

ISSN 2070–4828

МЕЛИОРАЦИЯ

Научный журнал

№ 3 (113)

Основан в 1951 году
Выходит 4 раза в год

Июль – сентябрь 2025



Минск
2025

Журнал зарегистрирован в Министерстве информации Республики Беларусь,
свидетельство о регистрации № 411 от 25.05.2009 г.

УЧРЕДИТЕЛЬ ЖУРНАЛА:

Республиканское научное дочернее унитарное предприятие «Институт мелиорации»

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР:

чл.-корр. НАН Беларуси, д-р техн. наук, проф. **А. П. Лихацевич**

РЕДКОЛЛЕГИЯ:

д-р с.-х. наук, проф. **В. И. Желязко** (зам. гл. редактора)

акад. РАН, д-р с.-х. наук, проф. **Н. Н. Дубенок**

д-р с.-х. наук, проф. **Ю. А. Мажайский**

д-р техн. наук, проф. **В. Е. Левкевич**

д-р с.-х. наук, проф. **Н. Н. Цыбулько**

канд. техн. наук, доцент **А. С. Анженков**

канд. с.-х. наук, доцент **А. Л. Бирюкович**

канд. техн. наук **Э. Н. Шкутов**

***Журнал «МЕЛИОРАЦИЯ» рецензируется;
включен в перечень научных изданий Республики Беларусь
для опубликования результатов диссертационных исследований.***

***Журнал включен в Перечень научных изданий ВАК Российской Федерации
для опубликования результатов диссертационных исследований
(распоряжение Министерства образования и науки Российской Федерации
от 12 февраля 2019 г. № 21-р) по следующим группам научных специальностей:
4.1.1. Общее земледелие и растениеводство (сельскохозяйственные науки),
4.1.5. Мелиорация, водное хозяйство и агрофизика (сельскохозяйственные науки),
4.1.5. Мелиорация, водное хозяйство и агрофизика (технические науки).***

Журнал включен в базу данных Российского индекса научного цитирования (РИНЦ).

Статьи и отдельные выдержки из журнала могут цитироваться при условии указания первоисточника.

Редакция не несет ответственности за возможные неточности по вине авторов.

Мнение редакции может не совпадать с мнением автора. Рукописи не возвращаются.

Фотоматериалы взяты из архива РУП «Институт мелиорации» и предоставлены авторами статей.

Подписные индексы: **74856 — для индивидуальных подписчиков, цена – 26,40 руб.;**

748562 — для предприятий и организаций, цена – 30,00 руб.

Подписку можно оформить во всех отделениях связи.

Редактор, корректор **Т. В. Мейкшане**

Компьютерная верстка **И. В. Скуратович**

Подписано к печати 10.09.2025 г. Формат 60 x 84 1/8.
Уч.-изд. л. 7,41. Усл. печ. л. 8,84. Заказ 590. Тираж 50 экз.

Адрес редакции: 220040, г. Минск, ул. Некрасова, 39-2;
тел. (017) 363-49-03;
e-mail: info@niimel.by, redaktor@niimel.by

Отпечатано РУП «Информационно-вычислительный центр Министерства финансов».
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя, распространителя
печатных изданий № 2/41 от 29.01.2014.

© РУП «Институт мелиорации», 2025

Содержание Contents

Мелиорация

Land improvement

А. С. Анженков, Э. Н. Шкутов

Оценка динамики функционального состояния мелиоративных систем Беларуси

5

A. S. Anzhenkov, E. N. Shkutov

Assessment of the dynamics of the functional state of the reclamation systems of Belarus

Ю. А. Мажайский, М. И. Голубенко, Д. В. Яланский

Капельное орошение цветочных растений на склонах оврага

16

Y. A. Mazhayskiy, M. I. Golubenko, D. V. Yalansky

Drip irrigation of flower plants on the slopes of a ravine

З. Ю. Арганистова, Ю. А. Мажайский, М. И. Голубенко, Ю. Н. Дуброва

Водопоглощающие устройства работы дренажа

21

Z. Y. Arganistova, Y. A. Mazhayskiy, M. I. Golubenko, Y. N. Dubrova

Water-absorbing drainage devices

Н. Н. Линкевич

Особенности обследования эксплуатируемых гидротехнических сооружений гидроузлов

27

N. N. Linkevich

Features of surveying of operated hydraulic structures of hydro-engineering facilities

И. А. Левшунов, Н. Н. Дубенок, А. В. Гемонов

Водопроницаемость почвы и поверхностный сток при дождевании суданской травы в условиях восточной части Беларуси

39

I. A. Levshunov, N. N. Dubenok, A. V. Gemonov

Soil permeability and surface runoff by sprinkling of sudawan grass in the conditions of the eastern part of Belarus

Инновационные технологии

Innovative technologies

В. А. Журавлёв

**Перспективы использования искусственного интеллекта
в сельском хозяйстве**

45

V. A. Zhuravlev

Prospects for the use of artificial intelligence in agriculture

Кормопроизводство

Forage production

В. Н. Филиппов, Р. Т. Пастушок, А. В. Тарашкевич, А. А. Рыбченко

**Прогноз урожайности сельскохозяйственных культур
на мелиорированных землях**

61

V. N. Filippov, R. T. Pastushok, A. V. Tarashkevich, A. A. Rybchenko

Crop yield prediction on reclaimed lands

Чтобы помнили

To be remembered

Памяти Александра Владимировича Копытовских

68

Александр Трофимович Кирсанов (к 145-летию)

69

Юрий Михайлович Корчоха (к 95-летию)

71

Николай Михайлович Авраменко (к 75-летию)

72

• МЕЛИОРАЦИЯ •

УДК 631.6

ОЦЕНКА ДИНАМИКИ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ МЕЛИОРАТИВНЫХ СИСТЕМ БЕЛАРУСИ

А. С. Анженков, кандидат технических наук

Э. Н. Шкутов, кандидат технических наук

РУП «Институт мелиорации», г. Минск, Беларусь

Аннотация

Проведен масштабный анализ состояния мелиоративных систем с учетом сроков их эксплуатации. Установлены зависимости ухудшения ме-лиоративного состояния от времени, прошедшего после ввода объекта в эксплуатацию. Внесены предложения по проведению кадастровой оценки мелиорированных объектов.

Ключевые слова: мелиоративная система, мелиорированные земли, срок эксплуатации, кадастровая оценка, балл, реконструкция, мелиоративное состояние.

Abstract

A. S. Anzhenkov, E. N. Shkutov

ASSESSMENT OF THE DYNAMICS OF THE FUNCTIONAL STATE OF THE RECLAMATION SYSTEMS OF BELARUS

A large-scale analysis of the condition of melioration systems of Belarus was carried out taking into account the terms of their operation. Dependencies of the deterioration of the melioration condition on the time elapsed after the commissioning of the facility were established. The proposals were made for conducting a cadastral assessment of meliorated objects.

Keywords: melioration system, reclaimed lands, service life, cadastral assessment, score, reconstruction, melioration condition.

Введение

Согласно ранее действовавшей методике¹ для оценки эффективности инвестиций в мелиорацию использовалось соотношение между затратами на проведение реконструкции мелиоративной системы и планируемой дополнительной прибылью от повышения урожайности, получаемой хозяйствами-землепользователями, после проведения мероприятия. Если соотношение давало срок окупаемости, равный или меньше нормативного, считалось, что инвестиции в мелиорацию эффективны.

При этом в соответствии со стандартами предполагается, что функциональное состоя-

ние реконструируемых мелиоративных систем позволяет поддерживать требуемый водный режим весь срок их службы, обеспечивая неизменную расчетную эффективность сельскохозяйственного производства. Это допущение распространялось и на случаи задержки начала работ по реконструкции, например, на несколько лет после подготовки проекта. То же относилось и к случаю отказа от проведения работ по реконструкции на неопределенное время. Предполагалось, что условия на объекте, установленные при проведении изысканий под проект реконструкции, также останутся неизменными в течение некоего времени.

¹ Временные рекомендации по расчету основных показателей экономической эффективности капитальных вложений в мелиорацию в текущих (прогнозных) ценах. Минск: НТС ГК «Белмелиоводхоз», 1998 г. 23 с.

Анализ результатов работы реальных мелиоративных систем и материалов их инвентаризации 1996–1999 гг. показал, что это допущение неверно, поскольку естественные процессы старения непрерывно снижают качественные и количественные показатели управления водным режимом осушенных земель, особенно после преодоления пороговых величин сроков эксплуатации систем [1–4]. С каждым годом ухудшаются технико-экономические показатели мелиорированных

площадей в сравнении с моментом определения их значений, уменьшаются валовые сборы продукции на площадях, снижается эффективность средств интенсификации растениеводства.

В данной работе обосновывается расчет численных значений динамики старения мелиоративных систем и ухудшения качества водного режима на площадях мелиоративных объектов на протяжении десятилетий их эксплуатации.

Основная часть

При расчете динамики изменения состояния мелиоративных систем используются следующие базовые условия техногенных и природных факторов:

1) хозяйства-землепользователи обеспечивают как минимум средний по региону актуальный уровень агропроизводства в настоящее время и в ближайшем будущем;

2) при расчетах используется средний по отрасли уровень финансирования технического ухода мелиоративных систем. Следовательно, зависимость нарастания потерь площадей объекта во времени соответствует полученным прямым (линейным) зависимостям. Таким образом, расчет ведется для условий, когда районными организациями управления сельскохозяйственного производства и мелиоративными эксплуатирующими организациями обеспечивается как минимум средний актуальный уровень финансирования ремонтно-эксплуатационных работ (далее – РЭР);

3) оценка всех определяемых параметров проводится на фоне среднесезонных погодных условий;

4) функциональное состояние реконструированных мелиоративных систем позволяет поддерживать требуемый водный режим, обеспечивая на них расчетную эффективность сельскохозяйственного производства;

5) площади мелиорированных земель, заросшие многолетними влаголюбивыми травами (осокой, ситником, аиром, чередой, рогозом, тростником, вахтой и др.), соответствуют переувлажняемым площадям в погодных условиях с 50%-ю обеспеченностью по осад-

кам – то есть в среднем переувлажняемым, а в естественном состоянии – с нулевой балльной кадастровой оценкой. После реконструкции последняя соответствует параметрам, полученным по методике ТКП 302-2025 (33520)¹;

6) площади, заросшие древесно-кустарниковой растительностью (далее – ДКР) средней густоты на 40–50 % и более, также исключаются из состава действующих сельхозземель с механизированным высокоинтенсивным растениеводством. Кадастровая оценка в таком состоянии принимается равной 0 баллов.

Более чем вековой опыт использования мелиоративных осушительных систем Беларуси показал, что гидромелиоративные системы, как и любые другие технические объекты, нуждаются в постоянном обслуживании и со временем ухудшают свои функциональные свойства. Самой распространенной в настоящее время характеристикой динамики ухудшения состояния мелиоративных систем является срок службы, под которым понимается календарная продолжительность эксплуатации системы – от даты ввода в эксплуатацию новой или реконструированной системы до наступления предельного состояния, оговоренного в технических условиях или до списания осушенных площадей. Однако этот показатель сложно использовать на практике. Достоверная и объективная оценка момента, когда заканчивается срок службы, затруднительна: подписание акта о списании мелиоративной системы лишь формальная констатация этого факта, а реальный срок окончания хозяйственно мотивированного использова-

¹ Кадастровая оценка сельскохозяйственных земель. Технология работ: ТКП 302-2025 (33520). Минск: Госкомимущество, Проект. ин-т «Белгипрозем», 2025. 110 с.

ния мелиорированных площадей в сельскохозяйственной деятельности на ранее переувлажненных территориях может значительно (на годы) отличаться от предписанного.

Неопределенность при объективной идентификации момента окончания срока службы затрудняет расчеты. Де-юре даты окончания срока службы систем определяются нормативами.

Мелиоративная система содержит различные элементы, и выход системы из строя не обязательно предполагает физический отказ всех ее компонентов. С одной стороны, средние сроки службы различных элементов мелиоративных систем изменяются в широком диапазоне: например, срок службы открытых осушительных каналов для межхозяйственной сети составляет 40–50 лет при периодичности ремонтов через 8–10 лет; для внутрихозяйственной сети – 30 лет; срок службы горизонтального гончарного дренажа в торфяном грунте – 45 лет, в минеральном – 60; пластмассового дренажа – 40 лет при проведении ремонтных работ через 15 лет¹.

Более низкий срок службы проводящих каналов указан в [5]: он составляет 20 лет при капитальных ремонтах через 6–10 лет на торфяных и 5–8 лет на минеральных почвах. Из приведенных данных следует, что открытые каналы в среднем изнашиваются от 2,0 до 5,0 % в год.

Предполагается, что после выхода из строя самого быстроизнашиваемого элемента система становится непригодной для ведения интенсивного механизированного сельско-

хозяйственного производства. На практике как отдельные элементы, так и вся система в целом теряют свою способность регулирования водного режима постепенно. При этом, за исключением аварийных случаев, задача определения уровня ухудшения состояния сети или сооружений до неработоспособного состояния является сложной, а в условиях стохастических погодно-климатических условий – неоднозначной.

Это обусловлено тем, что даже частично утратившая свои функциональные качества система может, по мнению землепользователей, вполне эффективно работать в течение ряда лет задолго до физического отказа оцениваемого компонента – когда, например, обеспеченность осадков больше нормативной ($> 10\%$) или, напротив, быть неработоспособной, если обеспеченность осадков $< 10\%$.

Для определенности примем, что уровень работоспособности мелиоративной системы целесообразно оценивать на фоне средних многолетних погодных условий с обеспеченностью основных погодных воздействий на уровне 50 %.

Таким образом, для определения численного показателя работоспособности мелиоративной системы рационально использовать площадь переувлажняемых и/или переосушаемых земель в пределах рассматриваемого участка или их долю в площади рассматриваемого объекта [1]. Этот параметр используется в данной статье как наиболее комплексный при оценке функционального состояния мелиоративной системы.

Исходные данные и аппроксимация

Основными практическими данными, использованными в данной работе, являются внутриведомственные материалы инвентаризации мелиоративных систем на территории Республики Беларусь, выполненной в 1996–1999 гг. Этот массив характеризуется широким охватом оцениваемых параметров, позволяющих проводить оценки по различным показателям. Инвентаризации, которые

проводились позднее названного срока, осуществлялись по упрощенным методикам.

Анализ результатов инвентаризации позволил сделать следующие выводы.

1. Один из основных показателей, влияющих на срок продуктивной работы мелиоративных систем, – это уровень финансирования РЭР, поэтому для решения различных задач экономического плана были установлены корреляционные связи уровня затрат на РЭР с ди-

¹ Мелиоративная система // Мелиорация: энцикл. справочник / под общ. ред. А. И. Мурашко. Минск: Белорус. сов. энцикл., 1984. С. 469.

намикой физического состояния мелиоративных систем [2–4].

После первичного отбора собранной информации в базе данных осталась информация по 832 объектам сельскохозяйственной мелиорации (см. рис. 1) общей площадью 880 183 га, причем все они отличаются длительностью эксплуатации (после реконструкции или нового строительства). Этого было достаточно для получения репрезентативных корреляционных связей, используемых для расчетов в различных задачах оценки эффективности.

На диаграмме выделены две зоны:

«А» – зона проектных ошибок и аварий, характеризующаяся слишком быстрым нарастанием переувлажненных площадей;

«Б» – зона аномально длительного удовлетворительного состояния мелиоративных систем, данные по которым исключены из анализа связи доли переувлажненных площадей на мелиоративных объектах и длительностью их эксплуатации после последней реконструкции или нового строительства.

Выборочная проверка показала, что в зону «А» попали объекты с проектными ошибками или авариями основных гидротехнических сооружений, произошедшими в первые годы после реконструкции. В зоне «Б» оказались мелиоративные системы, по которым зачастую были утрачены документы по проведению реконструкций, либо это системы, размещавшиеся в очень благоприятных природных топографических условиях, когда организация поверхностного стока даже малозаметными остатками каналов обеспечивает приемлемый водный режим. На рис. 1 приведено реальное состояние мелиоративных систем с распределением исходных данных по упомянутым зонам, пригодных к дальнейшей обработке.

При разработке макета методики расчета решался вопрос о построении системы расчета с параметрами, описывающими условия регионов размещения мелиоративных систем, и почвенно-грунтовыми характеристиками.

Были проработаны варианты попыток учета многочисленных факторов, чтобы увеличить тесноту связи в корреляционных зависимостях. В частности, исследованы зависимости процессов нарастания во времени переувлажняемых площадей на мелиоративных системах в

зависимости от размещения объектов по регионам (см. рис. 2); аппроксимация выполнена кривыми экспоненциального типа.

Все полученные по различным регионам кривые зависимости доли переувлажняемых площадей от срока эксплуатации разместились достаточно плотно. Исходя из принципа максимального упрощения методики практических расчетов, условий получения и точности исходных данных возможно прогнозирование потерь площадей от переувлажнения по зависимости, общей для всей территории Республики Беларусь. При значительном разбросе исходных данных вполне обоснован отказ от учета такого специфического фактора, как регион размещения объектов мелиорации.

На рис. 3 представлены линейные корреляционные зависимости изменения долей переувлажненных мелиорированных земель торфяного и минерального состава от сроков эксплуатации.

Области разброса точек по минеральным и торфяным почвам совпадают, поэтому различия в составе почв в расчетных зависимостях факультативны для учета.

Множество данных между двумя параллельными прямыми на рис. 1 весьма информативны, однако количество экспериментальных точек и величины их разброса в пространстве параметров делает затруднительным использование стандартных методов и программных продуктов для определения наиболее достоверных корреляционных зависимостей. Множества с таким разбросом и количеством данных плохо обрабатываются стандартными средствами построения трендов: например, в электронных таблицах *Excel* используемый метод наименьших квадратов тяготеет к данным с большими отклонениями.

В связи с данным обстоятельством для более достоверной обработки первичных данных, собранных в результате инвентаризации мелиоративных систем, использовался модифицированный метод центров. Его суть заключается в том, что на поле разброса данных выбираются группы близко расположенных точек и вычисляются координаты их центров, затем проводится аппроксимация по точкам центров (обычно взвешенных по используемым в них параметрам, например, по площади объектов, попавших в зоны центров).

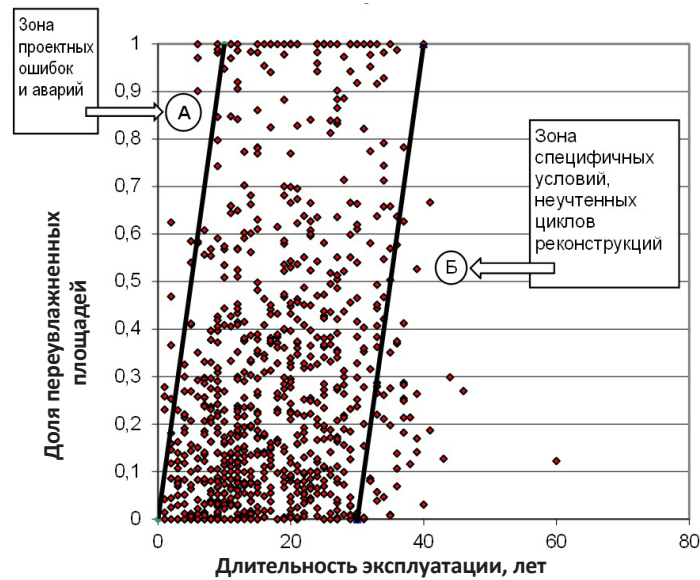


Рис. 1. Разброс значений доли переувлажненных площадей на мелиоративных объектах с разной длительностью эксплуатации

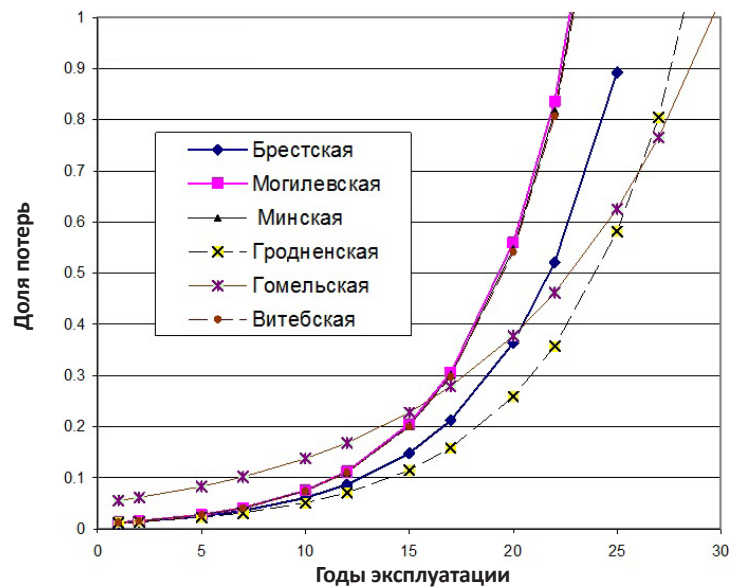


Рис. 2. Зависимости нарастания долей переувлажняемых мелиорированных земель по областям Беларуси

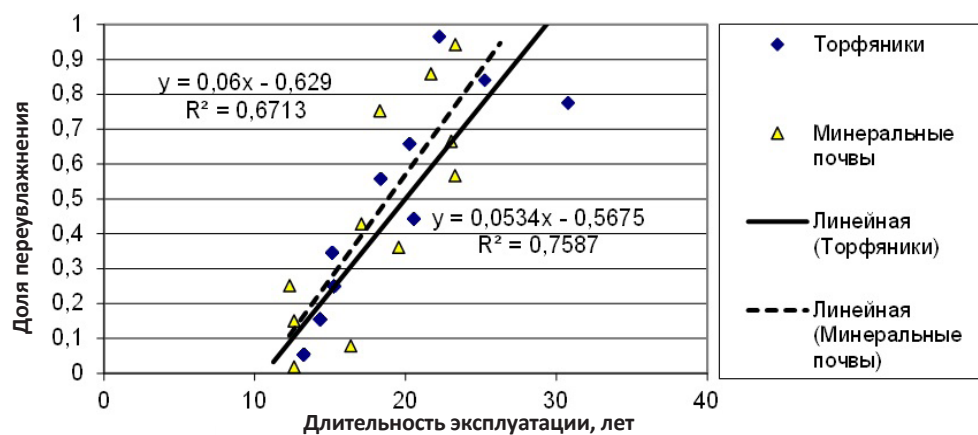


Рис. 3. Зависимости изменения долей переувлажненных мелиорированных земель торфяного и минерального состава от сроков эксплуатации

Модификация данного метода состоит в том, что использовались средние координаты заданных диапазонов по долям переувлажненных земель, поскольку выраженных группировок точек исходных данных на диаграмме рассеяния не наблюдалось.

Результаты обработки представлены на рис. 4–5, где длительность эксплуатации лет (здесь и далее) подразумевает время после последней реконструкции. Светло-зеленые круглые маркеры и пунктирные линии трендов – это средневзвешенные по площадям мелиоративных систем, относящиеся к используемым диапазонам. Численные значения затрат на проведение РЭР, характеризующие приведенную группу линий, определялись для состояния мелиоративной отрасли в период 1975–1984 гг. [1, 2].

Выбор вида аппроксимирующей зависимости обычно осуществляется в силу удобства и простоты ее использования для решения необходимых задач. Ранее отдавалось предпочтение экспоненциальной зависимости, связанной с ее применением в задачах, реализующих процедуры градиентных алгоритмов оптимизаций [2]: им требовалась монотонная непрерывная зависимость, у которой в каждой точке достоверно определяется производная. При аппроксимации корреляционной связи визуальнo напрашивающейся

комбинацией из двух прямых имеется точка их пересечения, в которой производная не определяется и градиентные алгоритмы оптимизации не работают.

Чтобы применить расчет эффективности вариантов хозяйственного решения с задержкой во времени или даже с отказом от проведения реконструкции мелиоративной системы, больше подходит аппроксимирующая зависимость с постоянной скоростью нарастания фактора для снижения влияния привязки к конкретному отрезку времени после последней проведенной реконструкции, а в случае необходимости можно использовать в расчетах и приращение аргумента (рис. 5).

На рис. 4 представлены экспоненциальные корреляционные зависимости изменения во времени долей переувлажненных площадей¹ при различных уровнях финансирования РЭР в ценах 2009 г. [2], дополненные средневзвешенной по площадям линейной зависимостью, отмеченной светло-зелеными круглыми маркерами.

Для более детального определения координат точки перелома линии нарастания переувлажненных площадей на мелиорированных площадях была построена диаграмма аппроксимирующих линий и для сравнения – экспоненциальная линия (рис. 6).

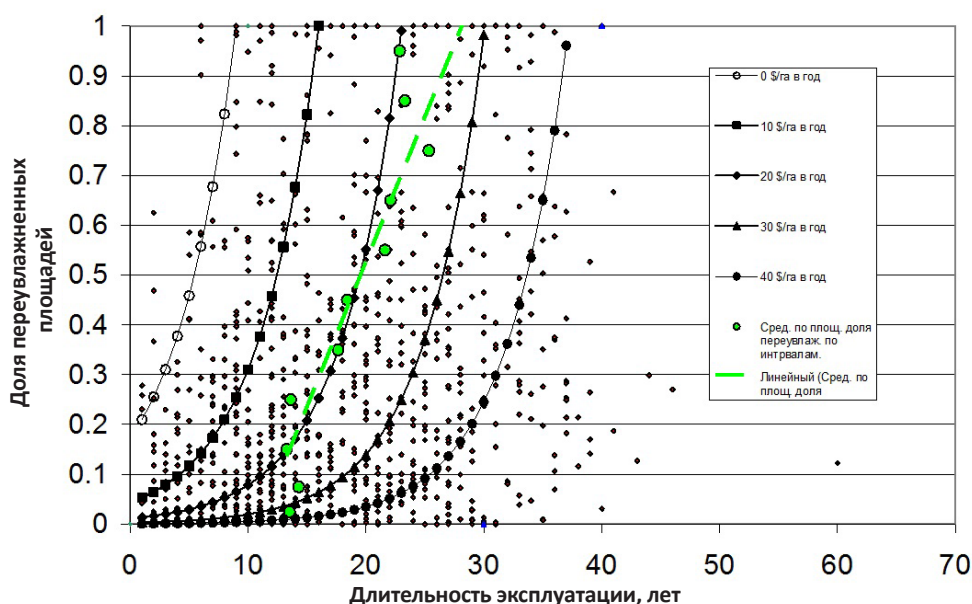


Рис. 4. Аппроксимация функциями экспоненциального типа зависимостей нарастания доли переувлажненных площадей от времени использования

¹ Имеется в виду доля переувлажненных площадей после последней проведенной реконструкции и ежегодных затрат на эксплуатационные работы.

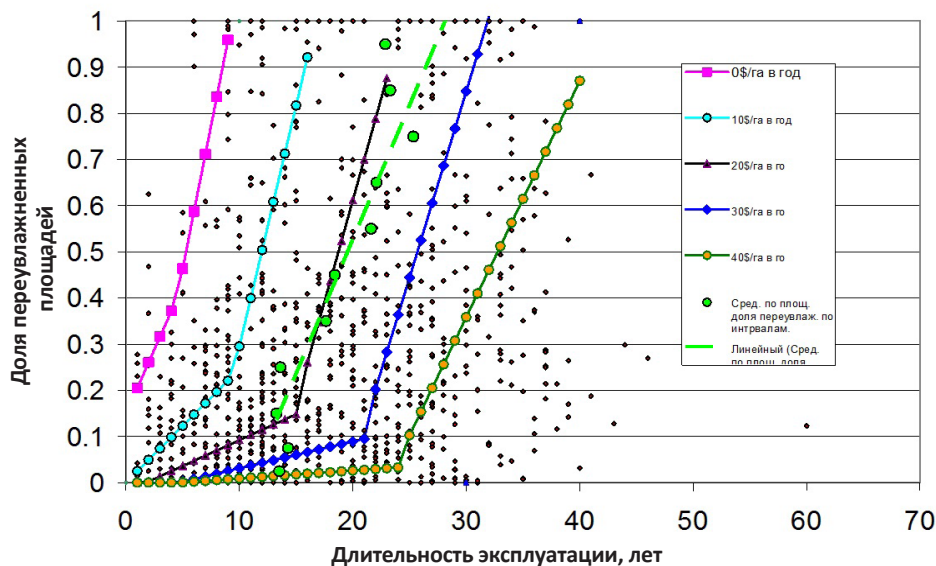


Рис. 5. Аппроксимация линейными функциями зависимостей нарастания доли переувлажненных площадей от времени использования и ежегодных затрат на эксплуатационные работы

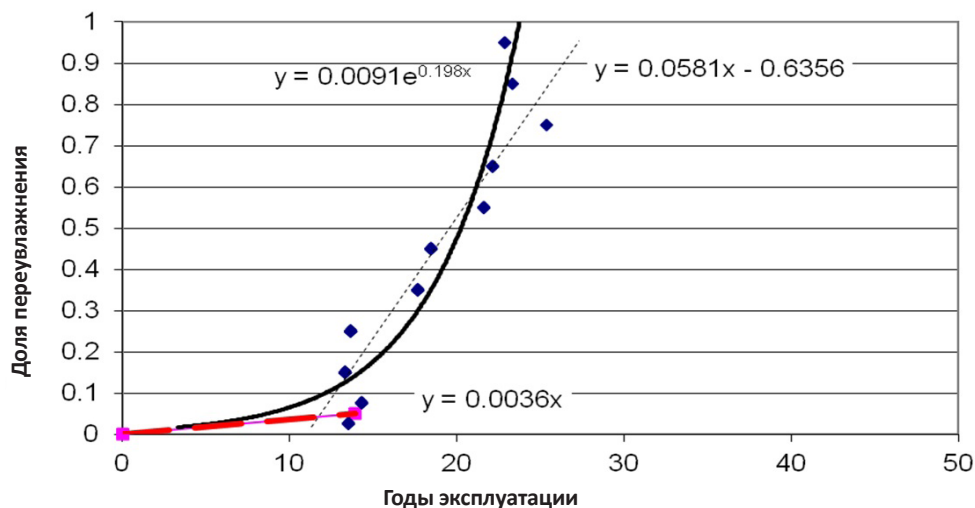


Рис. 6. Сравнение аппроксимации функции $D = f(x)$ нарастания потерь работоспособных площадей объектов из-за нарастания переувлажняемых участков

Данными являются средние по следующим параметрам:

- по уровню затрат на эксплуатационные работы;
- по интервалам долей переувлажнения (первые три через 0,05, далее – через 0,1);
- средневзвешенные по сумме площадей объектов в соответствующих интервалах.

Координата точки излома аппроксимирующей линии (11,7 лет после последней реконструкции; доля потерь площадей – 0,042). Это означает, что в течение первых 11,7 лет при среднем финансировании эксплуатационных работ из-за нарастания переувлажненных земель теряется 0,36 % в год площади объекта реконструкции, далее потери возрастают до 5,81 % в год.

На рис. 6 показаны:

экспоненциальная зависимость

$$D = 0,0091 \cdot \exp(0,198 \cdot X); \quad (1)$$

комбинация двух прямых

$$D = \begin{cases} 0,0036X & \text{при } X \leq 11,7 \\ 0,0581X - 0,6356 & \text{при } X \geq 11,7 \end{cases} \quad (2)$$

где D – доля переувлажняемых земель от площади объекта;

X – срок эксплуатации объекта после предыдущей реконструкции, лет.

Прямые, полученные по зависимостям [2], достаточно точно описывают характерные периоды нарастания переувлажненных площадей.

Последствия отказа от реконструкции мелиоративной системы

Предлагаемая методика оценки эффективности реконструкции исходит из следующего положения: можно методически более обоснованно оценить результативность проведенных гидромелиоративных работ (без учета погрешностей, вносимых итогами хозяйственной деятельности конкретных сельскохозяйственных предприятий) по разнице кадастровой стоимости участка, отведенного под реконструкцию мелиоративной системы) до и после проведения соответствующих работ. Отметим, что разница стоимости, полученной на единой методической основе, официально признается государственными органами.

В ТКП 302-2025 (33520) «Кадастровая оценка сельскохозяйственных земель. Технология работ» (2025) приведено следующее описание методики: «...проведение кадастровой оценки земель сельскохозяйственных предприятий учитывает самые различные факторы, определяющие расчетную сумму денег (или иных показателей, например, баллов), наиболее достоверно отражающую ценность (полезность) земельного участка при использовании по существующему целевому назначению сельскохозяйственных мелиорированных земель».

Безусловно, нынешняя методика кадастровой оценки стоимости земли, несмотря на длительное использование и несколько переработок, не свободна от недостатков. Так, в действующих указаниях вышеназванного ТКП, касающихся определения поучастковой кадастровой оценки земель, их мелиоративное состояние устанавливается соответствующим поправочным коэффициентом. Анализ опыта его расчета и применения показывает, что необходимо внести изменения как в методику, так и практику его использования.

В исходном варианте методики 2001 г. указано, что приведенные значения поправочного коэффициента соответствуют нормативному состоянию мелиоративных систем, что означает следующее: в системе допускаются только незначительные отклонения от проектных параметров работы системы. Минимальное значение коэффициента, предлагаемого для самого сложного случая, равно 0,7. Значит, комплексная оценка участка только на 30 % может быть меньше идеального.

Следует отметить, что нередко случаи, когда этот коэффициент должен быть равным нулю, что соответствует полному заболачиванию и нулевой стоимости участка как сельскохозяйственного угодья. Поэтому еще в 2009 г. мы предлагали расширить допустимый диапазон изменения коэффициента мелиоративного состояния от 1 до 0 [4]. Данной статьей мы хотели бы снова обратить внимание на данный подход.

В актуальной версии методики, представленной в ТКП 302-2025 (33520), таблица поправочных коэффициентов значительно расширена. Однако в ней не предусмотрено полное выведение из строя площадей мелиоративных систем вследствие переувлажнения как средства производства сельскохозяйственной продукции.

Сопоставим данные обработки массива данных (рис. 6) с требованиями табл. 5 в ТКП 302-2025 (33520).

Снятие с учета, списание из состава мелиорированных земель (табл. Б.5, код мелиоративного состояния – 9) предусматриваются при достижении доли потерь 0,277. Всего площадь объектов, используемых в исследованиях, – 880 197,6 га, из числа которых 390 046,7 га имеют долю потерь площади 0,277 и более (таким образом, согласно ТКП 302-2025 (33520), подлежат списанию 44,31 % всех рассматриваемых площадей после 14 лет эксплуатации – в соответствии с полученными зависимостями). Считаем, что данный вариант не пригоден для практического применения.

При реконструкции осушительной сети в соответствии с табл. Б.5 уровень потерь от переувлажнения должен быть $\geq 0,196$. По нашим расчетам, это значение соответствует состоянию 61,86 % мелиорированных площадей, по времени – 13–15 годам эксплуатации после последней реконструкции.

Площадь объектов с потерями более 0,196, но менее 0,277, без учета выводимых из оборота земель, составляет 17,54 %, то есть при таком подходе свыше 500 тыс. га относятся к реконструкции.

Как показывают результаты наших наблюдений, при заболачивании и даже переувлажнении 30 % площадей, на которых прекращается интенсивное сельскохозяйственное

производство, хозяйства-землепользователи, как правило, предпринимают самые энергичные усилия по включению таких объектов в планы по реконструкции мелиоративных систем. По данным Белгипроводхоза, в программе 2011–2015 гг. реконструировались участки с долей переувлажненных площадей до 60 %. Однако справедливости ради можно отметить, что в период 1970–1985 гг. нередко наблюдались случаи проведения реконструкции и через 5–10 лет после ввода объекта в эксплуатацию.

Последствия задержки проведения реконструкции мелиоративной системы

Методику предполагается применять на этапе проектирования работ в рамках реконструкции, для чего необходимо получить следующую информацию.

1. Стандартный набор результатов изысканий под реконструкцию мелиоративных систем, особо выделив на площади объекта незасеянные локации (с расположением площади и границ) зарослей многолетников – травянистых гидрофитов, незасеянные участки, заросшие ДКР (параметры и видовой состав зарослей ДКР). Кроме границ зарослей, следует зафиксировать неиспользуемые участки, заросшие полевыми сорняками с колеями от сельскохозяйственной техники.

2. Данные по стоимости проведения планируемой реконструкции, дату проведения и стоимость предыдущей реконструкции.

3. Сведения по кадастровой оценке площадей:

- наименование землепользователя, номер участка, размер площади, балл плодородия почвы, общий балл кадастровой оценки, цель использования, нормативный чистый доход в долл. США/га в год (данные на геопортале с платным доступом);
- характеристику рабочих участков в таблицах в зависимости от территориального размещения хозяйства (Т1 – Характеристика почвенного покрова, Т2 – Мелиоративное

Процесс выбора первоочередных мелиоративных объектов для проведения реконструкции в настоящее время регламентирован¹, к тому же это было предметом многократного обсуждения на всех уровнях. Современное положение вещей устраивает все уровни хозяйственной вертикали, поэтому данный вопрос в статье не затрагивается. Исходим из того, что решение о проведении реконструкции может быть принято в любой момент и разрабатываемая методика должна обеспечить расчет экономической эффективности сделанного выбора.

состояние и окультуренность почв, Т3 – Характеристика культуртехнического состояния земельных участков, Т13 – Поправочные коэффициенты к общим оценочным баллам почв рабочих участков) и оценочный балл плодородия, Т15 – Оценочный балл плодородия почв рабочих участков, Т17 – Почвенно-экологическая бонитировка рабочих участков естественных луговых земель) в разрезе всех сельскохозяйственных культур (по данным УП «Проектный институт Белгипрозем» и его дочерних организаций).

- качественные спутниковые снимки с датами съемки площадей участков реконструируемой мелиоративной системы (из открытых источников сети Интернет).

Спутниковые снимки являются объективными данными по точной привязке постоянно переувлажняемых участков (заросли многолетних, травянистых влаголюбивых) (по годам с 50%-й обеспеченностью по осадкам или менее), размещению границ, площади территорий, дате фиксации состояния, границе, площади, возрасту зарослей ДКР.

Использование полученной информации наряду с технологиями ТКП 302-2025 (33520) достаточно для проведения коррекции кадастровой оценки. Коррекции подвергается оценка мелиоративного состояния переувлажняемых участков.

¹ Инструкция о порядке разработки, согласования и утверждения ежегодных планов работ по строительству, эксплуатации (обслуживанию) мелиоративных систем и отдельно расположенных гидротехнических сооружений: постановление М-ва с. х. и продовольствия Респ. Беларусь от 28 июня 2024 г. № 68 // Нац. правовой Интернет-портал Респ. Беларусь. URL.: <https://pravo.by/document/?guid=12551&p0=W22442035> (дата обращения: 12.08.2025).

Алгоритм оценки.

Вначале восстанавливается кадастровая оценка рассматриваемых переувлажняемых земель.

Чтобы уточнить значения поправочного коэффициента на объекте реконструкции с учетом фактического мелиоративного состояния его участков, необходимо выполнить следующее:

имеющуюся балльную кадастровую оценку участка разделить на поправочный коэффициент, значение которого установлено по методике кадастровой оценки и предоставлено Информационным центром земельно-кадастровых данных и мониторинга земель;

полученный результат следует умножить на значение поправочного коэффициента, соответствующего реальному состоянию:

$$B_m = \frac{B_k}{K_n} K_m, \quad (3)$$

где B_m – балльная кадастровая оценка земель, учитывающая их реальное мелиоративное состояние;

B_k – то же, вычисленная по методике ТКП 302-2025 (33520);

K_n – поправочный коэффициент, вычисленный по методике ТКП 302-2025 (33520);

K_m – поправочный коэффициент, учитывающий мелиоративное состояние земель, определяемый по реальному состоянию мелиоративной системы.

Вычисление площадей переувлажнения проводится следующим образом.

На момент проведения реконструкции используются данные о расположении и площади переувлажняемых земель, а впоследствии – корреляционная зависимость (1).

При этом первые 12 лет после предыдущей реконструкции нарастание доли переувлажненных земель не учитывается. Ее изменения находятся в пределах точности определения.

Далее расчет доли потерь на последующие годы ведется по зависимости

$$D = 0,0581 \cdot X - 0,6356 \text{ при } X \geq 1, \quad (4)$$

причем значение X соответствует годам эксплуатации минус 12 лет. Для определения балльной оценки объекта реконструкции D рассчитывается по данным изысканий. Остальные коэффициенты, корректирующие показатели мелиоративного состояния для используемых площадей объекта без переувлажненных, рассчитываются и используются согласно указаниям ТКП 302-2025 (33520).

Кадастровая оценка объекта реконструкции оценивается суммой произведения балльной оценки на площадь оцениваемой локации до реконструкции и после нее.

Исследования показали, что наиболее объективным и достоверным показателем при оценке эффективности инвестиций в реконструкцию является приращение кадастровой балльной оценки, связанной с проведением мелиоративных мероприятий. Это приращение не зависит от экономической конъюнктуры и требует для своего определения минимальных затрат времени и средств.

Разница рассчитываемых по зависимости (4) значений балльной оценки, полученных до и после реконструкции, определяет повышение балльной оценки за счет реконструкции:

$$\Delta B = B_{m2} - B_{m1}, \quad (5)$$

где B_{m1} – балльная кадастровая оценка земель (балл · площадь, га), учитывающая их мелиоративное состояние до проведения реконструкции;

B_{m2} – балльная кадастровая оценка земель, учитывающая их мелиоративное состояние после проведения реконструкции (балл · площадь, га).

Предполагается, что поправочный коэффициент, учитывающий мелиоративное состояние участков мелиоративных систем, нуждающихся в реконструкции, после ее завершения принимает максимально возможное значение, то есть превращается в единицу. Более точно он может быть определен после проектирования гидротехнических мероприятий: вполне возможно, что часть участка по экономическим, экологическим или иным причинам останется неосушенной – тогда изменяется расчетная площадь реконструкции. По прочим проблемным локациям используется коэффициент мелиоративного состояния земли (табл. Б.5).

Для оценки экономических последствий отказа исходное состояние площади объекта на момент проектирования определяется по данным изысканий и анализа спутниковых снимков. Все дальнейшие потери площади рассчитываются по зависимости (1).

Известно, что, помимо комплексной кадастровой оценки (в баллах) при поучастковой кадастровой оценке сельскохозяйственных земель, определялась и прибыль, которую может получать землепользователь. На осно-

вании этой гипотетической прибыли за определенное число лет Госкомимущество и устанавливает стоимость сельскохозяйственных участков земли.

Заключение

В основу оценки динамики функционального состояния осушительных мелиоративных систем положено предположение, что по разнице официальной кадастровой стоимости участка, отведенного под реконструкцию, до и после проведения работ по нормализации водного режима можно методически обоснованно оценить эффективность проведенных гидромелиоративных работ – без учета погрешностей, вносимых результатами хозяйственной деятельности конкретных сельскохозяйственных предприятий.

Методика кадастровой оценки земель сельскохозяйственных предприятий, представленной в ТКП 302-2025 (33520), учитывает самые различные факторы, определяющие расчетную сумму, отражающую ценность (полезность) земельного участка при его использовании по актуальному целевому назначению. При этом мелиоративное состояние характеризуется соответствующим поправочным коэффициентом, учитывающим «...нарастание отрицательного влияния мелиоративного состояния на продуктивность» (табл. Б.5 ТКП 302-2025 (33520)).

Анализ практики определения и применения этого поправочного коэффициента показал, что необходимо внести изменения в методику

Разница полученной прибыли по сравниваемым вариантам является тем показателем, на основании которого предпочитается тот или иной вариант.

и практику его использования: значения этого коэффициента соответствуют, как и отмечается в тексте ТКП 302-2025 (33520), нормативному состоянию мелиоративных систем, то есть в системе допускаются только незначительные отклонения от проектных параметров. Минимальное значение коэффициента, предлагаемого для самого сложного случая, – 0,7.

По действующему нормативу комплексная оценка участка ограничена снижением до 30 % от максимального.

Анализ информации по 832 объектам сельскохозяйственной мелиорации общей площадью 880 183 га был достаточен для получения репрезентативных корреляционных связей, используемых для расчетов в различных задачах оценки эффективности и отражающих реальное положение дел в мелиорации.

Нередки случаи, когда поправочный коэффициент должен быть равен нулю, что соответствует полному заболачиванию и нулевой стоимости участка как сельскохозяйственного угодья. Поэтому в первую очередь предлагается расширить допустимый диапазон изменения коэффициента мелиоративного состояния от 1 до 0. Столь значимый коэффициент должен соответственно определяться с высокой степенью достоверности и объективности.

Библиографический список

1. Разработать руководство по обоснованию очередности объектов реконструкции : отчет О НИР (заключ.) / БелНИИ мелиорации и вод. хоз-ва ; рук. В. А. Лебедько ; исполн.: Е. А. Коноплев, Р. А. Мышко. – Минск, 1986. – 77 с.
2. Шкутов, Э. Н. Оценка динамики показателей работоспособности гидромелиоративных систем Полесья в зависимости от уровня финансирования эксплуатационных, ремонтных и восстановительных работ / Э. Н. Шкутов // Мелиорация переувлажненных земель. – 2007. – № 2 (58). – С. 26–42.
3. Выбор первоочередных объектов реконструкции мелиоративных систем / Э. Н. Шкутов, А. П. Лихацевич, А. И. Митрахович, В. П. Иванов, Н. М. Авраменко // Мелиорация. – 2009. – № 1 (61). – С. 32–40.
4. Шкутов, Э. Н. Оценка эффективности реконструкции мелиоративных систем / Э. Н. Шкутов // Мелиорация. – 2009. – № 2 (62). – С. 64–73.
5. Натальчук, М. Ф. Эксплуатация гидромелиоративных систем / М. Ф. Натальчук, Х. А. Ахмедов, В. И. Ольгаренко. – Москва : Колос, 1983. – 279 с.

КАПЕЛЬНОЕ ОРОШЕНИЕ ЦВЕТОЧНЫХ РАСТЕНИЙ НА СКЛОНАХ ОВРАГА

Ю. А. Мажайский¹, доктор сельскохозяйственных наук
М. И. Голубенко², заслуженный изобретатель Российской Федерации
Д. В. Яланский³, кандидат технических наук

¹Мещерский филиал ФГБУ «ФНЦ ВНИИГиМ им. А.И. Костякова, г. Рязань, Россия

²ООО «Мещерский научно-технический центр», г. Рязань, Россия

³УО «Белорусская государственная сельскохозяйственная академия», г. Горки, Беларусь

Аннотация

В России проведение капельного орошения считается наиболее водосберегающим и экологически безопасным способом полива, а по своей технической реализации наиболее автоматизированным. Для промышленного производства выпускаются ленты и трубки капельного полива в масштабах около 1 млрд погонных метров в год. Характеристики трубок позволяют подобрать необходимые параметры полива для любой культуры и почвенных особенностей. Современные требования экономии воды и энергетических ресурсов, сохранения и повышения плодородия почв, защиты растений и агроландшафтов в целом нашли подтверждение при выращивании растений «Патриарший сад» в центральной части г. Владимира. На склонах оврага созданы террасы в сложных условиях рельефа, где размещается весь оросительный комплекс агроландшафта для полива цветочных растений, яблонь, вишни и др. Он обеспечивает влагой и создает условия для отдыха людей, радуя своим дизайном.

Ключевые слова: капельное орошение, поливная вода, полив цветочных растений.

Abstract

Y. A. Mazhayskiy, M. I. Golubenko, D. V. Yalansky
DRIP IRRIGATION OF FLOWER PLANTS ON THE SLOPES OF A RAVINE

In Russia, drip irrigation is considered the most water-saving and environmentally friendly method of irrigation, and the most automated in its technical implementation. For industrial production, drip irrigation tapes and tubes are produced in the amount of about 1 billion linear meters per year. The characteristics of the tubes allow you to select the necessary irrigation parameters for any crop and soil characteristics. With the modern requirement for saving water and energy resources, preserving and increasing soil fertility, protecting plants and agro-landscapes in general have been confirmed specifically when growing plants "Patriarch's Garden" in the central part of the city of Vladimir. On the slopes of the ravine, terraces are created in difficult terrain conditions, where the entire irrigation complex of the agro-landscape is located for watering flower plants, apple trees, cherries, etc. It provides moisture and creates conditions for people to relax, delighting with its design.

Keywords: drip irrigation, irrigation water, watering of flower plants.

Введение

Капельное орошение приобретает особое значение для повышения продуктивности сельскохозяйственных культур. Благодаря ему обеспечиваются современные требования экономии водных и энергетических ресурсов, сохраняется и повышается плодородие почв, защита растений и агроландшафтов в целом.

Рассматриваемая система капельного орошения в рамках естественного природного ландшафта (склоновый овраг глубиной до 30 м на территории парка отдыха «Патри-

арший сад», расположенного в центре г. Владимира (Россия) функционирует в условиях искусственного каскада многочисленных террас, где произрастают растения различного вида и назначения. Система подключена к существующей трубопроводной открытой поливной сети для полива с помощью шлангов. Забор воды осуществляется из подводящего городского трубопровода; вода удовлетворяет общим требованиям межгосударственного стандарта ГОСТ 17.11.2.03-90¹. Разработчики

¹ Охрана природы. Гидросфера. Критерии и показатели качества воды для орошения: ГОСТ 17.1.2.03-90. Введен 01.07.91. Москва: Стандартинформ, 2001. 8 с.

принимают во внимание особенности капельного полива в сложных условиях агроландшафта, где растут цветы, плодовые деревья и кустарники. Обычно систему капельного орошения проектируют по модульному принципу с учетом приемлемых параметров модуля, исходя из размеров ее общей площади, конфигурации, рекомендуемых норм полива и межполивного периода, иных показателей.

В данной статье рассматривается внедрение в эксплуатацию капельного полива на первом этапе роста растений, высаженных на узких террасах от вершины до подошвы оврага, и его функционирование за счет положительных перепадов высотного положения по отношению к орошаемому участку. Обеспечена защита системы от попадания грязи в воду,

Материалы и методы исследования

В исследовании применялись линии параллельного полива, базу внедрения которого составили материалы известной капельной линии «Зеленая река», выпускаемой ЗАО «Центр инноваций» (г. Струнино Александровского р-на Владимирской обл.). Также

Результаты исследований и их обсуждение

В теории и практике орошаемого земледелия используются известные алгоритмы по расчету объемов локальных контуров влажности, базирующихся на условно (эмпирически) принятых формах «шарового пояса», «усеченного конуса», «цилиндра», «эллипсоида вращения» и др., имеющих локальный характер. В повседневной практике нормы капельного полива устанавливаются в соответствии с рекомендациями [1, 2].

Поливные нормы могут рассчитываться в объемах поливной воды (в кубических метрах или литрах) на одно растение, на один капельный водовыпуск (одну капельницу) и один локальный (единичный) контур увлажнения (в литрах кубических на растение, метрах кубических на капельницу, метрах кубических на контур). Традиционно под поливной нормой понимается количество/объем воды, подаваемое/-й на единицу увлажнения площади за один полив.

Несмотря на значительное количество разработок по созданию искусственно-напорных (принудительно-напорных) капельных систем орошения, до настоящего времени отсутству-

что способствует эффективной работе каналов капельных микроводовыпусков.

Воду принято оценивать по степени жесткости (мг-экв/дм³): очень мягкая – до 1, 5; мягкая – 1,5–3,0; средней жесткости – 3,0–6,0; жесткая – 6,0–10,0; очень жесткая – 10,0 и более. Задача определения в ней микроэлементов Ca²⁺ и Mg²⁺, засоряющих эмиттер в системе капельного полива, не ставилась, поскольку вода поступает к растениям из городского трубопровода. Целью исследования является обобщение результатов эксплуатации внедренной системы капельного полива и рассмотрение способов предотвращения размыва грунта на участках террас на склонах оврага в Патриаршем саду, где ранее отсутствовал опыт полива склоновых оврагов с ярусным террасированием трассы полива.

использовались материалы авторских работ, посвященных определению геометрических размеров контура увлажнения почвы для ряда цветочных растений в вышеуказанных рельефных условиях.

ет конкретная методика полива склоновых земель (агроландшафта). В связи с данным обстоятельством предлагаются компоновочно-конструктивные решения по проектированию полносамонапорных (безнасосных или внешне энергозависимых) капельных систем для земель, где на склонах оврага от вершины до подошвы склона устроен целый каскад узких террас. Эта система капельного орошения может быть применена на агроландшафтах, характеризующихся перепадами и уклонами между отметками водоисточника и поверхности земли. Капельная линия полива функционирует со своими узлами распределения воды, благодаря чему в жаркий период все растения получают заданное количество влаги. Площадь орошения составляет 4 га земли, которая засажена цветами, яблонями, вишней, смородиной, крыжовником и др.

Для полива использовались капельные ленты диаметром 6 мм; расстояние между капельницами примерно 30 см, расход каждой – 1,6 л/ч (может быть и 2,2 л/ч). Капельные линии как укладывались на землю, так и подвешивались выше растений на высоте

20–30 см, что позволяло работникам парка ухаживать за ними.

Первый этап практической реализации предлагаемой системы полива включал в себя разработку пилотного проекта для капельного полива склонового оврага с многочисленными террасами, располагающимися сверху до подошвы оврага. Критерием экологической безопасности служило отсутствие смыва почвы на террасах склона. При этом независимо от источника водопроводной воды в узел ее распределения встраивались: стандартный фильтр тонкой очистки, счетчик холодной воды, измеритель давления воды (манометр давления воды стандартный), регулируемые шаровые краны, а также (в конце линии) – краны для спуска воды по окончании полива.

В расчетах использованы данные по скорости впитывания воды в почву в мм/мин и мм/ч в зависимости от гранулометрического состава почв (таблица).

Общий требуемый расход подачи поливной воды (q) рассчитывается по зависимости $q = K + \mu / K_2$, где μ – единичная поливная норма, м³; K – коэффициент, учитывающий возможные потери при поливе ($K = 1,05–1,1$) на испарение и за пределы контура увлажнения; K_2 – коэффициент, учитывающий почвен-

ные условия, принят равным 1,1 для песчаных почв, 1,2–1,3 – для суглинков, 1,4 – для глинистых.

При увлажнении, в зависимости от принятого типа капельниц, поливная норма м³/га определяется по известным формулам. Локальный характер увлажнения почв при капельном орошении зависит от уровня предполивной влажности зоны орошения. При этом существует общая закономерность уменьшения диаметра зоны увлажнения с увеличением исходной влажности почвогрунта [3]. Таким образом, расчеты по режиму капельного орошения привязаны к водно-физическим характеристикам.

Конструкция устройства капельной линии с водовыпусками (эмиттерами) в системе полива на объекте «Патриарший сад» г. Владимира приведена на рис. 1. На рис. 2 показаны наладка и настройка капельной линии полива.

Разработчик М. И. Голубенко создал целый ряд новых технических решений для систем капельного орошения, такие, например, как способ орошения плодовых деревьев, кустарников, цветочных растений на склонах оврага, низконапорная сеть капельного орошения при поливе склоновых земель. Все они защищены патентами [5–9].

Таблица. Скорость впитывания воды в почву

Тип почвы	Коэффициент впитывания	
	мм/мин	мм/ч
Глины тяжелые	0,015–0,08	0,9–4,8
Глины средние	0,17–0,84	10,2–50,5
Суглинки	0,84–1,7	50,4–102,0
Супеси	1,7–2,5	102,0–150,0
Пески	> 3,3	> 200,0



Рис. 1. Капельный полив



Рис. 2. Наладка системы полива

Заключение

Капельное орошение в парковой зоне позволяет получить значительную экономию поливной воды, а также удобрений, трудовых затрат, электроэнергии, дает более ранний урожай, предотвращает эрозию почвы.

Срок службы описанной капельной линии в данных условиях – три года, по истечении

этого срока была доказана надежность и простота работы системы орошения. Обобщение опыта применения системы капельного орошения показывает его высокую эффективность по сравнению с другими способами.

Библиографический список

1. Храбров, М. Ю. Определение технологических параметров систем капельного орошения / М. Ю. Храбров, В. К. Губин, Н. Г. Колесова // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. – 2016. – № 1 (61). – С. 132–136.

2. Мелихова, Е. В. Моделирование и обоснование ресурсосберегающих параметров капельного орошения при возделывании корнеплодов / Е. В. Мелихова. – Волгоград : Волгоградский ГАУ, 2017. – 112 с.

3. Бородычев, В. В. Современные технологии капельного орошения овощных культур / В. В. Бородычев. – Коломна : ФГБНУ ВНИИ «Радуга», 2010. – 241 с.

4. Патент RU № (11) 2 576 441(13) C1, МПК A01G 25/02. Капельница : № 2014149693/13 : заявлено 09.12.2014 : опубл. 10.03.2016 / Голубенко М. И. ; заявитель М. И. Голубенко. – URL: <https://patenton.ru/patent/RU2576441C1.pdf> (дата обращения: 12/04/2025).

5. Патент RU № 2683520(13) C1, МПК A01G 25/00, A01G 25/06. Способ орошения плодовых деревьев и кустарников на склонах оврага : № 2337528 C1 : заявлено 12.04.2018 : опубл. 28.03.2019 / Стариков А. Н., Голубенко М. И. ; заявители: Стариков А. Н., Голубенко М. И. – URL: <https://patenton.ru/patent/RU2683520C1.pdf> (дата обращения: 15.05.2025).

6. Патент RU № (11) 2 652 098(13) C1, МПК A01G 25/00. Способ капельного орошения на склонах оврага : № 2017130796, заявлено 30.08.2017 : опубл. 25.04.2018 / Голубенко М. И. ; заявитель Голубенко М. И. – URL: <https://patentimages.storage.googleapis.com/97/3c/cf/dd32d9f3a020e7/RU2652098C1.pdf> (дата обращения: 15.05.2025).

7. Патент RU № (11) 2 686 231(13) C1, МПК A01G 25/00 (2006.01). Низконапорная система капельного при поливе склоновых земель : № 2018131637 : заявлено 03.09.2018 : опубл.

24.04.2019 / Голубенко М. И. ; заявитель Голубенко М. И. – URL: <https://patenton.ru/patent/RU2719029C1.pdf> (дата обращения: 15.05.2025).

8. Патент RU № (11) 2 736 640(13) C1, МПК A01G 25/02, A01G 25/16, A01G 17/00. Способ для капельного полива многолетних насаждений склоновых земель : № 2020122108 : заявлено 29.06.2020 : опубл. 19.11.2020 / Голубенко М. И. ; заявитель Голубенко М. И. – URL: <https://patentimages.storage.googleapis.com/d7/b9/b6/a034f6261af78f/RU2736640C1.pdf> (дата обращения: 12.06.2024).

9. Патент RU № (11) 2 622 910(13) C1, МПК A01G 25/00. Система капельного орошения : № 2016110647 : заявлено 22.03.2016 : опубл. 21.06.2017 / Голубенко М. И. ; заявитель Голубенко М. И. – URL: <https://patenton.ru/patent/RU2622910C1.pdf> (дата обращения: 12.06.2024).

10. Патент RU № (11) 2 496 306(13) C1, МПК A01G25/16. Устройство для регулирования внесения жидких удобрений на оросительной системе : № 2012106052/13 : заявлено 20.02.2012 : опубл. 27.10.2013 / Голубенко В. М., Голубенко М. И., Биленко В. А. ; заявители: Голубенко В. М., Голубенко М. И., Биленко В. А. – URL: <https://patentimages.storage.googleapis.com/6b/29/1b/a6c6ffdc6eedb3/RU2496306C1.pdf> (дата обращения: 12.06.2024).

11. Патент RU № (11) 2 556 893(13) C1, МПК A01G25/00, A01C21/00, A01C23/04, A01B 79/02, C05F 7/00. Способ полива при вспашке на дерново-подзолистых супесчаных почвах Центрального Нечерноземья : № 2014133327/13 ; заявлено 12.08.2014 : опубл. 20.07.2015 / Голубенко М. И. ; заявитель Голубенко М. И. – URL: https://yandex.ru/patents/doc/RU2556893C1_20150720 (дата обращения: 12.06.2024).

Поступила 23 июля 2025 г.

ВОДОПОГЛОЩАЮЩИЕ УСТРОЙСТВА РАБОТЫ ДРЕНАЖА

З. Ю. Арганистова¹, аспирант

Ю. А. Мажайский², доктор сельскохозяйственных наук

М. И. Голубенко³, заслуженный изобретатель Российской Федерации

Ю. Н. Дуброва¹, кандидат технических наук

¹УО «Белорусская государственная сельскохозяйственная академия», г. Горки, Беларусь

²Мещерский филиал ФГБУ «ФНЦ ВНИИГиМ им. А.И. Костякова», г. Рязань, Россия

³ООО «Мещерский научно-технический центр», г. Рязань, Россия

Аннотация

Приведены новые конструкции элементов отвода и очистки дренажного стока с фильтрующей засыпкой подвешенных контейнеров (емкостей) в конце дрены. Показана эффективность их работы по удалению загрязнения минерализованных дренажно-сбросных вод, что обеспечит существенное улучшение сброса воды и ее использование повторно для орошения.

Ключевые слова: дренажное устройство, фильтрующая засыпка, закрытый дренаж.

Abstract

Z. Y. Arganistova, Y. A. Mazhayskiy, M. I. Golubenko, Y. N. Dubrova

WATER-ABSORBING DRAINAGE DEVICES

The article presents new designs of drainage and cleaning elements with filtration filling of suspended containers (containers) at the end of the drain. The effectiveness of their work on removing contamination of mineralized drainage and waste waters is shown, which will ensure a significant improvement in water discharge and its reuse for irrigation.

Keywords: drainage devices, filtering backfill, ground drainage.

Введение

Мелиорация земель и водохозяйственное строительство являются составной частью комплекса мероприятий по созданию материально-технической базы сельского хозяйства, и функционирование мелиоративно-технических средств оценивается прежде всего по результатам сельскохозяйственного производства. Мероприятия нацелены на отвод как поверхностных вод, так и избыточной воды из корнеобитаемого слоя почвы [1]. Например, в 1999 г. на орошаемых землях России объем дренажного стока составил примерно 50 % от водозабора воды на орошение.

Общеизвестно, что работа дренажных устройств, выполняющих функцию отвода подземных вод из водонасыщенной толщи, создается подземным искусственным путем. Для этого в почве прокладывают дрены, которые непосредственно отбирают воду из грунта и выводят в естественные водоприемники

(реки, озера, овраги, пруды, водохранилища и т. д.).

Для рационального использования водных ресурсов, повышения ценности экосистемных услуг, предотвращения процессов деградации земельных угодий и загрязнения водных объектов, а также поддержания экологической устойчивости мелиорируемых агроландшафтов необходимо улучшать качества дренажно-сбросных вод и способствовать их повторному использованию в целях орошения. В связи с этим важна разработка конструкции системы и технического обеспечения очистки дренажно-сбросных вод для их повторного применения на оросительных системах с целью рационального водопользования.

В большинстве случаев дренаж не в состоянии обеспечить должную очистку вод, поэтому дренажный сток перед сбросом должен подвергаться очистке до нормативных значе-

ний с использованием бассейна-накопителя и узла доочистки. Для охраны водных объектов, предотвращения их загрязнения и засорения устанавливаются нормативно предельно допустимые сбросы химических, биологических веществ и микроорганизмов в водные объекты. Основные параметры расчета дренажа (определение модуля дренажного стока и управление водного баланса) приведены в Ведомственных строительных нормах (далее – ВСН) 33-2.203-86 и в пособии к данному документу¹.

В то же время в Беларуси при проектировании отвода поверхностных вод из замкнутых понижений в дренажную сеть на слабопроницаемых почвах применяют колонки-поглотители, в которых поступление поверхностной воды в дренаж происходит только в полосе траншеи с заданной шириной [2–3]. Расчеты

Материалы и методы исследования

С целью решения проблемы отвода и очистки дренажного стока нами разработано устройство в конце устья дрены для получения дополнительных объемов чистой воды (см. рис. 1).

В его основе – обычно применяемые сбросные устья дренажей проектируемых объектов, когда в период орошения сельскохозяйственных культур используется закрытый дренаж для сброса воды в открытые коллекторы.

В процессе анализа ряда разработок дренажных устройств были предложены новые конструктивные решения для повышения эффективности осушения и очистки дренажного стока от загрязнения: в конце устья дрены были созданы дополнительно устройства – вертикальные колодцы-поглотители с подвешенными контейнерами, имеющими на стропах-тросах фильтрующий материал.

Контейнеры в виде юбки (емкости) выполнены из пустотелых трубок в виде круглой решетки, днище – плоским и скрепленным отходящими от него аналогичными пустотелыми патрубками в виде решетки. Юбка, обхватывающая корпус контейнера, выполнена из эластичного водонепроницаемого мате-

основываются на коэффициенте фильтрации засыпки и коэффициенте фильтрации пахотного слоя, которые влияют на водопримную способность конструкции.

Целью наиболее рационального способа отвода и очистки дренажного стока осушительной системы является снижение отвода дренажного стока во влажные периоды и его использование на увлажнение осушенных земель в засушливые периоды вегетации. Так, предложена конструкция по разработанному нами патенту «Система отвода и очистки дренажных вод осушительной системы»². Она включает устьевую трубу, которая выходит на откос дренажного коллектора, снабженного многоступенчатыми секциями колодцев-поглотителей открытого типа, соединенных водопропускными трубами с насадками аэраторами, предлагается использовать.

риала типа спанбонда из двух слоев. Емкость загружают послойно – в нижнюю часть гравий или крупный песок, верхнюю часть засыпают песком, причем коэффициент фильтрующего элемента каждого последующего слоя относительно предыдущего уменьшается не менее чем на 1 м/сут (можно также использовать шлак или синтетические отходы легкой промышленности с грунтом).

Каждый контейнер (емкость для поступления дренажной воды) принимают глубиной от 1 до 1,5 м, причем количество его ступеней по длине трассы составляют не менее 4 м. На каждой ступени происходит очистка от взвешенных частиц, а биогенные вещества поглощаются фильтрующим элементом. При этом можно с помощью подъемных механизмов легко проводить замену подвешенных контейнеров из юбки с фильтрующими элементами новыми устройствами. При этом сами колодцы после освобождения от дренажной воды могут быть очищены внутри просто вручную – посредством таких подручных средств, как лопата и ведро; для поглотительных колодцев используют механическую драгу.

¹ Мелиоративные системы и сооружения. Дренаж на орошаемых землях. Нормы проектирования: ВСН 33-2.2.03-86 01.01.1987. Введ. 30.07.1986. Москва: Союзгипроводхоз, 1987 г. 52 с.

² Система отвода и очистки дренажных вод осушительной системы: пат. RU № 2843299, МПК E02B 11/00, A01G 25/00 / 3. Ю. Арганистова, Ю. А. Мажайский, М. И. Голубенко. Заявл. 11.07.2025.

Результаты исследования и их обсуждение

На первом этапе работы проанализированы все имеющиеся последние разработки в этой области на уровне патентов, которые могут быть приняты как основополагающие для внедрения в производственную практику с учетом экологической эффективности и работоспособности, а также новое техническое решение, защищенное патентом.

Схема предлагаемого нового технического решения для отвода и очистки дренажного стока осушительной системы показана на рис. 1.

В конце устья дрены размещают вертикально расположенные по длине откоса открытого сбросного коллектора многоступенчатые секции в виде поглотительных колодцев, последовательно соединенные между собой водопропускными трубками, – один ниже другого. Поглотительные колодцы имеют внутри себя размещенный фильтрующий элемент, состоящий из контейнеров. Контейнеры покрыты эластичным материалом в виде юбки, которая внутри снабжена дополнительно пустотелыми кольцевыми ободами, соединенными между собой с помощью пустотелых трубок в виде решетки. Корпус каркаса контейнеров выполняют из полиэтиленового материала. Верхняя часть открытого корпуса контейнера имеет стропы-тросы с монтажной петлей. Контейнеры подвешены над дном поглотительного колодца. Юбка выполнена из эластичного материала, полость которой заполняют последовательно в высоту по три слоя: нижняя часть покрывается водопроницаемым геотекстилем, средняя часть засыпается гравием или крупным песком, а

верхняя часть – песком. Геотекстиль обеспечивается устойчивостью к воздействию кислот, щелочей и других агрессивных веществ, содержащихся в дренажной воде. Синтетические волокна не подвержены гниению, им не страшна влага, мороз, жара, прямые солнечные лучи. Срок его использования – не менее 30 лет. В целом применение данных материалов удешевляет строительство. Такая конструкция создает искусственную гидравлическую связь сбросной дренажной воды (стока) в устье, обеспечивает фильтрацию каждого последующего слоя в конце дрены относительно предыдущего, уменьшающегося не менее чем 1 м/сут.

Дренажное устройство в конце дрены работает следующим образом: вода, собранная в дрене, истекает из устьевой трубы 1, поступает на поверхность фильтрующего элемента подвешенного контейнера 2, выполненного из каркаса, и фильтруется через слой из непромокаемых материалов (например, песка и других вышеотмеченных материалов); все это засыпают в юбку 3. Вода стекает через днище контейнера вниз, полотно геотекстиля – не менее двух слоев. Поглотительные колодцы 4 покрыты внутри по периметру и дну водонепроницаемым полотном материала геотекстиля.

Высокий коэффициент вертикальной фильтрации обеспечивает быстрый отвод избыточных вод на дно поглотительного колодца 4. В конце очищенная вода поступает в линейный коллектор 5 или в водоприемник на повторное использование.

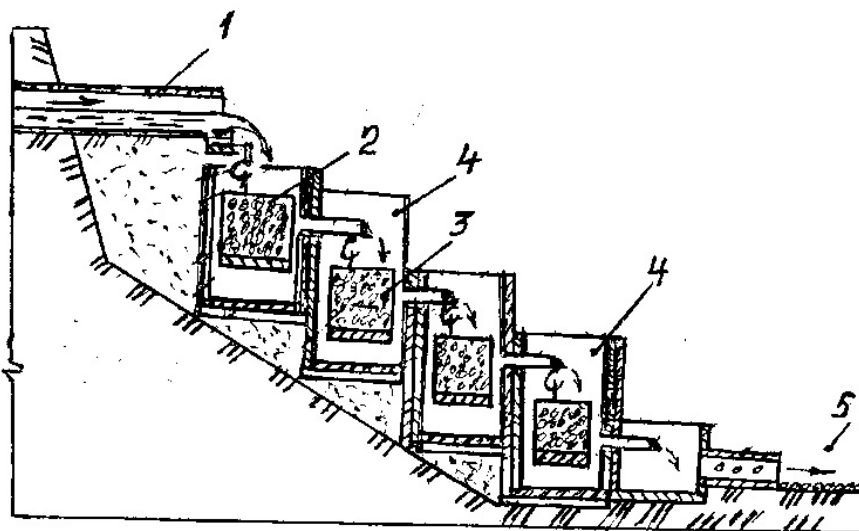


Рис. 1. Схема водопоглощающего устройства и очистки дренажного стока

Последовательная обработка дренажных вод, поступающих через каскад линейных очистных сооружений, не только обеспечивает очистку вод фильтрующими элементами, но одновременно гасит энергию дренажного потока по пути его движения. Контейнер с юбкой, заполненной фильтрующим материалом, можно периодически заполнять новым аналогичным материалом.

Фильтр из крупнозернистой фракции, сложенно размещенный в придонной части контейнера, имеет диаметр частиц более 10 мм, а из мелкозернистой фракции (песок) в верхней части контейнера – диаметр частиц более 0,2 мм. Придонная часть крупнозернистой фракции защищает нижний водопроницаемый (на днище) материал из геотекстиля от его засорения, а суммарная протяженность поглощения колодцев-поглотителей с подвешенными контейнерами и объемным фильтром рассчитывается в зависимости от фильтрационных свойств материалов, заполненных в юбке контейнера (что связано с максимально поступающим объемом дренажного стока).

В практике строительства дренажа в аридной зоне при осушении дренажные трубы принимаются диаметром от 100 до 150 мм, что обеспечивает возможность их промывки от заиливания. Если расчеты показывают, что диаметр дренажных труб более 150 мм, то прокладывают параллельно несколько дренажных трубопроводов по 100 мм, при этом трубы должны быть заложены ниже глубины промерзания почвы для конкретной террито-

рии, что обеспечивает отвод воды в холодное время. Кроме того, конструкция позволяет проводить вспашку и другие виды работ по уходу за сельскохозяйственными культурами.

Химический состав дренажно-сбросных вод весьма разнообразен и зависит от регионального гидрохимического режима, соответствует природным закономерностям галогеохимических процессов, так как включает в себя следующие ионы: HCO_3 , Cl , SO_4 , Ca , Mg , Na , а также pH.

Исследования показывают, что при средней минерализации 2,5 г/л в водные объекты может поступать от 10 до 25 млн т различных солей в год. Помимо основных химических элементов, в дренажном стоке присутствуют различные загрязнители: пестициды, аммонийный и нитратный азот, фосфор, соли тяжелых металлов. Зная объем дренажного стока W_d , можно определить количество загрязняющих веществ, поступающих в водные объекты, по формуле

$$V = (W_d + C_1),$$

где C_1 – концентрация любого загрязняющего вещества, мг/л [4–5].

Предлагаемое техническое решение и его конструкция способствуют решению указанной задачи. В качестве примера рассмотрено дренажное устройство слабопроницаемого грунта¹, предназначенное для отвода поверхностных и грунтовых вод и осушения переувлажненных полевых почв.

На рис. 2 показана новая конструкция сооружения согласно [6].

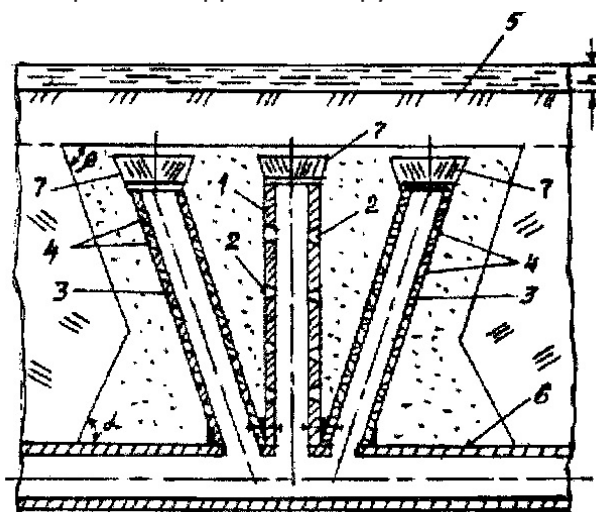


Рис. 2. Дренажное устройство [6]

¹ Устройство для осушения бессточного понижения: пат. ВУ № 20385, МПК E02B 11/00 (2006.01). № а 20121646. Опул. 30.08.2016 / А. И. Митрахович, И. Ч. Казьмирук, Н. М. Авраменко. Минск, 2012. 4 с.

Устройство включает вертикальную перфорированную трубу 1 с конусным отверстием 2. Дополнительные фильтрующие трубы 3 V-образной формы с дырчатыми отверстиями 4 под наклоном к основанию подошвы пахотного слоя 5 выполнены с обеих сторон вертикальной трубы 1, соединены в нижней части ее основания в узле сопряжения с дренажной трубой 6. Трубы 1 и 3 в верхней части имеют съемную фильтрующую крышку 7. Высота фильтрующих труб 1 и 3 ограничена сверху пахотным слоем 5 мощностью 30–40 см для предотвращения разрушения почвообрабатывающими механизмами, а также возможности осушения поглощающими трубами подпахотного слоя. Фильтрующие трубы 3 имеют уклон в сторону вертикальной трубы 1 в месте соединения с дренажной трубой 6 в виде «раскрытого лепестка». При этом отверстия 4, просверленные наклонно под углом 30–40 градусов к основанию подошвы пахотного слоя 5, заставляют воду при избыточном напоре двигаться внутрь перфорированной трубы 3. Скорость по направлению к ним возрастает из-за наклона труб к дренажной трубе 6. Происходит перераспределение оттока воды между наклонной трубой 3 и вертикальной 1.

В результате водозаборная приемная часть дренажной трубы 6 в узлах сопряжения с трубами приобретает большую площадь, чем выход из цилиндрической вертикальной трубы 1. Происходит соударение потоков, и они гасятся, благодаря чему достигается уменьшение удельного давления на дно дренажной трубы 6. Вокруг труб 1 и 3 до пахотного слоя насыпают фильтрующую засыпку (песчаную, песчано-гравийную или смесь песка с синтетическими рассыпными материалами). Наличие мелкозернистой фракции вокруг дренажных труб по форме выполнения с засыпкой предотвращает поступления наносов в трубы с наклонными отверстиями, предотвращая их заиливание.

Работа устройства в значительной степени зависит от глубины промерзания почвы и ее оттаивания.

Целесообразно также указать на предложенные новые технические решения в данной области, снижающие опасность переосушения земель [7–11]. Эти устройства повышают надежность функционирования дренажа, они могут использоваться на мелиорируемых объектах в конкретных природных условиях.

Библиографический список

1. Азява, Г. В. Опыт проектирования мелиоративных систем на тяжелых грунтах / Г. В. Азява // Мелиорация и вод. хоз-во. – 1991. – № 6. – С. 12–15.
2. Смирнов, А. М. Расчет поглотительных колонок на дренах / А. М. Смирнов // Мелиорация и вод. хоз-во. – 1990. – № 10. – С. 31–34.
3. Анженков, А. С. Новые конструктивные решения насадов промысловых / А. С. Анженков, В. А. Болбышко, Н. Н. Погодин // Мелиорация. – 2021. – № 3 (97). – С. 5–11.
4. Об утверждении Методических указаний по разработке нормативов допустимого воздействия на водные объекты : приказ М-ва природ. ресурсов Рос. Федерации от 12 дек. 2007 г. № 328 // КонсультантПлюс. – URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_74470/ (дата обращения 22.01.2025).
5. Об утверждении Методики разработки нормативов допустимых сбросов загрязняющих веществ в водные объекты для водопользователей : приказ от 29 дек. 2020 г. № 1118 // КонсультантПлюс. – URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_373522/ (дата обращения 22.01.2025).
6. Патент RU № (11) 2 576 175⁽¹³⁾ С1, МПК E02B 11/00. Дренажное устройство слабопроницаемого грунта : № 2014152447/13 : заявлено 23.12.2014 : опубл. 27.02.2016 / Голубенко М. И. ; заявитель Голубенко М. И. – URL: <https://patenton.ru/patent/RU2576175C1.pdf> (дата обращения: 12.06.2025).
7. Патент RU № 2714837⁽¹³⁾ С1, МПК E02B 13/00. Дренажный колодец-поглотитель для приема и отвода поверхностных вод : № 2019113288 : заявлено 29.04.2019 : опубл. 19.02.2020 / Голубенко М. И. ; заявитель Голубенко М. И. – URL: <https://patentimages.storage.googleapis.com/68/8c/a2/d2b35c52241d2a/RU2714837C1.pdf> (дата обращения: 22.06.2025).

8. Патент RU № (11) 2576121⁽¹³⁾С1, МПК E02B 11/00. Способ осушения замкнутых понижений рельефа : № 2014152398/13 : заявлено 23.12.2014 : опубл. 27.02.2016 / Голубенко М. И. ; заявитель Голубенко М. И. – URL: <https://patentimages.storage.googleapis.com/36/39/d1/01b503b52946e2/RU2576121C1.pdf> (дата обращения: 22.06.2025).

9. Пат. RU № 2547406⁽¹³⁾С1. МПК E02B 11/00, E03F. Дренажная система : № 2013159309/13 : заявлено 30.12.2013 : опубл. 10.04.2015 / Голубенко М. И. ; заявитель Голубенко М. И. – URL: <https://patenton.ru/patent/RU2547406C1.pdf> (дата обращения: 22.06.2025).

10. Патент RU № (11) 2 614 584⁽¹³⁾ С1, МПК E02B 11/00. Дренажный колодец : № 2015154944 : заявлено : 21.12.2015 : опубл. 28.03.2017 / Голубенко М. И. ; заявитель Голубенко М. И. – URL: <https://patenton.ru/patent/RU2614584C1.pdf> (дата обращения: 12.06.2025).

11. Патент RU № 2561436⁽¹³⁾ С1, МПК E02B 11/00. Осушительно-увлажнительная система : № 2014122636/13 : заявлено 21.12.2015 : опубл. 27.08.2015 / Голубенко М. И. ; заявитель Голубенко М. И. – URL: https://viewer.rusneb.ru/ru/000224_000128_0002561436_20150827_C1_RU?page=1&rotate=0&theme=white (дата обращения: 22.06.2025).

Поступила 18 августа 2025 г.

ОСОБЕННОСТИ ОБСЛЕДОВАНИЯ ЭКСПЛУАТИРУЕМЫХ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ ГИДРОУЗЛОВ

Н. Н. Линкевич, кандидат технических наук

*Белорусский национальный технический университет,
г. Минск, Беларусь*

Аннотация

Проведение обследований гидроузлов носит базовый, определяющий характер для оценки: технического состояния и безопасности гидротехнических сооружений (ГТС) и их комплексов, прогноза их изменения во времени; достаточности принятых (или принимаемых) собственником сооружения мер по предупреждению аварийных ситуаций; соблюдения эксплуатирующей организацией правил, инструкций и других нормативных документов по технической эксплуатации ГТС; возможности их дальнейшей безаварийной эксплуатации или необходимости восстановления и усиления. Такие мероприятия являются основой для разработки рекомендаций по повышению безопасности ГТС и неотъемлемой частью при проектировании их капитального ремонта или реконструкции. Представлены положения методики натурных обследований эксплуатируемых ГТС гидроузлов, повышающих эффективность и надежность их эксплуатации.

Ключевые слова: натурные исследования, техническая документация, предварительный технический осмотр, общее (визуальное) и детальное (инструментальное) обследование, категория технического состояния, класс дефектов, степень износа конструкций.

Abstract

N. N. Linkevich

FEATURES OF SURVEYING OF OPERATED HYDRAULIC STRUCTURES OF HYDRO-ENGINEERING FACILITIES

Conducting surveys of hydraulic structures is a basic determining nature for assessing: the technical condition and safety of hydraulic structures (HS) and their complexes, forecasting their changes over time; the adequacy of measures taken (or being taken) by the owner of the structure to prevent emergency situations; compliance by the operating organization of the rules, instructions and other regulatory documents on the technical operation of the HS; the possibility of their further trouble-free operation or the need for restoration and strengthening. Such measures are the basis for developing recommendations for improving the safety of HS and an inalienable part in the design of their major repairs or reconstruction. The article presents the provisions of the methodology for surveys of HS of hydro-engineering facilities in operation, which increase the efficiency and reliability of their operation.

Keywords: field studies, technical documentation, preliminary technical inspection, general (visual) and detailed (instrumental) examination, technical condition category, defect class, degree of wear of structures.

Введение

В настоящее время на территории Беларуси действует 159 водохранилищ (водоемов, имеющих полный объем более 1 млн м³) различного назначения (в целом на Земле таких более 100 тыс) – для целей энергетики, мелиорации, водоснабжения, рыбного хозяйства, рекреации [1, с. 8]. По состоянию на 1 сентября 2020 г. в нашей стране работает 53 гидроэлектростанции установленной мощностью 96 МВт¹. Уже действуют Богинская,

Полоцкая и Витебская ГЭС в Витебской обл.; Зельвенская и Гродненская – в Гродненской; Саковщинская, Жодинская и Вилейская – в Минской; Тетеринская – в Могилевской обл. и целый ряд других.

Гидротехнические сооружения, с помощью которых создают водохранилища и являющиеся особо значимыми, классифицируют по нескольким признакам: так, по условиям использования выделяют постоянные и вре-

¹ О Государственной программе «Энергосбережение» на 2021–2025 годы (в ред. постановления Совета Министров Респ. Беларусь от 09.02.2023 № 116): постановление Совета Министров Респ. Беларусь от 24 февр. 2021 г. № 103. URL: <https://pravo.by/document/?guid=12551&p0=C22100103> (дата обращения: 22.07.2025).

менные¹. Постоянные ГТС в зависимости от назначения подразделяют на основные и второстепенные; основные ГТС в зависимости от их высоты и типа грунтов оснований, социально-экономической ответственности и условий эксплуатации – на классы (I–IV). Для каждого класса сооружений устанавливаются дифференцированные требования.

Согласно СН 3.02.07-2020 постоянные основные ГТС I, II, III классов относят к объектам первого класса сложности, остальные – к объектам второго класса; ГТС мелиоративных систем, мелиоративные системы и сооружения, сооружения полносистемных прудовых рыбоводных хозяйств, рыбоводных промышленных комплексов – к объектам третьего класса сложности². Оценка состояния объектов потенциальной опасности требует наличия объективной информации об их техническом состоянии, которая может быть получена в ходе проведения натурных обследований, важный результат которых – выявление сооружений, нуждающихся в ремонте, модернизации, реконструкции или сносе.

Методика натурных обследований разработана на основании опыта проведения подобных работ [2–7], обзора и анализа источников, в том числе нормативных, упоминающихся в данной статье.

Обследование зданий, в том числе ГТС, производят для оценки соответствия показателей их эксплуатационных качеств проектной документации и требованиям технических нормативных правовых актов (далее – ТНПА) в следующих случаях: 1) для определения пригодности здания к дальнейшей эксплуатации; 2) паспортизации; 3) проектирования ремонта, реконструкции, модернизации, реставрации; 4) изменения нагрузок или воздействий; 5) изменения условий эксплуатации; 6) определения износа; 7) смены собственни-

ка, уточнения стоимости; 8) решения вопросов утилизации; 9) возобновления строительства законсервированных объектов; 10) по требованию собственника, органов власти, страховых компаний и т. д.³ Обследование и оценка технического состояния строительных конструкций должна производиться организацией или ее подразделением, имеющими право на проведение соответствующих работ в соответствии с требованиями⁴, с учетом рекомендаций производителей конкретных видов оборудования.

Программа обследования с конкретным перечнем и объемом обследуемых конструкций, необходимых для данного здания или сооружения работ приводится в техническом задании заказчика, согласованном при необходимости исполнителем и проектировщиком. В задании также указываются цель и задачи обследования, вид обследования, этапы работ (при необходимости), класс сложности объекта, источники финансирования, особые требования заказчика, сроки начала и окончания работ.

Обследование проводится комиссией, цель которой – а) определить объективные показатели состояния гидротехнических сооружений (параметры повреждений конструкций, физико-механические характеристики бетона различных зон сооружения и т. д.), необходимые для оценки их фактического ресурса работоспособности и безопасности; б) оценить соответствие показателей их эксплуатационных качеств предписаниям проектной документации и требованиям ТНПА.

Основными задачами обследования сооружений являются:

оценка общего состояния конструкций и их соответствия проектной документации, выявление дефектов, повреждений и неблагоприятных процессов;

¹ Гидротехнические сооружения общего назначения: СН 3.04.01-2020. Минск: Минстройархитектуры, 2021. 135 с.

² Объекты строительства. Классификация: СН 3.02.07-2020. Минск: Минстройархитектуры, 2021. 10 с.

³ Техническое состояние зданий и сооружений: СН 1.04.01-2020. Минск: Минстройархитектуры, 2021. 66 с.

⁴ Гидротехнические сооружения общего назначения: СН 3.04.01-2020; Техническое состояние зданий и сооружений: СН 1.04.01-2020; Общие положения по обследованию строительных конструкций зданий и сооружений: СП 1.04.02-2022. Минск, 2022. 78 с.; Обследование и усиление стальных конструкций: СП 1.04.04-2023. Минск, 2023. 134 с.; Обследования и испытания мостов и труб: СП 3.03.06-2023. Минск, 2023. 33 с.; Система обеспечения точности геометрических параметров в строительстве. Основные положения: ГОСТ 21778-81. Москва, 1981. 12 с.; Основы проектирования конструкций. Оценка существующих конструкций: СТБ ISO 13822-2017. Минск, 2017. 48 с.; Основы проектирования строительных конструкций: СН 2.01.01-2022. Минск, 2022. 65 с.; Гидротехнические сооружения специального назначения: СН 3.04.02-2020. Минск, 2021. 57 с.

вскрытие возможных причин появления последних и разработка профилактических или восстановительных мероприятий по устранению дефектов для обеспечения надежной и безопасной работы сооружения, а также по предотвращению отказов и аварий, улучшению режимов эксплуатации и оценке уровня безопасности и риска аварий.

В ряде случаев необходимо оценить остаточный срок службы здания/сооружения; разработать или восстановительные мероприятия с оценкой целесообразности их выполнения, или только поддерживающие (временные) меры для обеспечения безопасной эксплуатации объекта на установленный заказчиком конкретный ограниченный период времени и т. д.¹.

Обследование производят с помощью средств измерений, прошедших метрологическую оценку в соответствии с законодательством об обеспечении единства измерений, и оборудования, прошедшего оценку характеристик (аттестацию или иным способом) на соответствие требованиям, установленным методами контроля из числа допущенных к применению на территории Беларуси². При проведении работ по обследованию зданий, сооружений соблюдают требования безопасности труда в соответствии с ТНПА.

Результаты обследования комиссия оформляет в виде *отчета, акта или заключения* (далее – отчет), который подписывают председатель и все члены комиссии. В тексте отчета приводятся: общие сведения по гидроузлу и при необходимости краткая характеристика

ГТС; их оснащенность средствами измерений; организация контроля за сооружениями и их механическим оборудованием; оценка их состояния как в целом, так и их отдельных элементов (с указанием наиболее крупных дефектов сооружений и недочетов, допущенных эксплуатационным персоналом гидроузла по обеспечению нормальной работы сооружений и размещенной в них контрольно-измерительной аппаратуры и т. д.); оценка ранее выполненных ремонтных и реконструкционных мероприятий в части повышения надежности и безопасности сооружений, достаточности объемов и своевременности работ; оценка ведения технической документации; оценка готовности объекта к локализации и ликвидации опасных повреждений и аварийных ситуаций на ГТС; сведения об уровне безопасности (соответствии сооружений нормативным критериям безопасности); выводы о техническом состоянии объекта, рекомендации о возможности и условиях его дальнейшей безопасной эксплуатации или необходимости восстановления, усиления или замены.

Состав отчета должен соответствовать техническому заданию и может быть уточнен с учетом вида, целей и задач обследования и специфики конкретного сооружения³.

По материалам обследования дается оценка ресурса работоспособности и безопасности обследованных конструкций и разрабатываются технические решения и рекомендации по методам восстановления, усиления (ремонта) или замены дефектных конструкций.

Основная часть

Согласно Общим положениям по обследованию строительных конструкций зданий и сооружений (2022) проведение обследования конструкций включает в себя:

- 1) изучение предоставленной документации;
- 2) предварительный технический осмотр конструкций;
- 3) общее обследование (по внешним признакам);

- 4) детальное (инструментальное) обследование.

В соответствии с СН 1.04.01-2020 предварительный технический осмотр здания/сооружения происходит до составления технического задания на проведение обследования – для уточнения цели и задач работы, предварительного определения объемов и сроков их производства, объема имеющейся проект-

¹ Техническое состояние зданий и сооружений: СН 1.04.01-2020.

² Техническое состояние зданий и сооружений: СН 1.04.01-2020; Общие положения по обследованию строительных конструкций зданий и сооружений: СП 1.04.02-2022.

³ Общие положения по обследованию строительных конструкций зданий и сооружений: СП 1.04.02-2022.

ной, исполнительной и эксплуатационной документации, условий доступа к обследуемым элементам здания или сооружения.

Как указывается в вышеназванных Общих положениях по обследованию строительных конструкций зданий и сооружений (2022) и СП 1.04.04-2023, натурные обследования могут проводиться силами и средствами организации-исполнителя с привлечением иных сторонних специалистов и при активном участии представителя заказчика (собственника) по предварительно разработанной методике.

Заказчик, как правило, оказывает организации, проводящей обследование, содействие по следующим вопросам:

- до начала обследования предоставляет всю необходимую проектную, исполнительную и эксплуатационную документацию по данному объекту, включающую актуальные сведения о размещении оборудования, более ранних обследованиях, ремонтах и реконструкциях;
- подготавливает плавсредства, измерительный инструмент и инвентарь, необходимые для проведения контрольных замеров и выборочных измерений;
- обеспечивает доступ к конструкциям / обследуемым элементам и измерительным устройствам;
- предоставляет лестницы, подмости, автовышки и другие средства для безопасного выполнения работ, включая при необходимости временную остановку технологического процесса на отдельных участках;
- выполняет вскрытие и заделку конструкций (в том числе кровли), отрывку и закапывание шурфов в необходимых местах;
- организовывает работы по отбору образцов материалов, испытанию конструкций¹.

На обследуемом гидроузле должны быть созданы условия для осуществления кратковременных пусков воды через водосливы и другие водосбросные сооружения при их частичных или полных открытиях².

Обследования проводятся индивидуально и группами, результаты сопоставляются, и все обнаруженные дефекты и повреждения по-

вторно проверяются. Записи и фотографирование проводятся непосредственно на месте.

В состав работ, выполняемых в рамках натурных обследований, входит:

- 1) изучение технической документации;
- 2) обследование общего состояния сооружений и их элементов;
- 3) установление повреждений и дефектов отдельных конструкций сооружений;
- 4) выявление причин, вызывающих дефекты и повреждения конструкций;
- 5) определение (при необходимости) прочностных свойств бетонных конструкций и физико-механических характеристик грунтов основания сооружения;
- 6) разработка рекомендаций и технических решений по устранению выявленных дефектов и повреждений;
- 7) установление возможности и условий дальнейшей эксплуатации обследованных конструкций и определение необходимых мероприятий по обеспечению их надежности и долговечности.

В результате проведенных работ должны быть получены:

- техническая документация;
- краткая характеристика конструкции сооружений и их соответствие проектной документации;
- характеристика общего состояния конструкции сооружений гидроузла и прилегающих территорий;
- материалы предшествующих обследований/исследований и принятые решения по ремонту или реконструкции и их выполнению;
- характеристика состояния освидетельствованных конструкций и их элементов;
- описание недостатков строительно-монтажных работ и эксплуатации;
- описание возникших в сооружениях дефектов и повреждений, причин их появления, а также их влияния на устойчивость элемента и конструкции в целом;
- определение степени надежности и возможности дальнейшей эксплуатации сооружений;

¹ Техническое состояние зданий и сооружений: СН 1.04.01-2020; Общие положения по обследованию строительных конструкций зданий и сооружений: СП 1.04.02-2022.

² Рекомендации по обследованию гидротехнических сооружений с целью оценки их безопасности: П 92-2001. С.-Петербург, 2000. 48 с.

- предложения по устранению дефектов и повреждений (или замене), а также по срокам.

Изучение технической документации по ГТС.

К технической документации, подлежащей изучению, относится:

проектная (включающая все изменения, внесенные в проект, и данные об инженерно-геологических, гидрогеологических, гидрологических, топографических и климатических условиях строительства) и исполнительная;

документация по реконструкции, проведению ремонтов;

акты приемки скрытых работ;

материалы предшествующих обследований и исследований;

акты инспекторских проверок, комиссионных обследований состояния ГТС, расследований повреждений и аварий;

книги текущего состояния сооружений и видов ремонта;

данные о службе эксплуатации ГТС и уровне культуры его эксплуатации (укомплектованность штата и квалификация работников; укомплектованность необходимой техникой, механизмами, инструментами, расходными материалами и т. п.; необходимые методические материалы; состояние контрольно-измерительной аппаратуры; регулярность наблюдений и обследований состояния ГТС; уровень и регулярность технического обслуживания и ремонта оборудования (механизмов) и сооружений; соблюдение правил организации и содержания защитных и охранных зон).

Названные материалы изучаются, в первую очередь, в эксплуатирующей организации, а в случае отсутствия – в организациях, выполнявших эти работы. В случае отсутствия у эксплуатационников проектной документации необходимо восстановить ее у проектировщиков. Если в документах отсутствуют необходимые сведения или они не соответствуют действительности, то нужно внести коррективы в документы и поставить в известность заказчика. При изучении технических отчетов по обследованию или актов осмотров необходимо установить по документам, а затем и в натуре,

как выполнялись мероприятия по устранению дефектов и другие рекомендации.

При изучении документации следует обратить особое внимание на идентичность элементов сооружений и их взаимную увязку в разные годы, размеры и высотное расположение. Если такое несоответствие устанавливается, то требуется сопоставление с натурой, установление реального состояния, которое важно отразить в отчете. Анализируя, например, паспорт строительного объекта, данные о предыдущих обследованиях и т. д., фиксируют отклонения от проектных условий эксплуатации строительных конструкций, параметров окружающей среды, нагрузок, состояния грунта, а также использование конструкций не по назначению¹.

Приведем *порядок обследования ГТС* в целом.

1. При комплексном обследовании гидроузла создается комиссия (бригада, группа, отделение) из ведущих экспертов. Персональный состав специалистов формируют с учетом компоновки и конструктивных особенностей сооружения и его механического оборудования, инженерно-геологических, гидрологических, климатических и других условий его эксплуатации.

Для *комплексного обследования гидроузлов*, в составе которых имеются бетонные и грунтовые плотины, здания гидроэлектростанций, водосбросные сооружения и водоводы, механическое оборудование, в комиссию включают специалистов по грунтовым сооружениям; бетонным, железобетонным и сталежелезобетонным конструкциям/сооружениям; строительным материалам; бетону и технологии бетонных и цементационных работ; динамике сооружений; гидравлике сооружений и нижних бьефов; инженерной геологии, механике грунтов и основаниям ГТС; натурным исследованиям и диагностике сооружений; инструментальному определению механических характеристик бетона; гидро-механическому оборудованию. В комиссию включаются также представители проектной организации и эксплуатационного персонала гидроузла.

¹ Техническое состояние зданий и сооружений: СН 1.04.01-2020; Общие положения по обследованию строительных конструкций зданий и сооружений: СП 1.04.02-2022.

Следует отметить, что обследования бетонных конструкций обычно ведутся визуальными и неразрушающими методами, причем визуальные обследования считаются основным способом контроля за состоянием сооружений, и данные этих наблюдений становятся базой для дальнейших инструментальных обследований.

Работа вышеуказанной комиссии осуществляется по календарному плану, согласованному с руководством данного гидроузла. Периодичность комплексного обследования – по мере необходимости, но не реже 1 раза в 5 лет¹. Обследованию подлежат практически все группы строительных конструкций и все типы материалов, включая грунтовые. Анализ рекомендуется проводить при положительных температурах наружного воздуха, то есть в весенне-летне-осенний период, при отсутствии снежного покрова на сооружениях. В зависимости от решаемых задач комиссия может работать не в полном составе и в разное время (например, специалисты по гидравлике и динамике – во время пропуска паводка).

2. Специалисты тщательно знакомятся с *технической документацией* по проектированию, строительству и эксплуатации сооружения, с условиями и режимом его работы. На этом этапе следует установить: проектную марку и класс бетона, передаточную прочность бетона (для предварительно-напряженных конструкций), диаметр, класс и количество рабочей и конструктивной арматуры, конструкцию арматурных изделий, геометрические размеры конструкций, порядок бетонирования и места приостановки при бетонировании для монолитных конструкций, а для сборных конструкций – условия их изготовле-

ния (в закрытом цехе или на полигоне), последовательность монтажа, время года изготовления и возведения, состав бетонной смеси, данные о качестве заполнителей и цемента, условия твердения бетона, фактические значения передаточной, отпускной и проектной прочности бетона, случаи замены проектных диаметров и классов арматуры и другие данные. При ознакомлении с условиями эксплуатации устанавливается наличие таких факторов, как переменное замораживание и оттаивание, воздействие высоких температур, присутствие агрессивных по отношению к бетону и арматуре компонентов среды, имевших место ремонтах и усилениях конструкций. Выявляется наличие не учтенных при расчете конструкций нагрузок и возможность их перегрузок, и на основании этого устанавливается необходимость определения фактически действующих нагрузок.

3. Выполняется *общее обследование путем подробного визуального осмотра* наружных поверхностей земляных и бетонных гидросооружений во всех доступных для наблюдения местах, а для труднодоступных можно использовать оптические приборы, видеокамеры. Осмотр подводной части сооружения осуществляется водолазами или с помощью специальных телевизионных установок; для высотных сооружений привлекаются альпинисты. При необходимости проводят выборочные испытания и измерения для получения дополнительных данных о состоянии конструкций и их соответствии проектной документации, в том числе для возможности ориентировочной оценки прочности бетона и особенностей его структуры; измеряют ширину раскрытия и глубину наиболее характерных

¹Техническое состояние зданий и сооружений: СН 1.04.01-2020; Обследование и усиление стальных конструкций: СП 1.04.04-2023; Обследования и испытания мостов и труб: СП 3.03.06-2023; Рекомендации по обследованию гидротехнических сооружений с целью оценки их безопасности: П 92-2001; Об утверждении Правил эксплуатации гидротехнических сооружений и устройств для энергетических (гидроэнергетических и теплоэнергетических) нужд: постановление М-ва энергетики Респ. Беларусь от 22 июня 2020 г. № 22. URL: <https://pravo.by/document/?guid=12551&p0=W22035696> (дата обращения: 14.05.2025); Инструкция по эксплуатации гидротехнических сооружений и водохранилищ гидроэлектростанций: СТП 09110.21.540-13. Минск, 2013. 54 с.; Гидротехнические сооружения ГЭС и ГАЭС. Правила эксплуатации. Нормы и требования: СТО РусГидро 02.01.80-2012. Москва, 2012. 187 с.; Гидроэлектростанции. Ч. 1–4. Сооружения ГЭС гидротехнические. Общие требования по организации и проведению мониторинга: ГОСТ Р 55260.1.4-2012. Москва, 2015. 53 с.; Гидравлические и гидроаккумулирующие электростанции. Гидротехнические сооружения. Мониторинг и оценка технического состояния в процессе эксплуатации. Основные положения: ГОСТ Р 57793-2017. Москва, 2017. 42 с.; Гидравлические и гидроаккумулирующие электростанции. Гидротехнические сооружения. Мониторинг и оценка технического состояния в процессе эксплуатации. Основные положения: ГОСТ Р 57793-2017. Москва, 2017. 42 с.

трещин, выборочно определяют основные размеры в местах, где визуально выявлены очевидные несоответствия.

Для проведения общего обследования здание/сооружение целесообразно разбить на характерные зоны, назначаемые по таким признакам, как вид конструкций и особенности нагрузок и эксплуатационных воздействий. В пределах каждой зоны фиксируют участки с различным состоянием конструкций.

При осмотре *грунтовых плотин и оснований ГТС* выявляют и оценивают: места открытых выходов фильтрационных вод в нижнем бьефе, включая основание и береговые склоны с оценкой возможности их промерзания зимой; суффозионные выносы грунта из плотины, основания, береговых и пойменных массивов, примыкающих к плотине; состояние пьезометрической сети, дренажей плотины, водоотводящих выпусков, канав и кюветов; заболачивание территории, примыкающей к подошве низового откоса плотины; просадки грунта; местные деформации откосов гребня и бERM плотины, береговых склонов в примыканиях; наличие трещин и дождевых промоин на гребне, откосах и бERMAХ; состояние креплений верхового и низового откосов, креплений берегов (если таковые имеются); образование проталин и наледей на низовом откосе и прилегающей территории; зоны размыва плотины и берегов в нижнем бьефе; изменение во времени профиля плотины, включая его подводные части (по данным эксплуатирующей организации).

В *бетонных частях ГТС* устанавливают места деструктивных изменений, дефектов бетонной кладки и ее несплошности, обусловленные как недостатками технологии укладки бетона, так и различного рода воздействиями в период эксплуатации; очаги фильтрации в бетонных конструкциях; смещения элементов конструкции или сооружения, осадки; трещины в бетоне конструкций (особенно трещины в зонах конструкций, в которых они не допускаются, – наклонные трещины, пересекающие растянутую и сжатую зоны, трещины в зоне конструкций, работающей на сжатие, продольные трещины вдоль арматуры или в сжатой зоне); сколы бетона, каверны, раковины, повреждения защитного слоя, биоповреждения, участки слабого бетона, выявленные участки бетона с изменением его цвета;

нарушения сцепления бетона с арматурой, разрывы арматуры в растянутых элементах, коррозионное разрушение арматуры и бетона от воздействия агрессивных сред, выпучивания и оголения арматуры; зоны коррозии, повреждения арматуры, закладных деталей, сварных швов (в том числе в результате коррозии); несоосность элементов в узлах сопряжений, нарушение сплошности в стыках; несоответствие площадок опирания сборных конструкций проектным требованиям; ориентировочную степень и площадь повреждения защитных покрытий, гидроизоляции и др.; смещения и искривления закладных деталей и соединительных элементов; качество заделки швов между конструкциями, омоноличивание стыков; прогибы, относительная величина которых превышает допускаемые значения; местные и общие искривления элементов металлоконструкций, отсутствие отдельных элементов, коррозию; не предусмотренные проектной документацией отверстия и вырезы, ослабление болтов и заклепок; наиболее поврежденные и аварийно-опасные конструкции и участки сооружения; другие видимые деформации и дефекты строительных конструкций, их сопряжений и отделки.

Устанавливают ослабление, увлажнение, повреждение, в том числе дереворазрушающими грибами и насекомыми, гниль элементов и узлов деревянных конструкций.

При обследовании *нижнего бьефа* выявляются и оцениваются: режимы сопряжения бьефов при работе водосброса; пульсационные и кавитационные явления на водосбросе; сбойность потока, размывы берегов и дна на водоотводящем канале (русле); состояние гасителей и рисбермы; размеры и форма бара отложений продуктов размыва; местоположение размывов русла (берегов) и грунтовых сооружений, их максимальная глубина и динамика развития.

При осмотре *механического оборудования ГТС* оценивается его общее состояние и регистрируются его следующие дефекты: механические повреждения металлоконструкций (вмятины, изгибы, разрывы, трещины и т. п.); старение антикоррозионного покрытия металлоконструкций; трещины в местах концентрации напряжений; разрывы сварных швов, разрывы и ослабление болтовых и заклепочных соединений; износ трущихся пар (ходовых ко-

лес и путей затворов, зубьев шестерен, втулок и т. п.); коррозионный и механический износ тяговых канатов и пластинчатых цепей; люфты в подшипниках колесных затворов и приводных механизмах; протечки в уплотнениях затворов и гидроприводов; нарушения работы системы обогрева сороудерживающих решеток, пазов затворов и прилегающего к пазам бетона; разрушения бетона в местах заделки опорных конструкций затворов, пазовых конструкций и уплотнений; неисправности краевого и электротехнического оборудования, подъемных механизмов и систем электрообогрева. По решению комиссии может быть выборочно проверена работа отдельных затворов и механизмов.

Дефекты фотографируются и описываются, по результатам технического осмотра и необходимых измерений элементов составляются ведомости дефектов, схем, разверток (наружных поверхностей сооружения) или таблицы со ссылками на фотоиллюстрации, где приводится информация о конкретном месте расположения дефекта и его основных параметрах (площадь, величина и характер повреждения).

Выделяются дефекты и повреждения, представляющие угрозу для надежности и безопасности сооружений. Дается оценка конструктивной схемы и соответствия сооружения проектной документации в части объемно-планировочного и конструктивного решений, а также по виду и характеру нагрузок, условиям эксплуатации.

4. По результатам общего обследования, во-первых, дается предварительная (ориентировочная) оценка технического состояния конструкций сооружения с разработкой (при необходимости) противоаварийных (страховочных) мероприятий (ограничение нагрузок, временные крепления и др.);

во-вторых, решается вопрос о необходимости проведения детального (инструментального) обследования;

в-третьих, намечаются места (участки) обследования как конструкций, так и, если необходимо, их оснований (участки выборочного контроля качества бетона инструментальными

методами и места бурения исследовательских скважин, взятия образцов, оценки размеров различных нарушений и др.).

В-четвертых, при необходимости по дополнительному заданию заказчика составляют программу детального обследования, в которой устанавливается необходимая степень дополнительной детализации визуального обследования (фиксация и измерение трещин, размеров сечений элементов и площадок опирания и т. д.), определяется количество (выборка) конструкций, подлежащих углубленному инструментальному обследованию; выбираются неразрушающие методы контроля, участки и объем испытаний (в том числе, если будет необходимо, физические и физико-химические исследования свойств материалов для уточнения причин выявленных дефектов и методов их устранения), состав и объем подготовительных работ (изготовление подмостей, очистка конструкций, устройство дополнительного освещения, защита оборудования и имущества от порчи и загрязнения); уточняется общий график выполнения работ; приводится перечень мероприятий по технике безопасности¹.

Инструментальные обследования позволяют выявить дефекты, которые невозможно идентифицировать при визуальном осмотре сооружения.

Сроки устранения дефектов и повреждений устанавливает организация, выполняющая обследование, с учетом конкретного технического состояния конструкций, класса сложности, назначения и условий эксплуатации здания/сооружения. Если при общем обследовании установлено, что конструкции находятся в *предаварийном состоянии* (V категория технического состояния (далее – КТС²), то заказчика информируют о необходимости незамедлительного принятия противоаварийных мероприятий для снижения угрозы безопасности людей, а исполнитель разрабатывает технические решения по предотвращению обрушения строительных конструкций³.

Необходимость проведения детального обследования обосновывается организацией,

¹ Общие положения по обследованию строительных конструкций зданий и сооружений: СП 1.04.02-2022.

² Техническое состояние зданий и сооружений: СН 1.04.01-2020.

³ Общие положения по обследованию строительных конструкций зданий и сооружений: СП 1.04.02-2022.

проводящей обследование, и согласовывается с заказчиком.

Детальное обследование (оценка) технического состояния строительной конструкции *не выполняется* в том случае, если по результатам предварительной оценки установлена I или II КТС. Соответственно несущая способность и эксплуатационная пригодность конструкции при действующих нагрузках обеспечены и при соблюдении установленных требований к эксплуатации¹.

Детальное обследование здания (сооружения) проводят:

а) при выявлении элементов или их отдельных участков, относящихся к III и выше КТС;

б) если предполагается увеличение нагрузки на элементы сооружения и/или изменение условий их эксплуатации при отсутствии проектных данных или когда усилия от предполагаемых (расчетных) нагрузок превышают расчетную несущую способность, определяемую проектными данными, подтвержденными исполнительной документацией;

в) при заполнении эксплуатационно-технического паспорта (далее – ЭТП), если отсутствуют необходимые данные о допустимых нагрузках на элементы здания (сооружения). При этом требуется обследование всего здания с оценкой КТС каждой конструкции².

5. *Инструментальное обследование* включает в себя определение (измерение):

- геометрических параметров сооружений и зданий, включая обмеры внутренних помещений, которые проводятся с целью выявления расхождений с чертежами проектной, рабочей и исполнительной документации. Если исполнительная документация частично или полностью отсутствует, выполняются обмерные чертежи. Если обмерные работы с помощью рулеток, лазерного дальномера, линейки, отвеса невозможны (например, если работать приходится под опорами воздушных переходов, находящимися под напряжением), то может проводиться лазерное сканирование объекта с последующим выполнением по его данным обмерных чертежей с привлечением специализированной организации. При

необходимости для определения геометрических параметров сооружений и выявления дефектов, связанных с отклонениями высотных вертикальных конструкций от проектного положения, а также установления разности осадок фундамента здания производится топографо-геодезическая съемка³;

- геометрических параметров дефектов конструкций с помощью рулеток, линейки, штангенциркуля;

- геометрических параметров трещин любого вида (положения, формы, направления распространения, длины и ширины раскрытия). Ширина раскрытия трещин обычно измеряется технической лупой с измерительной шкалой, щупами и толщиномерами, глубина – щупами, иглами и ультразвуковым прибором, например «Пульсар-2.2»;

- толщины металлических элементов конструкций, например, при помощи ультразвукового толщиномера А1209 и штангенциркуля (для определения коррозионных потерь элементов); результат сравнивается с толщиной, заданной в проектной документации;

- фактической прочности бетона конструкций и их элементов – посредством механических методов неразрушающего контроля или ультразвуковым методом (данные участки должны быть тщательно зачищены от штукатурки или продуктов коррозии и отшлифованы), при необходимости выбуриваются керны; физико-механических характеристик бетона (при необходимости) и на их основе – техническое состояние бетона;

- физико-механических характеристик грунтов основания сооружений; анализируются их изменения в процессе эксплуатации. При обследовании оснований и фундаментов необходимо выполнить инженерно-геологические изыскания под обследуемыми сооружениями (при необходимости). В отрытых шурфах устанавливаются: тип фундаментов, форма в плане, размер, глубина заложения для сравнения с проектным решением, повреждения и прочность материалов и конструкций, наличие и состояние гидроизоляции.

¹ Техническое состояние зданий и сооружений: СН 1.04.01-2020.

² Там же.

³ Геодезические работы в строительстве. Основные положения: СН 1.03.02-2019. Минск, 2020. 17 с.

6. При детальном обследовании, проводимом в случае выявления III и выше КТС, и/или если предполагается увеличение нагрузок¹, выполняют *расчетные проверки предельных состояний конструкций*, которые позволят уточнить КТС при фактической степени их поврежденности и степени нагруженности с учетом влияния выявленных дефектов и планируемых нагрузок, а также фактических геометрических параметров, прочностных характеристик материалов, уточненных характеристик грунтов основания. Это позволит в случае необходимости выбрать и рассчитать конструкцию усиления.

7. На основании материалов общего или детального обследования определяют в соответствии со СН 1.04.01-2020: а) класс дефектов и степень их распространения; б) степень ответственности элемента или его участка, в котором обнаружен данный дефект.

В зависимости от класса дефектов, установленного в процессе обследования, степени их распространения, а также от назначенной степени ответственности участка или элемента конструкции, в котором обнаружены данные дефекты, определяют его категорию технического состояния (см. табл. 12.3 в СН 1.04.01-2020) и принимают решение о необходимой степени детализации последующих этапов обследования, их сроков или о мерах по восстановлению эксплуатационных качеств конструкций в соответствии с данным документом.

По каждому дефекту даются рекомендации по ремонту, которые учитываются при определении объемов ремонтных работ.

При выявлении в процессе обследования конструкций, относящихся к IV категории технического состояния (к III категории – для зданий (сооружений) класса СС 3 по последствиям разрушения²), необходимо организовать мониторинг технического состояния сооружения, включающий проведение систематического инструментального наблюдения за его состоянием по программе, учитывающей специфику и конкретную ситуацию на объекте. Мониторинг, кроме того, следует проводить для зданий, находящихся в зоне сложных инженерно-геологических условий

и природно-техногенных воздействий, а также и в других случаях, установленных требованиями ТНПА. На основе анализа динамики во времени основных параметров напряженно-деформированного состояния конструкций и узлов их сопряжений, соответствующих расчетов с учетом ожидаемой деградации свойств конструкций следует спрогнозировать, как будут развиваться в дальнейшем выявленные негативные явления и процессы, и при необходимости разработать мероприятия по их оперативному устранению.

8. *Натурные исследования* проводят с целью получения полной и объективной оценки состояния сооружения и их отдельных элементов и конструкций, когда обычными методами не представляется возможным выявить фактическое техническое состояние, параметры дефектов, а поверочные расчеты не дают надежных результатов.

Наряду с наблюдениями и исследованиями, проводимыми систематически в течение длительного времени, могут осуществляться разовые исследования по определению отдельных факторов, характеризующих с какой-либо одной стороны работу сооружений (пропускной способности водосбросных отверстий, прочности бетона, вибрации сооружений при пропуске паводка и т. п.). Такого рода единовременные обследования часто называют испытанием сооружений.

Проводятся также и временные исследования (обычно в течение короткого периода). Они обусловлены возникновением временных условий, нехарактерных для обычной работы сооружений (например, опасностью катастрофического паводка).

Все натурные исследования можно разделить на три группы:

а) исследования, не требующие применения специальной закладной контрольно-измерительной аппаратуры. К данной группе исследований относят большинство гидравлических исследований, исследования вибрации сооружений, наблюдения за трещинами в бетоне и процессами его выветривания (климатической коррозией бетона), исследования прочности бетона и напряженного состояния его на поверхности сооружения.

¹Техническое состояние зданий и сооружений: СН 1.04.01-2020.

² Основы проектирования строительных конструкций: СН 2.01.01-2022. Минск, 2022. 65 с.

б) исследования, требующие наличия заложенной при строительстве или установленной на построенном сооружении аппаратуры. Они проводятся следующими геодезическими методами: исследованиями общих осадок, горизонтальных перемещений, наклонов и относительных перемещений; исследованием раскрытия швов в местах, доступных для непосредственного измерения; практически всеми исследованиями фильтрационных процессов (пьезометрических напоров, фильтрационных расходов, скоростей фильтрации и суффозионных процессов).

в) исследования, для которых нужна специальная аппаратура, заложенная в период строительства, то есть исследования внутренних деформаций бетона и его напряженного состояния, температуры и влажности бетона в различных точках массива сооружений, раскрытия швов в недоступных для непосредственного измерения местах, а также осадок сооружения.

9. После установления причин повреждений и дефектов, анализа результатов обследо-

вания, а также в зависимости от категории технического состояния и степени износа конструкций разрабатывают рекомендации и технические решения по восстановлению утраченных эксплуатационных качеств элементов сооружения при ремонте или придания ему новых качеств в изменившихся условиях эксплуатации при реконструкции, а также по их дальнейшей безопасной эксплуатации.

По результатам обследования при необходимости внесения ответственным эксплуатантом изменений в ЭТП заполняют формы¹. Копии данных документов хранятся у ответственного эксплуатанта и в отчете организации, производившей обследование.

Материалы обследования, выводы и рекомендации действительны в течение 3 лет при условии выполнения рекомендаций по устранению дефектов в установленные сроки. Для III и IV категорий технического состояния срок действия заключения может быть сокращен, но не менее чем до 1 года, как это указано в СН 1.04.01-2020.

Заключение

В условиях капитального ремонта или реконструкции гидроузлов проведение обследований носит базовый, определяющий характер. Обследование эксплуатируемых ГТС гидроузлов является неотъемлемой частью при проектировании их капитального ремонта или реконструкции, служит основой для оценки возможности их дальнейшей эксплуатации или необходимости восстановления, усиления или замены. Для реализации задач обследования разработана методика, которая должна выполняться поэтапно с учетом специфики объектов.

В работе по визуальному обследованию должны участвовать представители заказчика, проектной организации и эксплуатационного персонала гидроузла, на основании чего должна быть дана предварительная оценка технического состояния конструкций сооружения, в которой определены конструкции и узлы, где должны быть проведены детальные обследования. После проведения всего комплекса исследований оформляется отчет, подписанный председателем и всеми членами комиссии и включенный в состав проектной документации.

Библиографический список

1. Михневич, Э. И. Устойчивость русел и регулирование стока судоходных рек и каналов / Э. И. Михневич, В. Е. Левкевич. – Минск : Право и экономика, 2022. – 188 с.
2. Линкевич, Н. Н. Эксплуатационный контроль за состоянием креплений откосов грунтовых сооружений и береговых склонов / Н. Н. Линкевич // Мелиорация. – 2020. – № 3 (74). – С. 15–26.
3. Гинзбург, М. Б. Натурные исследования крупных гидротехнических сооружений / М. Б. Гинзбург. – Москва – Ленинград : Энергия, 1964. – 359 с.

¹ Состав и содержание проектной документации: СН 1.02.02-2023. Минск, 2023. 80 с.

4. Каганов, Г. М. Обследование гидротехнических сооружений при оценке их безопасности : учеб. пособие / Г. М. Каганов, В. И. Волков, О. Н. Черных. – Москва : Моск. гос. ун-т природообустройства, 2001. – 60 с.

5. Бедов, А. И. Оценка технического состояния, восстановление и усиление оснований и строительных конструкций эксплуатируемых зданий и сооружений : учеб. пособие: в 2-х ч. / А. И. Бедов, В. В. Знаменский, А. И. Габитов. – Москва : Изд-во АСВ, 2014. – Ч. 1: Обследование и оценка технического состояния оснований и строительных конструкций эксплуатируемых зданий и сооружений. – 704 с.

6. Линкевич, Н. Н. Эксплуатация гидротехнических сооружений: учеб. пособие / Н. Н. Линкевич, М. В. Нестеров. – Минск : ИВЦ Минфина, 2019. – 520 с.

7. Круглов, Г. Г. Исследование технического состояния судоходной плотины гидроузла «Стахово» Лунинецкого района Брестской области / Г. Г. Круглов, Н. Н. Линкевич // Мелиорация. – 2018. – № 4 (86). – С. 31–37.

Поступила 26 июля 2025 г.

ВОДОПРОНИЦАЕМОСТЬ ПОЧВЫ И ПОВЕРХНОСТНЫЙ СТОК ПРИ ДОЖДЕВАНИИ СУДАНСКОЙ ТРАВЫ В УСЛОВИЯХ ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ БЕЛАРУСИ

И. А. Левшунов, соискатель

Н. Н. Дубенок, академик РАН, доктор сельскохозяйственных наук

А. В. Гемонов, кандидат сельскохозяйственных наук

*Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева,
г. Москва, Россия*

Аннотация

Исследование водопроницаемости дерново-подзолистых легкосуглинистых почв и формирования поверхностного стока при поливе дождеванием в условиях восточной части Беларуси показало, что величина поверхностного стока напрямую зависит от интенсивности дождя, поливной нормы, уклона участка и обратно пропорциональна развитию листовой поверхности суданской травы. Разработана конструкция мелкодисперсного дождевального насадка с двумя отражательными дисками для оптимизации размера капель и снижения эрозионной опасности. Получено эмпирическое уравнение для расчета радиуса захвата дождя в зависимости от напора и диаметра сопла. Результаты исследования позволяют рекомендовать для использования дождевальную технику с низкой интенсивностью дождя, а также проведение поливов в фазе развития культуры с хорошо развитой листовой поверхностью.

Ключевые слова: водопроницаемость почвы, инфильтрация, поверхностный сток, полив дождеванием, интенсивность дождя, суданская трава, дерново-подзолистые почвы, дождевальный насадок.

Abstract

I. A. Levshunov, N. N. Dubenok, A. V. Gemonov
**SOIL PERMEABILITY AND SURFACE RUNOFF BY
SPRINKLING OF SUDAWAN GRASS IN THE CONDITIONS
OF THE EASTERN PART OF BELARUS**

A study of the water permeability of sod-podzolic light loamy soils and the formation of surface runoff during sprinkling in the conditions of eastern Belarus was shown that the amount of surface runoff is directly dependent on the intensity of rain, the irrigation rate, and the slope of the plot, and is inversely proportional to the development of the leaf surface of Sudan grass. A design of a fine-mist sprinkler nozzle with two reflective discs has been developed to optimize the size of droplets and reduce the risk of erosion. An empirical equation has been obtained for calculating the rain capture radius depending on the pressure and nozzle diameter. The results of the study allow us to recommend the use of low-intensity sprinkling systems and irrigation during the development phase of crops with sufficiently developed leaf surfaces to minimize surface runoff.

Keywords: soil permeability, infiltration, surface runoff, sprinkling irrigation, rain intensity, Sudan grass, sod-podzolic soils, sprinkler nozzle.

Введение

Водопроницаемость представляет собой ключевое гидрофизическое свойство почвенного покрова, влияющее на расчет поливной нормы, определяющее интенсивность поглощения атмосферных осадков (дождевых и талых вод), эффективность использования оросительных вод, формирование продуктивных запасов почвенной влаги. Изучение фильтрационных свойств почв имеет важное прикладное значение для различных отраслей сельскохозяйственного производства, мелиорации, гидрологии, дорожного строительства.

Основным экологическим требованием при расчете поливной нормы является проведение орошения до возникновения поверхностного стока – в пределах безнапорной фазы инфильтрации и стадии аккумуляции воды в микрозападинах.

Изучению вопроса водопроницаемости и впитывания воды в почву посвящены работы многих ученых. Так, для изучения водопроницаемости был создан специальный дождеватель [1], и различная интенсивность дождя достигалась путем поддержания разного уровня

воды. На основании полученных данных автор делает вывод, что водопроницаемость почвы при прочих равных условиях зависит от интенсивности дождя.

В [2] отражены результаты исследования инфильтрации на полевых площадках: проводилась серия опытов с использованием передвижной дождевальной установки, позволяющей искусственно воспроизводить дождь различной интенсивности, которая имеет площадь захвата 1,5 м².

В. С. Болдышев проводил опыты [3] с осадками интенсивностью 1 и 2 мм/мин при общем расходе воды 30 л. Дождевание интенсивностью 1 мм/мин продолжалось 30 мин, интенсивностью 2 мм/мин – 15 мин. Автор отмечает, что с увеличением интенсивности дождя (с 1-й до 2 мм/мин) водопроницаемость также увеличивается почти вдвое. Влияние влажности на водопроницаемость, сток и смыв изучалось в полевых условиях на примере таких культур, как овес, озимая рожь; интенсивность осадков на свежеспаханном участке – 2 мм/мин. Из приведенных данных видно, что с увеличением влажности почвы при прочих равных условиях снижается водопроницаемость, увеличивается смыв и сток.

А. М. Ларионова исследовала безнапорное впитывание воды в почву в полевых условиях на стоковых площадках при поливе дождеванием с помощью опытной установки [4]. Результаты этих опытов сравнивались с на-

порным впитыванием воды в почву на заливаемых площадках. Эксперименты проводились на бурых полупустынных почвах. Автор отмечает, что при повышении интенсивности дождя (с 0,5 до 3,0 мм/мин) увеличивается скорость безнапорного впитывания воды в почву при поливе дождеванием (к концу первого часа полива – с 0,44 до 1,05 мм/мин); при интенсивности дождя около 3 мм/мин ее величина приближается к скорости при напорном режиме впитывания.

Вследствие множества факторов, влияющих на скорость впитывания воды в почву, и их совокупного действия мнения исследователей по поводу определения скорости инфильтрации весьма различны, поэтому необходима экспериментальная проверка почвы, выполненная в конкретных условиях.

Основные задачи полевых исследований: экспериментально обосновать показатель, характеризующий впитывающую способность дерново-подзолистых легкосуглинистых почв на территории Горецкого р-на; экспериментально определить величину поверхностного стока в зависимости от поливных норм и интенсивности искусственного дождя при орошении посевов суданской травы барабанно-шланговой дождевальной установкой (далее – БШДУ) типа *Bauer* «Rainstar T-61». В результате работы авторами предложено новое конструктивное решение, способствующее более качественному поливу дождеванием.

Основная часть

На базе учебно-опытного оросительного комплекса «Тушково-1» Горецкого р-на Могилевской обл. было организовано проведение специальных полевых исследований с целью экспериментального обоснования и количественной оценки процесса впитывания воды в почву, а также формирования поверхностного стока при орошении дождеванием в условиях минеральных почв.

Очевидно, что при изучении водопроницаемости методом искусственного дождевания искусственный дождь, подаваемый на площадку, должен иметь структуру, близкую природной. Поэтому устройство для создания искусственного дождя должно соответствовать следующим требованиям: иметь широкий диапазон интенсивности дождя; позво-

лять проводить дождевание в течение любого заданного промежутка времени при любых погодных условиях; быть компактным и удобным при использовании в полевых условиях.

На основании этих условий, а также в соответствии с методикой наблюдения над просачиванием воды в почву [5] нами был изготовлен опытный дождеватель, характеризующийся нижеприведенными техническими параметрами.

Диаметр отверстий в дне устройства, в которые вставлялись каплеобразователи, – 2,5 мм, расстояние между отверстиями по длине и ширине – 5 см; площадь дождевания – 0,5 м². Вода подается на поверхность почвы в виде капель, разбиваемых сеткой. Интенсивность дождевания – в пределах 0,2–4,7 мм/мин, по-

стоянная или переменная. Дозаправка в процессе опыта возможна. Вес установки – 6,6 кг, для ее обслуживания достаточно двух человек.

Высота установки опытного устройства для имитации естественного дождя – 1,5 м. Под дождевателем устанавливалась сетка с размером ячеек $1,2 \times 1,2$ мм, выполненная из нейлона, цель которой – повышение равномерности дождевания.

Интенсивность искусственного дождя изменялась путем поддержания заданного уровня воды в предложенном нами устройстве. Перед началом опыта площадка ограждалась по периметру для защиты от ветра с помощью гибкого материала.

Участок для проведения искусственного дождевания имел такие же почвенные и рельефные условия, как и участки с посевами суданской травы [6], то есть характеристика пахотного слоя участка дождевания следующая: суглинок легкий темно-серого цвета, пылеватый, свежий, комковатый, уплотненный. Для экспериментального измерения объема по-

верхностного стока при орошении на опытном участке были заложены стоковые площадки, представляющие собой участки склона, изолированные от окружающей территории бортиками и оборудованные устройствами в виде мерных баков для измерения поверхностного стока.

В ходе полевых экспериментов на стоковых площадках фиксировались такие параметры, как временной интервал до возникновения поверхностного стока, объем образовавшегося стока. Показатель впитывания, численно равный достокровой, эрозионно-допустимой поливной норме, определялся как количество подаваемой воды до момента появления первых признаков поверхностного стока; скорость инфильтрации при дождевании вычислялась как отношение толщины слоя впитавшейся воды к продолжительности процесса впитывания (табл. 1).

Пример графической интерпретация данных, полученных при исследовании впитывания при дождевании, представлена на рис. 1.

Таблица 1. Показатели непрерывного дождевания интенсивностью $i = 1$ мм/мин

Показатели		Уклон 0,003		Уклон 0,006	
		С рыхлением	Без рыхления	С рыхлением	Без рыхления
Средние значения продолжительности (мин) до образования поверхностного стока		19	13	12	8
Скорость (мм/мин) впитывания (мин) к концу процесса	20	0,62	0,38	0,36	0,32
	60	0,25	0,23	0,23	0,22

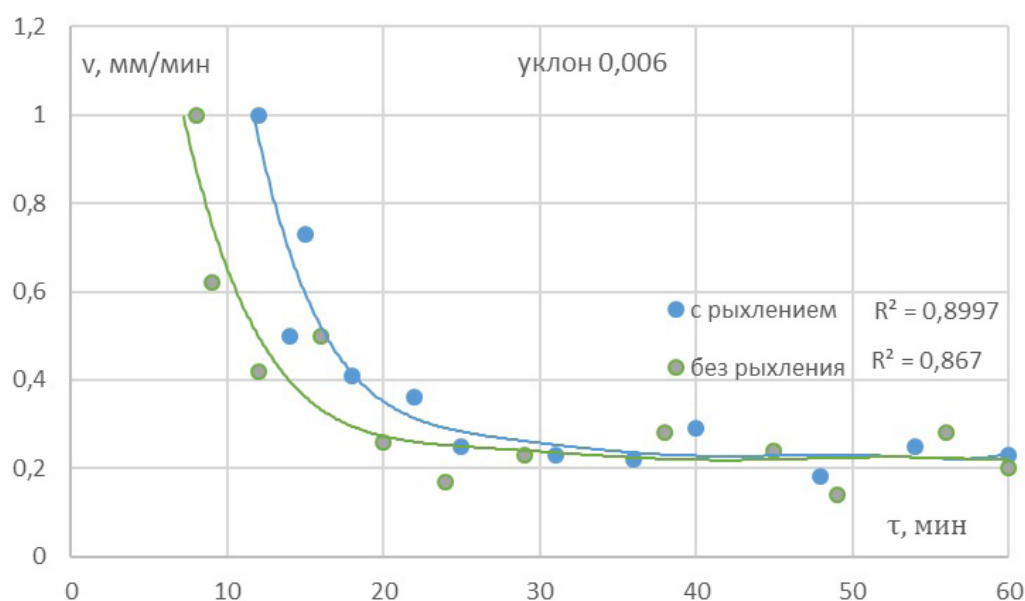


Рис. 1. Динамика скорости впитывания воды в почву при непрерывном дождевании интенсивностью $i = 1$ мм/мин

Для наблюдений за поверхностным стоком использовались стоковые площадки размером 2 × 5 м с расположением длинной стороны вдоль уклона поверхности. Сток замерялся объемным способом. Дождевание проводили поливными нормами 30 и 40 мм БШДУ типа *Bauer* «Rainstar T-61» со сменными диаметрами насадка, позволяющими изменять интенсивность искусственного дождя (табл. 2).

Площадь листа определяли по формуле О. Б. Соломко [7]:

$$S = L \cdot \frac{(2h_1 + 2h_2 + 2h_3)}{8}, \quad (1)$$

где L – длина листа, см;

h_1 – ширина листа у его края, см;

h_2 – ширина середины листа, см;

h_3 – ширина листа у основания, см.

Как видно из табл. 2, поверхностный сток образуется во время орошения данным типом дождевальной техники в начале фазы развития суданской травы при небольшой площади листовой поверхности. Для его уменьшения

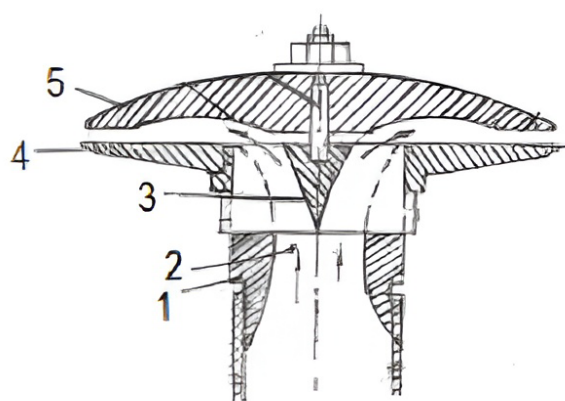
авторами предложено новое конструктивное решение «Мелкодисперсный дождевальный насадок» (авторы: И. А. Левшунов, Н. Н. Дубенок, М. И. Голубенко, Ю. А. Мажайский) (рис. 2).

Данный насадок предназначен для формирования капель дождя поливной воды на выходе из щели между нижним и верхним отражательными дисками с соплом диффузора водопроводящего вертикального патрубка дождевальных машин с гибким или жестким поливным трубопроводом. Технические результаты – оптимальный размер капель и интенсивности дождя в процессе полива; повышение надежности работы насадка при поливе оросительной водой; упрощение конструкции и улучшение условий эксплуатации дождевальных машин.

Радиус захвата дождем зависит соответственно от диаметра сопла, напора перед насадком, высоты установки над поверхностью участка. Некоторые экспериментальные данные представлены в табл. 3.

Таблица 2. Величина поверхностного стока на посевах суданской травы в зависимости от поливных норм и интенсивности дождя

Уклон участка	Диаметр насадка, мм	Интенсивность дождя, мм/мин	Поливная норма, мм	Время распределения поливной нормы, мин	Площадь листовой поверхности, см ²									
					До 25		25–60		60–100		100–130		Более 130	
					Средняя величина поверхностного стока, мм	Средняя глубина промачивания, см	Средняя величина поверхностного стока, мм	Средняя глубина промачивания, см	Средняя величина поверхностного стока, мм	Средняя глубина промачивания, см	Средняя величина поверхностного стока, мм	Средняя глубина промачивания, см	Средняя величина поверхностного стока, мм	Средняя глубина промачивания, см
0,003	16	0,21	30	140	4	29	2	28	–	28	–	27	–	26
	22	0,28		107	6	27	4	27	2	26	–	26	–	25
	30	0,36		80	8	26	5	25	3	24	–	24	–	24
0,006	16	0,21	30	140	6	27	4	26	1	25	–	25	–	24
	22	0,28		107	8	25	6	24	3	24	–	23	–	22
	30	0,36		80	9	24	7	24	4	23	2	23	–	22
0,003	16	0,21	40	190	7	34	5	33	2	33	–	32	–	31
	22	0,28		142	8	33	6	33	4	32	2	32	–	30
	30	0,36		110	11	32	8	31	6	31	3	30	–	29
0,006	16	0,21	40	190	8	33	7	33	4	32	2	30	–	30
	22	0,28		142	10	31	7	30	5	29	3	28	–	28
	30	0,36		110	13	30	9	29	7	28	5	27	2	27



а)



б)

Рис. 2. Элементы насадка:

- а) 1 – корпус; 2 – диффузор с соплом; 3 – конус;
4 – нижний отражательный диск; 5 – верхний отражательный диск;
б) прототип верхнего отражательного диска, совмещенного с конусом

Таблица 3. Радиус захвата дождем в зависимости от напора перед насадком при высоте установки 2,0 м, диаметре сопла 16 мм

Напор, м. в. ст.	Радиус полива R , м	Средняя площадь охвата дождем, m^2	$X = h/D$	$Y = h/R$	$X \cdot Y$	X^2
22,1	8,6	232	1,381	2,570	3,549	1,908
29,5	10,4	340	1,844	2,837	5,230	3,399
38,4	11,8	437	2,400	3,254	7,810	5,760
42,1	12,4	483	2,631	3,395	8,934	6,923
49,7	13,1	539	3,106	3,794	11,785	9,649
61,2	13,8	598	3,825	4,435	16,963	14,631
Сумма			15,188	20,284	54,271	42,270

В табл. 3 приняты следующие обозначения: h – напор, м. в. ст., R – радиус, м, D – диаметр сопла, мм.

Связь между отношением напора к диаметру сопла и напора к радиусу полива описывает уравнение регрессии:

$$Y = a \cdot X + b. \quad (2)$$

Параметры a и b уравнения регрессии рассчитываются следующим образом:

$$a = \frac{\sum Y \cdot \sum X^2 - \sum X \cdot \sum X \cdot Y}{n \cdot \sum X^2 - (\sum X)^2}; \quad (3)$$

$$a = \frac{20,284 \cdot 42,270 - 15,188 \cdot 54,271}{6 \cdot 42,270 - 15,188^2} = 1,445;$$

$$b = \frac{n \cdot \sum X \cdot Y - \sum X \cdot \sum Y}{n \cdot \sum X^2 - (\sum X)^2}; \quad (4)$$

$$b = \frac{6 \cdot 54,271 - 15,188 \cdot 20,284}{6 \cdot 42,270 - 15,188^2} = 0,765.$$

Тогда

$$R = \frac{H}{\left(1,445 + 0,765 \cdot \frac{H}{D}\right)}. \quad (5)$$

Заключение

Показатель свободного (безнапорного) впитывания воды в почву, численно равный достоевой поливной норме при поливе дождем с интенсивностью 1 мм/мин, уменьшается с увеличением уклона поверхности площадки с 19 мм до 12 мм на площадках с рыхлением и с 13 до 8 мм на площадках без рыхления. Скорость впитывания к концу 20-й минуты уменьшилась с 0,62 мм/мин до 0,38 мм/мин при уклоне 0,003 и с 0,36 мм/мин до 0,32 мм/мин при уклоне 0,006. К концу 60-й минуты скорость впитывания изменялась незначительно: от 0,25 мм/мин до 0,22 мм/мин (на рис. 1 это горизонтальная часть графика).

С повышением уклона поверхности и интенсивности искусственного дождевания барабанно-шланговой дождевальной установкой типа *Bauer* «Rainstar T-61» со сменными насадками значения поверхностного стока на участках с посевами суданской травы увеличиваются. При этом с расширением площади листовой поверхности растения поверхностный сток уменьшается: так, при площади более 130 см² сток практически равен нулю.

Полученное уравнение позволяет определить радиус полива предложенной конструкции устройства.

Библиографический список

1. Сурмач, Г. П. К методике определения водопроницаемости и ливневого стока / Г. П. Сурмач // Борьба с эрозией и повышение плодородия эродированных почв Украины : материалы Респ. совещания / Украин. акад. с.-х. наук ; отв. ред.: Н. К. Крупский. – Киев, 1962. – С. 265–279.
2. Олиферов, А. Н. Результаты комплексного изучения эрозии в бассейне р. Хуанхэ / А. Н. Олиферов // Борьба с эрозией и повышение плодородия эродированных почв Украины : материалы Респ. совещания / Украин. акад. с.-х. наук ; отв. ред.: Н. К. Крупский. – Киев, 1962. – С. 175–184.
3. Болдышев, В. С. Влияние интенсивности осадков и влажности почвы на водопроницаемость, сток и смыв / В. С. Болдышев // Почвоведение и агрохимия : сб. науч. тр. / БелНИИ почвоведения и агрохимии. – Минск : Ураджай, 1974. – Вып. 11. – С. 74–77.
4. Ларионова, А. М. Впитывающая способность почв при поливах дождеванием : автореф. дис. ... д-ра техн. наук : 06.01.03 / Ларионова Антонина Михайловна ; ФГУП науч.-исслед. ин-т по с.-х. использованию сточных вод «Прогресс». – Москва, 2004. – 39 с.
5. Методические указания управлениям гидрометслужбы № 84: производство комплексных воднобалансовых наблюдений на пунктах опорной сети / Гос. гидрологич. ин-т. – Ленинград : Гидрометеиздат, 1973. – 160 с.
6. Левшунов, И. А. Возделывание суданской травы в условиях орошения / И. А. Левшунов // Актуальные научно-технические и экологические проблемы мелиорации земель : материалы Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 105-летию кафедры мелиорации и вод. хоз-ва / редкол.: В. И. Желязко [и др.]. – Горки : БГСХА, 2024. – С. 61–65.
7. Соломко, О. Б. Методика определения площади листьев / О. Б. Соломко, О. С. Клочкова, Г. В. Цветков // Инновации в технологиях возделывания сельскохозяйственных культур : сб. ст. – Горки, 2011. – URL: <https://agrosbornik.ru/innovacii/106-2011-10-09-15-29-31.html> (дата обращения: 12.06.2025).

Поступила 27 августа 2025 г.

Иновационные технологии

УДК 004.89

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ

В. А. Журавлёв, кандидат сельскохозяйственных наук

Белорусская государственная академия связи,
г. Минск, Беларусь

Аннотация

Рассматривается практика применения искусственного интеллекта (ИИ) как основополагающего элемента парадигмы умного сельского хозяйства. Изучение опыта его внедрения в сельское хозяйство разных стран позволяет выявить преимущества ИИ, определить как факторы, сдерживающие его развитие в сельском хозяйстве, так и наиболее эффективные пути его дальнейшего развития. Применение ИИ в сельском хозяйстве подразумевает интеграцию инновационных решений, включая машинное обучение, компьютерное зрение, робототехнику и «Интернет-вещей» (IoT) с целью модернизации сельскохозяйственных работ, что поможет аграриям аккумулировать и обрабатывать информацию, автоматизировать рутинные операции и принимать взвешенные решения. В статье также обобщен мировой опыт применения инновационных методов и технологий с использованием ИИ в сельском хозяйстве.

Ключевые слова: искусственный интеллект, точное земледелие, технологии, машинное обучение, программное обеспечение, аппаратное обеспечение.

Abstract

V. A. Zhuravlev

PROSPECTS FOR THE USE OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN AGRICULTURE

This article examines the practice of using artificial intelligence (AI) as a fundamental element of the smart agriculture paradigm. Studying the experience of implementing AI in agriculture in different countries allows us to identify the advantages of AI, identify the factors constraining the development of AI in agriculture and the most effective ways of its further development. The use of AI in agriculture involves the integration of innovative solutions, including machine learning, computer vision, robotics and the Internet of Things (IoT), in order to modernize agricultural work. These tools allow farmers to accumulate and process information, automate routine operations and make reasonable decisions, which in turn helps to increase productivity and optimize the use of resources. This article summarizes the global experience of applying innovative methods and technologies using AI in agriculture.

Keywords: intelligence, precision farming, technology, machine learning, software, hardware.

Введение

Цель данной статьи – рассмотреть и обобщить мировой опыт применения в сельском хозяйстве инновационных методов и технологий с использованием ИИ; выявить как его преимущества для данной сферы, так и факторы, сдерживающие его развитие.

Сельское хозяйство является одной из ключевых отраслей мировой экономики, обеспечивая продовольственную безопасность и сырье для множества отраслей промышленности любой страны. Однако перед аграрным сектором встают новые вызовы в связи с ростом

численности населения, изменением климата, ограниченностью ресурсов и необходимостью повышения эффективности производства. В этих условиях искусственный интеллект становится важным инструментом для трансформации сельского хозяйства, способствуя решению сложных задач агропромышленного комплекса и повышению его устойчивости.

Искусственный интеллект – это технология, которая дает возможность машинам обучаться на основе данных, анализировать информацию и принимать решения с минимальным

вмешательством человека, что позволяет сельскохозяйственным предприятиям принимать своевременные обоснованные решения, снижая неопределенность производственных ситуаций и улучшая управление хозяйством [1].

В Беларуси широкое использование технологий ИИ (в том числе в агропромышленном комплексе и пищевой промышленности) регламентировано Указом Президента Республики Беларусь «О приоритетных направлениях научной, научно-технической и инновационной деятельности на 2026–2030 годы» от 01.04.2025 № 135 как одно из первоочередных приоритетных направлений научной, научно-технической и инновационной деятельности на указанный период.

Данная сфера деятельности обеспечит технологический суверенитет страны, консолидацию научного, образовательного и производственного потенциала, концентрацию

Основная часть

Обзор литературы позволяет выделить следующие ключевые направления и перспективы применения ИИ в сельском хозяйстве [4–7].

Точное земледелие. Здесь с помощью ИИ, на основе анализа данных о состоянии почвы, погодных условиях и потребностях растений, оптимизируется использование воды, удобрений и семян, что способствует повышению урожайности и снижению затрат, планированию рисков и управлению ими, обеспечивает устойчивость сельхозпредприятия в ситуации климатических изменений.

Алгоритмы машинного обучения помогают прогнозировать урожайность, определять оптимальные сроки посадки и сбора урожая.

Мониторинг и анализ состояния культур. С помощью компьютерного зрения и дронов ИИ может отслеживать состояние растений, выявлять болезни, вредителей и недостаток питательных веществ на ранних стадиях, давать рекомендации для предотвращения негативных явлений, что содействует принятию своевременных мер по их минимизации.

Прогнозирование урожая. ИИ анализирует архивные данные, погодные условия и другие факторы в целях прогноза урожайности и помощи фермерам в планировании их действий. ИИ используют для оценки влияния климатических изменений на сельское хозяйство, разработки адаптивных стратегий, а также для

материальных и интеллектуальных ресурсов для реализации наиболее значимых направлений научной, научно-технической и инновационной деятельности. Применение ИИ в сельском хозяйстве позволит разработать и внедрить инновационные методы, модели и технологии, которые могут решать сложные задачи, недоступные ранее для традиционных подходов. Оптимизируя каждый аспект процесса ведения сельского хозяйства, ИИ обеспечивает рациональное использование ресурсов (воды, удобрений и пестицидов), сводит к минимуму потери, что приводит к повышению общей производительности [2]. Анализ статистических данных показывает, что благодаря внедрению искусственного интеллекта можно повысить продуктивность животноводческих хозяйств и улучшить показатели урожайности в агропромышленном комплексе как минимум на 3–5 % [3].

помощи сельхозпроизводителям при определении срока сбора урожая и др.

Автоматизация сельскохозяйственной техники. Самоуправляемые тракторы, комбайны и другие машины, оснащенные ИИ, занимаются прополкой, сбором урожая и обработкой растений; они способны выполнять задачи с высокой точностью, снижая нагрузку на человека и повышая производительность труда.

Управление водными ресурсами. ИИ помогает оптимизировать полив, анализируя данные о влажности почвы и прогнозах погоды, что может сократить расход воды и повысить эффективность ее использования.

Селекция и генетика. ИИ ускоряет процесс выведения новых сортов растений и пород животных, анализируя большие объемы генетических данных. Алгоритмы способствуют прогнозу, какие генетические комбинации дадут наилучший результат.

Оптимизация логистики и цепочек поставок. ИИ помогает оптимизировать хранение, транспортировку и распределение сельскохозяйственной продукции, сокращая потери и улучшая качество продукции.

По данным направлениям в разных странах проводятся многочисленные научные исследования. В табл. 1, составленной автором, приведены данные о наиболее значимых из них.

Таблица 1. Исследования в области ИИ

Центры и лаборатории при университетах	Научная организация	Направления исследований	Достижения
<i>Cambridge Crop Science Centre</i> ¹	Кембриджский университет (Великобритания)	Использование ИИ для анализа спутниковых данных и прогнозирования урожайности	Разработка алгоритмов для обработки больших объемов данных в сельском хозяйстве
<i>Center for Field Robotics of the Institute of Robotics</i> ²	Университет Карнеги – Меллон (США)	Робототехника ИИ для сельского хозяйства	Разработка автономных роботов для мониторинга полей и сбора данных
Центр цифровой инженерии, Центр искусственного интеллекта ³	Сколковский институт науки и технологий (Россия)	Применение ИИ для анализа данных в сельском хозяйстве	Разработка моделей машинного обучения для прогнозирования урожайности и оптимизации использования ресурсов
<i>Lincoln Institute for Agri-Food Technology (LIAT)</i> ⁴	Университет Линкольна (Великобритания)	Использование дронов и ИИ для мониторинга состояния посевов	Разработка систем для анализа данных, собранных с помощью дронов
<i>Soil Research Centre</i> ⁵	Университет Рединга (Великобритания)	Применение ИИ для анализа данных о почве и растениях	Разработка моделей для прогнозирования урожайности и управления ресурсами
<i>Water and Food Systems Lab (J-WAFS, MIT)</i> ⁶	Массачусетский технологический институт (Кембридж, США)	Использование ИИ для оптимизации сельскохозяйственных процессов	Разработка алгоритмов для анализа данных и принятия решений в реальном времени
<i>AI Institute for Future Agricultural Resilience</i> ⁷	Вагенингенский университет (Нидерланды)	Применение ИИ для анализа данных о погоде, о почве и растениях	Разработка систем для прогнозирования урожайности и управления рисками, а также моделей для оптимизации использования удобрений и воды

¹ The Crop Science Centre // University of Cambridge. URL: <https://www.cropsciencecentre.org/>; <https://www.cam.ac.uk/> (date of access: 24.05.2025).

² Center for Field Robotics of the Institute of Robotics // School of Computer Science (SCS) of Carnegie Mellon University // Carnegie Mellon University. URL: <https://www.cmu.edu/> (date of access: 21.01.2025).

³ Проектный центра агротехнологий // Сколковский институт науки и технологий. URL: <https://www.skoltech.ru/> (дата обращения: 29.03.2025).

⁴ The Lincoln Institute for Agri-Food Technology. URL: <https://www.lincoln.ac.uk/liat/> (date of access: 24.05.2025).

⁵ Soil Research Centre. Soil & Environment // The University of Reading. URL: <https://www.reading.ac.uk/soil-research-centre/research/soil-environment> (date of access: 21.01.2025).

⁶ The Artificial Intelligence for Future Agricultural Resilience, Management, and Sustainability (AIFARMS) Institute // Latif Jameel Water & Food Systems Lab of Massachusetts Institute of Technology. URL: <https://aifarms.illinois.edu/about-us/> (date of access: 24.05.2025).

⁷ AI for Sustainable Food Systems // Wageningen University & Research. URL: <https://www.wur.nl/en/education-programmes/education-for-professionals/professional-education.htm> (date of access: 19.03.2022).

<i>Berkeley Food & Manufacturing Institute; Lawrence Berkeley National Lab, CEGA (UC Berkeley)</i> ¹	Университет Калифорнии, Беркли (США)	Применение ИИ для анализа данных по сельскому хозяйству	Разработка алгоритмов для анализа больших объемов данных и принятия решений; спутниковое картирование урожайности и обучение по ML-оценке продуктивности полей
<i>Computational Robotics & AI. Kavraki Lab</i> ²	Университет Райса (США)	Робототехника и ИИ для сельского хозяйства	Разработка автономных систем для мониторинга и управления сельскохозяйственными процессами
<i>Department of Biological and Agricultural Engineering</i> ³	Калифорнийский университет Дэвис, Калифорния (США)	Использование ИИ для автоматизации сельского хозяйства, робототехника, точное земледелие	Разработка алгоритмов для управления роботами и анализа данных. Роботизированные автоматизированные платформы для сбора урожая. Разработка роботизированных систем для сбора урожая и мониторинга состояния растений
<i>ResearchGATE. Stanford Earth/GSB</i> ⁴	Стэнфордский университет (США)	Создание и использование уникальных наборов данных для изучения сельских районов по всему миру.	Методы для измерения прогресса в достижении целей устойчивого развития и изучения воздействия климатически оптимизированных методов в сельском хозяйстве
<i>Researchs in Agricultural & Food Engineering</i> ⁵	Индийский технологический институт (Индия)	Применение ИИ для анализа данных в сельском хозяйстве	Разработка моделей для прогнозирования урожайности и управления ресурсами. Робот способный выявлять заболевания растений и применять пестициды на фермах

Таблица составлено автором.

¹ Berkeley Food & Manufacturing Institute. URL: <https://www.berkeley.edu/> (date of access: 17.04.2024).² Department of Computer Science. Computational Robotics & AI. Kavraki Lab // Rice University. URL: <https://www.kavrakilab.org/index.html>; <https://robotics.rice.edu> (date of access: 10.01.2025).³ Robotic Harvesting. Department of Biological and Agricultural Engineering // UC Davis. URL: <https://faculty.engineering.ucdavis.edu/vougioukas/research/> (date of access: 12.07.2024).⁴ ResearchGATE. Environmental Research Letters. URL: https://web.stanford.edu/~mburke/papers/Chap8_adaptation.pdf; <https://www.researchgate.net/journal/Environmental-Research-Letters-1748-9326> (date of access: 14.03.2025).⁵ Research and Industrial Consultancy // IITKGP. Indian Institute of Technology Kharagpur. URL: <https://erp.iitkgp.ac.in/SricWeb/temporaryJobs.htm> (date of access: 12.01.2025).

В ходе работы над статьей изучались научные публикации путем сопоставительного анализа, контент-анализа, синтеза, системного анализа и др. Так, были обобщены работы отечественных и зарубежных авторов, а также статистические данные и аналитические обзоры по вопросам применения и внедрения искусственного интеллекта в сельском хозяйстве разных странах мира. Сопоставление позиций различных государств в международных рейтингах, касающихся развития искусственного интеллекта, позволило определить лидеров в этой области.

В 2024 г. мировой рынок ИИ в сельском хозяйстве достиг 2,14 млрд долларов США. Как показывают прогнозы, к 2035 г. рынок достигнет 20,96 млрд долларов США, а среднегодовой темп роста составит 23,06 % в течение 2024–2035 гг. [8, 9]. Рынок демонстрирует стабильный рост, обусловленный, во-первых, растущей потребностью в технологиях точного земледелия для повышения урожайности, оптимизации использования ресурсов и снижения воздействия на окружающую среду и, во-вторых, растущим распространением устройств и датчиков, «Интернета вещей» (далее – IoT) для ведения сельского хозяйства на основе данных, а также спросом на передовые алгоритмы искусственного интеллекта и модели машинного обучения для анализа обширных сельскохозяйственных данных [9]. ИИ становится ключевым драйвером изменений: в частности, более половины мировых компаний, а именно 58 % рассматривают возможности интеграции ИИ для осуществления преобразований в своей деятельности [10]. Охват ИИ в сельском хозяйстве мира пока невелик (около 12 %), но эта технология быстро развивается и уже демонстрирует значительный потенциал для трансформации аграрного сектора [3].

ИИ в сельском хозяйстве может помочь фермерам более эффективно использовать их ресурсы; его можно применять в таких сферах, как составление карт посевов, отслеживание сельскохозяйственного производства, управление ирригацией, картографирование сельскохозяйственных культур, мониторинг урожая, анализ почвы, прогнозная аналитика и автономная техника, борьба с вредителями, управление тепличным хозяйством и забота о здоровье животных. Кроме того, молочные фермы теперь могут индивидуально отслеживать все особенности поведения крупного

рогатого скота в стаде благодаря внедрению таких передовых технологий, как распознавание облика животных, классификация изображений, оценка состояния тела животных и структуры их потребления [1, 4, 6, 7, 11].

Основные цели применения ИИ в сельском хозяйстве:

- максимизация урожайности сельскохозяйственных культур;
- снижение затрат и минимизация воздействия на окружающую среду;
- снижение экологического воздействия сельского хозяйства;
- своевременное обнаружение и предотвращение потерь урожая;
- снижение зависимости от ручного труда и повышение эффективности;
- минимизация потерь из-за погодных условий, болезней и других факторов;
- повышение качества сельскохозяйственной продукции;
- создание единой цифровой экосистемы для сельского хозяйства;
- снижение уязвимости сельского хозяйства к климатическим изменениям;
- повышение уровня жизни в сельских регионах за счет внедрения современных технологий.

Эти цели тесно связаны с важными научными и практическими направлениями, такими как точное земледелие, устойчивое развитие, автоматизация и адаптация к изменению климата.

Традиционные методы ведения сельского хозяйства часто основываются на интуитивном принятии решений и использовании ручного труда, что отнимает немало времени и нередко приводит к ошибкам. Интеграция передовых возможностей ИИ, такие как алгоритмы машинного обучения, компьютерное зрение и анализ данных с традиционными методами ведения сельского хозяйства, позволяет фермерам принимать более обоснованные решения о посадке и поливе растений, сборе урожая, помогает отслеживать и снижать негативное воздействие сельского хозяйства на окружающую среду за счет оптимизации использования ресурсов. Например, системы на базе ИИ могут анализировать состояние почвы, погодные условия и состояние растений, совершенствуя график полива и сокращая расход воды/пестицидов, сводя к минимуму потери и вред для окружающей среды. Кроме того, ИИ может помочь в

севообороте и управлении здоровьем почвы, что важно для долгосрочной устойчивости. ИИ становится не только сельскохозяйственным инструментом, но и средством борьбы с изменением климата, так как благодаря его применению можно сокращать выбросы углекислого газа и внедрять экологичные методы, что делает сельское хозяйство более устойчивым и прибыльным в долгосрочной перспективе [11–13].

Нехватка рабочей силы в сельском хозяйстве – глобальная проблема, и во многих регионах возникают трудности с обеспечением стабильного и квалифицированного персонала для сельскохозяйственных работ. ИИ и автоматизация приходят на помощь и предлагают решение этой проблемы, снижая зависимость от ручного труда. Например, роботы могут выполнять такие трудоемкие и зачастую трудновыполнимые задачи, как прополка, сбор урожая и др. Кроме того, системы искусственного интеллекта могут контролировать и управлять большими площадями сельскохозяйственных угодий, снижая потребность в большом количестве трудовых ресурсов на местах. Такая автоматизация не только решает проблему нехватки рабочей силы, но и способствует снижению затрат. Автоматизируя рутинные задачи, сельскохозяйственные организации могут сократить операционные расходы и сосредоточить свои ресурсы на стратегических аспектах управления хозяйством [3, 7].

Назовем ведущие ключевые компании, работающие с ИИ в сельском хозяйстве, занимающиеся разработкой и внедрением технологий, помогающих повысить эффективность, урожайность и устойчивость сельскохозяйственного производства [9, 14]:

Американская *IBM Corporation* использует ИИ в области больших данных, облачных вычислений и «Интернета вещей»;

американская компания *Corteva Agriscience* специализируется на предоставлении программного обеспечения и аналитических решений для сельского хозяйства с использованием ИИ;

американская компания *AgEagle Aerial Systems Inc* сфокусирована на разработке и производстве беспилотных летательных аппаратов и решений для точного земледелия;

немецкая фирма *Bayer* – на цифровых решениях для сельского хозяйства с акцентом на точном земледелии и использовании данных;

американская технологическая компания *Descartes Labs, Inc* – на анализе данных с применением ИИ, машинного обучения и спутниковых снимков;

израильские компании *Greeneye Technology* и *Sensilize* – на разработке технологий для точного земледелия с использованием ИИ, компьютерного зрения и анализа данных;

швейцарская компания *GAMAYA* – на предоставлении решений для точного земледелия на основе передовых технологий, таких как гиперспектральная съемка, ИИ и анализ больших данных;

американская компания *aWhere Inc* – на предоставлении решений для сельского хозяйства на основе анализа данных, метеорологии и ИИ;

израильская компания *Taranis* – на предоставлении решений для точного земледелия с использованием ИИ, компьютерного зрения, дронов и спутниковых снимков;

испанская компания *Ec2se* – на разработке решений для сельского хозяйства с применением ИИ, больших данных и облачных технологий;

американская компания *Precision Hawk* предоставляет решения для сельского хозяйства с использованием беспилотных летательных аппаратов и технологий анализа данных;

американская компания *John Deere* специализируется на производстве сельскохозяйственной техники, использует ИИ для создания умных сельскохозяйственных машин;

американская компания *Microsoft* – эксперт в области ИИ, облачных вычислений, больших данных и IoT, разрабатывает решения для анализа данных в сельском хозяйстве;

американская компания *Blue River Technology* занимается разработкой робототехники и технологией машинного зрения для сельского хозяйства, создает роботы для точного внесения удобрений и борьбы с сорняками;

канадская компания *VineView* предоставляет решения для виноградарства и сельского хозяйства с использованием технологий дистанционного зондирования, дронов и анализа данных;

американская компания *Tule Technologies Inc* специализируется на предоставлении решений для управления водными ресурсами в сельском хозяйстве.

Сегментация ИИ по способам его применения в сельском хозяйстве, а также возможные

результаты и перспективы дальнейшего использования представлены в табл. 2.

Росту сельского хозяйства способствуют такие тенденции, как применение ИИ для анализа данных в сельском хозяйстве, автоматизация с помощью ИИ, развитие «Интернета вещей» и датчиков, мониторинг урожая с помощью ИИ и разработка интеллектуальных систем орошения [9, 13].

Наиболее значимые актуальные разработки технологий с использованием ИИ представлены в табл. 3.

Высокое качество организации производства в сельскохозяйственном предприятии, стремящемся к эффективному применению технологий ИИ, обусловлено комплексным подходом к управлению всеми базовыми ресурсами аграрного производства. Это подразумевает не просто внедрение отдельных ИИ-решений, а создание интегрированной системы, где каждый элемент производства сбалансирован для работы в связке с интеллектуальными технологиями. Для эффективного использования ИИ предприятие должно достичь соответствующего уровня ресурсообеспеченности аграрного производства, гарантированно осуществляя точный учет, прогнозирование и оптимизацию.

К базовым ресурсам аграрного производства относятся:

анализ и оптимизация использования топливно-энергетических ресурсов. ИИ может прогнозировать их потребности, анализировать расход, оптимизировать маршруты сельскохозяйственной техники и управления энергопотреблением оборудования, что сократит затраты и негативное воздействие на окружающую среду. Алгоритмы машинного обучения помогают снизить затраты за счет автоматизированного управления техникой с учетом топливной эффективности, прогнозирования оптимального времени проведения полевых работ, интеллектуального контроля систем орошения и освещения. Система интеллектуального мониторинга топлива на основе IoT-датчиков и ИИ анализирует расход горюче-смазочных средств по типам техники, маршрутам и операциям. Например, компания *John Deere* использует ИИ для расчета оптимальных скоростей движения тракторов, что снижает расход топлива на 10–15 %. Про-

гнозирование энергопотребления в теплицах с помощью ИИ в проектах *Microsoft FarmBeats* позволяет автоматически регулировать освещение и отопление, сводя к минимуму затраты на электроэнергию;

рациональное использование удобрений и средств химизации. ИИ может анализировать данные о состоянии почвы, погодных условиях и потребностях растений, определяя оптимальное количество и состав удобрений/пестицидов. Вследствие получения таких данных можно избежать избыточного применения химикатов, минимизировать химическую нагрузку на почву, повысить урожайность и улучшить качество продукции за счет адресного внесения агрохимикатов, уменьшая расходы на дорогостоящие препараты. Автоматизированные системы типа *Agroptima* (Испания) анализируют данные спутников, дронов и почвенных сенсоров, рассчитывая оптимальные дозы удобрений для каждого участка поля (сокращение затрат на агрохимикаты составляет 20–30 %). Роботизированные опрыскиватели (например, *Blue River Technology*, купленная *John Deere*) с компьютерным зрением распознают и идентифицируют сорняки, болезни и вредителей, точно вносят гербициды, уменьшая химическую нагрузку на почву. С помощью дронов с ИИ возможно сократить применение пестицидов на полях, направляя их только на проблемные участки и тем самым обеспечивая их более точное и эффективное распыление;

корма и уход за животными. ИИ может анализировать состав кормов, потребности животных и динамику их роста, условия содержания, вследствие чего можно оптимизировать рацион, улучшить здоровье и продуктивность скота. Автоматизированные системы кормления и мониторинга здоровья животных позволяют сократить перерасход кормов, повысить продуктивность поголовья, предотвращать заболевания на ранних стадиях. ИИ-платформы типа *Connecterra* (Нидерланды) анализируют данные с датчиков на коровах, прогнозируя их потребность в корме и оптимальный рацион. Это повышает надои на 5–10 %. Автоматизированные кормораздатчики (например, *Lely Vector*) используют машинное обучение для дозирования кормов с учетом продуктивности каждой особи;

Таблица 2. Сегменты искусственного интеллекта и его применение в сельском хозяйстве

Тип	Сегменты ИИ	Применение ИИ	Инструментарий	Результат	Перспективы использования
Компонента (интерфейс, через который взаимодействуют с пользователями/или другими системами)	Программное обеспечение	Управление хозяйством на основе ИИ, программы и инструменты для анализа данных и систем поддержки принятия решений на основе ИИ среди сельскохозяйственных предприятий для решения конкретных сельскохозяйственных задач	Мониторинг урожая, прогнозирование урожайности, обнаружение вредителей, управление орошением, совершенствование процессов принятия решений	Позволяет вести сельское хозяйство с высокой точностью на основе данных мониторинга. Благодаря интеграции алгоритмов ИИ можно принимать обоснованные решения, улучшить работу хозяйств, оптимизировать использование ресурсов и повышать урожайность, сводя к минимуму воздействие на окружающую среду	Сегмент программного обеспечения занимает наибольшую долю на рынке ИИ в сельском хозяйстве благодаря повышению его доступности. Ожидается, что здесь будет наблюдаться устойчивый рост, поскольку поставщики технологий продолжают разрабатывать передовые программные решения, отвечающие меняющимся потребностям сельскохозяйственного сектора
	Аппаратное обеспечение	Физические устройства и компоненты, связанные с ИИ	Датчики, дроны, автономная техника, аппаратные ускорители для ИИ	Сбор данных в режиме реального времени, автоматизация различных сельскохозяйственных задач	Внедрение методов точного земледелия привело к росту спроса на аппаратные решения. По мере развития технологий возможности аппаратного обеспечения продолжают расширяться, и сегмент аппаратного обеспечения на рынке ИИ в сельском хозяйстве ожидает значительный рост
	Услуги (консалтинговые, внедренческие, обучающие, вспомогательные)	Облачные платформы и сервисы	Позволяет хозяйствам и организациям получать доступ к инструментам ИИ, моделям машинного обучения и аналитике данных по подписке или за плату за использование	Снижаются входные барьеры для внедрения ИИ в сельском хозяйстве, особенно для небольших хозяйств и предприятий с ограниченной ИТ-инфраструктурой. ИИ как услуга обеспечивает масштабируемость и гибкость, позволяя пользователям опираться на возможности ИИ без значительных первоначальных вложений в программное или аппаратное обеспечение	Этот сегмент становится все более популярным благодаря удобству и экономичности. Ожидается рост спроса на специализированные услуги, которые будут приносить дополнительную пользу клиентам, стремящимся максимально эффективно использовать технологии ИИ в сельском хозяйстве

Продолжение табл. 2

				Облачные сервисы расширяют возможности ИИ в сельском хозяйстве за счет интеграции различных источников данных (спутниковые снимки и датчики «Интернета вещей»). Эти платформы поддерживают расширенную аналитику для принятия решений в режиме реального времени; помогают оценить конкретные потребности; обеспечивают плавный переход к методам, основанным на ИИ; необходимы для устранения неполадок и оптимизации систем ИИ		Позволяют с.-х. организациям использовать данные из различных источников (включая датчики, спутники и дроны) для принятия обоснованных решений о посадке, орошении, борьбе с вредителями и состоянии урожая. Модели машинного обучения помогают оптимизировать распределение ресурсов, прогнозировать урожайность и даже выявлять ранние признаки болезней или дефицита питательных веществ в с.-х. культурах.	По мере развития технологий применение компьютерного зрения в сельском хозяйстве становится все более сложным и точным
Технологии	Компьютерное зрение	Использование алгоритмов и моделей ИИ для извлечения значимой информации и интерпретации визуального контента	Камеры и датчики		Анализ данных, распознавание образов, принятие решений	Позволяют с.-х. организациям использовать данные из различных источников (включая датчики, спутники и дроны) для принятия обоснованных решений о посадке, орошении, борьбе с вредителями и состоянии урожая. Модели машинного обучения помогают оптимизировать распределение ресурсов, прогнозировать урожайность и даже выявлять ранние признаки болезней или дефицита питательных веществ в с.-х. культурах.	Машинное обучение занимает самую большую долю в отрасли. Масштабируемость и универсальность машинного обучения делают его базовой технологией, лежащей в основе точного земледелия и устойчивых методов ведения сельского хозяйства
	Машинное обучение	Алгоритмы и модели, позволяющие машинам обучаться и делать прогнозы или предпринимать действия без явного программирования			Анализ отчетов, архивных записей	Взаимодействие работников с виртуальными помощниками и между собой с помощью чат-ботов	Сегмент находится в состоянии постоянного развития
	Обработка естественного языка	Нейронные технологии, которые понимают и обрабатывают человеческую речь					

Продолжение табл. 2

	Предиктивная аналитика	Использование архивных данных и данных в реальном времени. Предполагается применение статистических алгоритмов и методов машинного обучения для выявления в данных закономерностей, взаимосвязей и тенденций	Прогнозирование тенденций и результатов в сельском хозяйстве	Предиктивные модели помогают сельскохозйственным организациям принимать упреждающие решения, связанные с погодой, борьбой с вредителями и уходом за посевами; оптимизировать график посадки и прогнозировать урожайность, потенциальные болезни растений или колебания урожайности; выявляет риски, связанные с вредителями и болезнями, что способствует своевременному принятию мер	Этот сегмент способствует снижению рисков и эффективному распределению ресурсов в сельском хозяйстве, что делает его важным инструментом для фермеров, стремящихся максимизировать урожайность и прибыль
Приложения (системы, способные воспринимать окружающую среду, принимать решения и действовать автономно для достижения конкретных целей)	Сельскохозйственные роботы	Автоматизация различных сельскохозйственных задач с использованием алгоритмов ИИ и машинного обучения	Посадка, сбор урожая, прополка, опрыскивание, мониторинг. Роботизированная система предназначена для выполнения ряда задач автономно или с минимальным вмешательством человека	Особенно полезны при нехватке рабочей силы и для повышения производительности в сельскохозйственном секторе; благодаря им повышается эффективность и сокращаются трудозатраты	Сельскохозйственные роботы продолжают развиваться, предлагая новые возможности для повышения точности и автоматизации сельскохозйственных работ
	Мониторинг сельскохозйственных культур и почвы	Сбор данных о состоянии урожая, почвы, вредителях и погоды с использованием аналитики на основе ИИ	Беспилотные летательные аппараты, оснащенные датчиками, камерами	Данные предоставляются фермерам, что позволяет быстро и эффективно принимать решения. В результате – рост урожайности на 5–10 %, сокращение затрат на удобрения на 10–12 %	Наиболее эффективен для крупных хозяйств и хозяйств со сложным рельефом
	Интеллектуальное распыление средств химизации	Компьютерное зрение и алгоритмы искусственного интеллекта	Камеры и датчики для обнаружения и идентификации сорных растений, вредителей и болезней	Позволяет точно наносить химикаты только там, где это необходимо, тем самым повышается эффективность внесения химикатов. Можно сократить использование химикатов на 80%, а расходы на гербициды снизить на 90%	Новый сегмент, который предлагает развиваться, предлагая новые возможности для повышения точности внесения химикатов

Окончание табл. 2

Мониторинг состояния здоровья домашнего скота	Мониторинг домашнего скота с использованием ИИ для улучшения управления сельскохозяйственных животных	Датчики, носимые устройства, аналитика данных	Мониторинг здоровья, поведения и продуктивности домашнего скота обеспечивает надлежащий уход за животными, что повышает продуктивность животноводства, способствует профилактике заболеваний и общему благополучию животных	Прогнозируется, что рынок мониторинга скота будет переживать устойчивый рост
Точное земледелие (прецизионное сельское хозяйство)	Оптимизация методов выращивания сельскохозяйственных культур с использованием технологий на основе ИИ, GPS, дистанционного зондирования и анализа данных	Точный мониторинг состояния почвы, погодных условий, здоровья сельскохозяйственных культур	Позволяет сельскохозяйственным организациям принимать решения на основе данных об орошении, удобрении и борьбе с вредителями. Согласно отчету <i>Precision Agriculture Development Trust</i> , точное земледелие может повысить урожайность на 30 % и более [14]	Точное земледелие использует возможности ИИ для оптимизации результативности, увеличения урожайности и обеспечения экологической устойчивости сельского хозяйства
Управление персоналом	Решения на основе ИИ	Оптимизация управления персоналом хозяйств	Помогает управляющим эффективно распределять трудовые ресурсы, планировать задачи и повышать общую производительность труда. Автоматизация рутинных административных задач	Сегмент обеспечивает эффективное использование рабочей силы в хозяйстве и более качественное управление персоналом, что экономит средств и улучшает работу хозяйств

Таблица составлена автором по [6–9, 11, 13, 15, 16].

Таблица 3. Технологии с использованием ИИ, разработанные в 2024 г.

Организация	Разработка
<i>AgriTech Solutions</i> (Пакистан) совместно с Университетом Среднего Запада в США	Прогностические модели для идентификации вспышек болезней позволяют сельскохозяйственным предприятиям более эффективно проводить профилактические меры и сократить потери урожая. Применяется аналитика на основе ИИ для выявления ранних признаков болезней кукурузы, сои. Инициатива была поддержана грантом Министерства сельского хозяйства США в размере 4,5 млн долларов
Сельскохозяйственная фирма <i>Agroz Group Sdn Bhd</i> (Малайзия)	При поддержке <i>Microsoft AI</i> и облачных технологий создана <i>Agroz Copilot</i> для сельскохозяйственных предприятий и операционная система <i>Agroz Farm</i> . Объединяя передовые решения (в частности, датчики IoT, ИИ, анализ данных, автоматизацию, системы климат-контроля и инструменты управления водными ресурсами) и основываясь на периферийных вычислениях и 5G-связи, данная продукция цифровизирует и автоматизирует процессы для вертикальных ферм
Ведущая компания <i>Valmont Industries, Inc</i> (США)	Новая платформа на основе ИИ, оптимизирующая использование воды в сельском хозяйстве. На основании данных датчиков в реальном времени и спутниковых снимков система ИИ предоставляет точные рекомендации по орошению, которые корректируются в зависимости от погодных условий и состояния почвы. Эта технология направлена и на экономию воды, и на повышение урожайности за счет обеспечения оптимального уровня орошения
Агротехнологическая компания <i>Cropin Technology</i> (Индия)	<i>Aksara</i> – передовая система генеративного ИИ для ведения климатически оптимизированного сельского хозяйства; способна разрабатывать индивидуальные рекомендации по выращиванию в шести странах Индийского субконтинента 9 основных культур (риса, пшеницы, кукурузы, сорго, ячменя, хлопка, сахарного тростника, сои и проса); предоставляет полезную информацию о внесении удобрений и климатически оптимизированных методах выращивания, основанных на конкретных агроклиматических условиях; минимизирует трудности, с которыми сталкиваются малообеспеченные сельскохозяйственные сообщества в Юго-Восточной Азии, предоставляя заинтересованным сторонам в сельскохозяйственном секторе масштабируемые решения на основе ИИ
<i>Crop Max Technologies</i> (Канада)	Инновационная система дронов на базе ИИ для борьбы с вредителями. Система применяет передовые алгоритмы распознавания изображений и машинного обучения для выявления вредителей на ранней стадии, что значительно сокращает использование пестицидов и повышает эффективность соответствующих мер, предлагая экологичный подход к поддержанию здоровья и продуктивности сельскохозяйственных культур. На данную инициативу выделено 3 млн долларов от технологических венчурных фондов
<i>Stapman Terra Firma Analytics</i> (Калифорния)	Революционное приложение на основе ИИ для оптимизации сроков сбора урожая и логистики. Анализирует данные метеостанций, датчиков почв и рыночные тенденции, предоставляет сельскохозяйственным предприятиям точные графики сбора урожая, что позволяет повысить качество урожая и его рыночную стоимость, снижая при этом потери
<i>AssistAgro</i> (Россия)	Предлагает комплексное обслуживание и цифровую платформу на основе ИИ для оптимизации управления сельскохозяйственным бизнесом. Особое внимание уделяется таким задачам, как прогнозирование распространения сорных растений, анализ плотности и здоровья посевов, мониторинг возникновения и развития болезней/сорняков, оценка урожайности и определение наиболее перспективных сельскохозяйственных культур для посадки

Таблица составлена по [9, 13–15, 17, 18].

управление парком техники. С помощью ИИ сельхозпредприятие может внедрить предиктивную аналитику для мониторинга состояния техники, прогнозирования поломок, оптимизировать графики обслуживания и ремонтов, автоматизировать процессы управления техникой в поле. Это обеспечивает снижение простоев, продление срока службы оборудования, автоматизацию управления автопарком. Предиктивная аналитика от *CNH Industrial* предупреждает о возможных поломках комбайнов и тракторов, сокращая простои на 25 %. Автономные тракторы (например, *Case IH Autonomous Concept*) работают без водителя, оптимизируя маршруты и расход топлива.

Объекты хранения и переработки должны быть интегрированы в единую систему управления, в силу чего можно сократить потери и повысить качество продукции. С помощью ИИ можно контролировать микроклимат в хранилищах, прогнозировать сроки хранения продукции, др. В перерабатывающих цехах алгоритмы совершенствуют логистику и управление производственными линиями. ИИ-алгоритмы в хранилищах (например, *IBM Food Trust*) планируют сроки годности зерна и овощей, автоматически регулируя температуру и влажность. Роботизированные линии сортировки (например, *TOMRA Sorting Solutions*) с компьютерным зрением отбирают качественную продукцию, снижая расходы при переработке. Чтобы достичь высокого уровня организации производства, необходима интеграция ИИ во все процессы – от планирования посевов до логистики и сбыта. Комплексный учет и управление всеми ресурсами (от топлива до кормов и техники) разрешат предприятию перейти на принципы точного земледелия и умной фермы, что в итоге повысит рентабельность и конкурентоспособность агробизнеса. Внедряющие такие решения компании (*John Deere, Bayer, Syngenta, Lely*) демонстрируют рост эффективности на 15–40 %. В будущем ИИ станет стандартом для конкурентоспособного агробизнеса.

Следует отметить, что в России в 2021–2022 гг. благодаря федеральной инициативе «Искусственный интеллект» было поддержано свыше 600 проектов, направленных на создание и ускоренное внедрение ИИ-технологий. Кроме того, на базе ведущих вузов страны было основано 6 научно-исследовательских

центров, утверждено 85 магистерских программ по ИИ в 16 ведущих вузах. Следующей важной задачей в рамках реализации национальной стратегии в области ИИ является разработка практических решений на базе искусственного интеллекта и их широкое распространение среди компаний, представляющих наиболее значимые отрасли экономики России [19]. Активно внедряется ИИ в агропромышленный комплекс: за последние годы реализованы десятки проектов, охватывающих различные направления [20].

В Беларуси было принято решение о реализации мероприятия «Создание информационно-аналитической системы "Цифровая платформа точного земледелия" (первая очередь)» [2]. Данное мероприятие нацелено на формирование основы Цифровой платформы точного земледелия, входящей в состав инфраструктуры ведения пространственных данных, базовых подсистем и комплексов аппаратно-программных средств, с поэтапным эволюционным развитием к технологиям точного земледелия для сельскохозяйственных предприятий нашей страны. Эта платформа будет обеспечивать автоматизацию и поддержку принятия решений для специалистов сельхозпредприятий. Опыт реализации в Беларуси технологий с использованием ИИ был представлен в [21].

По мере сокращения рабочей силы в сельском хозяйстве, вызванного такими факторами, как старение населения и миграция в города, потребность в автоматизации становится все более острой. Растущая нехватка рабочей силы в сельскохозяйственном секторе открывает значительные рыночные возможности для внедрения ИИ и робототехники. Благодаря интеграции ИИ роботизированные системы могут адаптироваться к различным типам культур и условиям, обеспечивая точность и сводя к минимуму количество отходов [6, 7, 22, 23].

Кроме того, с помощью ИИ и робототехники можно решить проблему непредсказуемости и сезонности спроса на трудовые ресурсы. Автоматизированные системы в состоянии работать круглосуточно, независимо от погодных условий или наличия трудовых ресурсов, обеспечивая тем самым последовательную и своевременную сельскохозяйственную деятельность [24].

Заключение

ИИ открывает новые горизонты для сельского хозяйства, а по мере его развития он становится необходим для аграриев, которые должны быстро адаптироваться к меняющимся требованиям рынка и климатическим условиям, принимая своевременные и точные решения. Технологии с применением ИИ влияют на урожайность сельскохозяйственных культур, поскольку позволяют выверенно прогнозировать и улучшать условия выращивания, распределять ресурсы и выбирать самые рациональные методы управления, что может повысить производительность, сократить отходы и снизить рисков на ошибку. Автоматизируя рутинные задачи с использованием ИИ, сельскохозяйственные организации могут урезать издержки и сосредоточить свои ресурсы на стратегических аспектах управления хозяйством.

Однако нехватка ресурсов для сельскохозяйственной сферы (воды, семян и удобрений) может препятствовать развитию ИИ в сельскохозяйственном секторе. Многие приложения ИИ зависят от точного управления ресурсами, а в регионах, испытывающих дефицит этих критически важных ресурсов, потенциальные преимущества ИИ сводятся к нулю. Следовательно, несмотря на то что ИИ обещает оптимизировать использование ресурсов и улучшить управление сельскохозяйственными культурами, это ограничение представляют собой серьезное препятствие для реализации всего потенциала ИИ в мировом сельском хозяйстве. Огромный потенциал ИИ и его внедрение в сельское хозяйство большинства государств сопряжены с рядом трудностей: высокой стоимостью технологий, недостатком квалифицированных кадров, необходимостью сбора, обработки, защиты больших объемов данных и развития цифровой инфраструктуры в сельской местности.

Проблемы, связанные с внедрением ИИ в сельское хозяйство Беларуси:

1) *технологические*: недостаток качественных данных (для эффективной работы ИИ необходимы большие объемы структурированных данных, например, о почве, погоде, урожайности, болезнях растений и т. д.). Сбор и обработка таких данных затруднены: из-за отсутствия единой цифровой платформы для

сбора и хранения данных; низкой оснащенности хозяйств датчиками IoT и системами мониторинга; низкого уровня цифровой инфраструктуры – во многих сельских районах слабо развиты высокоскоростной интернет, облачные сервисы для обработки данных, современные системы связи (5G, LoRaWAN и др.); ограниченности совместимости технологий – разные производители сельхозтехники и ПО используют закрытые стандарты, что усложняет интеграцию ИИ-решений. Так, данные от белорусских комбайнов (производства «Гомсельмаш») могут не совмещаться с зарубежными аналитическими платформами). Примерно 80 % *AgriTech*-оборудования и ПО завозится из России, Китая, ЕС.

2. *Экономические*: высокая стоимость внедрения – закупка ИИ-решений (дроны, сенсоры, ПО) требует значительных инвестиций, что недоступно для многих мелких и средних хозяйств; недостаток финансирования и господдержки – ограниченные программы субсидирования цифровизации АПК; низкая доступность кредитов на инновационные технологии. Доля затрат на цифровизацию в бюджетах сельхозпредприятий составляет менее 5 % согласно данным Национального статистического комитета Республики Беларусь (2023).

3. *Организационные и кадровые проблемы*: нехватка квалифицированных специалистов – дефицит IT-специалистов, способных работать с ИИ в сельском хозяйстве; низкий уровень цифровой грамотности, консерватизм сельхозпроизводителей; только 25 % работников АПК проходят обучение цифровым технологиям; многие аграрии скептически относятся к цифровизации, предпочитая традиционные методы.

4. *Нормативно-правовые проблемы*: отсутствие четкого регулирования – нет стандартов по сбору и использованию сельхозданных; не разработаны нормы по применению автономной техники (роботов, дронов).

5. *Агроэкологические проблемы*: климатические риски – изменчивость погоды (засуха, заморозки) требует адаптивных ИИ-моделей, но их разработка сложна из-за недостатка исторических данных; деградация почв (в Полесском регионе) – ИИ может помочь в мони-

торинге состояния почв, но для этого нужны дорогостоящие сенсоры и спутниковые данные.

Беларусь имеет большой потенциал для внедрения ИИ в сельское хозяйство, но для этого следует решить проблемы с данными,

инфраструктурой, финансированием и регулированием; также важна государственная поддержка и партнерство между наукой, бизнесом и специалистами сельскохозяйственного сектора.

Библиографический список

1. Искусственный интеллект в сельском хозяйстве // Direct.Farm. – URL: <https://direct.farm/post/iskusstvennyy-intellekt-v-selskom-khozyaystve-27772> (дата обращения: 27.02.2025).
2. Гусаков, В. Г. Цифровое сельское хозяйство Республики Беларусь / В. Г. Гусаков. – Минск : Беларус. навука, 2024. – 553 с.
3. Искусственный интеллект в сельском хозяйстве – тенденции, возможности AI для отрасли // Первый Бит. Международный ИТ-интератор. – URL: https://1solution.ru/events/articles/iskusstvennyy-intellekt-v-selskom-khozyaystve-tendentsii-vozmozhnosti-ai-dlya-otrasli/?utm_referrer=https%3A%2F%2Fyandex.by%2F (дата обращения: 03.03.2025).
4. Меняющийся ландшафт искусственного интеллекта в сельском хозяйстве // Ultralytics. – URL: <https://www.ultralytics.com/ru/blog/the-changing-landscape-of-ai-in-agriculture???history=0&pfid=1&sample=5&ref=0> (data of accaess: 12.03.2025).
5. Умное сельское хозяйство: вершина 7 случаев использования, которые стоит знать // MOKOSmart. – URL: <https://www.mokosmart.com/ru/iot-in-agriculture/?history=0&pfid=1&sample=37&ref=0> (data of access: 25.02.2025)
6. Скворцов, Е. А. Перспективы применения технологий искусственного интеллекта в сельском хозяйстве региона / Е. А. Скворцов // Экономика региона. – 2020. – № 2. – С. 563–576.
7. Чиркин, С. О. Применение искусственного интеллекта в сельском хозяйстве / С. О. Чиркин, Н. В. Картечина, В. А. Рубанов // Наука и образование. – 2022. – № 2. – С. 121–124.
8. AI in agriculture market // Roots Analysis. Business research and consulting. – URL: <https://www.rootsanalysis.com/ai-in-agriculture-market> (date of access: 27.02.2025).
9. Artificial intelligence in agriculture market size, share, and trends 2024 to 2034 / Precedence Research. – URL: <https://www.precedenceresearch.com/artificial-intelligence-in-agriculture-market> (date of access: 06.03.2025).
10. Цифровая трансформация в компаниях // Tadviser. Государство. Бизнес. Технологии. – URL: <https://www.tadviser.ru/index.php/> (дата обращения: 11.03.2025).
11. Сайфетдинов, А. Р. Применение машинного обучения и искусственного интеллекта для анализа данных сельского хозяйства и повышения урожайности / А. Р. Сайфетдинов, А. А. Максименко // Контентус. – 2023. – № 7S. – Т. 8. – С. 28–34.
12. Ужинский, А. Искусственный интеллект против болезней растений / А. Ужинский // Открытые системы СУБД. – 2023. – № 3. – С. 29–31.
13. AI in agriculture – future of farming // GeeksforGeeks. – URL: <https://www.geeksforgeeks.org/ai-in-agriculture-future-of-farming/> (date of access: 04.03.2025).
14. Kumar, A. Agriculture Use Cases & Machine Learning Applications / A. Kumar // Analytics Yogi. – URL: <https://vitalflux.com/agriculture-use-cases-machine-learning-applications/> (date of access: 04.03.2025).
15. Fagella, D. AI in Agriculture – Present Applications and Impact / D. Fagella // Emerj. – URL: <https://emerj.com/ai-agriculture-present-applications-impact/> (date of access: 04.03.2025).
16. Применение технологий искусственного интеллекта в сельском хозяйстве / Е. А. Скворцов, В. И. Набоков, К. В. Некрасов, Е. Г. Скворцова, М. И. Кротов // Аграр. вест. Урала. – 2019. – № 8. – С. 91–97.

17. Artificial Intelligence in agriculture: farming for the 21st Century / Apro Software. – URL: <https://apro-software.com/artificial-intelligence-in-agriculture/> (date of access: 05.03.2025).
18. Искусственный интеллект в сельском хозяйстве России // Технологии ИИ. – URL: https://files.data-economy.ru/Docs/Infografika_AI_s_h_Russia.pdf (дата обращения: 07.03.2025).
19. «Умные» фермы: как искусственный интеллект меняет сельское хозяйство // РБК. Национальные проекты. – URL: https://www.rbc.ru/technology_and_media/14/06/2023/64802aee9a7947c6121756b7???history=0&pfid=1&sample=33&ref=2. – Дата публ.: 14.06.2023.
20. Апрецов, С. Применение ИИ в сельском хозяйстве / С. Апрецов // Цифровой океан. – URL: <https://digitalocean.ru/n/polevye-usloviya???history=0&pfid=1&sample=33&ref=0>. – Дата публ.: 03.10.2023.
21. Журавлев, В. А. Цифровизация сельского хозяйства в Республике Беларусь: технологические решения для развития / В. А. Журавлев // Аграр. экономика. – 2024. – № 3 (346). – С. 60–70.
22. AI in agriculture: using computer vision to improve crop yields // Analytics Vidhya. – URL: <https://www.analyticsvidhya.com/blog/2023/01/ai-in-agriculture-using-computer-vision-to-improve-crop-yields/> (date of access: 05.03.2025).
23. Журавлев, В. А. Цифровизация и цифровые технологии в сельском хозяйстве в странах Европейского союза / В. А. Журавлев, И. Л. Десюкевич // Аграр. экономика. – 2024. – № 8 (351). – С. 64–81.
24. Цифровая трансформация. Анализ, тренды, мировой опыт. – 3-е изд., исправ. и доп. – Москва : ООО «КомНьюс Груп», 2019. – 368 с.

Поступила 28 августа 2025 г.

• Кормопроизводство •

УДК 631.559:633.1/3

ПРОГНОЗ УРОЖАЙНОСТИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР НА МЕЛИОРИРОВАННЫХ ЗЕМЛЯХ

В. Н. Филиппов, кандидат сельскохозяйственных наук

Р. Т. Пастушок, кандидат сельскохозяйственных наук

А. В. Тарашкевич, младший научный сотрудник

А. А. Рыбченко, научный сотрудник

РУП «Институт мелиорации», г. Минск, Беларусь

Аннотация

При прогнозе урожайности сельхозкультур необходимо учитывать комплекс почвенно-гидрологических условий отдельных участков и обеспеченность сельхозпроизводителей средствами химизации. Информационно-справочная система поддержки принятия решений для пахотных и луговых агрофитоценозов на основании баланса питательных веществ в системе «почва – растение» позволяет рассчитать ожидаемую урожайность сельскохозяйственных культур (озимых ржи, пшеницы, тритикале и яровых культур – ячменя, пшеницы, тритикале, люцерны, сенокоса) на мелиорированных землях с учетом возможных потерь при нарушении водного режима с точностью до 1,5–14,8 %.

Ключевые слова: прогноз урожайности, мелиорированные земли, озимая рожь, пшеница, тритикале, люцерна, сенокос, информационно-справочная система.

Abstract

V. N. Filippov, R. T. Pastushok, A. V. Tarashkevich, A. A. Rybchenko

CROP YIELD PREDICTION ON RECLAIMED LANDS

When forecasting crop yields, it is necessary to take into account the complex of soil and hydrological conditions of individual areas and the provision of agricultural producers with chemicals. Information and reference decision support system for arable and meadow agrophytocenoses on reclaimed mineral and peat lands allows, based on the balance of nutrients in the “soil-plant” system, to calculate the expected yield of agricultural crops (winter rye, wheat, triticale and spring crops – barley, wheat, triticale, alfalfa, hay) on reclaimed lands, taking into account possible losses due to violation of the water regime with an accuracy of 1.5–14.8 %.

Keywords: yield forecast, reclaimed soils, winter rye, wheat, triticale, alfalfa, haymaking, information and reference system.

Введение

Для обеспечения продовольственной безопасности Республики Беларусь необходимо не только наращивать валовые сборы растениеводческой продукции, но и обеспечивать их стабильно устойчивые уровни по годам. Третья часть сельскохозяйственных угодий располагается на мелиорированных землях (около 2,9 млн га). Для полной реализации их потенциала необходимо более рационально использовать участки с неоднородным рельефом и с пестротой почвенного плодородия, которые характеризуются значительными различиями в содержании макро- и

микроэлементов. В зависимости от погодных условий урожайность сельскохозяйственных культур на таких участках может снижаться на 25–50 %.

В настоящее время часть торфяных почв трансформировалась в новые разновидности, которые изменили свои водно-физические свойства, в них снизилось содержание доступных форм микро- и макроэлементов. В свою очередь дефицит элементов питания лимитирует формирование урожая сельхозкультур, что усугубляется экстремальными погодными условиями.

Установлено, что на почвах с низким естественным плодородием при достаточной влагообеспеченности внесение удобрений дает 40 % прироста урожая, а долевое участие других факторов в его формировании составляет: климат – 20 %, севооборот – 12, сорт – 15, средства защиты растений – 10, другие – 3 %. Кроме того, интенсивное земледелие, обеспечивая высокую урожайность культур, способствует увеличению выноса питательных веществ из почвы и минерализации гумуса. Урожай культуры – это слагаемое потенциального плодородия и прибавки урожайности от NPK, поэтому регулирование этого процесса

Материалы и метод исследований

Предмет исследования – полевые опыты, проведенные в 2021–2023 гг. на территории филиала РУП «Институт мелиорации» – Витебской опытной мелиоративной станции (Сенненский р-н Витебской обл.).

Почва участка с сенокосными травостоями дерновая рыхлосупесчаная глееватая, подстилаемая рыхлым моренным песком с глубины 0,8 м. Посевы люцерны располагались на склоне со следующими почвенными разновидностями: дерново-подзолистая слабо-смытая супесчаная, подстилаемая с глубины 0,5 м легким моренным суглинком; осушенная дерново-подзолистая глееватая, легкосуглинистая, подстилаемая около 0,5 м средним моренным суглинком; дерново-подзолистая глеевая связносупесчаная, подстилаемая средним моренным суглинком.

За основу ИСС принят балансовый метод, основанный на учете использования растениями питательных веществ из почвы и удобрений [3]. Для создания алгоритма расчета использовали известную формулу

$$D_{уд} = \frac{Y \times B_{ур} - P_c \times K_n \times K_m}{K_{уд}},$$

где $D_{уд}$ – доза удобрения, кг/га; Y – урожайность культуры, ц/га; $B_{ур}$ – вынос элемента питания (кг) с урожаем (ц); P_c – содержание элемента питания в почве, мг/кг; K_n – коэффициент использования элемента питания почвы; K_m – коэффициент перевода содер-

возможно только при достаточном внесении удобрений, которые являются основным инструментом поддержания питательного режима почвы [1, 2]. При расчете доз удобрений под планируемую урожайность культур необходимо учитывать ряд почвенных и гидрологических факторов для каждого отдельного поля. Создание компьютерной информационно-справочной системы (ИСС), которая могла бы оперативно решать эту комплексную задачу и повысить производительность труда, особенно актуально для мелиорированных участков.

жания элемента питания из мг/кг в кг/га (для слоя 0–22 см равен 3 кг/га; для 0–25 см – 3,4; 0–28 см – 3,8; 0–30 см – 4,1; 0–32 см – 4,4; 0–35 см – 4,8 и 0–40 см – 5,5 кг/га); $K_{уд}$ – коэффициент использования удобрения [4, 5].

Расчет урожайности проводили по формуле

$$Y = \frac{D_{уд} \times K_{уд} \times P_c \times K_n \times K_m}{B_{уд}} \times K_{сост.земель} \times K_{подтопл.} \times K_{завалун.}$$

где Y – урожайность культуры, ц/га; $K_{сост.земель}$ – потери от эрозии на склоновых землях; $K_{подтопл.}$ – потери от нарушения водного режима; $K_{завалун.}$ – потери от завалуненности.

ИСС позволяет вносить в расчет урожайности культур поправки на пересеченный рельеф, характерный для Поозерья: смытость (дефлированность) почв и завалуненность. Поправочные коэффициенты на эродированность и завалуненность почв приведены в табл. 1 и 2 (согласно ТКП 45-3.04-203-2010 (02250)*.

Нарушения водного режима участка во время подтопления или затопления в различные периоды вегетации могут привести к потерям урожайности культур. Поэтому с помощью ИСС их можно рассчитать, введя продолжительность подтопления (затопления) участка в сутках. На рис. 1 представлен скриншот элемента 4 интерфейса ИСС.

*Осушительно-увлажнительные мелиоративные системы: правила проектирования: ТКП 45-3.04-203-2010 (02250). Введ. 01.01.2011. Минск, 2011. 90 с.

Таблица 1. Поправочные коэффициенты на эродированность почвы [6]

Смытость (дефлированность)	Зерновые	Многолетние травы
Нет	1,0	1,0
Слабая	0,88 (0,93)	0,95 (0,98)
Средняя	0,72 (0,90)	0,82 (0,93)
Сильная	0,60 (0,85)	0,7 (0,88)
Намытые почвы	0,96	0,98

Таблица 2. Поправочные коэффициенты на завалуненность [6]

Степень завалуненности	Объем камней, м³/га	Зерновые	Многолетние травы
Нет	< 5	1,00	1,00
Слабая	6–10	1,00	1,00
	11–15	0,98	0,99
Средняя	16–25	0,96	0,94
	26–35	0,92	0,88
Сильная	36–50	0,85	0,83
	51–70	0,82	0,80
Очень сильная	71–98	0,80	0,78
	> 98	0,78	0,77

4. Потери урожайности от подтоплений (по ТКП 45-3.04-203-2010)

Весеннее затопление (половодье):

Длительность затопления (для озимых), сут:

Запаздывание сроков сева (для яровых), сут:

Потери урожайности: 5.82 ц/га

Летние затопления (ливневые паводки):

Длительность летнего затопления, сут:

Потери урожайности: 2.57 ц/га

Подтопления:

Длительность летних подтоплений, сут:

Потери урожайности: 5.82 ц/га

Длительность осенних подтоплений, сут:

Потери урожайности: 0.0 ц/га

Рассчитанная урожайность: 27.62 ц/га:

Ожидаемая урожайность: 27.62 ц/га

делываемая культура Вносимая доза N, кг д.в./га Вносимая доза P2O5, кг д.в./г

Рис. 1. Часть диалогового окна «Потери урожайности от подтоплений и затоплений»

При необходимости ИСС учитывает потери урожайности сельскохозяйственных культур, которая обусловлена влиянием таких неблагоприятных факторов, как неудовлетворительное качество управления уровнем грунтовых вод во время весеннего, осеннего подтопления или летнего затопления и, в итоге, поздние сроки сева яровой культуры вследствие весеннего затопления.

В качестве входящих данных брали показатели, которые применяют для расчета баланса элементов питания в системе «почва – растение». Для увеличения выборки данных и, следовательно, повышения точности рас-

четных урожайностей культур использовались данные отраслевых регламентов: дозы удобрений ($D_{уд}$), содержание элементов питания в почве – P_c [7, 8], а также коэффициенты использования элементов питания из удобрений ($K_{уд}$) и почвы (K_p) и их удельный вынос ($B_{ур}$) с основной и побочной продукцией сельскохозяйственных культур (согласно ТКП 45-3.04-203-2010 (02250).

Ущерб от нарушения водного режима определялся согласно методике расчета потерь урожайности от некачественного управления уровнями грунтовых вод на мелиоративных системах [9, с. 74–75].

Результаты исследований и их обсуждение

Установлено, что внесение минеральных микро- и макроудобрений по-разному влияло на урожайность сухого вещества люцерны изменчивой на разных элементах склона (рис. 2). Так, в верхней части склона урожайность при внесении $P_{60}K_{120}$ составила 76,1 ц/га (прибавка 15,8 %), а от $P_{60}K_{180}$ она уменьшалась.

Подсев бобовых трав в старовозрастную дернину сенокоса увеличивал долю бобовых компонентов в урожае фитоценоза. Через год после

проведения этого агроприема урожайность сенокосных травостоев составила 65,9–87,4 ц/га при уровне грунтовых вод (УГВ), равном 57 см, и 58,8–101,9 ц/га при УГВ 86 см (рис. 3). Отметим, что при последнем значении УГВ подсев люцерны изменчивой с клевером ползучим и гибридным обеспечил максимальную урожайность: 101,9 ц/га сухой массы при внесении $P_{45}K_{90}N_{60}$ (прибавка 32,7 %), а на фоне $P_{45}K_{90}$ при УГВ, равном 57 см, она составила 82,5 ц/га (прибавка 31,6 %).



Рис. 2. Урожайность люцерны изменчивой при внесении удобрений, ц/га сухой массы

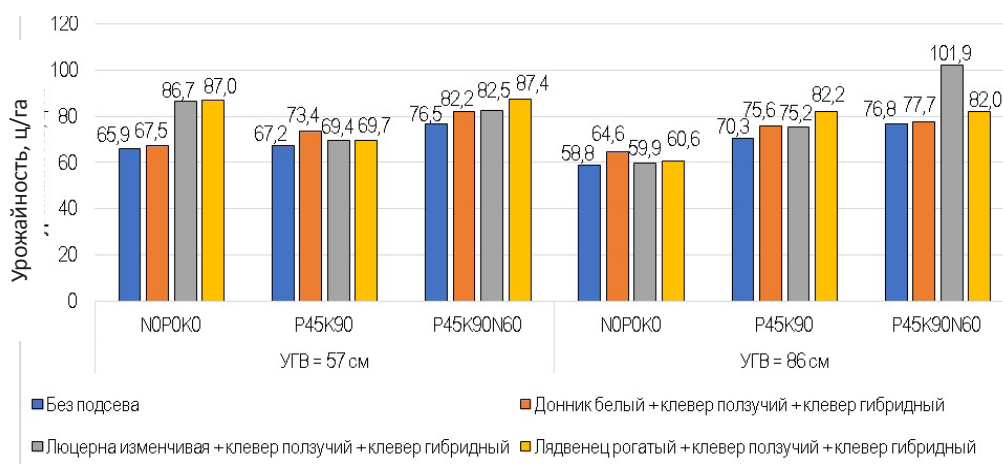


Рис. 3. Урожайность травостоев после подсева бобовых видов на минеральной почве, ц/га сухой массы

ИСС поддержки принятия решений для конструирования пахотных и луговых агрофитоценозов на мелиорированных землях предназначена для расчета прогнозируемой урожайности сельскохозяйственных культур. С ее помощью можно, помимо прочего, рассчитать урожайность следующих сельскохозяйственных культур: озимой ржи, озимой и яровой пшеницы, озимой и яровой тритикале, ячменя, озимых зерновых и яровых зерновых на торфяных почвах, а также прогнозировать урожайность долголетних сенокосов после их ремонта подсевом трав.

Скриншот диалогового окна ИСС содержит следующие элементы интерфейса: характеристика почв участка; внесение удобрений; поправки на состояние земель (рис. 4) и потери урожайности от подтоплений (согласно ТКП 45-3.04-203-2010).

Форма диалогового окна «1. Характеристика почв участка» предназначена для введения данных содержания подвижных форм

P_2O_5 и K_2O в почве из агрохимических картограмм для минеральных или торфяных почв конкретного участка.

Следует отметить, что при проведении расчетов урожайности можно использовать дозы удобрений, приведенные в отраслевых регламентах. Если же землепользователь не обладает достаточным количеством средств на приобретение удобрений, то дозы планируются исходя из возможностей производителя.

Проверка точности программирования урожайности с помощью ИСС показала, что урожайность составила по культурам 1,5–14,8 % (табл. 3). Исключение составила люцерна на мелиорированных почвах – отклонение 22,8 %, так как данные для прогноза по этой позиции получены на склоновой почве. Если же ввести коэффициент эродированности, который для многолетних трав составляет на среднесмытых почвах 0,85, то прогнозная урожайность составит 77,8 ц/га сухой массы вместо 94,9 ц/га и отклонение будет стремиться к нулю.

Расчёт урожайности

1. Характеристика почв участка

Почвы:

☒ Минеральные почвы ☐ Торфяные почвы

Содержание питательных веществ в почве, мг/кг:

P2O5: K2O:

2. Внесение удобрений

Возделываемая культура:

☒ Расчет по регламенту

Планируемая урожайность, ц/га:

Вносимые дозы минеральных удобрений, кг д.в./га:

N: P2O5: K2O:

☒ Применение ретардантов

Рассчитанная урожайность, ц/га: 57.95

3. Поправки на состояние земель

Смытость (дефлированность) почв: Потери: ц/га: 6.95

Объём камней, куб.м/га: Потери: ц/га: 0.0

Рассчитанная урожайность, ц/га: 51.0

№ пп	Почвы	Содержание P2O5 в почве, мг/кг	Содержание K2O в почве, мг/кг	Воздел
------	-------	--------------------------------	-------------------------------	--------

Рис. 4. Часть диалогового окна ИСС с элементами интерфейса

Таблица 3. Оценка точности прогноза урожайности с использованием ИСС

Культура	Урожайность, ц/га		± Отклонение, %	
	Факт	Прогноз	ц/га	%
Озимая рожь	44,4	48,0	3,6	8,1
Озимая пшеница	52,4	53,6	1,2	2,3
Яровая пшеница	55,0	53,7	–1,3	–2,4
Озимая тритикале	52,6	51,8	–0,8	–1,5
Яровая тритикале	51,8	50,0	–1,8	–3,5
Ячмень яровой	46,0	46,5	0,5	1,1
Озимые зерновые на торфяных почвах	50,0	57,4	7,4	14,8
Яровые зерновые на торфяных почвах	50,0	55,1	5,1	10,2
Люцерна на мелиорированных почвах	77,9	94,9 (77,8)	17,0	22,8 (0)
Ремонт сенокосных травостоев подсевом трав	82,0	85,2	3,2	3,9

Заключение

Информационно-справочная система поддержки принятия решений для прогноза урожайности агрофитоценозов на мелиорированных минеральных и торфяных землях позволяет

на основании баланса питательных веществ в системе «почва – растение» оперативно рассчитывать ожидаемую урожайность ряда сельскохозяйственных культур с точностью 1,5–14,8 %.

Библиографический список

1. Методика определения эффективности удобрений в Белорусской Республике / И. М. Богдевич, Г. В. Василюк, В. Г. Грузд, Т. Ф. Соболевская // Повышение экономической эффективности применения минеральных удобрений: сб. тр. / Центр. ин-та агрохим. обслуживания с. х. – Москва : ЦИНАО, 1991. – С. 54–68.
2. Краткое пособие по агрохимическим свойствам почвы: зачем и почему мы это анализируем? // АГРОПЛЕМ. – URL: <https://direct.farm/content/3ca/3ca6d0a7303a4db79bb354bс6d4ccf4b3215362.pdf> (дата обращения: 12.10.2024).
3. Каюмов, М. К. Расчет доз удобрений / М. К. Каюмов // Земледелие. – 1971. – № 10. – С. 23–24.
4. Кукса, В. Методика определения доз минеральных удобрений / В. Кукса. – Новочеркасск, 2011. – 47 с.
5. Расчет возможной урожайности по эффективному плодородию почвы / Студопедия. НЕТ. – URL: https://studopedia.net/2_56339_raschet-vozmozhnoy-urozhaynosti-po-effektivnomu-plodorodiyu-pochvi.html?ysclid=lo76rhe7ee189942931 (дата обращения: 12.10.2024).
6. Кадастровая оценка сельскохозяйственных земель сельскохозяйственных организаций и крестьянских (фермерских) хозяйств: методика, технология, практика / Г. М. Мороз [и др.] ; под ред. Г. М. Мороза, В. В. Лапа. – Минск : ИВЦ Минфина, 2017. – 206 с.
7. Организационно-технологические нормативы возделывания зерновых, зернобобовых, крупяных культур : сб. отрасл. регламентов / НПЦ НАН Беларуси по земледелию; рук. Ф. И. Привалов, В. В. Гракун, Э. П. Урбан; под. общ. ред. В. Г. Гусакова, Ф. И. Привалова. – Минск : Беларус. навука, 2012. – 288 с.

8. Организационно-технологические нормативы возделывания зерновых, зернобобовых, крупяных культур, технических и кормовых растений: сб. отрасл. регламентов / НПЦ НАН Беларуси по земледелию; рук. Ф. И. Привалов [и др.] ; под. общ. ред. В. Г. Гусакова, Ф. И. Привалова. – Минск : ИВЦ Минфина, 2022. – 532 с.

9. Справочник агрохимика / Ин-т почвоведения и агрохимии ; под. ред. В. В. Лапа. – Минск : ИВЦ Минфина, 2021. – 260 с.

Поступила 30 мая 2025 г.

• ЧТОБЫ ПОМНИЛИ •



ПАМЯТИ АЛЕКСАНДРА ВЛАДИМИРОВИЧА КОПЫТОВСКИХ

1 июля 2025 г. ушел из жизни кандидат технических наук, доцент Александр Владимирович Копытовских, значительная часть жизни которого была связана с РУП «Институт мелиорации».

Родился Александр Владимирович 4 февраля 1959 г. в г. Горки Могилевской обл. Среднюю школу окончил с золотой медалью, а в 1983 г. с отличием – гидромелиоративный факультет Белорусской государственной сельскохозяйственной академии.

Проработав с 1983-го до начала 1985 г. мастером участка в Дубровенском ПМК-39 и имея огромный творческий потенциал, в 1985–1988 гг. успешно прошел стационарное обучение в аспирантуре при РУП «Институт мелиорации». После окончания аспирантуры был направлен на работу в качестве младшего научного сотрудника в структурное подразделение института – Витебскую опытную мелиоративную станцию (ВОМС). Ученую степень кандидата технических наук получил в 1990 г., после чего прошел все ступени профессионального роста: старший научный сотрудник (1990–1991), заместитель директора станции по науке (1991–1999), затем – директор.

Проработав на должности директора ВОМС до 2002 г., Александр Владимирович решил посвятить себя преподавательской деятельности и перешел на работу в Полесский государственный университет (Пинск), но не потерял связь с наукой. Им опубликовано более 140 научных работ, в том числе 3 монографии (одна – авторская), получено два авторских свидетельства на изобретения и два патента.

Светлая память о нашем коллеге, талантливом ученом и педагоге, обладавшем глубокими предметными знаниями, а также высокими профессиональными и личными качествами, навсегда сохранится в наших сердцах.



АЛЕКСАНДР ТРОФИМОВИЧ КИРСАНОВ (к 145-летию)

Выдающийся русский ученый Александр Трофимович Кирсанов родился 28 августа 1880 г. в с. Старое Чирково Хвалынского уезда Саратовской губ. в бедной крестьянской семье.

В 1896 г. поступил в учительскую семинарию г. Вольска и после ее окончания в 1899 г. работал учителем, затем поступил в Ново-Александровский институт сельского хозяйства, из которого был исключен через два года за участие в студенческих беспорядках. Ему пришлось уехать за границу, где он поступил в Берлинскую высшую сельскохозяйственную школу. После ее окончания в 1907 г. был допущен к сдаче государственных экзаменов в Ново-Александровском институте (близ Варшавы). Получив диплом ученого агронома 1-го разряда, работал помощником заведующего опытной фермой этого же института, а в 1909 г. избран по конкурсу профессором, заведующим кафедрой опытного дела и сельскохозяйственной практики на Каменноостровских высших сельскохозяйственных курсах.

С 1913 г. по 1925 г. А. Т. Кирсанов руководил Минской опытной болотной станцией (МОБС). В 1912–1917 гг. здесь издавались журнал «Болотоведение» (Кирсанов был его главным редактором с 1913 г.) и «Труды Минской болотной опытной станции», где публиковались работы виднейших ученых того времени: самого А. Т. Кирсанова, а также А. Н. Костякова, А. Д. Дубаха, В. С. Доктуровского, В. Н. Сукачева, Н. А. Тюленева и др.

В 1918 г. А. Т. Кирсанов был приглашен на должность профессора Иваново-Вознесенского политехнического института, в котором он три года проработал деканом сельскохозяйственного факультета, а в 1922 г. стал проректором по учебной части. При этом он не терял связи с МОБС, по-прежнему работая ее директором до 1920 г., а в 1921–1925 гг. – научным руководителем. В 1922 г. А. Т. Кирсанов, будучи организатором Белорусского института сельского и лесного хозяйства, стал его ректором, проработав на этой должности до 1925 г.

В течение 1922–1925 гг. под научным руководством А. Т. Кирсанова был издан 12-томник работ, посвященных изучению природы и сельского хозяйства Белорусской ССР. По заданию Совнаркома БССР с 1925 г. находился в двухгодичной заграничной командировке по Западной Европе и США с целью получения опыта для того, чтобы усовершенствовать отечественную агрохимию и культуру болот.

С марта 1927 г., являясь профессором агрохимии, работал в Ленинградском сельскохозяйственном институте сначала заведующим отделом земледелия и опытного дела, а затем ректором (1928–1929 гг.). В 1931–1941 гг. был руководителем лаборатории агрохимии Почвенного института имени В. В. Докучаева АН СССР.

Особенно интересен период научной деятельности А. Т. Кирсанова в Беларуси. Как директор и научный руководитель Минской опытной болотной станции, он инициировал мелиоративное освоение Комаровского болота, расположенного недалеко от тогдашней окраины города: здесь проводился широкий спектр исследований по регулированию водного

режима и агротехнике возделывания сельскохозяйственных культур на торфяных почвах, внедрялись методы вегетационных и лизиметрических опытов, осваивались новые подходы к анализам воды, почв, растений.

Помимо проведения исследований, на МОБС регулярно проходили семинары и совещания специалистов, занимавшихся луговодством и культурой болот, работники сельского хозяйства повышали квалификацию на постоянно действующих курсах по возделыванию сельскохозяйственных растений на осушенных болотах, в ряде совхозов создавались опытные участки и на землях мелиоративных товариществ – показательные поля.

В 1923–1927 гг. Александр Трофимович был членом ЦИК Белорусской ССР.

Широта и масштабность научных интересов Кирсанова поражают: он занимался общими вопросами земледелия, изучением болот и разработкой путей их использования, известкованием подзолистых почв и подкислением черноземов, математическим выражением действия факторов роста и развития растений, изучением химических методов определения потребности почв в удобрениях, новыми видами и формами удобрений, взаимодействием почв с удобрениями.

Стоит особенно отметить исследования ученого в области математической оценки действия факторов роста на урожаи растений. Впервые в СССР А. Т. Кирсанов актуализировал проблему математического выражения воздействия параметров внешней среды на произрастание растений (в Западной Европе этим занимался М. Э. А. Мичерлих). Александром Трофимовичем также был разработан получивший широкое распространение метод определения подвижного фосфора в почвах, который используется до настоящего времени. Еще в 1930-х гг. ученый писал о больших перспективах применения математики в биологии, в частности для расчетов урожаев в зависимости от урожаяформирующих факторов.

Заслуживают безусловного признания общефилософские исследования Кирсанова таких извечных проблем земледелия, как оценка роль сельского хозяйства в преобразовании природы, активность человека в земледелии, земледелие и животноводство, специфика сельского хозяйства по сравнению с другими видами жизнедеятельности.

Всю свою жизнь Александр Трофимович воспитывал молодые научные кадры, многим десяткам учеников он дал путевку в науку.

А. Т. Кирсанов ушел из жизни 30 октября 1941 г. в Ташкенте вскоре после эвакуации туда сотрудников Почвенного института АН СССР.



ЮРИЙ МИХАЙЛОВИЧ КОРЧОХА (к 95-летию)

Юрий Михайлович Корчоха родился 1 августа 1930 г. в с. Майдановка Звенигородского р-на Черкасской обл.

В 1950 г. окончил Московский гидрометеорологический техникум, а в 1959 г. – Ленинградский государственный гидрометеорологический институт (ЛГИ), получив специальность инженера-гидролога. На протяжении 1950–1972 гг. работал старшим техником, инженером, начальником русловой станции, заведующим сектором русловых процессов Валдайской научно-исследовательской лаборатории ЛГИ. С 1968 г. – кандидат технических наук.

В течение 1972–1997 гг. работал в БелНИИ мелиорации и луговодства заведующим лабораторией гидрологии Полесского комплексного отдела, заведующим отделом, заместителем генерального директора БелНИИМВХ, ведущим научным сотрудником.

Ю. М. Корчоха – автор более 100 научных публикаций, в том числе 7 изобретений, 6 нормативных документов и рекомендаций; разработчик проблемы влияния широкомасштабной мелиорации Белорусского Полесья на воды рек и озер, обоснования мероприятий по рациональному использованию водных ресурсов и охраны их от загрязнения и истощения. Член ученого совета Института мелиорации, ряда научно-технических советов мелиоративных и водохозяйственных организаций Беларуси, член-корреспондент Белорусской инженерной академии.

Юрий Михайлович был участником ликвидации последствий аварии на Чернобыльской АЭС.

Награжден медалями «За трудовое отличие», «За доблестный труд», Почетной грамотой Президиума Верховного Совета БССР.

Сочетание высокого профессионализма, способности Юрия Михайловича Корчохи глубоко проникать в суть явлений, исследовательского азарта, скромности и преданности своей работе всегда вызывали неизменное уважение его коллег.



НИКОЛАЙ МИХАЙЛОВИЧ АВРАМЕНКО (к 75-летию)

Николай Михайлович Авраменко родился 31 июля 1950 г. в д. Чистики Горецкого р-на Могилевской обл.

После окончания в 1973 г. гидромелиоративного факультета Белорусской сельскохозяйственной академии был направлен на Полесскую опытно-мелиоративную станцию (ПОМС, пос. Полесский Лунинецкого р-на Брестской обл.) для работы в должности старшего инженера отдела мелиорации.

С мая 1974 г. по май 1975 г. служил в рядах Советской Армии, затем вернулся на прежнее место работы.

В 1983 г., без отрыва от производства, окончил аспирантуру Белорусского НИИ мелиорации и водного хозяйства, в 1987–1990-х гг. работал секретарем парткома Полесской опытно-мелиоративной станции. В октябре 1990 г. назначен заведующим лабораторией мелиорации ПОМС.

В 1992 г. защитил кандидатскую диссертацию на тему «Орошение культурных пастбищ подземными водами на торфянисто-глеевых почвах Полесья», получил ученую степень кандидата технических наук. В 1999–2001 гг. – заведующий лабораторией мелиорации и исполняющий обязанности заместителя директора по научной работе Полесской опытной станции. С января 2002 г. по декабрь 2004 г. работал заместителем директора по научной работе той же станции, получившей новое название – Республиканское унитарное предприятие «Полесская опытная станция мелиоративного земледелия и луговодства» (РУП «ПОСМЗиЛ») Национальной академии наук Беларуси.

С декабря 2004 г. по февраль 2009 г. заведовал лабораторией мелиорации и эксплуатации гидромелиоративных систем РУП «ПОСМЗиЛ», далее до ноября 2018 г. был заместителем директора опытной станции по научной работе и одновременно заведующим отделом мелиорации и эксплуатации гидромелиоративных систем. С ноября 2018 г. работал заместителем директора государственного предприятия «Полесская опытная станция» по научной работе и заведовал научно-исследовательским отделом мелиорации, рекультивации и охраны земель.

На протяжении всего периода работы Николай Михайлович занимался вопросами научного обеспечения развития мелиоративной отрасли, участвовал в разработке приемов управления водно-воздушным режимом торфяных почв при помощи шлюзования, дождевания, вертикального дренажа и технологических нормативов строительства и эксплуатации осушительно-увлажнительных систем в Полесье.

Н. М. Авраменко активно участвовал в создании принципиальных схем реконструкции мелиоративных систем Полесского региона. Под его непосредственным руководством разработаны и внедрены в производство ресурсосберегающие, экологически безопасные конструкции выборочного дренажа, колонок-поглотителей и многофункциональных

копаней, применяющихся при реконструкции мелиоративных систем на антропогенно-преобразованных торфяных почвах Полесья.

В 2010 г. под его руководством – в рамках выполнения региональной научно-технической программы Брестской области для условий Полесья – разработаны конструкции самотечно-насосных систем, использование которых исключает углубление водоприемников при реконструкции мелиоративных систем. В 2013 г. в рамках выполнения данной программы также под руководством Н. М. Авраменко разработана методика определения расчетных модулей стока и интенсивности отвода избыточных вод для мелиоративных систем Белорусского Полесья в современных климатических и гидрогеологических условиях, которая успешно применяется ОАО «Полесьегипроводхоз» в проектах реконструкции мелиоративных систем Брестской обл. В 2013–2016 гг. при финансовой поддержке Программы развития ООН под руководством Н. М. Авраменко апробирована технология использования в условиях Полесья антропогенно-преобразованных торфяных почв по методу песчано-смешанной культуры, позволяющая существенно улучшить агрофизические свойства и водный режим почв, повысить агрономическую, экономическую эффективность и экологическую безопасность при их сельскохозяйственном использовании.

Николай Михайлович Авраменко – автор более 140 научных работ, в том числе 4 монографий, 5 изобретений. В его монографии «Мелиорация Белорусского Полесья: 70-летию Полесской опытной станции мелиоративного земледелия и луговодства посвящается» (2017) обобщены итоги мелиорации Полесья и развития мелиоративной науки региона начиная с XVI в. Результаты своих многолетних исследований автор представил в монографии «Водный баланс торфяных почв на орошаемых пастбищах Полесья» (2020).

За многолетний успешный труд по научному обеспечению мелиорации Н. М. Авраменко был награжден нагрудным знаком «Почетный мелиоратор» (2011). За значительные достижения в мелиоративной науке Указом Президента Республики Беларусь от 11 мая 2018 г. Н. М. Авраменко награжден медалью «За трудовые заслуги». Успехи Николая Михайловича в работе отмечены также Почетными грамотами Лунинецкого райисполкома и РУП «Институт мелиорации» НАН Беларуси.

Память о Николае Михайловиче Авраменко как известном ученом, посвятившем свою жизнь исследованию и решению проблем мелиорации Полесья, порядочном и доброжелательном человеке всегда будет жить в сердцах его коллег.

ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ

1. В журнале печатаются оригинальные материалы, не опубликованные ранее в других печатных изданиях.

2. Статья должна быть направлена в редакцию журнала «Мелиорация» в соответствии с **Порядком представления рукописей статей** (см.: <https://niimel.by>, сайт РУП «Институт мелиорации», Журнал «Мелиорация»).

3. Статья должна быть написана на русском языке, а аннотация – на русском и английском языках.

4. Объем статьи должен составлять не менее 14 тыс. печатных знаков, включая пробелы между словами, знаки препинания, цифры и др., но не более 40 тыс. печатных знаков, включая текст, иллюстрации, таблицы, библиографический список.

5. Представляемые материалы должны иметь следующую структуру:

индекс по Универсальной десятичной классификации (УДК);

аннотацию на указанных языках (500 знаков);

ключевые слова на русском и английском языках;

введение;

основную часть, где излагается методика исследования, обсуждаются полученные результаты, представляются графики и рисунки;

заключение, завершаемое четко сформулированными выводами;

библиографический список.

6. В разделе «Введение» должен быть дан краткий обзор литературы по исследуемой проблеме, указаны не решенные ранее вопросы, сформулирована и обоснована цель работы.

7. В Основной части статьи должны содержаться: описание объекта/-ов и метода/-ов исследования, подробное освещение содержания исследований, проведенных автором/-ами. Полученные результаты должны быть обсуждены с точки зрения их научной новизны и сопоставлены с соответствующими известными данными.

8. В разделе «Заключение» должны быть в сжатом виде сформулированы основные полученные результаты с указанием их новизны, преимуществ и возможностей применения.

9. Библиографический список оформляется в соответствии с приказом ВАК Республики Беларусь от 08.09.2016 №206, располагается в конце статьи, источники нумеруются согласно порядку цитирования и заключаются в квадратные скобки (например: [1], [2]). Обязательно указывается общее количество страниц в книге или номера страниц в статье от ее начала до окончания. Ссылки на неопубликованные работы не допускаются.

10. Иллюстрации, формулы, уравнения и сноски, встречающиеся в статье, должны быть пронумерованы в соответствии с порядком цитирования в тексте.

11. Тексты статей набираются кеглем 11, шрифт – Arial Narrow, междустрочный интервал – 1,2, отступ – 1.

12. Электронный вариант следует набирать в *Microsoft Word*, формулы – в формульном редакторе *Office*. Вставку символов выполнять через меню «Вставка\Символ». Выключку вверх и вниз (H2, H1) выполнять через меню «Формат\Шрифт\Верхний индекс», «Формат\Шрифт\Нижний индекс». Латинские буквы набираются курсивом. Греческие буквы и другие математические знаки следует брать из гарнитуры *Symbol*. Математические формулы (lim, sum, ln, sin, Re, Im и т. д.) и цифры набираются прямым начертанием.

13. Рисунки представляются в виде отдельных файлов в формате TIFF или JPEG 300—600 точек на дюйм. Текст на рисунках должен быть набран гарнитурой *Arial*, курсив. Размер кегля соизмерим с размером рисунка (желательно кегль 8). Площадь простых рисунков не должна превышать 100–150 см², размер сложных – не более 130–160 см².

14. Размерность всех величин, используемых в статьях, должна соответствовать Международной системе единиц измерения (СИ).

15. Редакция оставляет за собой право сокращать текст и вносить в него редакционные правки.

ДЛЯ ЗАМЕТОК

[illegible]

[illegible]