффективности оросительных мелиораций. Показано, что эффективность использования водных ресурсов в мелиоративном комплексе остается достаточно низкой, что связано с техническим состоянием оросительных систем, отсутствием автоматизации водораспределения на сельскохозяйственных оросительных сетях и непосредственно на орошаемом поле для управления поливами. Средняя по стране оросительная норма за последнее десятилетие составила 4,5...4,8 тыс. м³/га, а без учета рисовых систем 2,1 тыс. м³/га. Предложены следующие направления водосбережения в орошаемом земледелии: внедрение малообъемного орошения, оптимизация водораспределения на государственных оросительных системах, точное управление поливами, использование на орошение дополнительных источников воды, создание водооборотных систем с полным циклом оборота, применение агромелиоративных мероприятий для восполнения запасов почвенной влаги. Все это обеспечит экономию водных ресурсов не менее на 50%.

Abstract. The current situation of irrigated agriculture in the country is considered and the main reasons for the decrease in the efficiency of irrigation reclamation are identified. It is shown that the efficiency of water resource use in the reclamation complex remains quite low, which is due to the technical condition of irrigation systems, the lack of automation of water distribution on inter-farm irrigation networks and directly on the irrigated field for irrigation management. The national average irrigation rate over the last decade was 4,5–4,8 thousand m³/ha, and excluding rice systems 2,1 thousand m³/ha. The following areas of water saving in irrigated agriculture are proposed: the introduction of low-volume irrigation, optimization of water distribution in state irrigation systems, precise irrigation control, the use of additional water sources for irrigation, the creation of water rotation systems with a full circulation cycle, the use of agro-reclamation measures to replenish soil moisture reserves. All this will ensure savings of water resources by at least 50%.

Введение. Устойчивое развитие сельскохозяйственного производства в России в значительной степени определяется развитием мелиорации, реализация которой позволяет ликвидировать дефицит природного увлажнения, нарастающую деградацию земельных

и водных ресурсов, снизить зависимость от глобального изменения климата и обеспечить экологическую безопасность агроландшафтов. Одним из глобальных вызовов современного мира становится истощение пресных водных ресурсов, что ставит под угрозу жизнь и здоровье населения планеты. Уже сейчас некоторые страны достигли предела в использовании своих водных ресурсов. Если в 2000 г. дефицит пресной воды, включая сельскохозяйственные и промышленные нужды, оценивался в 230 млрд м³/год, то к 2025 г. этот дефицит на планете увеличится до 1,3...2 трлн м³/год. Самым большим потребителем воды является сельское хозяйство, особенно орошаемое земледелие. Без дальнейшего совершенствования водопользования в сельском хозяйстве потребность в воде к 2050 г. возрастет в сельскохозяйственном секторе на 70...90%, и это при том, что площадь поливных земель за последние десятилетия удвоилась, а отбор воды вырос в 3 раза.

Кроме дефицита пресной воды, актуальным остается вопрос ее загрязнения. Во многих странах качественный состав воды не соответствует санитарно-гигиеническим требованиям, что влияет на здоровье населения.

В этой связи водосбережение, рациональное использование воды и разработка современных технологий очистки и водоподготовки становится неизбежной стратегией современного мира.

Результаты. Россия обладает существенным запасом возобновляемых водных ресурсов, которые на 2020 г. составили 4565 км³/год. Из водных источников ежегодно на нужды населения забирается 56,9 км³, а потребление воды для сельского хозяйства составляет 17%, для промышленности, включая энергетику, – 64% и на хозяйственно-питьевые цели – 19% [1]. Хотя забор воды сельским хозяйством в общем объе-

ме используемых ресурсов в нашей стране значительно ниже, чем во многих странах, тем не менее, и в России проблема водосбережения в орошаемом земледелии остается актуальной, особенно в южных регионах.

Основной потребитель воды в сельском хозяйстве — мелиоративный комплекс. В настоящее время России имеет 9,45 млн га мелиорированных земель, или 4,78 % общей площади сельхозугодий, из которых 4,69 млн га — орошаемые и 4,78 млн га — осушаемые площади. В управлении Департамента мелиорации Минсельхоза России находится более 34 тыс. сооружений, в том числе: гидротехнических сооружений — 18,4 тыс. шт., из них: водохранилищ — 232 шт.; 2 тыс. шт. регулирующих гидроузлов; 134 шт. речных плотин; 42,3 тыс. км магистральных каналов и прочие сооружения [2]. Анализ текущего состояния мелиорируемых земель и мелиоративных систем России показал, что примерно 80 % ранее орошаемых земель используется в сельскохозяйственном производстве и из них около 30 % регулярно поливаются. Площади политых земель по разным источникам составляют в среднем за 10-летний период с 2013 по 2022 г. 1,387 млн га [3]. Забор воды государственными мелиоративными системами по годам на орошение отличается по разным источникам, но находится в пределах 6390...6654 млн м³ (таблица) [3–5].

В 2010 г. для целей орошения было использовано наибольшее количество воды — почти 7900 млн м³. Средняя оросительная норма на гектар поливаемой площади составляет 4548...4815 м³/га, что значительно выше, чем в до перестроечный период, когда средняя по стране оросительная норма была примерно 3000 м³/га. Если учесть, что в России под рис отводится примерно 190 тыс. га сельскохозяйственных площади, а средняя оросительная норма риса по данным исследований составляет 20 тыс. м³/га [8, 9], то объем подачи воды на рисовые системы составит 3800 млн м³. Тогда средняя оросительная норма без учета рисовых систем составит 2057 м³, что не полностью покрывает дефицит природного увлажнения и снижает уро-

жайность культур на мелиорируемых землях. Текущая продуктивность орошаемых земель незначительно превышает урожайность на богаре: для зерновых культур на 35 %; овощей — на 32,6 %, продуктивность кормовых угодий — на 79,3 % и не соответствует потенциальным возможностям. Многочисленные исследования показали, что на орошаемых землях можно обеспечить урожайность до 9...11 т к.е./га, то есть в 3...5 раз выше существующих показателей.

Современное состояние использования орошаемых земель связано со многими причинами, основные из которых следующие:

- значительные ирригационные потери воды от источника орошения до поля, связанные со значительным износом основных фондов, который составляет более 71 %, наиболее изношены основные фонды оросительных систем — на 77,6 % [1]. Наибольшее снижение технического уровня отмечено в Западно-Сибирском (77,65 %) и Южном федеральных (72,6 %) округах. Коэффициент полезного действия оросительных систем в настоящее время не превышает 0,6 на 40 % площади орошения, а безвозвратные потери воды составляют от 25 до 60 % от водозабора;
- практически полное отсутствие измерительных приборов, что не позволяет обеспечить автоматизацию работы инженерных гидромелиоративных систем и оперативное управление поливами на орошаемом поле;
- раздробленность мелиоративных систем. В федеральной собственности находится 2146,42 тыс. га орошаемых земель, в собственности субъектов Российской Федерации — 478,8 тыс., муниципальных образований, юридических и физических лиц — 1216,55 тыс. орошаемых земель, бесхозных и находящихся в стадии оформления орошаемых земель насчитывается 357,35 тыс. га. Недостаточность выделяемых бюджетных средств на эксплуатацию государственных гидромелиоративных систем и гидротехнических сооружений, а также отсутствие инвестиций у собственников на реконструкцию и обслуживание внутрихозяйственных систем. На 48...50 % орошаемых земель для повы-

Динамика мелиорированных, орошаемых и поливаемых земель за 10-летний период

Год	Всего мелиорированных с.-х. угодий, тыс. га	Орошаемых земель, тыс. га	Использовалось орошаемых с.-х. угодий тыс. га	Поливаемая площадь по заявкам с.-х. товаропроизводителей, тыс. га	Использовано свежей воды на орошение (Минприроды), млн м ³	Воды на орошение в сфере с.х. и л.х. (Водресурсы, код А.01)	Оросительная норма в вегетационный период	
							Минприроды	Водресурсы
2013	9050,00	4270,00	3200	1620	6602,7	6347,0	4076	3918
2014	9039,82	4260,75	3300	1500	7124,6	6908,9	4750	4606
2015	9439,77	4663,64	3880	1400	6784,8	6576,5	4846	4698
2016	9446,68	4670,58	3886,00	1300	6708,6	6452,7	5160	4964
2017	9472,09	4686,69	3890,51	1330	6716,7	6298,7	5050	4736
2018	9448,08	4667,30	3859,93	1386	6569,9	6150,1	4740	4437
2019	9446,03	4664,59	3820,56	1398	7187,4	6708,0	5141	4798
2020	9465,62	4686,15	3961,33	1350	6159,9	5704,5	4563	4226
2021	9459,15	4679,10	3963,40	1250	6490,5		5192	
2022	9469,73	4690,06	3965,54	1340	6199,0		4626	
В средн.	9373,70	4593,89	3772,73	1387	6654,4	6393,3	4815	4548
	На конец года	Округлено						
2019 ⁵	945	4661,60	3870,51	1698		6708,0		3951

шения технического уровня мелиоративных систем необходимо проведение комплексной реконструкции, включающей строительно-монтажные работы на площади 2228,7 тыс. га, или 43...46 % имеющихся в наличии, а ремонтные работы составляют 14...15 % числящихся сельхозугодий.

Для существенного прорыва требуется разработка новой парадигмы мелиоративной науки, как совокупности теоретических и методологических положений, отвечающей современному развитию технологических процессов и созданию высокотехнологичных систем, а также экономических механизмов осуществления мелиоративной деятельности. В настоящее время разработана Концепция биосферно-экологического обоснования мелиорации, направленная на дальнейшее развитие мелиоративного комплекса России, способного обеспечить повышение урожайности на орошаемых землях до 7...11 к.ед. и снижение мелиоративной нагрузки на природную среду на 20 % более, а также повышение экологической устойчивости агропроизводства и созданию качественной среды обитания [6].

В составе Концепции рассмотрены основные направления водосбережения на всех элементах оросительной системы, начиная от водозабора и до орошаемого поля, включая:

- реконструкцию магистральной и межхозяйственной сети с обязательной облицовкой каналов современными покрытиями, в качестве которых возможно использовать: цельноформированные бетонные блочные плиты; бентонитовые маты; полимерные геомембраны с различными защитными покрытиями, позволяющие повысить КПД каналов до 0,8...0,9 и снизить ирригационные потери с 60 до 10...20 %. Это наиболее эффективный способ водосбережения оросительной воды, позволяющий экономить до 40 %;

- оптимизация водораспределения и водоотведения на межхозяйственной оросительной системе, что позволит снизить объем водозабора на нужды сельскохозяйственных предприятий и оросительные мелиорации от 10 до 40 %, а в ряде случаев реализовать их бездефицитное водообеспечение на основе многокритериальной оптимизации методом эволюционно-генетического программирования. Принципиальное отличие подхода сотрудников ФНЦ ВНИИГиМ им. А.Н. Костяков заключается в формировании критериев, включающих максимум орошаемой площади, отводящейся под полив, максимальный доход водохозяйственной организации, обеспечивающей подачу воды, а также наибольшую стоимость валового объема продукции растениеводства с поливаемых земель в хозяйствах-водопользователей, что обеспечивает поиск компромиссного решения по выполнению целевых установок. Реализации указанного подхода выполнена на Городищенской оросительной системе. Расчеты показали, что применение системной оптимизации позволило увеличить эффективность управленческого решения на 10 % в сравнении с традиционным подходом [7];

- совершенствование эксплуатации оросительных систем с применением современных средств водоуче-

та и приборного обеспечения, позволяющего осуществлять непрерывную и бесперебойную водоподачу требуемым расходом;

- переход от традиционного орошения к малообъемному и микроорошению, что позволяет до 90...95 % повысить эффективность использования оросительной воды, особенно в водоемных районах. На сегодня в ФНЦ ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова созданы и внедряются в фермерских хозяйствах Волгоградской области комбинированные системы капельного полива, как основного инструмента регулирования водного режима почвы, и мелкодисперсного дождевания для улучшения микроклимата посевов, что обеспечивает не только сокращение оросительных норм на 25...30 %, но и повышение урожайности овощных культур и картофеля на 20...27 %;

- совершенствование системы управления дождевальной техникой, переход от автоматизированных к интеллектуальным системам управления поливами; разработка аппаратуры и компьютерного обеспечения для прецизионного орошения с интенсивностью полива, равной текущему водопотреблению культуры. Данное направление позволяет сократить разрыв между заданной и фактической нормой полива до 2,3...3,6 % в отличие от существующих 7...10 %. Современные цифровые устройства позволяют реализовать нейроруправление практически на любой дождевальной машине и таким образом оптимизируются параметры полива и уменьшаются затраты электроэнергии и воды.

- применение агрометеорологических приемов задержания в почве влаги и влагозарядковых поливов в весенний период, что существенно увеличивает влагозапасы в почве до 60 % в начальный период вегетации растений. Эффективность влагозарядковых поливов зависит от погодных условий года и характеристики почвы и их проведение нормой 1,5...2 тыс. м³/га позволяет в ряде случаев отказаться от первого полива и сэкономить 5...7 % оросительной воды в период вегетации. Влагозарядку проводят осенью или весной на фоне глубокой вспашки, когда поле свободно от посевов. Многолетний опыт применения влагозарядковых поливов показал их эффективность в степной зоне;

- использование на орошение дополнительных источников воды в виде сточных вод коммунальных и сельскохозяйственных предприятий и дренажно-сбросных вод непосредственно с оросительной системы. Мировой опыт показывает, что почти 60 % из них пригодны для орошения. В развивающихся странах примерно 10 % всех орошаемых земель используют этот ресурс. В России формируется около 18 км³ сточных вод. Хотя использование сточных вод и дает ощутимую прибавку урожая до 50 % зеленой массы кормовых культур за счет наличия макро и микроэлементов, но в России не практикуется. Это связано с недостаточной проработкой вопросов очистки и водоподготовки сточных вод. Выбор оптимальных технологических схем очистки воды — достаточно сложная задача, что обусловлено разнообразием находящихся в воде примесей и высокими требованиями, предъяв-

ляемыми к качеству очистки. Очисткой сточных вод для различных целей, в том числе и орошения, занимаются многие страны: и в мире создано более 3300 объектов по очистке. Передовыми странами являются Япония (около 1800 очистных станций) и Соединенных Штатах Америки (около 800); Австралия и Европейский Союз имеют 450 и 230 проектов соответственно; в Средиземноморском регионе и на Ближнем Востоке насчитывается около 100 установок, в Латинской Америке — 50, а в Африке к югу от Сахары — 20 с различной степенью очистки и для различных областей применения.

Россия в этом направлении отстает, однако на орошаемых землях, где формируется дренажный сток с минерализацией до 3 г/л возможно использовать подготовленный дренажный сток в полном объеме на орошение. Это направление требует решения задач по созданию аккумулирующих емкостей, технологий очистки и водоподготовки. Достаточно дешевым и малоэнергоёмким методом является использование самотечных локальных очистных сооружений, обеспечивающих очистку, как с помощью высшей водной растительности, биопланктона и водорослей, так и природными сорбентами. Указанное техническое решение было разработано во ФНЦ ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова на Сарпинской рисовой оросительной системе в Калмыкии. Экономия воды достигла 30 %, экономический эффект составил не менее 10 млн руб. при сокращении подачи воды на систему [8];

- создание водооборотных оросительных систем. Отечественный и мировой опыт показал, что создание водооборотных систем целесообразно в зоне неустойчивого увлажнения, где на осушительных системах в отдельные периоды вегетации требуются оросительные мелиорации. Наиболее экологично создание полноводооборотных систем. Основное направление большинства технических и инженерных решений — это всевозможные сооружения, предназначенные для накопления и сохранения воды. Для обоснования объема накопления дренажного стока в ФНЦ ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова предложена методика расчета пруда-накопителя, обеспечивающего сезонное накопление и разбавление дренажного стока и его последующего использования на орошение.

Спецификой замкнутых систем локального типа определены требования к конструкциям дрен и параметрам дренажа. Конструкции дрен должны быть повышенной надежности, на дренажной системе следует предусматривать задвижки для регулирования расхода воды и приборы для контроля ее качества, насосные перекачивающие станции для подачи воды на орошение [9]. Такие оросительные системы должны включать накопительные пруды и технологические узлы по водоподготовке и внутрисистемному использованию дренажных вод.

Заключение. Выполненный обзор и анализ основных методов водосбережения на оросительных системах показал, что экономия оросительной воды следует осуществлять последовательно на всех элементах ороси-

тельной сети: на государственных мелиоративных системах необходимо повысить КПД межхозяйственных каналов до 0,8...0,9; на оросительных системах осуществить переход к автоматизированным и интеллектуальным системам для реализации точного управления поливами в режиме реального времени; обеспечить цифровизацию и автоматизацию мелиоративной отрасли для принятия обоснованных управляющих воздействий по рациональному использованию воды. Все это позволит до 50 % сократить непроизводительные потери оросительной воды и добиться существенного повышения урожайности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Доклад «О состоянии и использовании водных ресурсов Российской Федерации в 2020 году». М.: Росводресурсы; НИА-Природа, 2022. 510 с.
2. Мелиоративный комплекс Российской Федерации: информ. издание. М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2020. 304 с.
3. О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2022 г.: государственный доклад. М.: Минприроды России; МГУ имени М.В. Ломоносова, 2023. 686 с.
4. О состоянии и использовании водных ресурсов Российской Федерации в 2018 году: государственный доклад. М.: НИА-Природа, 2019. 290 с.
5. О состоянии и использовании водных ресурсов Российской Федерации в 2020 году: доклад. М.: Росводресурсы; НИА-Природа, 2022. 510 с.
6. Кирейчева Л.В. Биосферно-экологическое обоснование комплексных мелиораций // Природообустройство. 2023. № 2. С. 15–22.
7. Оптимизация распределения ограниченных водных ресурсов методами эволюционно-генетического программирования / Л.В. Кирейчева, Д.А. Рогачев, И.Ф. Юрченко, А.Ф. Рогачев // Международный сельскохозяйственный журнал. 2024. Т. 67. № 2(398) С. 233–238.
8. Кирейчева Л.В., Супрун В.А. Очистка дренажных вод — важное направление водосбережения в орошаемом земледелии // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2023. № 2(70). С. 65–71.
9. Кирейчева Л.В., Глазунова И.В. Методика расчета прудов-накопителей дренажного стока для локальных участков орошения // Природообустройство. 2012. № 5. С. 30–34.

REFERENCES

1. Report «On the state and use of water resources of the Russian Federation in 2020». M.: Rosvodresursy, NIA-Nature, 2022. 510 p.
2. The reclamation complex of the Russian Federation: inform. edition. M.: FSBI «Rosinformagrotech», 2020. 304 p.
3. On the state and environmental protection of the Russian Federation in 2022. State report. M.: Ministry of Natural Resources of Russia; Lomonosov Moscow State University, 2023. 686 p.
4. The state report «On the state and use of water resources of the Russian Federation in 2018». M.: NIA-Nature, 2019. 290 p.
5. Report «On the state and use of water resources of the Russian Federation in 2020». M.: Rosvodresursy, NIA-Nature, 2022. 510 p.
6. Kireicheva L.V. Biosphere-ecological justification of complex land reclamation // Nature management. 2023. No. 2. Pp. 15–22.
7. Optimization of the distribution of limited water resources by methods of evolutionary genetic programming / L.V. Kireicheva, D.A. Rogachev, I.F. Yurchenko, A.F. Rogachev // International Agricultural Journal. Vol. 67. № 2(398) 2024. Pp. 233–238.
8. Kireicheva L.V., Suprun V.A. Drainage water purification is an important area of water conservation in irrigated agriculture // Izvestiya Nizhnevolzhsky Agrouniversity complex: Science and higher professional education. 2023. No. 2(70). Pp. 65–71.
9. Kireicheva L.V., Glazunova I.V. Calculation method of drainage runoff storage ponds for local irrigation sites // Environmental management. 2012. No. 5. Pp. 30–34.

Кирейчева Людмила Владимировна, доктор техн. наук, профессор, руководитель научного направления (ФНЦ ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова, г. Москва).

УДК 631.6+631.95

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ К ФАКТОРАМ ВОЗДЕЙСТВИЯ МЕЛИОРАЦИИ БОЛОТ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ

П.И. ПЫЛЕНОК, Р.О. ЕФРЕМОВ

Ключевые слова: мелиоративный режим, экологические ограничения, трансформация торфа, дренажный сток, эмиссия углекислого газа, ресурсоемкость.

Keywords: reclamation regime, environmental restrictions, peat transformation, drainage runoff, carbon dioxide emission, resource intensity.

Аннотация. На основе системного анализа, балансового метода и результатов натурных исследований на мелиоративно-болотных стационарах Мещерской низменности предложена система показателей экологических ограничений мелиоративного воздействия на природную среду, включающая классы состояния (норма—риск—кризис—бедствие), ограничение скорости минерализации торфа (понижение поверхности и потерю органического вещества), показатель сравнительной эколого-экономической эффективности, ограничение оросительных норм и снижение ресурсоемкости мелиоративных технологий. Разработаны методы и способы управления минерализацией органического вещества осушаемых торфяных почв, направленные на предотвращение и ослабление минерализации торфа или на усиления процесса накопления органического вещества, и которые позволяют проектировать современные мелиоративные системы, отвечающие экологическим требованиям.

Abstract. Based on the system analysis, the balance method and the results of field studies at the meliorative-swamp hospitals of the Meshcherskaya lowland, a system of indicators of environmental restrictions of meliorative effects on the natural environment is proposed, including classes of condition (norm—risk—crisis—disaster), limiting the rate of mineralization of peat (lowering of the surface and loss of organic matter), an indicator of comparative ecological and economic efficiency, limitation of irrigation norms and reduction of resource intensity of reclamation technologies. Methods and methods for managing the mineralization of organic matter of drained peat soils have been developed, aimed at preventing and weakening peat mineralization or enhancing the accumulation of organic matter, and which allow us to design modern reclamation systems that meet environmental requirements.

Современная эколого-мелиоративная парадигма характеризуется понятийным ядром, включающим комплексные мелиорации и мелиоративный режим, предложенный А.И. Головановым и И.П. Айдаровым как совокупность требований к управляемым факторам почвообразования, роста растений и воздействия на окружающую среду, которые должна обеспечить система мелиоративных мероприятий для достижения поставленной цели [1,2]. По замыслу авторов, понятие режим характеризуется не столько изменением определенного показателя во времени, сколько требованием к оптимальному диапазону или норме в критические периоды времени (темпоральные изменения) в различных территориальных локациях (пространственные изменения) [2,3]. При этом цели мелиоративного воздействия могут быть достигнуты только при выполнении определенного целостного набора экологических требований и критериев оптимального функционирования, которым должна удовлетворять система мелиоративных мероприятий.

К основным показателям, определяющим мелиоративный режим в условиях избыточного и неустойчивого увлажнения, в общем случае предлагается отнести:

- допустимые пределы регулирования влажности почвы в корнеобитаемом слое;
- допустимые пределы глубин грунтовых вод;

- допустимое направление и интенсивность водообмена между корнеобитаемым слоем почвы и грунтовыми водами;

- допустимые пределы содержания токсичных солей и реакции среды (рН);

- допустимый баланс органического вещества/гумуса и питательных веществ;

- допустимая минерализация поливных вод и соотношение в ней катионов натрия, кальция, магния;

- допустимые пределы количества и качества сбросных вод с мелиоративных систем.

В практической области мелиорации и природопользования основные трудности связаны с установлением допустимых пределов регулирования отдельных параметров и критериев состояния и оценки эффективности системы мелиоративных мероприятий. При этом наиболее разработанными являются вопросы агроэкологии [4, 5, 8, 9] и мелиоративной науки в части требований к факторам роста растений, т. е. показателям водно-воздушного и пищевого режимов, в то время как требования к факторам почвообразования и воздействия на окружающую природную среду (ОПС) изучены недостаточно. В связи с изложенным, целью работы является оценка мелиоративного воздействия на ОПС, включая воздействие гидромелиоративных отходов, к которым относятся, прежде всего, дренажный сток и эмиссия углекислого газа.

Торфяно-болотные почвы обладают высоким потенциальным плодородием, превосходят по этому показателю черноземы. Одновременно эти почвы при осушении подвержены ускоренной минерализации органического вещества (ОВ), уплотнению, деградации и риску полной утраты торфяного слоя. Минерализация торфа усиливается с севера на юг и сопровождается повышением плотности, и понижением поверхности торфа в 10...40 раз превышающим торфонакопление [3, 6, 9]. Поэтому актуальной задачей регулирования мелиоративного режима является поиск компромисса между повышением продуктивности торфяных почв и продлением срока их жизни.

Материалы и методы. Методической основой теоретических исследований является системный анализ, законы земледелия и экологии, балансовый метод, как выражение закона сохранения материи. Апробация результатов выполнена на основе мониторинга и анализа материалов экспериментальных результатов на мелиоративно-болотных стационарах Мещерской низменности.

Результаты и обсуждение. В качестве базового экологического ограничения мелиоративного воздействия на ОПС может быть принято требование поддержания экологической ситуации в пределах от экологической нормы Н до экологического риска Р [6, 8]. В каче-

стве критериев для оценки рассматриваются показатели устойчивости агроэкосистем, уровень загрязнения, здоровье населения и продуктивность мелиорируемого агроландшафта (табл. 1).

В случае возникновения экологического кризиса следует принимать меры экологизации технологий, не допуская дальнейшего ухудшения к состоянию экологического бедствия.

Размер уменьшения технологических мелиоративных норм (осушения, увлажнения и др.) предлагается обосновывать сравнительным эколого-экономическим расчетом. При этом ущерб от снижения урожайности сельскохозяйственных культур от снижения мелиоративного воздействия не должен превышать ущерба в окружающей среде, который возник бы при реализации традиционных или интенсивных мелиоративных норм:

$$U^{\text{опр}} \leq U_{\text{опс}}^{\text{max}},$$

где $U^{\text{опр}}$ — ущерб от снижения урожайности сельскохозяйственных культур при уменьшении норм осушения или увлажнения; $U_{\text{опс}}^{\text{max}}$ — ущерб в окружающей природной среде (в границах гидромелиоративной системы и в зоне ее внешнего влияния) при реализации нормы осушения, обеспечивающей максимальную урожайность сельскохозяйственных культур.

Второе направление эколого-экономических ограничений предлагается формировать на основе закона убывающей отдачи (А. Тюрго—Т. Мальтуса) [8]. В этом случае универсальным комплексным критерием является оптимизация ресурсоемкости или обратной ей величины — ресурсоотдачи. Наряду с энергией, почвой, водой и агрохимикатами для торфяно-болотных почв добавляется важнейший ресурс — органическое вещество торфа, которое подвергается минерализации. Математическое выражение для этих критериев может быть записано:

$$R_{\text{ре}} = \frac{B_{\text{п}}}{V_{\text{п}}} \rightarrow \min; \quad R_{\text{ро}} = \frac{V_{\text{п}}}{B_{\text{п}}} \rightarrow \max, \quad (1)$$

где $R_{\text{ре}}$ — ресурсоемкость или удельный расход природного ресурса на единицу валовой продукции; $B_{\text{п}}$ — расход природного ресурса, ед. массы или объема; $V_{\text{п}}$ — объем валовой продукции, ед. массы или объема.

Применение критериев (1) показывает, что зависимость ресурсоемкости от норм увлажнения для конкретных изученных условий описывается экспоненциальной зависимостью. Практический вывод состоит в том, что в первую очередь нужно увеличивать интенсивность фактора, который находится в минимуме (закон Ю. Либиха).

В отношении водных ресурсов и энергии ограничения предлагается осуществлять на основе предельной экологически обоснованной оросительной нормы, которая определяется с учетом гидротермического коэффициента и не должна превышать количество влаги, которое вместе с осадками может быть ассимилировано в процессе фотосинтеза при имеющемся притоке солнечной энергии [1, 6 и др.]:

$$M \leq \frac{(1+\varepsilon)R}{L} - P - g, \quad (2)$$

где R — радиационный баланс поверхности почвы, кДж/см²; ε — доля увеличения R от мелиораций; L — скрытая теплота парообразования, кДж/см² в год на 1 мм слоя воды; P — атмосферные осадки, впитавшиеся в почву, мм; g — влагообмен корнеобитаемого слоя почвы с грунтовыми водами (положительное направление вверх), мм.

Ограничения проектных значений оросительных норм для южной части Нечерноземной зоны были определены нами ранее для оптимального значения ГТК = 0,9...1,1 и приведены в табл. 2.

Этим требованиям отвечают природоохранные оросительные нормы [6]. Ранее применявшиеся традиционные (биологически оптимальные) нормы превышают предельные значения и могут привести к снижению ресурсоотдачи. Совместное соблюдение требований (1) и (2) обеспечивает не только снижение затрат

Таблица 1

Классы состояний и зоны нарушений

Устойчивость агроэкосистем	Уровень загрязнения	Здоровье населения	Продуктивность агроландшафтов и деградация почв
Экологическая норма Н или класс удовлетворительного (благоприятного) состояния ОПС			
Стабильное устойчивое состояние	Значение прямых критериев оценки близко к фону и заметно ниже ПДК	Удовлетворительное	Снижение продуктивности не тестируется. Деградация земель менее 5 % площади
Экологический риск Р или класс условно удовлетворительного (неблагоприятного) состояния ОПС			
Обратимые нарушения, заметное снижение устойчивости	Значение прямых критериев оценки близко к ПДК	Частичное ухудшение здоровья (раздражение)	Заметное снижение продуктивности. Деградация земель 5...20 % площади
Экологический кризис К или класс неудовлетворительного состояния ОПС (чрезвычайная экологическая ситуация)			
Труднообратимые нарушения, потеря устойчивости	Значение прямых критериев оценки значительно превышает ПДК	Серьезная угроза здоровью (хронические заболевания)	Сильное снижение продуктивности. Деградация земель 20...50 % площади
Экологическое бедствие — катастрофа Б или класс катастрофического состояния ОПС			
Глубокие необратимые нарушения, разрушение естественных экосистем, потеря генофонда	Значение прямых критериев оценки многократно превышает ПДК	Значительное ухудшение здоровья (острые заболевания, летальный исход)	Полная потеря продуктивности. Деградация земель более 50 % площади

воды не увлажнение, но и ослабление промывного водного режима осушаемых почв, что является одним из ключевых требований мелиоративного режима.

Основными прямыми отходами гидромелиорации, определяющими ингредиентное загрязнение окружающей природной среды (ОПС) являются дренажный сток и эмиссия диоксида углерода. Последняя приобретает особую актуальность в случае осушения торфяно-болотных почв, когда минерализация органического вещества осушенного торфа сменяет процесс накопления органического вещества в естественных условиях. В результате происходит загрязнение углекислым газом атмосферы и водной среды.

Оценка трансформации осушаемых болотных агроландшафтов с учетом ранее полученных результатов приведена в табл. 3.

Оценка дренажного стока производится с учетом его объема относительно предельно допустимых сбросов (ПДС), концентрации загрязняющих веществ в дренажных водах относительно предельно допустимой концентрации (ПДК) и степени утилизации дренажных вод на увлажнение осушаемых земель. Ограничения к трансформации торфа устанавливаются по интенсивности минерализации торфа и понижению его поверхности, которое не должно превышать 1...2 см/год для обеспечения экологической нормы и 2...4 см/год для непревышения экологического риска. Полученные нами значения потерь массы торфа и связанные с ними потери углерода и показатели эмиссии углекислого газа в зависимости от степени осушения позволяют рекомендовать для обеспечения экологиче-

Предельные значения оросительных норм для оптимального диапазона гидротермического режима

ГТК	Гидротермическая характеристика, лет		
	Влажный и холодный	Средний	Засушливый и жаркий
0,9	0	90	225
1,0	0	25	155
1,1	0	0	100

ской нормы минерализацию ОВ до 10 т/га, для экологического риска – до 15 т/га [7].

Для снижения потерь органического вещества торфа его влажность необходимо увеличивать (поддерживать ближе к верхней границе оптимальной влажности для сельскохозяйственных культур), а температуру корнеобитаемого слоя понижать. Из баланса ОВ торфа следует, что главными источниками компенсации потерь органического вещества в процессе осушения выступают мероприятия по внесению органических удобрений и сидеральные посевы бобовых культур и бобово-злаковых травосмесей.

Процессы минерализации торфа протекают быстрее в близкой к нейтральной среде (рН 6...6,5), а накопление торфа, наоборот, происходит в кислой среде (рН < 5). При известковании происходит нейтрализующее действие карбонатов кальция и магния, которое заключается в их взаимодействии с раствором углекислого газа (угольной кислотой) почвенного раствора с постепенным образованием растворимых гидрокарбонатов, яв-

ляющихся гидролитически щелочными солями.

Таблица 3

Экологическая оценка трансформации осушаемых болотных агроландшафтов

Показатели	Уровни экологического состояния			
	Норма	Риск	Кризис	Бедствие
1. Водный режим корнеобитаемого слоя				
1.1. Влажность корнеобитаемого слоя почвы, % от полной влагоемкости:	65...85	55...65	50...55	Менее 50
полевые севообороты				
овощные севообороты				
сенокосы и пастбища	70...80	60...70	55...60	Менее 55
1.2. Сезонная норма увлажнения, мм	80...85	70...75	60...70	Менее 60
1.3. Скорость минерализации органического вещества торфа, т/га в год	60...155	160...240	250...300	Более 300
2. Трансформация торфа				
2.1. Сработка слоя торфа в период стабилизации (первые 2...3 года после осушения)	Менее 2	2...4	4...10	Более 10
2.2. В последующие годы	Менее 1	1...2	2...4	Более 4
2.3. Скорость минерализации органического вещества торфа, т/га в год	Менее 10	10...15	16...20	Более 20
3. Воздействие на прилегающие природные объекты				
3.1. Прилегающие земли:	До 0,5	0,5...1	1,0...1,5	Более 1,5
зона понижения уровня грунтовых вод, км				
зона изменения влажности почв, км	До 0,1	0,1...0,3	0,3...0,5	Более 0,5
3.2. Мероприятия по регулированию водоприемника	Отсутствуют	Обвалование	Спрямление	Спрямление и углубление
3.3. Воздействие на качество поверхностных вод:	<ПДК	≤ПДК	>ПДК	>3 ПДК
концентрация загрязняющих веществ				
при объемах дренажного стока	<ПДС	>ПДС	<ПДС	>ПДС
степень утилизации дренажных вод на увлажнение осушаемых земель, %	Более 50	30...50	Менее 25	0

С учетом изложенного разработаны методы и способы управления минерализацией органического вещества осушаемых торфяных почв, направленные на предотвращение и ослабление минерализации торфа или на усиления процесса накопления органического вещества, и которые позволяют проектировать современные мелиоративные системы, отвечающие экологическим требованиям (табл. 4).

При внесении полной дозы известии в кислую почву устраняется актуальная и обменная кислотность, снижается гидролитическая кислотность, уменьшается содержание подвижных форм токсичных для рас-

Таблица 4

ЛИТЕРАТУРА

Методы и способы управления минерализацией органического вещества осушаемых торфяных почв

Методы	Способы
Предотвращение процесса минерализации торфа (предотвращающие мероприятия)	Сохранение болот. Ренатурализация осушенных болот
Ослабление процесса минерализации торфа (ограничивающие мероприятия)	Уменьшение интенсивности мелиоративного воздействия (норм осушения, увлажнения и др.). Увлажнение осушаемых земель. Ослабление промывного водного режима. Повышение водоудерживающей способности торфа. Уменьшение температуры торфа. Регулирование кислотно-щелочного баланса. Насыщение севооборотов многолетними травами, бобово-злаковыми травосмесями. Ингибирование минерализации и нитрификации торфа
Усиление процесса накопления ОВ торфа (компенсирующие мероприятия)	Повторное использование ДВ на увлажнение. Внесение органических удобрений. Внесение комплексных мелиорантов. Регулирование ПБК. Внесение микробиологических удобрений. Промежуточные посевы сидеральных культур

тений алюминия, железа, марганца и тяжелых металлов меди, свинца, мышьяка. Учитывая, что при известковании создаются более благоприятные условия для почвенно-биотического комплекса (ПБК), минерализация в нейтральной среде протекает более интенсивно и затухает с понижением рН-индекса.

Появление в почвенном растворе катионов Ca^{2+} и Mg^{2+} приводит к вытеснению из ППК катионов водорода, алюминия, железа, марганца. Карбонаты кальция и магния взаимодействуют с гуминовыми, фульвокислотами, аминокислотами и другими органическими и минеральными кислотами почвы, что сопровождается выделением углекислого газа.

Заключение. Предложена система показателей экологических ограничений мелиоративного воздействия на природную среду, включающая классы состояния (норма–риск), ограничение скорости минерализации торфа (понижение поверхности и потерю органического вещества), оптимизацию ущерба, ограничение оросительной нормы, оптимизацию ресурсоемкости.

Разработаны методы и способы управления минерализацией органического вещества осушаемых торфяных почв, направленные на предотвращение и ослабление минерализации торфа или на усиления процесса накопления органического вещества и которые позволяют проектировать современные мелиоративные системы, отвечающие экологическим требованиям.

Практическое применение мелиоративного режима и экологических ограничений позволяет оптимизировать затраты всех видов ресурсов, снизить мелиоративное воздействие на ОПС, уменьшить нормы увлажнения и ослабить промывной водные режим осушаемых торфяных почв.

1. Айдаров И.П., Голованов А.И., Никольский Ю.Н. Оптимизация мелиоративных режимов орошаемых и осушаемых сельскохозяйственных земель. М.: Агропромиздат, 1990. 60 с.

2. Мелиорация земель / А.И. Голованов, И.П. Айдаров, М.С. Григоров и др.; под ред. А.И. Голованова. М.: КолосС, 2011. 824 с.

3. Зайдельман Ф.Р. Генезис и экологические основы мелиорации почв и ландшафтов: учебник. М.: КДУ, 2009. 720 с.

4. Иванов Д.А. Ландшафтно-мелиоративные системы земледелия – новый этап экологизации сельскохозяйственного производства // Международный научно-исследовательский журнал. 2017. № 9(63). Ч. 2. С. 96–100.

5. Кирюшин В.И. Экологические основы проектирования сельскохозяйственных ландшафтов: учебник. СПб.: Квадро, 2018. 568 с.

6. Пыленок П.И. Агромелиоративное природопользование. Научно-технологические и экологические основы: монография. М.: ВНИИГиМ, 2022. 215 с. DOI: 10.37738/VNIIGIM.2022.94.88.001.

7. Пыленок П.И. Способ определения суммарной потери углерода и интегральной эмиссии диоксида углерода при осушении болот // Патент RU 2804735, опубл. 04.10.2023.

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

9. Экологический мониторинг мелиорируемых земель и мелиоративных систем: монография / Под ред. В.А. Шевченко. М.: ФГБНУ «ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова», 2018. 343 с.

REFERENCES

1. Ajdarov I.P. Optimizaciya meliorativnyh rezhimov oroshaemyh i osushaemyh sel'skohozyajstvennyh zemel / I.P. Ajdarov, A.I. Golovanov, Yu.N. Nikolskij. M.: Agropromizdat, 1990. 60 s.

2. Melioraciya zemel / A.I. Golovanov, I.P. Ajdarov, M.S. Grigorov i dr.; pod red. A.I. Golovanova. M.: KolosS, 2011. 824 s.

3. Zajdelman F.R. Genезis i ekologicheskie osnovy melioracii pochv i landshaftov: uchebник. M.: KDU, 2009. 720 s.

4. Ivanov D.A. Landshaftno-meliorativnye sistemy zemledeliya – novyj etap ekologizacii sel'skohozyajstvennogo proizvodstva // Mezhdunarodnyj nauchno-issledovatel'skij zhurnal. 2017. № 9(63). Ch. 2. S. 96–100.

5. Kiryushin V.I. Ekologicheskie osnovy proektirovaniya sel'skohozyajstvennyh landshaftov: uchebник. SPb.: Kvaдро, 2018. 568 s.

6. Pylenok P.I. Agromeliorativnoe prirodoopolzovanie. Nauchno-tehnologicheskie i ekologicheskie osnovy: monografiya. M.: VNIIGiM, 2022. 215 s. DOI: 10.37738/VNIIGIM.2022.94.88.001.

7. Pylenok P.I. Sposob opredeleniya summarnoj poteri ugleroda i integralnoj emissii dioksida ugleroda pri osushenii bolot // Patent RU 2804735, opubl. 04.10.2023.

8. Agroekologiya / V.A. Chernikov, R.M. Aleksahin, A.V. Golubev [i dr.]; pod red. V.A. Chernikova, A.I. Chekeresa. M.: Kolos, 2000. 536 s.

9. Ekologicheskij monitoring melioriruemyh zemel i meliorativnyh sistem: monografiya / Pod red. V.A. Shevchenko. M.: FGBNU «VNIIGiM im. A.N. Kostyakova», 2018. 43 s.

Пыленок Петр Иванович, доктор техн. наук, ст. науч. сотрудник, доцент, гл. науч. сотрудник, petr.pilenok@yandex.ru; **Ефремов Руслан Олегович**, инженер, ruslan260599@gmail.com (Мещерский филиал ФНЦ ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова, г. Рязань).

ГУЛЮКУ ГЕОРГИЮ ГРИГОРЬЕВИЧУ – 80 ЛЕТ

Г.Г. Гулюк родился 23 июля 1944 г. Окончил Белорусскую сельскохозяйственную академию.

Свою трудовую деятельность начал в 1966 г. бригадиром, мастером, прорабом, главным инженером и начальником СМУ в Белоруссии.

В 1977 г. работал в должности главного инженера, начальника Объединения «Вологдамелиорация», с 1987 г. – исполняющим обязанности председателя объединения «Вологдаагросрой» – заместитель председателя агропромышленного комитета Вологодской области, с 1988 г. – заместитель начальника Главнечерноземелиоводхоза Нечерноземной зоны РСФСР, начальник Главного управления мелиорации земель и водного хозяйства при Госагропроме Нечерноземной зоны РСФСР. За время работы в Нечерноземной зоне была проведена огромная работа благоустройству села – построены детские дошкольные учреждения, дома культуры, клубы. Были возведены жилые дома и мелиорировано около 10 млн га сельскохозяйственных угодий.

В 1991–1999 гг. работал в должности Председателя Правления концерна «Центринжсельстрой».

В 1999 г. назначен на должность руководителя Департамента мелиорации земель и сельскохозяйственного водоснабжения МСХиП РФ, начальник Управления мелиорации и технического обеспечения Федерального агентства по сельскому хозяйству Минсельхоза России, с 2005 г. – директор Департамента мелиорации и технического обеспечения МСХ РФ.

Успешному профессиональному и служебному росту способствовали глубокие знания, организаторские способности, умелое руководство водохозяйственными организациями, настойчивое внедрение прогрессивных форм и методов организации строительного производства.

После 2009 г. работал в бюджетных и научных учреждениях отрасли.

С 2015 г. Георгий Григорьевич работает главным редактором отраслевого научно-теоретического журнала «Мелиорация и водное хозяйство».

Г.Г. Гулюк и сегодня в строю – на страницах научного журнала поднимает актуальные темы, продвигает мелиоративную науку.

Среди мелиораторов страны Г.Г. Гулюк пользуется заслуженным уважением и авторитетом. Его труд был неоднократно оценен государственными и ведомственными наградами СССР и Российской Федерации.

Заслуженный мелиоратор России Г.Г. Гулюк является участником ликвидации последствий катастрофы на Чернобыльской АЭС.

Редколлегия и редакция журнала «Мелиорация и водное хозяйство» поздравляют Георгий Григорьевича с юбилеем и желают крепкого здоровья, семейного благополучия, плодотворной работы, достижения всех намеченных целей и долгих лет жизни.

КИРЕЙЧЕВОЙ ЛЮДМИЛЕ ВЛАДИМИРОВНЕ – 80 ЛЕТ

Л.В. Кирейчева родилась в Республике Таджикистан в г. Душанбе.

Окончила среднюю школу с серебряной медалью и поступила на геологический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова, который окончила с красным дипломом.

Трудовую деятельность Л.В. Кирейчева начала во Всесоюзном научно-исследовательском институте гидротехники и мелиорации им. А.Н. Костякова в должност

сти младшего научного сотрудника, где и работает сегодня в должности заместителя директора по науке.

В 1978 г. в составе авторского коллектива была удостоена Второй премии Совета министров СССР за исследования по оценке эффективности конструкций дрена из гибких пластмассовых труб с песчано-гравийными и синтетическими фильтрами, а также за разработку и внедрение технологии и средств механизации для бестраншейного строительства дренажа на орошаемых землях.

В 1980–1990 гг. активно участвовала в работе ВНИИГиМ по компьютеризации научных исследований. В 1986–1990 гг. была одним из ученых, участвовавших в совместных работах ВНИИГиМ и Института гидротехники и мелиорации (ИХИМ, Болгария) по изучению вопросов рационального использования водных ресурсов, повторного использования сбросных и дренажных вод. В период 1988–1990 гг. была в числе сотрудников ВНИИГиМ, контактировавших с учеными Индии по вопросам физического и математического моделирования гидротехнических сооружений, автоматизирован

ного управления ирригационными системами, использования поверхностных и подземных вод; по вопросам дренажа и борьбы с засолением, в 1989 – по вопросам борьбы с засолением и заболачиванием почв на малоуклонных землях с использованием дренажа.

В 1993 г. после успешной защиты диссертации ей была присвоена ученая степень доктора технических наук.

С 1994 г. была в числе сотрудников института регулярно участвовавших и выступавших с докладами на проводившихся в Москве Международных конгрессах «Вода: экология и технология» ЭКВАТЭК.

С 2000 г. основное направление научной деятельности Л.В. Кирейчевой связано с разработкой нового научного направления – обоснование и создание систем комплексной мелиорации, которые обеспечивают формирование высокопродуктивных и экологически устойчивых агроландшафтов в лесостепной, степной, полупустынной и пустынной зонах страны. В основу разработок этого научного направления положена эколого-ландшафтная методология, включающая математическое, физическое и натурное моделирование сложных почвенно-мелиоративных, гидрогеологических, геохимических и социально-экономических процессов. Разработаны теоретические подходы и методология создания высокопродуктивного и экологически устойчивого агроландшафта средствами комплексной мелиорации.

С 2016 г. и по настоящее время работает руководителем научного направления по мелиорации и заведующей отделом природоохранных и информационных технологий. Основная научная деятельность Л.В. Кирейчевой связана с разработкой нового направления в мелиорации – создание научных основ биосферно-экологического обоснования комплексных мелиораций и технологий прецизионного управления параметрами агроэкосистемы.

В научных исследованиях Л.В. Кирейчева успешно сочетает проведение фундаментальных исследований с созданием новых методов, технологий и технических средств комплексных мелиораций, на которые получено 19 патентов на изобретения, а также зарегистрировано более 10 программ и баз данных по управлению водным, солевым, питательным и биологическим и энергетическим режимами почвы.

Л.В. Кирейчева является Почетным доктором БСХА (Беларусь), Почетным работником агропромышленного комплекса России, членом Ученого и двух диссертационных советов, экспертом РАН, членом редколлегий журналов «Агрохимический вестник».

Под руководством Л.В. Кирейчевой сформировалась научная школа по экологическому обоснованию комплексных мелиораций. Л.В. Кирейчева подготовила 5 докторов и 20 кандидатов наук, опубликовала более 500 научных работ, в том числе 15 монографий, 25 патентов и авторских свидетельств, ряд нормативных документов.

Работы Людмилы Владимировны являются крупным вкладом в развитие мелиоративной науки и практики. За цикл работ «Эколого-энергетическое обоснование комплексных мелиораций: технологии и технические решения» Л.В. Кирейчевой в 2022 г. присуждена «Золотая медаль имени А.Н. Костякова». Она награждена медалями «В память 850-летия Москвы», ВДНХ и ВВЦ, дипломами «Золотая осень», грамотами РАН, Минсельхоза России, Минобрнауки РФ, региональных мелиоративных организаций.

Людмила Владимировна! Примите наши искренние пожелания здоровья, неисчерпаемой энергии, удачи и благополучия!

С глубоким уважением, коллектив ФГБНУ «ФНЦ ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова», редакция журнала «Мелиорация и водное хозяйство».

ЯШИНУ ВАЛЕРИЮ МИХАЙЛОВИЧУ – 80 ЛЕТ



В.М. Яшин в 1967 г. закончил с отличием Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова по специальности «Гидрогеология и инженерная геология». В институте работает с 1967 г., защитил кандидатскую диссертацию на тему «Формирование водного режима орошаемых земель с комплексным почвенным покровом при различных способах полива» в 1987 г. Работал инженером, ведущим инженером,

старшим научным сотрудником, заведующим лабораторией, с 2014 г. по настоящее время – ведущий научный сотрудник отдела природоохранных и информационных технологий.

В.М. Яшин в качестве начальника Волжской комплексной экспедиции выполнял большую организационную и исследовательскую работу на действующих орошительных системах Поволжья и Калмыкии, в период интенсивного развития мелиорации в стране.

В рамках международного сотрудничества по проектам «Ока–Эльба» и «Волга–Рейн» с 1995 по 2005 г. проводил исследования формирования качества речных вод и пойменных ландшафтов в бассейне Оки.

Основные направления научной деятельности В.М. Яшина: изучение и оценка влияния мелиоративной деятельности на компоненты природной среды; анализ формирования экологических опасностей при функционировании гидромелиоративных систем и обоснование мелиоративных режимов; разработка технологий восстановления деградированных земель и повышения плодотворности.

родия малопродуктивных земель с использованием комбинированных препаратов на основе сапропелей, цеолитов, торфа и микробных препаратов.

Он впервые предложил, при биосферно-экологическом обосновании мелиорации рассматривать демпфирующие свойства компонентов ландшафтов и выделил природные объекты – экологические демпферы, учет ассимилирующих свойств которых позволяет снизить мелиоративную нагрузку на природную среду.

В.М. Яшин автор и соавтор более 200 научных трудов, в том числе 8 монографий, имеет 5 изобретений и более 10 методических рекомендаций. Активно участвует в продвижении результатов исследований участием в форумах и конференциях МКИД (Австралия, Тайланд, Германия, Польша, Чехия), международных и все-российских научных конференциях.

Научные разработки В.М. Яшина в соавторстве отмечены медалями ВДНХ, дипломами и медалями Российской агропромышленной выставки «Золотая осень» в 2007–2023 гг.

За успехи и достижения по результатам НИР получены Почетные грамоты от Министерства науки и образования, от РАСХН, благодарность от Минсельхоза и Диплом Президиума РАСХН «За лучшую научную разработку года». Имеет почетное звание «Ветеран труда РФ», награжден медалью к 850-летию Москвы.

Валерий Михайлович! Примите наши искренние поздравления с юбилеем, желаем дальнейших трудовых успехов! Здоровья, благополучия Вам, Вашим родным и близким!

Коллектив ФГБНУ «ФНЦ ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова»,
редакция журнала «Мелиорация и водное хозяйство»

РЕШЕТОВУ АНДРЕЮ ЭДУАРДОВИЧУ – 55 ЛЕТ



15 сентября 2024 г. исполнилось 55 лет кандидату экономических наук Андрею Эдуардовичу Решетову – временно исполняющему обязанности директора ФГБУ «Управления «Севзапмелиоводхоз». В отрасли сельского хозяйства Андрей Эдуардович работает с 2011 г., начинал как директор ФГБУ «Управление «Карелмелиоводхоз», затем возглавил ФГБУ «Управление «Ленмелиоводхоз», откуда перешел на должность заместителя председателя Комитета по агропромышленному и рыбохозяйственному комплексу Ленинградской области, где три года руководил департаментом по развитию сель-

ского хозяйства, в 2023 г. вернулся в мелиорацию, возглавив ФГБУ «Управление «Севзапмелиоводхоз», в ведении которого находятся филиалы по Республикам Коми и Карелия, Новгородской, Вологодской и Псковской областям. В 2019 г. Андрей Эдуардович прошел профессиональную переподготовку в Санкт-Петербургском государственном аграрном университете по специальности «Экономика и управление на предприятии АПК».

Андрей Эдуардович Решетов является Почетным работником агропромышленного комплекса России, имеет благодарности и почетные грамоты Министерства сельского хозяйства, Губернатора Ленинградской области и Законодательного собрания Ленинградской области.

Андрей Эдуардович Решетов зарекомендовал себя грамотным руководителем, постоянно поддерживает деловой контакт с сельскохозяйственных предприятий Ленинградской, Псковской, Вологодской, Новгородской областей, Республики Карелия и Республики Коми и органами власти в Северо-Западном федеральном округе.

Коллеги и редакция журнала «Мелиорация и водное хозяйство» от всей души поздравляют Вас с юбилеем и желаем крепкого здоровья, неиссякаемой жизненной энергии, оптимизма и благополучия.

ПОДПИСКА НА ЖУРНАЛ

«МЕЛИОРАЦИЯ И ВОДНОЕ ХОЗЯЙСТВО»

Оформить подписку на журнал можно в почтовых отделениях связи.

Индекс журнала в каталоге ОАО Агентства «Роспечать» – **70508.**

Подписаться на журнал можно через ГК «Урал-Пресс»,
а также через редакцию.

Телефон для справок: **+7(499) 976-48-39.**