

деляется низким техническим состоянием мелиоративных систем, но и проявлением деградированных процессов на мелиоративных угодьях и прилегающих территориях.

Учитывая рост населения в мире, спрос на продовольствие в обозримом будущем будет возрастать.

В этой связи отношения ученых, мелиораторов к такой ситуации требует особенного отношения и принятия мер.

ФГБНУ «ФНЦ ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова» в мае 2025 г. провел семинар «Точная мелиорация – миф или реальность?» по современным технологиям в аграрном водопользовании.

Семинар посвящен актуальным вопросам внедрения цифровых и интеллектуальных технологий в мелиоративную отрасль, включая использование искусственного интеллекта и математического моделирования. Организатором мероприятия выступила д-р техн. наук, профессор Л.В. Кирейчева.

УДК 631.6

DOI: 10.32962/0235-2524-2025-3-3-7

## ТОЧНАЯ МЕЛИОРАЦИЯ – МИФ ИЛИ РЕАЛЬНОСТЬ?

Л.В. КИРЕЙЧЕВА, В.В. ШАБАНОВ, Д.А. РОГАЧЕВ, О.В. КНЯЗЬКОВ

Семинар «Точная мелиорация – миф или реальность» состоялся в мае 2025 г. в Москве и посвящен актуальным вопросам внедрения цифровых и интеллектуальных технологий в мелиоративную отрасль, включая использование искусственного интеллекта и математического моделирования. Организатором мероприятия выступила д.т.н., профессор Л.В. Кирейчева. Она отметила, что изначально мелиорация была направлена на выравнивание природных условия для достижения высокого уровня плодородия почвы и создания оптимального мелиоративного режима на мелиорированных землях. При этом возникает необходимость прецизионного управления инженерной мелиоративной системой для регулирования мелиоративного режима, обеспечивающего подачу воды и питательных веществ по фазам развития культурных растений, что можно трактовать как «точную мелиорацию».

В семинаре приняли участие представители ведущих научных организаций и образовательных учреждений, отраслевых институтов, Департамента мелиорации Минсельхоза РФ, а также эксперты российских технологических компаний, финансовых структур и зарубежные специалисты из Израиля, Киргизии и Узбекистана. Среди участников семинара – ученые ФНЦ и его региональных филиалов, представители ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева, МГУ им. М.В. Ломоносова, ФГБУ «Управление «Приволжскмелиоводхоз», ФГБНУ ВНИИ «РАДУГА», ФГБОУ ВО ГУЗ, ФГБНУ «РосНИИПМ», ФГБОУ ВО Волгоградского ГАУ, ФГБОУ ВО Казанского ГАУ, а также эксперты из Минсельхоза РФ, АО «Россельхозбанк», Ассоциации лабораторий по развитию искусственного интеллекта, Zemach Agricultural Technologies (Israel), ООО «Информационные и нейросетевые технологии», ООО «РДА-Софт» и др.

При этом появляется возможность и необходимость управления инженерной мелиоративной системой для регулирования мелиоративного режима, обеспечивающего подачу воды и питательных веществ по фазам развития культурных растений. Что можно трактовать как «Точная мелиорация». В докладах, представленных на семинаре, изложены теоретические основы, методология, технология точного земледелия и мелиорации, а также обсуждены практические аспекты их применения, что определило актуальность дискуссионности данной проблемы.

С предложениями выступили: Л.В. Кирейчева (ФГБНУ «ФНЦ ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова»), В.В. Шабанов (ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА им. Тимирязева), Д.А. Рогачев (ФГБНУ «ФНЦ ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова»), О.В. Князьков (АО «Россельхозбанк»).

Главный редактор журнала «Мелиорация и водное хозяйство»  
Г.Г. Гулюк

В процессе работы семинара исполнительный директор Ассоциации лабораторий по развитию искусственного интеллекта Вячеслав Андреевич Береснев поздравил ФГБНУ «ФНЦ ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова» с важным достижением – успешным прохождением отраслевой экспертизы разработки АСУ «Водопользование ОС» и ее включением в официальный каталог подтвержденных решений в сфере искусственного интеллекта. Это событие стало значимым признанием вклада института в развитие цифровых технологий для водного хозяйства. Сертификат вручен руководителю научного направления ФНЦ, профессору, доктору технических наук Людмиле Владимировне Кирейчевой.

В докладах, представленных на семинаре, изложены теоретические основы, методология, технология точного земледелия и мелиорации, а также обсуждены практические аспекты их применения, что определило актуальность и дискуссионность данной проблемы.

• **Точная мелиорация – основные понятия и перспективы развития** (проф., д.т.н. В.В. Шабанов, ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева).

Доклад посвящен переосмыслению термина «мелиорация» и обоснованию концепции точной мелиорации как системы рационального, научно обоснованного управления водным, солевым и тепловым режимами мелиорируемых земель для оптимально регулирования факторами жизни растений. Автор привел исторический опыт Древнего Египта, где мелиорация была точной и основанной на моделях и измерениях. Подчеркнул необходимость реализации «требований мелиорации» к точному описанию условий внешней среды и почвенной биоты с учетом неоднородности природных объектов во времени, в пространстве и по объектам управления (почва, растение, биота). Предложил подход, в котором точная мелиорация должна опираться



ся на моделирование, прогнозирование, мониторинг и учитывать различия между биотическими и абиотическими объектами. Раскрыл новыек направления исследований от создания баз данных и знаний, ГИС-интеграции и анализа Big Data до разработки обучающих и экспертных систем. Привел пример научно-технического достижения – расчета влагозапасов на различных элементах ландшафтной катены [1, 2].

• **Точная мелиорация в климатической и экономической повестке – вызовы и возможности** (О.В. Князьков, заместитель руководителя Центра отраслевой экспертизы АО «Россельхозбанк»).

Докладчик рассмотрел ключевые направления развития мелиорации, как инструментария повышения устойчивости сельского хозяйства к климатическим рискам. Подчеркнул роль Россельхозбанка в качестве основного финансового партнера АПК и необходимость расширения ирригации при активной государственной поддержке. Отметил, что по расчетам Центра отраслевой экспертизы банка на перевод 1 млн га под орошение требуется до 390 млрд руб. В настоящее время состояние оборудования требует модернизации и обновления фонда, на что потребуются дополнительные меры господдержки в виде увеличения федеральных лимитов для возмещения капитальных затрат на проект. Показал высокую эффективность орошения в Агрохолдингах, обеспечивающую кратный рост урожайности и прибыли при быстрой окупаемости. Отметил перспективы развития мелиорации до 2030 г., включая цифровизацию, роботизацию и внедрение отечественных решений. Инициативой для внедрения инноваций должны стать мастер-классы и испытательные полигоны.

• **Водо-энергосберегающие инновационные технологии и техника** (д.с.-х.н. М.М. Хисматуллин, ФГБУ «Приволжскмелиоводхоз»).

Докладчик сосредоточился на практике перехода от традиционных методов мелиорации к точным технологиям, позволяющим эффективно использовать воду и энергию с учетом особенностей каждого участ-

ка. На примере Татарстана продемонстрировал успешные решения: капельное орошение, автоматизированный полив, энергосберегающая техника, цифровые платформы и ИИ-алгоритмы управления водопользованием. Эти мероприятия уже обеспечивают рост урожайности, снижение затрат и улучшение качества продукции. Опыт республики подтверждает, что точная мелиорация – это реальный инструментальный повышения эффективности аграрного сектора и залог его устойчивого развития [3].

• **Advancing Soil Health Through Innovation: An R&D Platform for Precision Soil Analysis, Irrigation, and Fertigation in Sustainable Agriculture** (Dr. Pavel Trifonov, Zemach Agricultural Technologies – Israel).

Доклад Павла Трифонова посвящен инновационным методам управления здоровьем почвы и точному сельскому хозяйству. Он представил исследования научно-исследовательского центра Zemach Ag-Tech с 70-летним опытом, который объединяет науку, лабораторные услуги и обучение. Основное внимание уделено исследовательской ферме, где ежегодно реализуются 50 проектов, включая внедрение сенсоров, точного орошения и дистанционного зондирования. Также выделен лабораторный комплекс, занимающийся анализом почвы, воды и питания растений. Доклад включал примеры проектов поддержания и оптимизации микробного сообщества почвы при выращивании бананов, селекции новых сортов манго, разработка сенсоров для мониторинга состояния посевов, а также внедрение систем агрофотовольтаики (Agro-PV). Последние сочетают производство электроэнергии с солнечными панелями и аграрное производство для повышения устойчивости и продуктивности агросистем. Инновации центра Zemach Ag-Tech помогают повышать устойчивость сельского хозяйства и рационально использовать ресурсы.

• **Точное земледелие и мелиорация – границы и сопряженные области** (к.б.н. Т.Ю. Пуховская, ФНЦ ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова).

Докладчик показала необходимость интеграции технологий точного земледелия и мелиорации. Привела методы управления продуктивностью посевов с учетом внутривидовой вариативности среды обитания растений, выявила причины почвенной неоднородности (природные и антропогенные), проиллюстрировала подходы к ее оценке, включая картирование урожайности, измерение электропроводности почвы, дистанционное зондирование (ДЗЗ) и применение сенсоров. Привела примеры высокой эффективности дифференцированного управления почвенными режимами и целесообразности комплексного применения технологий точного земледелия и мелиорации на уровне хозяйства.

• **Использование цифровых моделей рельефа и дистанционного зондирования при мелиорации и рекультивации сельскохозяйственных земель** (П.П. Лепехин, к.г.н. доцент, ФГБОУ ВО ГУЗ, М.В. Зимин, к.г.н., МГУ им. М.В. Ломоносова, Д.А. Шаповалов д.т.н., профессор ФГБОУ ВО ГУЗ).

В докладе обобщены современные подходы и технологии, применяемые для повышения урожайности и устойчивого использования земельных ресурсов в условиях климатических изменений. Для решения этих задач применяются цифровые модели рельефа (ЦМР) и данные дистанционного зондирования (ДЗЗ). Эти технологии позволяют более точно анализировать состояние земель, прогнозировать риски и управлять восстановительными мероприятиями. Интеграция данных из спутниковых снимков с ГИС-аналитикой позволяет выявлять проблемные зоны и повышать продуктивность сельскохозяйственных угодий. ЦМР помогают в проектировании дренажных систем, оптимальном размещении объектов и управлении водными ресурсами. Мультиспектральные данные (NDVI, NDMI) дают возможность контролировать состояние растений, прогнозировать урожайность. Анализ сочетания разных спектральных каналов и группировка данных по сходным признакам позволяют глубже понять состояние сельскохозяйственных земель. Применение анализа температуры земной поверхности (LST) важно для оценки изменений в экосистемах и управления климатическими рисками. Балльная оценка состояния полей, проведенная с нормализацией и интерполяцией, позволяет принять обоснованные управленческие решения.

• **Перспективы использования ИИ для точного орошения** (к.т.н. Д.А. Рогачев, ФНЦ ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова).

Доклад посвящен применению искусственного интеллекта (ИИ) для повышения эффективности системного водораспределения и точного орошения в условиях дефицита водных ресурсов. Традиционные методы полива зачастую приводят к нерациональному расходу воды и снижению плодородия почв. ИИ, как междисциплинарная область, позволяет анализировать большие массивы данных, прогнозировать погодные и гидрологические условия, а также автоматизировать управление оросительными системами [4]. В докладе подробно рассмотрены основные направления применения ИИ: прогнозирование урожайности, анализ влажности почвы

и уровня осадков, цифровое моделирование участков с использованием ГИС, а также автоматизация управления дождевальными машинами. Докладчик привел примеры зарубежных проектов, таких как Phytex AI Advisor, CORPX и FieldNET, а также отечественных разработок: АСУ «Водопользование ОС» (разработка ФНЦ ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова) [5, 6], интеллектуальная система мониторинга и управления дождевальными машинами компании БСГ, решения РосНИИПМ и отечественная модель интеллектуальной системы управления оросительным комплексом, разработанная в Саратовском ГАУ имени Н.И. Вавилова.

• **Точная мелиорация – основные понятия и перспективные технологии** (к.с.-х.н. М.Н. Лытов, ВНИИ-ОЗ – филиал ФНЦ ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова).

В докладе проанализированы технологии точного орошения, как фактор современного направления в мелиорации, обеспечивающего рациональное использование водных ресурсов. Приведены различные определения термина «точная мелиорация», подчеркивающие применение цифровых платформ, сенсоров, ГИС и автоматизации для дифференцированной подачи воды с учетом изменчивости почвенных и климатических условий. Обоснована необходимость адаптивного полива на участках с разным микрорельефом и почвенными комплексами. Рассмотрены технические решения: системы VRI (Variable Rate Irrigation – орошение с переменной нормой полива), капельное орошение, автоматические метеостанции и поливные установки. Технологии точного орошения представлены, как ключ к повышению урожайности и эффективности агропроизводства [7, 8].

• **Анализ и прогнозирование временных рядов температурных и гидрологических данных с помощью нейросетевых и веб-технологий** (к.т.н. А.В. Матвеев, ФНЦ ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова).

Доклад посвящен опыту использования нейросетевых и веб-технологий для анализа и прогнозирования температурных и гидрологических данных в целях точной мелиорации. Рассмотрены различные модели прогнозирования – от традиционных статистических методов до современных подходов с использованием искусственного интеллекта, включая нейросетевые модели типа LSTM (Long Short-Term Memory), способные сохранять значимую информацию из прошлых данных и применять ее для повышения точности предсказания будущих событий. Особое внимание уделено преимуществам LSTM-сетей в учете сезонности, трендов и нелинейных зависимостей. Отмечены технические и методические трудности, влияющие на точность прогнозов, заключающиеся в высокой потребности LSTM-моделей в вычислительных ресурсах, необходимости большого объема исторических данных, сложности настройки гиперпараметров, а также в недостаточном качестве прогноза при использовании упрощенных моделей без нормализации данных и многошагового подхода [9].

• **Перспективы развития точного мелиоративного регулирования пространственной неоднородности распределения влагозапасов по полю** (аспирант А.Ю. Кульчев, ФНЦ ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова).

Тематика выступления – разработка мобильного робота для автоматизированного сбора данных о пространственном распределении влаги в почве в режиме реального времени. Представлена концепция устройства, основанного на использовании недорогих компонентов, открытого программного обеспечения и различных модулей (датчики pH, влажности, температуры, GPS, камера и др.), позволяющего собирать и анализировать агроэкологические параметры. Научная новизна определяется применением роботизированной платформы для оценки влагозапасов в корнеобитаемом слое, что создает основу для прецизионного управления поливами. Разработка ориентирована как на научное сообщество, так и на практическое применение в АПК [10].

• **Обобщенные итоги семинара** подвел проф. МГУ им. М.В. Ломоносова, д.б.н. А.В. Смагин.

Семинар в ФГБНУ «ФНЦ ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова» подтвердил высокую потенциальную эффективность наукоемких технологий точной мелиорации для современного агропроизводства, и вместе с тем, выявил ряд нерешенных проблем данного направления. Кардинальная проблема состоит в соотношении масштабы и выровненности мелиорируемых участков по базовым почвенно-экологическим показателям. Традиционные мелиоративные проекты, технологии обработки и окультуривания почвы направлены на выравнивание свойств и создание общего агрофона с высоким плодородием. Прецизионное или «точечное» земледелие, напротив, адаптируется под исходную неоднородность полей с использованием специальной техники для дозированного внесения удобрений, мелиорантов, поливной влаги и соответствии с выявленными при обследовании локальным дефицитом элементов-биофилов или неблагоприятными эдафическими факторами. По-видимому, выбор в пользу традиционной или точной мелиорации, а возможно, и их комбинации в крупномасштабных проектах определяется исходным уровнем неоднородности полей и экономической целесообразностью. При этом западные технологии «точечного» земледелия, приспособленные к контрастным литологическим условиям и сложному рельефу моренных ландшафтов и предгорий европейских стран и, возможно, части Нечерноземья РФ с небольшими (мелко и среднемасштабными) фермерскими хозяйствами, могут быть нерентабельными для крупномасштабных агрохозяйств на относительно выровненных по почвенному плодородию полях черноземной (степной) зоны, куда в настоящее время переместился центр тяжести российского агропроизводства.

Ряд докладов показал явные преимущества AI-технологий в эффективности (быстроте) обработки больших массивов данных почвенно-экологических свойств и режимов, а также в их прогнозировании с использованием входной информации в виде стандартно-изменяемых метеопараметров. Однако надо понимать, что такие AI-модели остаются сугубо эмпирическими и не могут претендовать на адекватный прогноз в случае выхода измеряемых показателей за диапазон их варьирования во время настройки (обучения) AI, то есть прогнозировать далекие от среднестатистических «ката-

строфические» события с максимальными рисками для агропроизводства. По-видимому, в проектах точной мелиорации целесообразно органическое сочетание эмпирических AI-моделей и физически обоснованных процессных моделей динамики тепла, влаги, растворенных веществ 2/3D-уровня [Kasimov et al, 2025<sup>a,b</sup>], причем AI-подмодели могут значительно облегчить ввод информации в процессные модели, например, при оцифровке рельефа, обработке временных рядов метеопараметров, данных высокочастотного мониторинга почвенных режимов и иных показателей, контролирующих агропродуктивность. Участники симпозиума единодушно одобрили инициативу ФГБНУ «ФНЦ ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова» по обоснованию и изучению нового научного тренда точной мелиорации и выразили пожелание о более масштабном анонсе будущих мероприятий для формирования широкой аудитории заинтересованных специалистов и агробизнеса.

В рамках озвученных докладов подчеркнута важная роль точной мелиорации как ключевого инструментария повышения эффективности водопользования, адаптации агросектора к климатическим изменениям и перехода к устойчивым формам сельского хозяйства. Внедрение цифровых и интеллектуальных технологий, включая ИИ, дистанционное зондирование и математическое моделирование, позволяет оперативно учитывать пространственную неоднородность агроландшафтов, оптимизировать режимы орошения и снизить затраты ресурсов [11–13].

Работа семинара сопровождалась оживленной дискуссией, в процессе которой участники отметили высокую актуальность обсуждаемых вопросов и необходимость интеграции цифровых решений в процессы управления мелиоративными системами.

**Благодарности.** Авторы выражают благодарность всем докладчикам и участникам семинара за ценные идеи, обмен опытом и материалы, положенные в основу настоящей публикации.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Шабанов В.В., Голованов А.И. Некоторые аспекты точной мелиорации // Природообустройство. 2019. № 1. С. 92–96. EDN AWUSJT.
2. Эффективное водопользование при орошении: теоретические и прикладные аспекты / С.Д. Исаева, А.Л. Бубер, А.О. Шербак [и др.]. М.: ВНИИГиМ имени А.Н. Костякова, 2022. С. 241–248. ISBN 978-5-907464-26-1. EDN PQZVJP.
3. Современное состояние и экономическая эффективность мелиоративного земледелия в Республике Татарстан в условиях роста аридности климата / М.М. Хисматуллин, А.А. Лукманов, М.М. Хисматуллин [и др.] // Аграрная наука. 2024. № 5. С. 136–143. DOI: 10.32634/0869-8155-2024-382-5-136-143. EDN IZXHR0.
4. Технология управления системным водопользованием с применением методов искусственного интеллекта и моделей-двойников организации / Д.А. Рогачев, Л.В. Кирейчева, И.Ф. Юрченко, А.Ф. Рогачев // Международный сельскохозяйственный журнал. 2024. № 4(400). С. 404–410. DOI: 10.55186/25876740\_2024\_67\_4\_404. EDN WCANWT.
5. 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.
6. Интеллектуальная подсистема технической эксплуатации АСУ «Водопользование оросительной системы» / Д.А. Рогачев, Л.В. Кирей-