

ISSN 2070–4828

МЕЛИОРАЦИЯ

Научный журнал

№ 3(105)

Основан в 1951 году
Выходит 4 раза в год

Июль – сентябрь 2023



Минск
2023

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 **П. Ф. Тиво** (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. **Э. И. Михневич**
д-р с.-х. наук, проф. **Н. Н. Цыбулько**
д-р с.-х. наук, проф. **В. И. Желязко**
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 – 20,40 руб.;

748562 — для предприятий и организаций, цена – 24,00 руб.

Подписку можно оформить во всех отделениях связи.

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

Компьютерная верстка **И. В. Скуратович**

Подписано к печати 14.09.2023 г. Формат 60 x 84 1/8.
Уч.-изд. л. 7,2. Усл. печ. л. 9,30. Заказ 329. 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

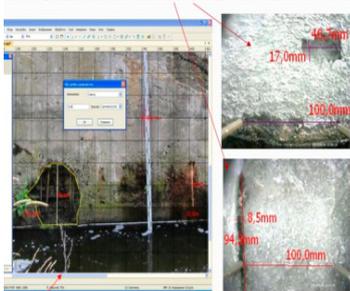
Отпечатано РУП «Информационно-вычислительный центр Министерства финансов».
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя, распространителя
печатных изданий № 2/41 от 29.01.2014.

© РУП «Институт мелиорации», 2023

Содержание Contents

Мелиорация

Land improvement



А. С. Анженков, А. А. Левкевич

Современные технические средства диагностики мелиоративных гидротехнических сооружений

A. S. Anzhenkov, A. A. Levkevich

Modern technical means of diagnostics of meliorative hydraulic structures

5



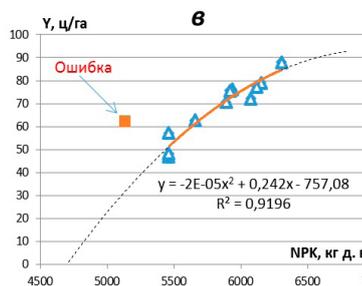
А. И. Митрахович, А. П. Майорчик

Условия применения вертикального дренажа на мелиоративных объектах

A. I. Mitrakhovich, A. P. Majorchik

Conditions for use of vertical drainage at reclaim objects

14



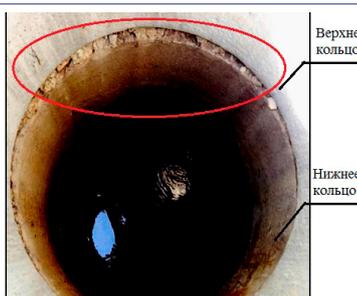
А. П. Лихацевич, Г. В. Латушкина, А. В. Малышко

Оценка комплексного влияния водно-пищевого режима на урожайность сахарной свеклы

A. P. Likhatshevich, G. V. Latushkina, A. V. Malyshko

Assessment of the complex influence of the water and nutritional regime on the yield of sugar beet

22



В. М. Макоед, А. И. Митрахович

Оценка технического состояния дренажных коллекторов большого диаметра на мелиоративных системах Белорусского Полесья

V. M. Makoed, A. I. Mitrakhovich

Assessment of the technical condition of drainage collectors large diameter on reclamation systems Belarusian Polesie

36



А. А. Джафарова, С. М. Талиби, Б. Т. Гулиева

Мелиоративное состояние почв различной степени засоленности на опытном участке в Сальянской степи

A. A. Jafarova, S. M. Talibi, B. T. Quliyeva

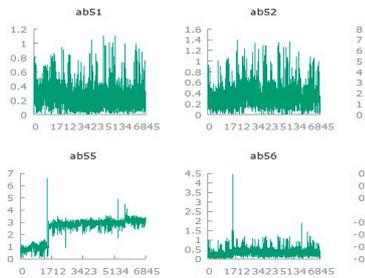
Reclamation state of soils of varying degrees of salinity of the experimental site in the Salyan steppe

46



М. Г. Мустафаев, Л. З. Джалилова
**Количество и типы солей почв Кура-Араксинской
низменности (на примере Сальянской степи)**
M. G. Mustafayev, L. Z. Jalilova
**Quantity and types of the salt in the soil
of the Kur-Araz valley (in the Salyan steppe)**

51



А. И. Кацко, С. И. Мацый
**Анализ и оценка оползневой риска с использованием
показателя Хёрста по результатам геотехнического
мониторинга**

56

A. I. Katsko, S. I. Matsiy
**Analysis and assessment of landslide risk with use of the
hurst indicator based on the results of geotech monitoring**

Кормопроизводство

Forage production



А. Л. Бирюкович, А. В. Цубленок
**Влияние системы питания на продуктивность люцерны
изменчивой на мелиорированных минеральных землях
Поозерья**

66

A. L. Biryukovich, A. V. Tsublenok
**Influence of power system on the productivity of Alfalfa
variable on reclaimed mineral lands of Poozerie**

Чтобы помнили

To be remembered

Памяти Михаила Ивановича Святцева

73

Антон Филиппович Данилович (к 120-летию)

74

Владислав Филиппович Карловский (к 90-летию)

75

Владимир Семенович Брезгунов (к 85-летию)

76

МЕЛИОРАЦИЯ

УДК 631.6:626.86

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА ДИАГНОСТИКИ МЕЛИОРАТИВНЫХ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ

А. С. Анженков, кандидат технических наук

А. А. Левкевич, младший научный сотрудник

РУП «Институт мелиорации», г. Минск, Беларусь

Аннотация

Представлен обзор современных технических средств неразрушающей диагностики гидротехнических сооружений мелиоративных систем. В соответствии с действующими техническими нормативно-правовыми актами Республики Беларусь рассмотрена возможность внедрения информационных технологий в процесс обследования сооружений и их частей: в частности, применение такого оптико-цифрового метода, как фотограмметрии – универсального, оперативного, малозатратного и безопасного способа диагностики и фиксации состояний гидротехнических сооружений.

Ключевые слова: обследование, диагностика, мелиоративная система, гидротехнические сооружения, технические средства, информационные технологии, оптико-цифровой метод, фотограмметрия.

Abstract

A. S. Anzhenkov, A. A. Levkevich

MODERN TECHNICAL MEANS OF DIAGNOSTICS OF MELIORATIVE HYDRAULIC STRUCTURES

The review of modern technical means of non-destructive diagnostics of hydraulic structures of land reclamation systems is presented. In accordance with the current technical normative-legal acts of the Republic of Belarus the possibility of introducing information technologies in the process of inspection of structures and their parts, in particular, the use of optical and digital method – photogrammetry, as a universal, operative, low-cost and safe way of diagnostics and fixation of hydraulic structures conditions is considered.

Keywords: survey, diagnostics, land reclamation system, hydraulic structures, technical means, information technologies, optical and digital method, photogrammetry.

Введение

Нормативными документами по эксплуатации мелиоративных систем в Республике Беларусь предусматривается, что выполнение комплекса мероприятий по техническому обслуживанию гидротехнических сооружений (ГТС) на мелиоративных системах [1] должно обеспечивать их длительную работоспособность в режиме, установленном проектом мелиорации земель (то есть в технически исправном состоянии).

На практике виды и объемы работ по техническому обслуживанию устанавливаются с учетом планов мероприятий, выделенного финансирования и согласно ТНПА (по категории технического состояния (КТС)), а также с условием сохранения длительной работоспособности сооружений в исправной, рабо-

тоспособной, ограниченно работоспособной категориях состояний [2]. Для этих категорий допускается, что возможные отклонения значений отдельных показателей технического состояния сооружений от проектных не приводят ни к существенным нарушениям функций гидротехнических сооружений, ни к опасному снижению их надежности и безопасности. При вышеуказанных условиях критерием эффективности работ является такое эксплуатационное состояние мелиорированных земель, которое обеспечивает водный режим, благоприятный для выращивания определенных сельскохозяйственных культур [1].

Мелиоративные гидротехнические сооружения, согласно действующим ТНПА, относятся к сооружениям III-го и IV-го классов сложно-

сти [3, 4], то есть их некорректная работа или же выход из строя не приведут к резким и катастрофическим последствиям, однако могут нанести значительный экономический ущерб мелиорированным землям, используемым для сельскохозяйственной деятельности, и, как следствие, землепользователям.

Можно выделить следующие виды ГТС на МС:

- грунтовые (перемычки, дамбы, плотины и др.);
- бетонные и железобетонные (трубы-перезды, трубы-регуляторы, шлюзы-регуляторы, здания насосных станций, водосбросы, водозаборные сооружения, плотины и др.);
- каналы (открытая мелиоративная сеть) и дренаж (закрытая мелиоративная сеть).

Характерная особенность мелиоративных ГТС заключается в том, что они, как правило, расположены на значительном расстоянии как друг от друга, так и от различной инфраструктуры (населенных пунктов, магистральных трасс, мелиоративных организаций по строительству и эксплуатации и др.). Поэтому для обследования и диагностики необходимы инструменты и методы, сочетающие мобильность, оперативность и относительно низкую стоимостью производимых с их помощью работ. Любой вид работ по диагностике состояния ГТС также должен быть увязан с действующими ТНПА – в данном случае с документами, регламентирующим последовательность проведения обследования сооружений [1, 2, 4].

Обычно здания исследуют, чтобы оценить соответствие их проектно-эксплуатационных качеств документации проекта и требованиям ТНПА:

- при определении пригодности здания к дальнейшей эксплуатации;
- паспортизации;
- проектировании ремонта, реконструкции, модернизации, реставрации;
- изменении нагрузок или воздействий;
- изменении условий эксплуатации;
- определении износа;
- смене собственника, уточнении стоимости;
- решении вопросов утилизации;
- возобновлении строительства законсервированных объектов;
- по требованию собственника, органов власти, страховых компаний и т. д. [2].

С учетом длительного периода эксплуатации гидротехнических сооружений (их большая часть построена в 1960–1980 гг.) неизбежно существует проблема износа, старения и возникновения множества дефектов, которые частично либо полностью нарушают функциональность сооружений и выводят их из пользования.

В области строительства и мелиорации можно выделить различные виды дефектов на ГТС: трещины, прогибы, деформации, сколы и отслоения бетона, обнажения арматуры, отклонения конструкций от вертикали, проявление суффозии, утечки воды в регулирующих сооружениях, наносы в трубопроводах и др.

Согласно ТНПА, основными причинами возникновения дефектов и повреждений сооружений являются:

- ненадлежащее качество проектирования;
- дефекты при изготовлении или возведении конструкций;
- физический износ;
- агрессивное воздействие среды;
- нарушение правил эксплуатации;
- стихийные бедствия;
- иные причины [2].

Обследование зданий, в том числе ГТС, состоит из трех этапов:

- первый – предварительный технический осмотр здания;
- второй – общее обследование (по внешним признакам);
- третий – детальное (инструментальное) обследование (при необходимости) [2].

Обязательная процедура проведения эксплуатационного контроля (мониторинга) заключается в визуальных технических осмотрах мелиоративных ГТС, проводимых для своевременного выявления повреждений, дефектов, опасных деформаций и других процессов, неблагоприятно влияющих на показатели надежности и безопасности эксплуатации сооружений (технического состояния) и их способность обеспечить удовлетворительный водный режим мелиоративных систем (эксплуатационное состояние) [5].

При техническом обслуживании мелиоративных систем визуальные обследования, в том числе с применением информационных методов и средств измерения, – это единственно доступный метод оперативного контроля за состоянием ГТС.

Состав мероприятий по техническому обслуживанию ГТС на мелиоративной сети определяется и обосновывается в ходе эксплуатационного контроля за техническим состоянием сооружений, проводимого эксплуа-

Основная часть

При визуальном обследовании технического состояния мелиоративных ГТС определяются, как правило, признаки и места внешних проявлений дефектов и неисправностей, износа. Осуществляется осмотр эксплуатационного состояния прилегающих территорий мелиорированных земель на наличие вымочек, западин, промоин, мест переувлажнения и подтопления.

Для обследования бетонных и железобетонных конструкций и сооружений могут использоваться как разрушающие, так и неразрушающие способы диагностики дефектов и оценки состояния:

- визуальный и визуально-инструментальный способ (осмотр сооружений, ориентировочная оценка прочности бетона. Метод простукивания поверхности конструкции молотком массой 0,4–0,8 кг непосредственно по очищенному участку бетона или по зубилу, установленному перпендикулярно поверхности элемента. При этом для оценки прочности принимают минимальные значения, полученные в результате 10 ударов; более звонкий звук при простукивании соответствует более прочному и плотному бетону);
- механический способ (испытанием образцов – кернов, выпиленных или выбуренных из конструкций);
- ультразвуковой метод (изменение скорости прохождения ультразвукового сигнала через сооружение);
- экспериментальный акустико-эмиссионный (АЭ) метод, основанный на регистрации АЭ-излучения при динамической перестройке дефектной структуры в материале;
- лабораторные методы, проводимые специализированными организациями, применяемые для более углубленного и детального исследования свойств бетона.

В целях повышения эффективности диагностики ГТС в РУП «Институт мелиорации» разработан ряд технических средств и методик. Основными направлениями по совершенствованию диагностических мероприятий являются:

тирующими организациями путем плановых и внеплановых (внеочередных) технических осмотров. Рекомендуемая периодичность плановых осмотров приводится в ТНПА по строительству и обслуживанию сооружений [2].

- точность диагностики, включая информацию о труднодоступных элементах;
- оперативность на базе цифровых технологий с исключением демонтажа конструкций;
- исключение разрушения ГТС и их элементов, в том числе подземных;
- расширение возможностей камеральной обработки;
- снижение стоимости диагностики.

Устройство для диагностики внутреннего состояния и очистки коллекторной сети ОД-100

Устройство ОД-100 (рис. 1) применяется для диагностики трубопроводов длиной до 100 м из устья и шурфа, а также для очистки устьевой части коллектора от заиления и корней растений, оценки внутреннего состояния коллекторной сети, очистки дренажных трубопроводов от минеральных отложений и железистых соединений при наличии дренажного стока без использования дренопромывочных машин [6].



Рис. 1. Устройство ОД-100

Устройство ОД-100 позволяет:

- а) определить места заиления, смещения и разрушения дренажных трубок по трассе; степень заиления коллектора; нарушение трубных соединений в смотровых колодцах; качество промывки коллекторной сети;

б) очистить от заиления и железистых соединений:

- устьевую часть коллектора (в том числе от корней растений);
- коллектор на длину 100 м при наличии дренажного стока (при заилении до 35 % от площади сечения трубопровода);
- участок от смотрового колодца до начала коллектора.

Устройство (рис. 1–3) состоит из следующих элементов: тележки; барабана, на котором закреплен стеклопластиковый стержень длиной 100 или 150 м; цилиндрических кон-

трольных головок для определения степени заиления; насадок для очистки коллектора от заиления, железистых соединений и корней растений.

Технические характеристики устройства приведены в табл. 1.

Совместно с РУП «РНТЦ по ценообразованию в строительстве» для ОД-100 разработана типовая технологическая карта на очистку от заиливания механическим способом и диагностику внутреннего состояния закрытых дренажных коллекторов с применением устройств ОД-100.

Таблица 1. Техническая характеристика устройства ОД-100

Показатели	Значение
Диаметр обследуемой и очищаемой дренажной сети, мм	75–175
Длина обследования и очистка с одной позиции, м, до	100–150
Диаметр стеклопластикового стержня, мм	8
Количество контрольных головок, шт.	4
Диаметр контрольных головок, мм	40, 60, 80, 100
Количество насадок, шт., в том числе:	6
крестообразная, диаметр, мм	60, 80
мягкая, мм	60, 80
совковая, диаметр, мм	60, 80
Головка винтовая ГВ-1, диаметр, мм	76
Датчик расстояний, шт.	1
Габаритные размеры устройства:	
высота, мм	1260
диаметр барабана, мм	1200
ширина, мм	560
Масса оборудования, кг, не более	35
Обслуживающий персонал, чел.	2



Рис. 2. Комплект насадок для устройства ОД-100



Обследование коллектора из устья



Обследование коллектора из шурфа



Насадки мягкие НМ-60 и НМ-80



Извлечение корней растений из устьевой части Коллектора с применением насадки НК-1

Рис. 3. Обследование и очистка дренажа с помощью ОД-100

Комплекс средств диагностики ГТС КСД-160У

Предназначен для обнаружения дефектов в элементах гидротехнических сооружений при оценке состояния труднодоступных и подводных частей ГТС; позволяет проводить осмотр подводных частей ГТС с помощью видеокамеры на глубине до 6 метров без привлечения водолазов и демонтажа оборудования, а также обследовать труднодоступные подводные части ГТС на мелиоративной сети, включая:

- подводные части шлюзов;
- узкие и труднодоступные части насосных станций;

- опоры мостов;
- шахтные водосбросы и др.

Устройство представляет собой полу телескопическую штангу длиной 6 м с пропущенным внутри кабелем, который одним концом подключен к монитору с записывающим устройством и картой памяти, а другим – к камере со светодиодной подсветкой (рис. 4); используется для диагностики труднодоступных – подводных, подземных, стесненных – элементов ГТС (рис. 4, 5) [4, 6]. Технические характеристики представлены в табл. 2.

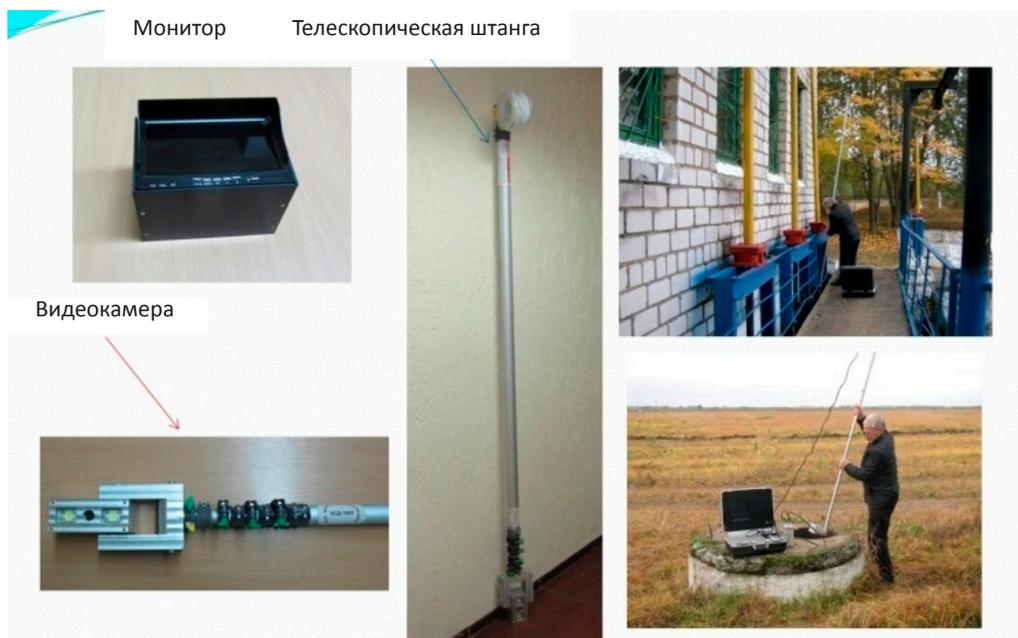


Рис. 4. Устройство диагностики КСД-160У



Рис. 5. Обследование труднодоступных участков ГТС при помощи устройства КСД-160У

Таблица 2. Технические характеристики КСД-160У

Длина телескопической штанги, м	6
Габариты видеокамеры, мм	120 × 60 × 60
Угол обзора видеокамеры, град.	75
Сила подсветки, лм	1500
Монитор	8 дюймов
Аккумулятор	LiFePO4, 12 В, 10 А · ч
Память	microSD до 32 GB
Габариты монитора, мм	180 × 160 × 125
Масса оборудования, кг:	7,3
штанги, кг	4,5
монитора с аккумуляторной батареей, кг	2,8

Ввиду особенностей расположения ГТС на мелиоративных объектах (значительная удаленность от инфраструктуры населенных пунктов) и, как следствие, значительных материальных и временных затрат при использовании приведенного оборудования – в дополне-

ние к базовым и вышеприведенным способам (особенно на этапе первичного осмотра) – целесообразно рассмотреть применение фотограмметрии как оптико-информационного метода диагностики состояния сооружений.

Метод фотограмметрии

Современные цифровые технологии позволяют задействовать для обследований автоматизированные экспертные системы. Средства, необходимые для того, чтобы осуществить цифровизацию процессов диагностики ГТС, общедоступны и имеют умеренную стоимость.

Достаточно распространенным способом визуализации и построения моделей из фотоснимков является фотограмметрия [7]. Она позволяет определить по снимкам исследуемого объекта его форму, размеры и пространственное положение в заданной системе координат, площадь, объем, различные сечения на момент съемки и изменения их величин через заданный интервал времени.

Основная задача данного метода – установление наличия дефектов сооружений и их геометрических размеров путем обработки полученного фотоизображения определенными программными средствами. Главное преимущество применения этого диагностического инструментария заключается в оперативности и экономической эффективности по сравнению с остальными вышеприведенными способами.

Для получения фотоснимков, использующихся при фотограмметрическом обследовании, вполне достаточно фототехники бытового уровня (в том числе мобильных телефонов). Больше затруднение вызывает выбор программных инструментов по обработке массива фотографий диагностируемого объекта.

Благодаря фотограмметрической обработке снимков можно получать об объекте числовую информацию такой густоты, какой практически невозможно достичь при непосредственных промерах. Числовая и графическая информация получается вне контакта с объектом, когда он недоступен для человека или находится в среде, опасной для жизни; благодаря ей возможно перевести значительную часть обработки полученных данных в камеральные условия.

Важнейшим аспектом применения данных цифровых методов является также возможность построения 3D-моделей как дополнительной визуальной информации для еще более точной оценки состояния сооружений, наряду с общедоступностью программного обеспечения.

Наиболее распространенные и доступные программные средства [8, 9]:

AliceVision Meshroom (рис. 6), *3DF Zephyr*, *PhotoModeler* и др. – с их помощью можно строить 3D-модели по фотоснимкам, измерять геометрические размеры и др.;

TourView – используется для обработки фото- и видеоизображений с возможностью определения геометрических размеров (рис. 7).

Данный оптико-цифровой метод позволяет широко и многократно использовать камеральный этап обследования объектов. При регулярных съемках также имеется возможность четко отследить динамику состояния ГТС и привести изменения к численным показателям.

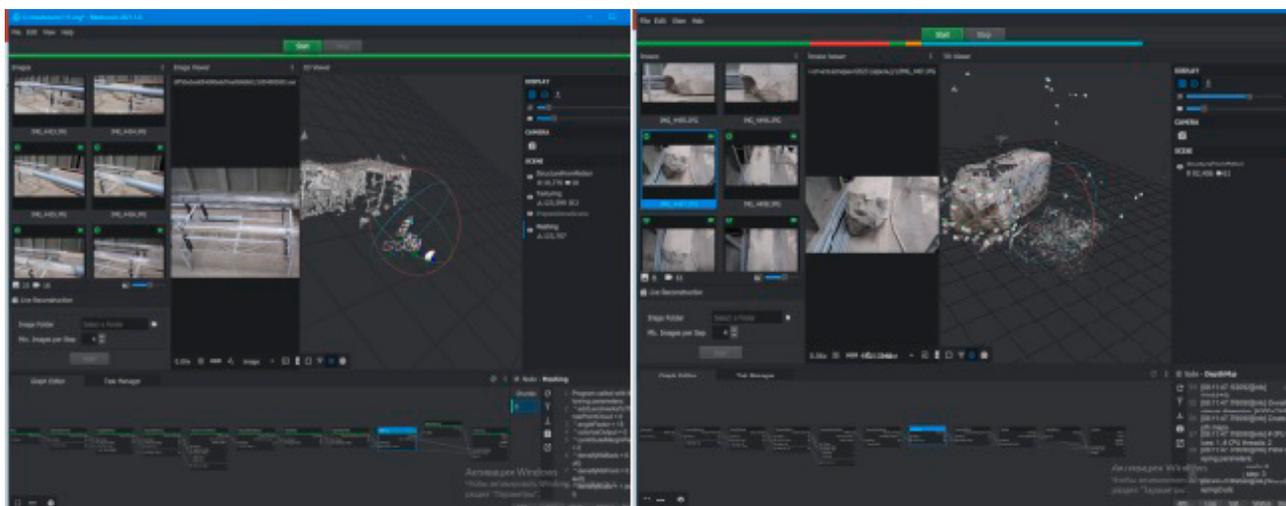


Рис. 6. Процесс построения 3D-модели в *AliceVision Meshroom*

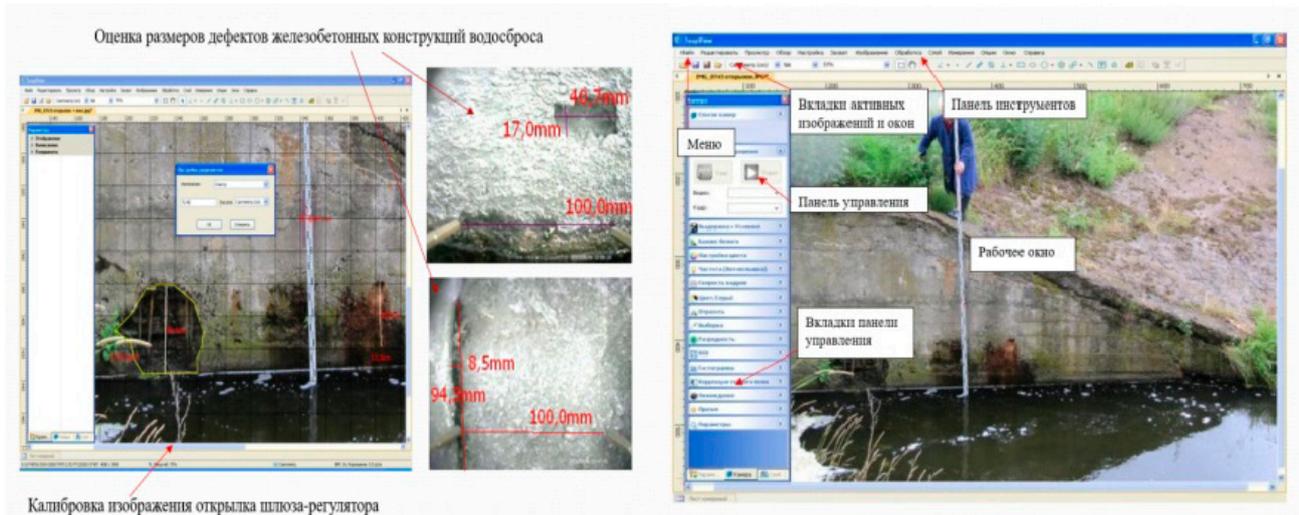


Рис. 7. Определение геометрических размеров ГТС в *TourView*

Использование современных методов и способов диагностики состояния ГТС на МС дает возможность выявлять большую часть дефектов, образующихся в процессе эксплуатации сооружений, в том числе при регулярном осмотре. Однако ввиду недостаточности внедрения новейших информационных технологий в

мелиоративную сферу деятельности необходимо более углубленно проанализировать оптико-цифровые способы диагностики, так как они имеют значительные преимущества по сравнению с остальным неразрушающими методами контроля состояния ГТС, особенно на первом (предварительном) этапе обследования [2].

Заключение

1. Выбор средств диагностики должен базироваться на потребностях, соответствующей квалификации и финансовых возможностях исполнителей.
2. Для диагностики трубопроводов малого диаметра рационально использовать устройство диагностики ОД-100, которое, помимо прочего, позволяет проводить очистку от заиливания при наличии стока.
3. Для сложных гидротехнических и мелиоративных объектов, таких как насосные станции, водозаборы, многопролетные шлю-

зы-регуляторы, водосливы и водоспуски, целесообразно применять комплекс устройств диагностики КСД-160У.

4. Устройства фотовидеоконтроля состояния объектов позволяют переводить значительную часть анализа в камеральную стадию.

5. Для более оперативного и сбалансированного внедрения средств цифровой диагностики в сферу эксплуатационно-строительных работ в мелиоративной отрасли необходимо их тщательно изучать и анализировать оптимальную применимость.

Библиографический список

1. Реконструкция осушительных систем. Правила проектирования : ТКП 45-3.04-177-2009. – Введ. 29.12.09. – Минск : Минстройархитектуры, 2010. – 54 с.
2. Строительные нормы Республики Беларусь. Техническое состояние зданий и сооружений : СН 1.04.01-2020. – Введ. 27.10.20. – Минск : Минстройархитектуры, 2021. – 66 с.
3. Объекты строительства. Классификация : СН 3.02.07-2020. – Введ. 26.10.20. – Минск : Минстройархитектуры, 2021. – 10 с.
4. Гидротехнические сооружения общего назначения : СН 3.04.01-2020. – Введ. 16.11.20. – Минск : Минстройархитектуры, 2021. – 135 с.
5. Методические рекомендации по диагностике эксплуатационного состояния труднодоступных элементов гидротехнических сооружений на мелиоративной сети / А. С. Анженков [и др.] ; Национальная академия наук Беларуси, РУП «Научно-практический

центр Национальной академии наук Беларуси по земледелию», РУП «Институт мелиорации». – Минск : [б. и.], 2021. – 43 с.

6. Техническая эксплуатация закрытой мелиоративной сети / Н. Н. Погодин [и др.]; Национальная академия наук Беларуси, Институт мелиорации. – Минск : Беларуская навука, 2022. – 154 с.

7. Михайлова, М. В. Фотограмметрия. Основные принципы и практическое применение / М. В. Михайлова, А. Н. Ахмедов, Р. Р. Шагибалов // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Сер. Естеств. и техн. науки. – 2018. – № 5. – С. 24–30.

8. The Best Photogrammetry Software For All Levels [Electronic resource]. – Mode of access: <https://www.3dnatives.com/en/photogrammetry-software-190920194/#!> – Date of access: 02.08.2023.

9. Программы для фотограмметрического 3D сканирования [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://3dradar.ru/post/47939/>. – Дата доступа: 05.08.2023.

Поступила 7 августа 2023 г.

УСЛОВИЯ ПРИМЕНЕНИЯ ВЕРТИКАЛЬНОГО ДРЕНАЖА НА МЕЛИОРАТИВНЫХ ОБЪЕКТАХ

А. И. Митрахович¹, кандидат технических наук

А. П. Майорчик², кандидат технических наук

¹РУП «Институт мелиорации», г. Минск, Беларусь

²Белорусский национальный технический университет,
г. Минск, Беларусь

Аннотация

Рассматриваются вопросы обоснования возможности применения вертикального дренажа на мелиоративных объектах с определенными гидрогеологическими условиями, важнейшим из которых является хорошая водопроницаемость водоносного горизонта. Дана характеристика Припятского Полесья как наиболее благоприятного региона с такими условиями; его естественные водные ресурсы позволяют использовать возобновляемые подземные воды в сельскохозяйственном производстве, в том числе на орошение земель. На основании данных Института геологических наук НАН Беларуси составлена схематическая карта районирования Припятского Полесья по условиям применения осушительно-увлажнительных систем вертикального дренажа. Приводятся технико-экономические показатели стоимости строительства данных систем, горизонтального дренажа и открытой осушительной сети. Характеризуются наиболее существенные достоинства и недостатки систем вертикального дренажа и очевидность перспективы его применения в современных природных условиях.

Ключевые слова: вертикальный дренаж, подземные воды, гидрогеологические условия, водные ресурсы, осушительно-увлажнительная система, коэффициент фильтрации, модуль подземного стока.

Abstract

A. I. Mitrakhovich, A. P. Majorchik

CONDITIONS FOR USE OF VERTICAL DRAINAGE AT RECLAIM OBJECTS

The issues of substantiating the possibility of using vertical drainage on reclamation sites with certain hydrogeological conditions were discussed, the most important of which is the good water permeability of an aquifer with a thickness of at least 15 m from the surface. The characteristic of Pripyat Polesje as the most favorable region with such conditions was given, the natural water resources of which allow the use of renewable groundwater in agricultural production, including for land irrigation. On the basis of the data of the Institute of Geological Sciences of the National Academy of Sciences of Belarus, a schematic map of the zoning of the Pripyat Polesje according to the conditions for the use of drainage and humidification systems of vertical drainage was compiled. Technical and economic indicators of the cost of construction of these systems, horizontal drainage systems and an open drainage network are given. The most significant advantages and disadvantages of vertical drainage systems and the obvious prospects for its use in modern natural conditions are characterized.

Keywords: vertical drainage, groundwater, hydrogeological conditions, water resources, drainage and humidification system, filtration coefficient, groundwater runoff module.

Введение

Мелиорация переувлажненных земель – одно из главных направлений природопользования в зоне избыточного и неустойчивого увлажнения. Высокопродуктивное земледелие на значительной площади сельскохозяйственных угодий гумидной зоны невозможно без проведения мелиоративных мероприятий, так как суммарные осадки превышают испарение и требуются дополнительные мероприятия по удалению избыточных вод. Но в отдельные

периоды вегетации растений наблюдается и дефицит влаги в почве.

По многолетним данным, в южном регионе Беларуси маловодные годы встречаются 1 раз в 3–4 года, а в северном – 1 раз в 10 лет. Вместе с тем и в средние по водности годы и даже во влажные наблюдаются летние засушливые периоды из-за неравномерности выпадения осадков по времени и территории. Такие природные катаклизмы (засухи и на-

воднения) негативно сказываются на сельскохозяйственном производстве [1, 2], а в последние годы они повторяются все чаще.

С засухой бороться трудно, малоэффективными оказываются и осушительно-увлажнительные системы с двухсторонним регулированием водного режима. В большинстве случаев регулирование на таких системах предусматривается на местном стоке, но, как правило, запаса воды в каналах (при отсутствии гарантированного водного источника – реки, наливного пруда, водохранилища) для поддержания требуемого уровня грунтовых вод на сельхозугодьях в засушливые периоды не хватает. Многие каналы и пруды пересыхают. Следует учитывать и то, что с несомненной

Основная часть

Существующие осушительно-увлажнительные и осушительно-оросительные системы основаны на применении открытых каналов и горизонтального дренажа. Подпочвенное увлажнение или орошение дождеванием осуществляется за счет использования поверхностных вод из естественных или искусственных водотоков, озер, аккумулирующих водохранилищ и наливных прудов.

Значительный недостаток осушительно-увлажнительных систем заключается в отсутствии воды в засушливый период в каналах, которые работают на местном стоке с прилегающих водосборов. Площадь водосбора должна быть до 30 раз больше площади увлажнения. Необходимо учитывать и то, что подпочвенное увлажнение инерционно и сопряжено с большими фильтрационными потерями воды.

Имеющиеся недостатки существующих осушительно-увлажнительных систем частично может устранить один из новых способов мелиорации – вертикальный дренаж в сочетании с орошением подземными водами, каптируемыми из скважин. Применение этого способа позволяет наиболее экономно расходовать водные ресурсы, так как исключаются непроизводительные сбросы воды, а для орошения используются имеющиеся на этой же площади восполняемые запасы подземных вод. Однако в данном случае требуются определенные гидрогеологические, геоморфоло-

пользой осушения и увлажнения возникают проблемы антропогенного воздействия мелиорации на окружающую природную среду, включая почвы, воды, растительность и фауну. Поэтому требовались научное обоснование и разработка новых конструкций экологически безопасных гидромелиоративных систем, позволяющих регулировать водный режим в пределах оптимального для развития растений. Как правило, такие системы должны быть осушительно-увлажнительными или осушительно-оросительными. Они должны удовлетворять требованиям рационального использования водных и земельных ресурсов и оперативного управления ими как в современных условиях, так и в перспективе.

гические и почвенные условия. Необходимо, чтобы покровные отложения были представлены достаточно водопроницаемыми грунтами, а ниже залежали мощные слои водоносных песчаных отложений. Такие условия имеются на обширных площадях Припятского Полесья.

Геоморфологические особенности Полесья определяют закономерности изменения глубины залегания уровня грунтовых вод (УГВ) от 35 м в центральном районе и до 5–10 м – в южном районе. Грунтовые воды первого от поверхности горизонта тесно связаны с водами ближайшего напорного горизонта. Длительные наблюдения (от 8 до 24 лет и более) показали, что колебания УГВ в разных районах и геоморфологических элементах близки между собой, синхронны с колебанием уровней рек и повторяют ход изменения климатических факторов – атмосферных осадков, температуры воздуха, поверхностного стока за счет подпитки от восходящих напорных вод [3, 4]. В большинстве зон Полесья питание и расходование грунтовых вод балансируются в 2–3-летнем цикле.

Для предотвращения возможного изменения баланса подземных вод на территориях, прилегающих к осушаемым массивам, необходимо строго регулировать сброс дренажных вод, их аккумуляцию с последующим использованием на орошение.

Подземные и поверхностные воды, а также влага атмосферы и зоны аэрации обра-

зуют водные ресурсы любого участка суши. Естественные ресурсы подземных вод – это суммарная величина питания (восполнения) подземных вод в природных условиях за счет атмосферных осадков, фильтрации из водоемов и водотоков, перетекания из выше- и нижерасположенных горизонтов. Они отражают особенность подземных вод как возобновляемого полезного ископаемого [5].

Количество естественных ресурсов подземных вод характеризуется модулем подземного стока. Он представляет собой усредненный по речному бассейну (или по его части) расход потока подземных вод заданной обеспеченности с единицы площади расположения водоносного горизонта (комплекса) или бассейна подземных вод, в пределах которого этот расход формируется. Почвенные запасы на территории Брестской обл. весной после снеготаяния содержат 5,15 км³ влаги, что на 0,2 км³ превышает объем местного стока. Летом они снижаются до 2,19 км³ и составляют 44,4 % годового местного стока [5] в сравнении с Беларусью в целом [2].

На территории Белорусского Полесья, занимающего северную половину Припятского Полесья, естественные ресурсы пресных подземных вод составляли в 1980-х гг. 83,3–92,5 м³/с, а средний модуль подземного стока – 1,3–1,5 л/с × км².

По данным Н. И. Плотникова и А. И. Мурашко [1, 3], естественные ресурсы подземных вод по Беларуси в целом оцениваются в 420 м³/с, а прогнозные запасы составляют 512 м³/с. В 1980 г. всеми отраслями народного хозяйства использовалось 16 м³/с, или 3,8 % от всех естественных запасов.

По определению А. А. Волчека [5], модуль подземного стока относится ко всей зоне активного водообмена и характеризует суммарный подземный сток пресных вод. Для Брестской обл. он изменяется от 0,9 до 2,0 л/с × км² и в среднем равен 1,52 л/с × км². Средняя многолетняя величина естественных ресурсов подземных вод на территории области на площади 32,3 тыс. км² оценивается в 4 242,0 тыс. м³/сут., или 1 548,33 млн м³/год.

Эксплуатационные ресурсы обычно превышают естественные. Для их оценки используется модуль (Мэ), представляющий собой

потенциальный расход подземных вод зоны активного водообмена, который можно получить с единицы площади их распространения. Среднегодовые значения Мэ, по материалам Института геологических наук НАН Беларуси, оцениваются в 2,0 л/с × км². Расчетные эксплуатационные ресурсы по Брестской обл. составляют 4 503,4 тыс. м³/сут (2045,2 млн м³/год) [6].

Эксплуатационные запасы подземных вод – это количество воды, которое может быть получено водозаборными сооружениями при заданном режиме эксплуатации; они определяются гидрогеологическими расчетами.

Водные ресурсы включают в себя ресурсы продуктивной влаги в метровом слое почвы, которые колеблются по областям от 1595 м³/га в Брестской обл. до 2340 м³/га в Витебской.

Суммарное водопотребление сельскохозяйственных культур в средние по водности и в засушливые годы значительно превышает количество осадков. Дефицит влаги составляет 80–150 мм. Все это указывает на то, что мелиорация земель в этом регионе должна осуществляться на основе осушительно-увлажнительных и осушительно-оросительных систем, в том числе и на базе вертикального дренажа с учетом орошения за счет использования подземных вод.

По результатам проведенных натурных исследований на опытно-производственных участках вертикального дренажа в регионе Полесья определены условия его применения, а также выполнено районирование территории Полесья по условиям его использования.

Основными факторами, обеспечивающими возможность функционирования вертикального дренажа в гумидной зоне, являются:

- геоморфологические особенности рельефа поверхности;
- геологический разрез и однородность его строения (литологический состав);
- фильтрационные свойства водовмещающих пород до водоупора;
- гидравлическая связь грунтовых вод с нижележащими водоносными горизонтами;
- тип водного питания и химический состав воды [7–9].

Вертикальный дренаж предпочтительно проектировать в поймах рек и в надпойменных террасах с микропонижениями не более 1,5 м.

По литологическому составу под вертикальный дренаж приемлемы объекты, на которых торфяники, заторфованные пески и легкие супеси подстилаются довольно мощной толщей песчаных отложений (не менее 15 м) и в геологическом разрезе которых отсутствуют глинистые прослойки (линзы) или мощность их незначительна и они занимают площадь не более 10 % от общей площади разреза. Водопроницаемость песчаного горизонта должна быть высокой, больше 8–10 м²/сут, а коэффициент водопроводимости водоносного горизонта не менее 200 м²/сут:

$$T = k \times m,$$

где k – коэффициент фильтрации, м/сут;
 m – мощность пласта, м.

Подземные воды на большей части Припятского Полесья имеют минерализацию менее 1 г/л (пресные) и пригодны для орошения.

На основании анализа гидрогеологических, геоморфологических и литологических условий, а также теоретических расчетов и опыта эксплуатации систем вертикального дренажа составлена карта районирования Припятского Полесья по условиям применения вертикального дренажа [4] и разработана классификация условий по возможности использования осушительно-оросительных систем вертикального дренажа.

По геологическим и гидрогеологическим условиям выделяются следующие группы районов.

1) *Весьма благоприятные районы* – пойма р. Припять и наиболее крупные ее притоки, а также плоская низменная равнина в пределах первой надпойменной террасы. С поверхности залегают торф и заторфованные пески мощностью до 3,0 м, далее пески средние и крупнозернистые мощностью от 40 до 100 м; пески разнозернистые – от 20 до 100 м; глубина залегания водоупора > 100 м. В геологическом разрезе преобладают песчаные породы, общая мощность которых изменяется от 20–40 м на западе Припятского Полесья и до 60–100 м в его восточных районах. Существует тесная гидравлическая связь между грунтовыми и подземными водами. Средний коэффициент фильтрации водоносной толщи составляет 8–12 м/сут, проводимость – более 600 м²/сут. Дебит скважины может находиться в пределах 200–300 м³/ч и более.

2) *Благоприятные районы* – площади в пределах второй и третьей надпойменных террас. Геологические разрезы представлены торфами, заторфованными супесями и песками мощностью 0,5–2,0 м. Подстилаются они песками разнозернистыми и крупнозернистыми, мощность которых изменяется от 25–35 до 70–100 м. Глубина залегания водоупора 30–90 м. Коэффициент фильтрации водовмещающих пород изменяется от 6–8 до 12–15 м/сут и более. Средний коэффициент водопроводимости составляет около 500 м²/сут. Питание болотного массива происходит преимущественно атмосферными и грунтово-напорными водами.

3) *Удовлетворительные районы* – моренно-зандровые и зандровые равнины. В геологическом строении присутствуют слабо- или водонепроницаемые прослойки суглинков и глин (до 40 %). С поверхности залегают торф и легкие минеральные грунты мощностью до 2 м, подстилаемые песками разнозернистыми. Мощность песчаных отложений достигает 20–30 м, средний коэффициент их фильтрации не превышает 10 м/сут. Водопроницаемость их выше 150 м²/сут, глубина залегания водоупора 25–30 м. Существует гидравлическая связь между грунтовыми и подземными водами. Источник водного питания мелиоративных объектов – атмосферные осадки и подземные воды (25 % водного баланса).

4) *Допустимые районы* – пылеватые супеси и легкие суглинки до 1,5 м; подстилаются разнозернистыми водоносными песками мощностью 15–30 м и средним коэффициентом фильтрации 5–8 м/сут, глубиной залегания водоупора 15–30 м. Пески чередуются с прослоями суглинков и глин проводимостью более 50 м²/сут.

Приведенные условия применения вертикального дренажа не только относятся к региону Полесья, но могут использоваться также в других областях гумидной зоны с аналогичными гидрогеологическими и геологическими условиями.

Фрагменты применения оросительных установок («Фрегат», «Кубань») на опытно-производственном участке вертикального дренажа самотечно-насосной станции «ПОМС» приведены на рис. 1–3.

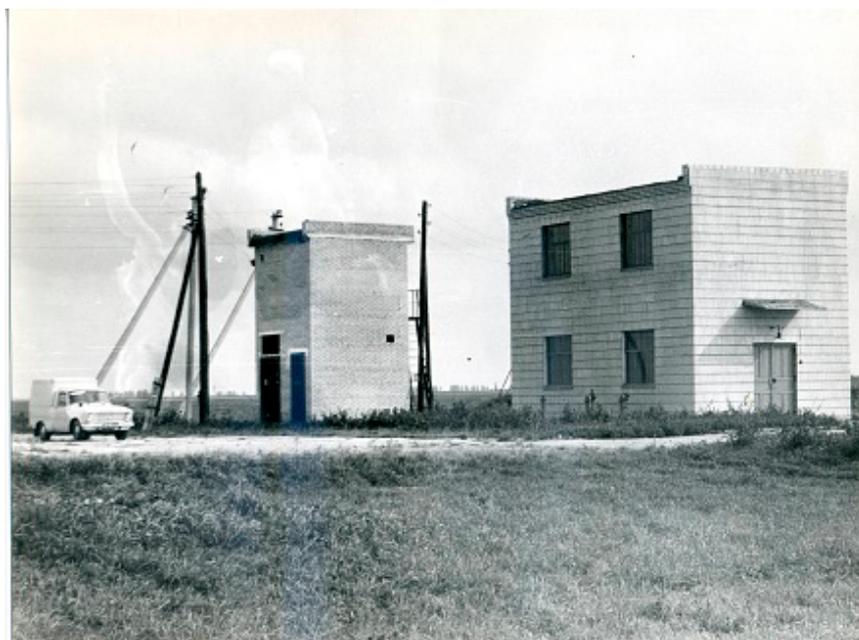


Рис. 1. Оросительная насосная станция



Рис. 2. Оросительная установка «Фрегат» в действии



Рис. 3. Дождевальная машина «Кубань»

Машина забирает воду из бетонного лотка длиной 2,5 км, в который она подается из дренажных скважин. Ширина захвата дождем – 800 м.

Выбор участков под вертикальный дренаж требует тщательного исследования гидрогеологических условий, а именно:

- проведения бурения зондировочных, разведывательных, разведывательно-эксплуатационных и наблюдательных скважин с отбором образцов грунта для определения физико-механических и фильтрационных свойств пород;

- выполнения опытно-фильтрационных работ путем откачек из скважин для расчета гидрогеологических параметров, оценки водообильности водоносного горизонта и установления осушительного эффекта скважин.

С целью уточнения и детализации геологического строения массива (определения напорности подземных вод и выбора места строительства скважин) рекомендуется проводить геофизические изыскания методом вертикального электрического зондирования и естественного электрического поля.

При проектировании вертикального дренажа в благоприятных и удовлетворительных условиях возможно дополнение его выборочным горизонтальным дренажем, который может устраиваться на пониженных элементах рельефа с отводом дренажной воды непосредственно в скважину. Это позволяет интенсифицировать осушение понижений, влагозапасы в которых в 3–4 раза больше, чем на повышенных элементах рельефа (объект – Полесская опытная мелиоративная станция; далее – ПОМС). Значения коэффициентов фильтрации грунтов на повышенных местах на глубине 20–40 см от поверхности в 2–10 раз больше, чем в понижениях [10].

Большая неоднородность коэффициента фильтрации отмечается и по площади участка. Исследования, проведенные на торфяниках ПОМС, показали, что в верхнем 10-сантиметровом слое он изменяется от 1 до 4,5 м/сут; на глубине 10–20 см – от 0,5 до 10 м/сут; на глубине 20–30 см – от 0,4 до 5,5 м/сут. На глубине 30–40 см на границе торфа и песка отмечалось наличие слабоводопроницаемой прослойки с коэффициентом фильтрации 0,12–0,3 м/сут [11].

Приведенные данные указывают на то, что тщательность гидрогеологических изысканий под вертикальный дренаж будет определять его работоспособность и эффективность.

Показателями целесообразности применения вертикального дренажа служат его стоимость и эксплуатационные затраты. При реконструкции мелиоративных систем необходимо дифференцированно подходить к выбору конструкции систем с учетом экономической целесообразности и экологического обоснования намечаемых мероприятий. При любом проектировании необходимо прорабатывать различные варианты систем, принимая во внимание не только затраты на строительство и эксплуатацию, но и их функциональные возможности. Для установления соотношения стоимости различных конструкций систем в различные годы сотрудниками БелНИИ мелиорации и луговодства совместно со специалистами института «Белгипроводхоз» в 1997 г. был произведен расчет стоимости реконструкции трех вариантов мелиоративных систем:

- открытой сети с расстоянием между каналами 200 м;
- горизонтального дренажа с расстоянием между дренами 50 м;
- вертикального дренажа, включающего 5 скважин с погружными насосами и 14 сифонных скважин.

За объект-аналог принят участок вертикального дренажа площадью 672 га на Полесской опытно-мелиоративной станции Лунинецкого р-на Брестской обл. Расчеты выполнены в ценах 1991 г. (1 USD = 1 7982 бел. руб. по состоянию на 01.07.1991 г.), пересчитаны на действовавшие в 1997 г. и в декабре 2001 г.

Расчеты показали, что в 1991 г. стоимость строительства 1 га горизонтального дренажа составляла 3575 тыс. руб., вертикального дренажа – 3415 тыс. руб., открытой сети – 3104 тыс. руб.; приведенные затраты – 0,61; 0,61; 0,56 тыс. руб. соответственно. То есть затраты на горизонтальный и вертикальный дренажи были практически одинаковы.

Аналогичные соотношения по стоимости сохранились и в 1997 г.:

- вертикальный дренаж – 15 524 млн руб. на 1 га осушения;
- горизонтальный дренаж – 15 144 млн руб. на 1 га осушения;

- открытая сеть – 12 760 млн руб. на 1 га осушения.

В 2001 г. стоимость строительства на 1 га осушения составляла:

- вертикальный дренаж – 1 929 млн руб.;
- горизонтальный дренаж – 2 020 млн руб.;
- открытая сеть – 1 753 млн руб.

Приведенные затраты на 1 га осушения составили:

- вертикальный дренаж – 4,09 млн руб.;
- горизонтальный – 3,44 млн руб.;
- открытая сеть – 3,16 млн руб.

Затраты на вертикальный дренаж получились на 19 % больше, чем на горизонтальный, что обуславливалось нарушением паритета цен на материалы, оборудование и электроэнергию.

Эксплуатационные затраты на 1 га в 1991 г.:

- вертикальный дренаж – 0,2 тыс. руб.;
- горизонтальный дренаж – 0,176 тыс. руб.;
- открытая сеть – 0,183 тыс. руб.

Эксплуатационные затраты на 1 га в 1997 г.:

- вертикальный дренаж – 1,185 млн руб.;
- горизонтальный дренаж – 0,74 млн руб.;
- открытая сеть – 0,74 млн руб.

В 1991 г. эксплуатационные затраты на вертикальном дренаже были на 20 % выше, чем на горизонтальном, а в 1997 г. – почти на 40 %. Стоимость электроэнергии составляла около 7 % всех эксплуатационных затрат.

Выводы

1. Постоянно изменяющиеся природные условия Беларуси, вызывающие появление экстремальных засушливых и влажных периодов, требуют проведения эффективных мелиоративных мероприятий и, прежде всего, конструктивных решений осушительных систем по регулированию водного режима почв в гумидной зоне Беларуси, особенно в южном регионе.

2. Существующие конструкции осушительно-увлажнительных систем не всегда эффективны в засушливые периоды из-за отсутствия воды на увлажнение.

3. Анализ естественных возобновляемых ресурсов подземных вод в Белорусском Полесье, а также гидрогеологических и геоморфологических условий показал, что в обширном регионе Полесской низменности могут применяться осушительно-оросительные си-

Как свидетельствуют многолетние данные, фактический расход электроэнергии на системе вертикального дренажа ПОМС составил 45–50 кВт × ч на 1 га с учетом проводимых опытных работ, что практически равнялось расходу польдерной насосной станции.

В 2023 г. стоимость строительства 1 га горизонтального дренажа составила 6435 тыс. руб., вертикального дренажа – 6147 тыс. руб., открытой сети – 5587 тыс. руб. с учетом инфляции доллара. Следует отметить, что в зависимости от места расположения мелиоративного объекта, наличия ЛЭП стоимость эксплуатации системы вертикального дренажа может быть значительно ниже. А если дренажные скважины планируется использовать для водообеспечения оросительной техники, забор воды может осуществляться центробежными насосами, подключенными к трактору или к бензиновому двигателю без электроснабжения.

Преимущество вертикального дренажа заключается в его функциональных возможностях. Имея восполняемый водоисточник (подземные воды), он может осуществлять осушение, орошение, водоснабжение пастбищ и обеспечивать противопожарные мероприятия на торфяниках. Системы вертикального дренажа отвечают требованиям рационального использования водных ресурсов, предотвращая излишний сброс воды.

стемы вертикального дренажа с использованием на орошение подземных вод.

4. Естественные возобновляемые ресурсы подземных вод в Белорусском Полесье позволяют использовать их в сельскохозяйственном производстве, в том числе и на орошение – без ущерба для природного комплекса Полесья.

5. С учетом проведенных исследований на опытно-производственных участках вертикального дренажа в Брестской обл. на площади 1350 га и данных Института геологии НАН Беларуси разработана классификация условий применения вертикального дренажа в Припятском Полесье.

6. Осушительно-оросительные системы вертикального дренажа целесообразно рассматривать как возможный способ регулирования водного режима почв в современных природных условиях.

Библиографический список

1. Осушение земель вертикальным дренажем / А. И. Мурашко [и др.]. – Минск : Ураджай, 1980. – 248 с.
2. Митрахович, А. И. О регулировании водного режима почв на осушенных землях с учетом экстремальных погодных условий / А. И. Митрахович, Н. М. Авраменко // Мелиорация. – 2015. – № 2 (74). – С. 58–66.
3. Плотников, Н. И. Подземные воды – наше богатство / Н. И. Плотников. – Москва : Недра, 1982. – 272 с.
4. Козлов, М. Ф. Гидрогеология Припятского Полесья : в 2 т. / М. Ф. Козлов. – Минск : Наука и техника, 1976. – Т. 1. – 152 с.
5. Волчек, А. А. Водные ресурсы Брестской области / А. А. Волчек, М. Ю. Калинин. – Минск : Издательский центр БГУ, 2002. – 436 с.
6. Кудельский, А. В. Подземные воды Беларуси / А. В. Кудельский, В. И. Пашкевич, М. Г. Яковеев. – Минск : Наука и техника, 1998. – 260 с.
7. Костюкович, П. Н. Гидрогеологические основы вертикального дренажа / П. Н. Костюкович. – Минск : Наука и техника, 1979. – 284 с.
8. Мелиорация и освоение поймы Припяти / А. Е. Волков [и др.] ; под ред. С. Г. Скоропанова. – Минск : Ураджай, 1982. – 246 с.
9. Митрахович, А. И. Оценка работоспособности и надежности систем вертикального дренажа в Республике Беларусь / А. И. Митрахович // Мелиорация переувлажненных земель : сб. науч. тр. ; А. П. Лихацевич (отв. ред.). – Минск : Ураджай, 1998. – Т. XLV. – С. 45–52.
10. Митрахович, А. И. Особенности гидрогеологических изысканий на мелиоративных объектах и подтапливаемых городских территориях / А. И. Митрахович, В. П. Иванов, А. П. Майорчик // Природнае асяроддзе Полесся: асаблівасці і перспектывы развіцця : зб. навук. пр. / ГНУ «Полесский аграрно-экологический институт НАН Беларуси» ; гал. рэд. М. В. Міхальчук. – Брест : Альтернатива, 2011. – Вып. 4.– С. 53–55.
11. Временные рекомендации по проектированию вертикального дренажа в Белорусском Полесье / А. И. Мурашко [и др.]. – Минск : [б. и.], 1978. – 76 с.

Поступила 25 августа 2023 г.

ОЦЕНКА КОМПЛЕКСНОГО ВЛИЯНИЯ ВОДНО-ПИЩЕВОГО РЕЖИМА НА УРОЖАЙНОСТЬ САХАРНОЙ СВЕКЛЫ

А. П. Лихацевич¹, доктор технических наук

Г. В. Латушкина¹, кандидат технических наук

А. В. Малышко², заведующий отделом

¹РУП «Институт мелиорации», г. Минск, Беларусь

²РУП «Опытная научная станция по сахарной свекле», г. Несвиж, Беларусь

Аннотация

Математическое моделирование зависимости урожайности сахарной свеклы от уровня питания и влагообеспеченности выполнено на основе физического принципа причинно-следственных взаимодействий (*causal interaction*) в замкнутой физической системе с использованием данных сортоиспытательных станций (г. Кобрин, Молодечно, Несвиж) и сортоиспытательного участка (г. Щучин). Установлены опорные показатели математической модели зависимости урожайности сахарной свеклы от факторов питания и влагообеспеченности. Отмечена необходимость дополнения применяемой методики сортоиспытаний сельскохозяйственных культур контролем за атмосферными осадками и температурами воздуха непосредственно на территории возделывания культур.

Ключевые слова: урожайность, питание растений, атмосферные осадки, температуры воздуха, причинно-следственные взаимодействия, опорные показатели математической модели урожайности.

Abstract

A. P. Likhatchevich, G. V. Latushkina, A. V. Malyshko

ASSESSMENT OF THE COMPLEX INFLUENCE OF THE WATER AND NUTRITIONAL REGIME ON THE YIELD OF SUGAR BEET

Mathematical modeling of the dependence of sugar beet yield on the level of nutrition and moisture content was performed on the basis of the physical principle of cause-and-effect interactions (*causal interaction*) in a closed physical system using data from variety testing stations (Kobrin, Molodechno, Nesvizh) and a variety testing site (Shchuchin). The reference indicators of the mathematical model of the dependence of sugar beet yield on nutrition factors and moisture supply have been established. The necessity of supplementing the method of variety testing of agricultural crops with the control of atmospheric precipitation and air temperatures directly in the territory of cultivation of crops is noted.

Keywords: productivity, plant nutrition, atmospheric precipitation, air temperature, cause-and-effect interactions, reference indicators of the mathematical model of productivity.

Введение

Теоретической основой представления результатов исследований в сельскохозяйственной науке являются математическая статистика и теория вероятности с применением в основном эмпирических форм обобщения опытных данных. Весьма редко используется математический аппарат теории планирования эксперимента. Это вполне объяснимо, поскольку основные положения теории планирования эксперимента справедливы при проведении активного опыта, в котором могут присутствовать только управляемые переменные [1]. В аграрной науке, связанной с изучением воздействия на сельскохозяйственные

культуры не только техногенных управляемых, но и природных неуправляемых факторов с непредсказуемой динамикой, использование математической теории планирования эксперимента весьма ограничено. Поэтому для цифрового описания изучаемых процессов (например, результатов воздействия условий окружающей среды на урожай) привлекается неконтролируемое множество эмпирических уравнений произвольной структуры, зависящих от субъективных предпочтений их авторов [2–14].

Вместе с тем существуют объективные причины, ограничивающие использование

подобных эмпирических формул в земледельческой науке. Неоднократно было показано, что эти формулы при любом коэффициенте детерминации не являются действительными моделями исследуемых процессов, поскольку не имеют физического смысла, а представляют собой лишь формальное математическое сглаживание данных конкретных экспериментов [15, 16]. Поэтому эмпирико-статистические методики обработки данных полевого опыта всегда частное решение, результаты которого весьма сложно использовать даже в подобных исследованиях, но выполненных в других условиях. Множество эмпирических зависимостей, предлагаемых для обобщения опытных данных, в земледельческой науке прогрессивно растет, вступая в противоречие с традиционным стремлением ученых к единообразию и порядку, свойственным высокоорганизованному научному анализу. Остро ощущается необходимость разработки единой методологии обработки данных полевого агрономического опыта.

Математическая модель урожайности

Процесс формирования урожая в течение вегетации можно представить как функцию, в которой аргументами являются урожайоформирующие факторы (природные и техногенные). Накопление урожая можно рассматривать, например, в динамике роста (от начала вегетации до уборки урожая) как следствие воздействия факторов, изменяющихся во времени. Подобную динамическую модель урожая предлагал, например, В. П. Дмитренко [17]. Отсутствие теоретического развития подобного моделирования и практического его применения в течение последних 45 лет связано не столько со сложностью модели, сколько с ограниченной для исследователей возможностью ее полного цифрового наполнения.

В отличие от динамической, в статической модели урожая рассматривается зависимость конечного урожая от суммарного влияния урожайоформирующих факторов не в процессе роста культуры, а сразу в целом за вегетацию. Безусловно, разработка статической математической модели урожая проще, чем проведение динамического моделирования. Несмотря на это, до настоящего времени в аграрной науке продвижение научных исследований

Математическая модель объекта исследований – это математическое выражение, содержательно отражающее свойства изучаемого объекта, в частности структуру и количественные связи, его характеризующие. Как и в математической теории планирования эксперимента, при моделировании урожайности нами рассматривается модель, основанная на результатах эксперимента, то есть экспериментальная математическая модель, которую можно отнести к статистическим моделям [1]. Основная особенность экспериментальных математических (статистических) моделей заключается в том, что они описывают поведение объекта в среднем, характеризуя его неслучайные свойства. С помощью подобной модели нельзя абсолютно точно предсказать конечный результат в каждом опыте, но можно со свойственной данной модели погрешностью указать, вокруг какого центра будут группироваться значения при заданном сочетании показателей факторов, если для этого сочетания опыты повторять многократно.

даже в статическом моделировании идет весьма медленно, хотя именно здесь следует ожидать прорывных результатов.

Зависимость урожайности любой сельскохозяйственной культуры от урожайоформирующих факторов можно представить аналитически, выбрав в качестве методологической основы физический принцип баланса причинно-следственных взаимодействий (*causal interaction*) в замкнутой физической системе [18].

При этом необходимо учесть известные законы земледелия и установленные опытным путем закономерности [2–18]:

- 1) растения – это система с памятью, то есть прирост урожая зависит от условий его формирования, определяемых факторами среды;
- 2) если условия среды (влаги, пищи, тепла и др.) находятся в оптимуме, то растения реализуют максимум урожайности;
- 3) при отклонении фактора от оптимального значения в любую сторону (к минимуму или к максимуму) растения испытывают стресс, который снижает урожай;
- 4) величина отклонения факторических значений факторов среды (пищи, влагообеспе-

ценности культуры, температур воздуха и др.) от их оптимума определяет величину стресса, испытываемого растениями при формировании урожая;

5) с приближением условий среды к оптимуму прирост урожая замедляется;

6) урожаеформирующие факторы равноценны по влиянию на растения и не могут заменить друг друга;

7) наибольшее влияние на снижение урожая оказывает фактор, находящийся в минимуме (закон минимума).

Физический принцип баланса причинно-следственных взаимодействий в замкнутой физической системе в рамках данной задачи формулируется следующим образом [18]:

1) бесконечно малое изменение урожайности под воздействием конкретного урожаеформирующего фактора пропорционально произведению управляющего воздействия данного фактора на показатель восприимчивости урожая к его действию;

2) каждый из факторов, действующих на урожай, сообщает ему изменение, не зависящее от воздействий других факторов.

Заметим, что сформулированный выше физический принцип баланса причинно-следственных взаимодействий в замкнутой физической системе предполагает независимость урожаеформирующих факторов друг от друга. Формально этот принцип для математической модели урожая можно представить в виде обобщающего выражения

$$\frac{\partial Y}{\partial R_i} = \alpha_i f_i \left(\frac{Y}{R_i} \right) g_i(R_i), \quad (1)$$

где $\partial Y / \partial R_i$ – частная производная функции урожая (Y) по i -му фактору (R_i), соответствующая интенсивности изменения Y при изменении R_i при условии, что другие факторы (аргументы функции) не изменяются; α_i – безразмерная константа (может изменяться от нуля при полном отсутствии реакции на i -й фактор до единицы при полной зависимости от данного урожаеформирующего фактора); $f_i(Y/R_i)$ – функция, характеризующая восприимчивость урожая к действию i -го фактора в пределах рассматриваемого диапазона его воздействия; R_i – обобщенное представление i -го фактора; $g_i(R_i)$ – функция, характеризующая управляющее воздействие i -го фактора (R_i) на урожай (Y).

Функции, входящие в (1), должны учитывать известные законы земледелия и установленные опытным путем закономерности, которые формируют поле контролируемых переменных (Y, R_i). Например, управляющее воздействие любого урожаеформирующего фактора на урожай $g_i(R_i)$ соотносится с позициями 2-4 представленного выше перечня установленных в опытах закономерностей.

Кроме того, известно, что растения как объект воздействия условий окружающей среды при формировании урожая накладывают двустороннее ограничение (по минимуму и максимуму) на каждый фактор.

Исходя из отмеченных граничных условий, упростим задачу и будем рассматривать только интересующие нас области зависимости урожая от урожаеформирующих факторов. Например, при направленном регулировании пищевого режима наиболее предпочтительно построение модели в области с повышением доз вносимых удобрений от некоторого минимума до оптимального уровня, а при регулировании водного режима растений следует отдельно анализировать области либо снижения влагообеспеченности от максимума до оптимума (при ликвидации переувлажнения), либо ее целенаправленного повышения от минимума до оптимума (при проведении дополнительного увлажнения в засушливых условиях). В свою очередь, поскольку тепловой фактор в полевых опытах, как правило, не регулируется, в анализе можно использовать и область роста теплового воздействия на урожай (от оптимума до максимума), и область недостатка тепла (от минимума до оптимума). Выбор зависит от региона исследований и предпочтений автора моделирования.

Раскроем процесс наполнения функции (1) конкретной информацией на примере построения зависимости урожая от воздействия основного (первого) по значимости фактора (R_1 – уровень минерального питания растений). Для этого можно использовать несколько математических выражений. Например, в нашем исследовании [18] составные элементы выражения (1), формализующего принцип баланса причинно-следственных взаимодействий в системе «факторы среды (причина) – урожайность (следствие)», приведены в наиболее сложной форме с целью ох-

ватить всё поле контролируемых переменных, управляющих поведением функции в пределах $0 \leq Y \leq Y_{\max}$. Однако в полевых опытах и в производственных условиях такой диапазон изменения урожая, как правило, не наблюдается. Обычно этот диапазон ограничивается пределами $Y_{\min} \leq Y \leq Y_{\max}$. Результаты анализа многочисленных данных [2–18] показывают, что принцип баланса причинно-следственных взаимодействий в системе «факторы среды (причина) – урожайность (следствие)» можно представить в упрощенном виде в пределах, симметричных относительно оптимального значения i -го фактора, при котором урожай достигает своего максимума:

$$0,25 < \frac{R_i}{R_{i(\text{opt})}} < 1,75, \quad (2)$$

где $R_{i(\text{opt})}$ – оптимальное значение i -го фактора, при котором урожай реализует свой потенциал (достигает своего максимума).

При этом можно принять за основу следующие простейшие функции, не противоречащие упомянутым законам земледелия и установленным закономерностям:

- реакция растений на воздействие i -го фактора пропорциональна отношению величины потенциала урожайности (по i -му фактору) к максимально возможной величине стресса растения от недостатка i -го фактора до оптимума:

$$f_i \left(\frac{Y}{R_i} \right) = \frac{Y_{i(\text{max})}}{R_{i(\text{opt})} - R_{i(\text{min,max})}}, \quad (3)$$

где Y – урожай; $Y_{i(\text{max})}$ – максимум урожая по i -му фактору (с учетом его снижения, вызванного неоптимальностью других урожаеформирующих факторов); $R_{i(\text{min,max})}$ – условное минимальное или максимальное значение i -го фактора, при котором урожай не формируется;

- управляющее воздействие i -го фактора на урожай равно отношению фактического недостатка фактора до оптимума к возможному максимуму этого недостатка, то есть:

$$g_i(R_i) = \frac{R_{i(\text{opt})} - R_i}{R_{i(\text{opt})} - R_{i(\text{min,max})}}. \quad (4)$$

С учетом зависимостей (3) и (4) решением дифференциального уравнения (1) является:

$$\frac{Y}{Y_{n(\text{max})}} = \prod_{i=1}^n \left[1 - a_i \left(\frac{R_{i(\text{opt})} - R_i}{R_{i(\text{opt})} - R_{i(\text{min,max})}} \right)^2 \right], \quad (5)$$

где $Y_{n(\text{max})}$ – максимум урожая по n факторам (с учетом его снижения, вызванного неоптимальностью других неучтенных урожаеформирующих факторов); n – количество учтенных факторов.

Заметим, что модель (5) симметрична относительно оптимальных значений урожаеформирующих факторов, поэтому использование в ней условно минимального или максимального значений i -го фактора дает один и тот же результат. Причем, благодаря мультипликативной форме в модели (5), во-первых, априори соблюдается вышеупомянутый закон минимума. Во-вторых, в отличие от известной методики планирования эксперимента [1], цель которой – построение регрессионных зависимостей в виде многочленных полиномов с ограниченным числом переменных, мультипликативная функция (5) не только является математической моделью урожая, в которой каждая составляющая имеет конкретную физическую природу, но и может включать неограниченное число (n) переменных.

Известно, что максимальная урожайность может быть получена, если все урожаеформирующие факторы имеют оптимальное значение для конкретной культуры. Этот урожай соответствует биологическому потенциалу культуры. При отклонении значения любого из урожаеформирующих факторов от оптимума урожайность снижается. Если в оптимуме находится один урожаеформирующий фактор, а остальные вне его, то максимальная урожайность будет потенциальной только для данного фактора, что ниже биологического потенциала культуры. Если же в оптимуме будут находиться несколько факторов, то урожайность станет потенциальной только для этих факторов, что также ниже биологического потенциала культуры. Из сказанного следует, что чем больше урожаеформирующих факторов учитываются при моделировании урожайности, тем ближе потенциал урожайности этих факторов ($Y_{n(\text{max})}$) к биологическому потенциалу культуры:

$$\lim_{n \rightarrow N} Y_{n(\text{max})} = Y_{\text{bio}}, \quad (6)$$

где $Y_{n(\max)}$ – максимум урожая по n факторам (с учетом его снижения, вызванного неоптимальностью $N-n$ неучтенных урожаеформирующих факторов); N – общее количество всех факторов, формирующих урожай; Y_{bio} – биологический потенциал урожайности культуры.

Таким образом, согласно (6), максимальный урожай соответствует биологическому потенциалу культуры только при учете в модели (1) всех урожаеформирующих факторов.

Наиболее сложное и ответственное действие в предлагаемой нами схеме математического моделирования урожая – установление исходных зависимостей вида (3), (4). В первую очередь при этом требуется соблюдать следующие условия: *необходимым условием* является полное соответствие предлагаемых зависимостей физическим закономерностям, объективно установленным в опытах; *достаточное условие* состоит в обязательном соблюдении баланса размерностей всех показателей, входящих в предлагаемые формы связи (3) и (4).

Конкретизируем формулу (5), рассматривая на первом этапе только воздействие минерального питания растений на урожай. В этом случае

$$\frac{Y}{Y_{NPK(\max)}} = \left[1 - a_{NPK} \left(\frac{NPK_{opt} - NPK}{NPK_{opt} - NPK_{min}} \right)^2 \right], \quad (7)$$

где $Y_{NPK(\max)}$ – максимум урожая (потенциал урожайности), полученный при оптимальном уровне питания (оптимальной суммарной дозе NPK) с учетом его снижения при неоптимальности других неучтенных урожаеформирующих факторов; a_{NPK} – константа, характеризующая степень влияния пищи на урожай; NPK_{opt} – оптимальное количество питательных веществ (сумма действующего вещества азота, фосфора, калия в почве и вносимых), при которых достигается максимум урожая; NPK_{min} – условный граничный показатель суммы NPK (сумма содержащихся в почве и вносимых), при которой урожай не формируется.

Общую модельную функцию (5) и ее частное выражение (7) можно применять в любых регионах и любых почвенно-климатических условиях. Причем исходные положения, использованные нами при указанных выше теоретических построениях, не связаны с какими-либо ограничениями. Поэтому математическая модель урожая, представленная в виде криволинейной функции (7), действи-

тельна в области (2) для любой сельскохозяйственной культуры в любых условиях ее возделывания.

Сложность использования в расчетах зависимости урожайности культуры от уровня питания (сумм действующего вещества азота, фосфора и калия, содержащихся в почве и вносимых) проистекает из-за отсутствия согласования размерностей данных показателей, рассчитываемых по разным методикам. Дозы вносимых удобрений (NPK) измеряют в кг действующего вещества на гектар (кг д. в./га). А содержание в почве азота определяют по наличию гумуса (измеряется в процентах), содержание фосфора (P_2O_5) и калия (K_2O) измеряют в мг/кг (миллиграммов вещества в килограмме почвы). Но для расчета по (6) все размерности необходимо согласовать, то есть привести к одной. Для этого используется методика, разработанная в РУП «Институт почвоведения и агрохимии». Суть ее состоит в следующем.

1) Принято считать, что вес пахотного слоя составляет 3000 тонн (площадь 1 га – 10 000 м², средняя глубина пахотного слоя дерново-подзолистых почв – 25 см, средняя плотность пахотного слоя дерново-подзолистых почв – 1,2 г/см³, или 1,2 т/м³; таким образом, 10 000 м² × 0,25 м × 1,2 т/м³ = 3000 т).

2) Содержание легкогидролизуемого азота в почве можно рассчитать по содержанию гумуса: в гумусе 5 % азота, содержание легкогидролизуемого азота (по обобщенным данным Всероссийского научно-исследовательского института агрохимии имени Д. Н. Прянишникова) в дерново-подзолистых почвах составляет в среднем 3 % от общего количества. Коэффициент использования составляет 55 %. Например, гумуса в почве 2 %. Если масса пахотного слоя на 1 га равна 3000 т, то гумуса в нем 60 т, общего азота – 3 т, а легкогидролизуемого азота – 90 кг/га, доступного азота для растений – 90 × 0,55 = 50 кг/га.

3) Коэффициент использования фосфора из почвы составляет 10 % от валового содержания. Например, содержание фосфора 200 мг/га, следовательно, 200 × 3 × 0,1 = 60 кг/га.

4) Коэффициент использования калия из почвы составляет 13 % от валового содержания. Например, содержание калия 250 мг/кг, следовательно, 250 × 3 × 0,13 = 97,5 кг/га.

Результаты исследований и их обсуждение

Проверим работоспособность формулы (7) по данным урожайности сахарной свеклы (гибрид NZ – тип), возделываемой в свеклосеющей зоне Беларуси на сортоиспытательных станциях (гг. Кобрин, Молодечно, Несвиж) и сортоиспытательном участке (г. Щучин).

В табл. 1 приведены характеристики уровня питания и урожайность сахарной свеклы за многолетний период. При проведении расчета исключены данные ГСХУ «Несвижская СС» за 2016 г. вследствие выявленной ошибки в определении содержания в почве фосфора (P_2O_5). Данные Щучинского ГСУ за 2021 и 2022 гг. отсутствуют по причине их выбраковки Государственной комиссией.

В указанной таблице приняты следующие обозначения: N_0 – содержание в почве азота; P_0 – содержание в почве фосфора; K_0 – содержание в почве калия; $N_0P_0K_0$ – суммарное содержание в почве азота, фосфора, калия; N_B

– внесено в почву азота; P_B – внесено в почву фосфора; K_B – внесено в почву калия; $N_BP_BK_B$ – суммарное внесение в почву азота, фосфора, калия; $(N_0P_0K_0 + N_BP_BK_B)$ – суммарное количество содержащихся в почве и внесенных азота, фосфора, калия.

При анализе результатов, полученных в расчетах по формуле (7), установлено, что коэффициент, характеризующий степень влияния уровня питания растений на урожайность для всей свеклосеющей зоны Беларуси, равен единице ($a_{NPK} = 1$).

Для сокращения написания формул, используемых далее в анализе, примем следующее обозначение:

$$NPK = N_0P_0K_0 + N_BP_BK_B. \quad (8)$$

На рис. 1 показаны построенные по данным табл. 1 графики связи урожайности сахарной свеклы с уровнем питания растений.

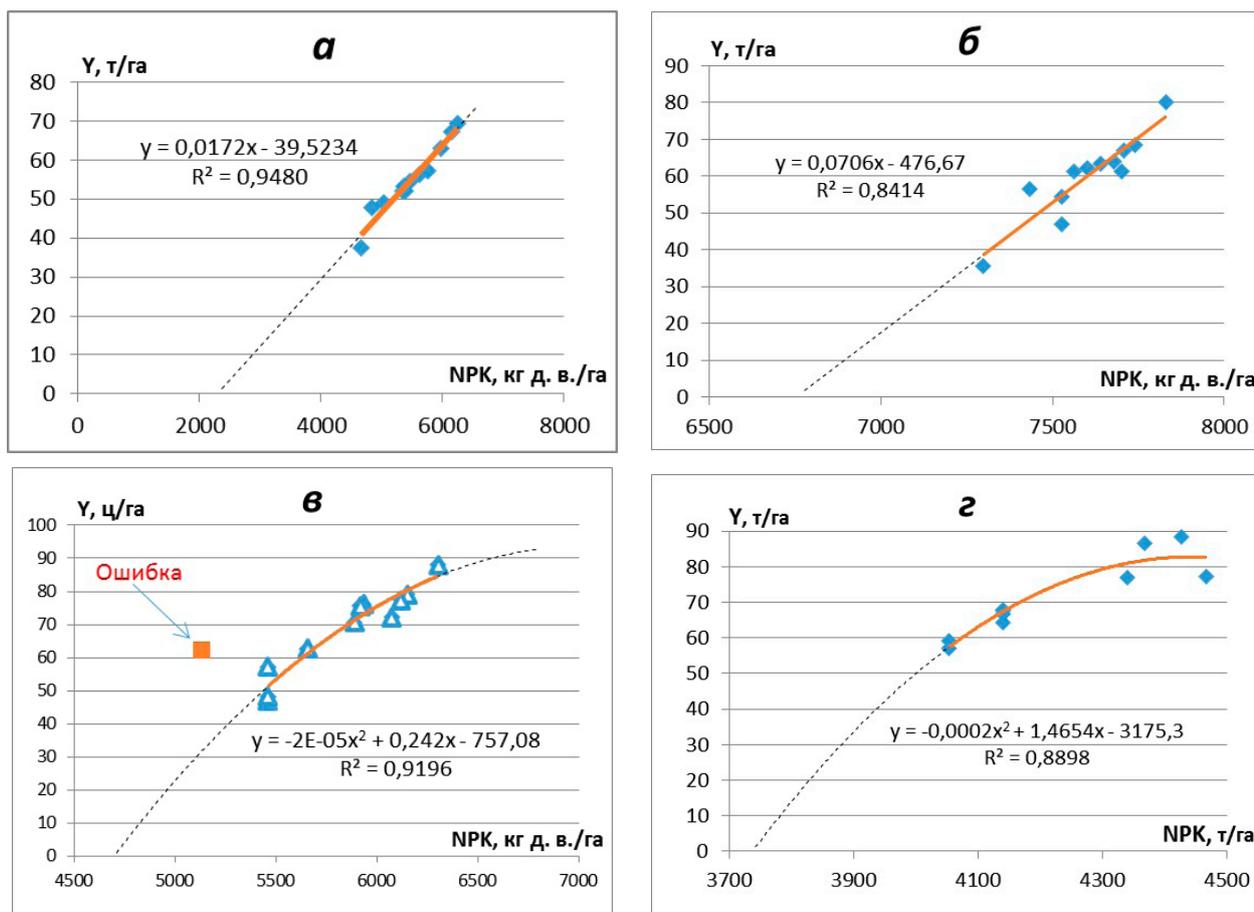


Рис. 1. Графики связи урожайности сахарной свеклы с уровнем питания:
 а – ГСХУ «Кобринская СС»; б – ГСХУ «Молодечненская СС»;
 в – ГСХУ «Несвижская СС»; з – Щучинский ГСУ

Таблица 1. Содержание элементов питания и урожайность сахарной свеклы

№ п/п	Год	Агрохимические показатели почвы				Содержание в почве						Внесено					Сумма	Урожайность
		Гумус %	P ₂ O ₅	K ₂ O	N ₀	P ₀	K ₀	N ₀ P ₀ K ₀	N _B	P _B	K _B	N _B P _B K _B	кг действующего вещества / га					
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15				
ГСХУ «Кобринская СС»																		
1	2011	1,9	390	410	2850	1170	1230	5250	110	90	180	380	5630	56,4				
2	2012	2,15	410	430	3225	1230	1290	5745	120	90	200	410	6155	67,1				
3	2013	1,95	390	420	2925	1170	1260	5355	110	90	200	400	5755	57,2				
4	2014	1,64	320	370	2460	960	1110	4530	90	60	150	300	4830	47,9				
5	2015	1,6	315	360	2400	945	1080	4425	60	45	140	245	4670	37,5				
6	2016	2,1	380	430	3150	1140	1290	5580	120	60	210	390	5970	63,1				
7	2017	2,2	420	430	3300	1260	1290	5850	130	60	210	400	6250	69,5				
8	2018	1,84	350	410	2760	1050	1230	5040	110	45	180	335	5375	53,3				
9	2019	1,85	360	410	2775	1080	1230	5085	110	60	200	370	5455	54,5				
10	2020	1,84	380	380	2760	1140	1140	5040	90	60	150	300	5340	52,0				
11	2021	1,72	330	390	2580	990	1170	4740	90	60	150	300	5040	49,0				
12	2022	1,83	370	410	2745	1110	1230	5085	90	70	150	310	5395	52,0				
ГСХУ «Молодеченская СС»																		
1	2011	3,62	335	350	5430	1005	1050	7485	136	90	120	346	7831	80,2				
2	2012	3,45	319	334	5175	957	1002	7134	120	90	90	300	7434	56,4				
3	2013	3,53	321	321	5295	963	963	7221	130	90	120	340	7561	61,4				
4	2014	3,6	325	321	5400	975	963	7338	130	90	120	340	7678	63,9				
5	2015	3,4	319	314	5100	957	942	6999	120	90	90	300	7299	35,6				
6	2016	3,58	322	321	5370	966	963	7299	130	90	120	340	7639	63,4				
7	2017	3,55	324	321	5325	972	963	7260	130	90	120	340	7600	62,1				
8	2018	3,62	325	321	5430	975	963	7368	130	90	120	340	7708	67,1				
9	2019	3,62	320	324	5430	960	972	7362	130	90	120	340	7702	61,2				
10	2020	3,55	320	314	5325	960	942	7227	120	90	90	300	7527	54,3				
11	2021	3,55	320	314	5325	960	942	7227	120	90	90	300	7527	46,8				
12	2022	3,62	315	325	5430	945	975	7350	120	90	180	390	7740	68,4				

Окончание табл. 1

№ п/п	Год	Агрохимические показатели почвы				Содержание в почве						Внесено						Сумма		Урожайность т/га
		Гумус %	P ₂ O ₅	K ₂ O	N ₀	P ₀	K ₀	N ₀ P ₀ K ₀	N _B	P _B	K _B	N _B P _B K _B	P _B	K _B	N _B P _B K _B	NPК				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15						
ГСУ «Несвижская СС»																				
1	2011	2,2	323	410	3300	969	1230	5499	120	90	180	390	5889	70,6						
2	2012	2,3	344	420	3450	1032	1260	5742	120	90	200	410	6152	79,0						
3	2013	2,2	332	410	3300	996	1230	5526	120	90	200	410	5936	76,2						
4	2014	2,2	330	406	3300	990	1218	5508	120	90	200	410	5918	75,7						
5	2015	2,1	316	390	3150	948	1170	5268	120	90	180	390	5658	62,8						
6	2016	2,1	120	410	3150	360	1230	4740	120	90	180	390	5130	62,3						
7	2017	2,4	345	420	3600	1035	1260	5895	120	90	200	410	6305	88,0						
8	2018	2,0	310	380	3000	930	1140	5070	120	90	180	390	5460	57,2						
9	2019	2,3	340	420	3450	1020	1260	5730	120	90	180	390	6120	77,4						
10	2020	2,0	300	390	3000	900	1170	5070	120	90	180	390	5460	46,8						
11	2021	2,3	335	410	3450	1005	1230	5685	120	90	180	390	6075	72,1						
12	2022	2	310	380	3000	930	1140	5070	120	90	180	390	5460	48,2						
Щучинский ГСУ																				
1	2011	1,49	428	223	2235	1284	669	4188	60	60	120	240	4428	88,5						
2	2012	1,45	428	223	2175	1284	669	4128	60	60	120	240	4368	86,5						
3	2013	1,45	428	214	2175	1284	642	4101	60	60	120	240	4341	77,0						
4	2014	1,35	415	210	2025	1245	630	3900	60	60	120	240	4140	67,9						
5	2015	1,35	415	210	2025	1245	630	3900	60	60	120	240	4140	64,2						
6	2016	1,35	415	210	2025	1245	630	3900	60	60	120	240	4140	67,6						
7	2017	1,35	415	210	2025	1245	630	3900	60	60	120	240	4140	66,6						
8	2018	1,50	435	224	2250	1305	672	4227	60	60	120	240	4467	77,4						
9	2019	1,28	425	206	1920	1275	618	3813	60	60	120	240	4053	59,3						
10	2020	1,28	425	206	1920	1275	618	3813	60	60	120	240	4053	57,2						

Как видим, связь между уровнем питания и урожайностью сахарной свеклы подтверждается для всех сортоиспытательных станций (Кобрин, Молодечно, Несвиж) и сортоиспытательного участка (Щучин).

Важно то, что при установлении зависимости урожайности культуры от уровня ее питания необходимо внимательно анализировать первичную информацию и обязательно исключать из анализа резко выделяющиеся значения в исходных данных, что и сделано выше (рис. 1 в).

Приведенные на рис. 1 графики демонстрируют различную форму связи $Y(NPK)$. Если для ГСХУ «Несвижская СС» и Щучинского ГСУ подтверждена справедливость параболической зависимости вида (7), то для ГСХУ «Кобринская СС» и «Молодечненская СС» оказалась приемлемой линейная зависимость. Для устранения данного несоответствия сошлемся на закон минимума и установленную в опытах законо-

мерность: с приближением условий среды (в данном случае уровня питания) к оптимуму прирост урожая замедляется. В соответствии с ними анализ в дальнейшем будем выполнять только с использованием функции вида (7).

Выбранные из табл. 1 исходные показатели для математического моделирования урожайности сахарной свеклы по всем анализируемым ГСХУ и ГСУ представлены в сводной табл. 2, где можно проследить взаимозависимость между некоторыми показателями, определяющими уровень питания растений. Например, на посевах сахарной свеклы подтверждается отрицательная связь между содержанием в почве P_2O_5 (более 320 мг/кг) и содержанием гумуса (рис. 2).

В табл. 3 приведены опорные показатели математической модели урожайности сахарной свеклы, полученные при построении математической модели урожайности сахарной свеклы по формуле (7).

Таблица 2. Исходные показатели математической модели урожайности сахарной свеклы

№ п/п	Наименование	Размерность	Сортоиспытательные станции и участок			
			Кобрин	Молодечно	Несвиж	Щучин
1	Продолжительность наблюдений	лет	12	12	11	10
2	Урожайность	т/га	37,5–69,5	35,6–80,2	46,8–88,0	57,2–88,5
3	Урожайность (средне-многолетняя)	т/га	55	59,3	68,5	71,2
4	Гумус	%	1,6–2,2	3,40–3,62	2,0–2,3	1,28–1,50
5	Гумус (ср.)	%	1,89	3,55	2,18	1,39
6	P_2O_5	мг/кг	315–420	319–335	300–345	415–435
7	P_2O_5 (ср.)	мг/кг	368	323	309	423
8	K_2O	мг/кг	360–430	314–350	380–420	206–224
9	K_2O (ср.)	мг/кг	404	323	403	214
10	N_0	кг д. в./га	2400–3300	5100–5430	3000–3600	1920–2250
11	N_0 (среднее)	кг д. в./га	2828	5336	3272	2078
12	P_0	кг д. в./га	945–1260	945–1005	900–1035	1245–1305
13	P_0 (среднее)	кг д. в./га	1104	966	978	1269
14	K_0	кг д. в./га	1080–1290	942–1050	1140–1260	618–672
15	K_0 (среднее)	кг д. в./га	1212	970	1210	641
16	$N_0P_0K_0$	кг д. в./га	4425–5850	6999–7485	5070–5895	3813–4227
17	$N_0P_0K_0$ (среднее)	кг д. в./га	5144	7272	5460	3988
18	N_B	кг д. в./га	60–130	120–136	120	60
19	N_B (среднее)	кг д. в./га	102	126	120	60
20	P_B	кг д. в./га	45–90	90	90	60
21	P_B (среднее)	кг д. в./га	66	90	90	60
22	K_B	кг д. в./га	140–210	90–120	180–200	120
23	K_B (среднее)	кг д. в./га	177	115	187	120
24	$N_BP_BK_B$	кг д. в./га	245–410	300–346	390–410	240
25	$N_BP_BK_B$ (среднее)	кг д. в./га	345	331	397	240
26	NPK (ср.)	кг д. в./га	5489	7604	5858	4227

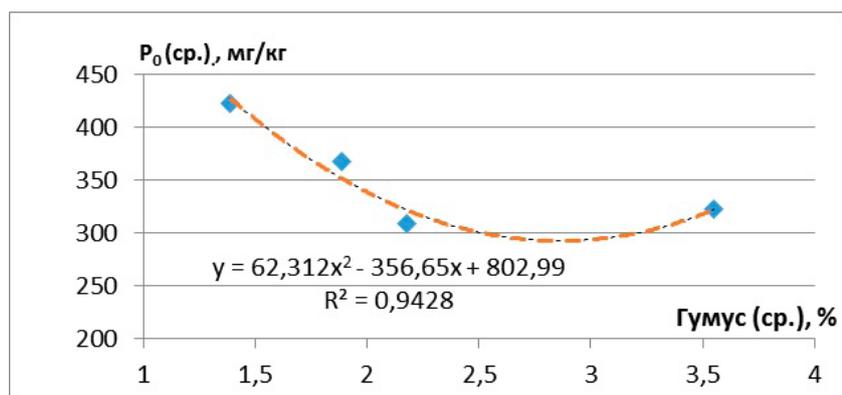


Рис. 2. Взаимосвязь между содержанием в почве фосфора и гумуса на посевах сахарной свеклы в ГСХУ (Кобрин, Молодечно, Несвиж) и ГСУ (Щучин)

Таблица 3. Опорные показатели математической модели урожайности сахарной свеклы (7)

№ п/п	Наименование	Размерность	Сортоиспытательные станции и участок			
			Кобрин	Молодечно	Несвиж	Щучин
1	Y_{\max}	т/га	103	113	100	89
2	NPK_{opt}	кг д. в./га	11000	9100	7400	4700
3	NPK_{min}	кг д. в./га	2900	6900	4600	3600
4	$NPK_{\text{opt}} - NPK_{\text{min}}$	кг д. в./га	7400	2200	2800	1100
5	$\frac{NPK_{\text{min}}}{NPK_{\text{opt}}}$	б/р	0,264	0,758	0,622	0,766
6	Стандартное отклонение (δ)	т/га	2,13	4,53	3,78	3,81
7	Коэффициент детерминации (R^2)	б/р	0,94	0,84	0,92	0,87

Согласно данным табл. 3, в расчете выполнено ограничительное условие (2).

Анализ опорных показателей математической модели (табл. 3, п. 4) показывает, что разница между оптимальным и минимальным уровнями питания растений сахарной свеклы ($NPK_{\text{opt}} - NPK_{\text{min}}$) в Щучинском ГСУ меньше, чем на участках ГСХУ «Кобринская СС», «Молодечненская СС» и «Несвижская СС». Причем разброс урожайностей сахарной свеклы в Щучинском ГСУ по годам исследований сконцентрирован в области, очень близкой к максимуму ($Y_{NPK(\max)}$). Это вызвано тем, что высокое содержание в почве фосфора плюс дополнительная его доза, внесенная с удобрениями, при очень низком содержании в почве гумуса катастрофически сказываются на урожайности сахарной свеклы. Вероятнее всего, именно данное обстоятельство стало причиной выбраковки Государственной ко-

миссией результатов опыта с данной культурой в Щучинском ГСУ за 2021 и 2022 гг.

Графики, представленные на рис. 3, показывают, что при расчете урожайности по формуле (7) наибольшее приближение к факту наблюдается в ГСХУ «Кобринская СС» и «Несвижская СС». Менее точные результаты получены при расчете урожайности по формуле (7) по данным ГСХУ «Молодечненская СС» и Щучинский ГСУ. Вместе с тем наблюдаемая теснота связи (коэффициенты детерминации) как при эмпирическом анализе (рис. 1), так и при расчете по модельной функции (рис. 3) примерно одинакова. Заметим, что моделирование выполнено только по одному урожаеобразующему фактору (питание растений). Включение в расчет других урожаеобразующих факторов (влаги- и теплообеспеченности растений) должно повысить точность расчета.

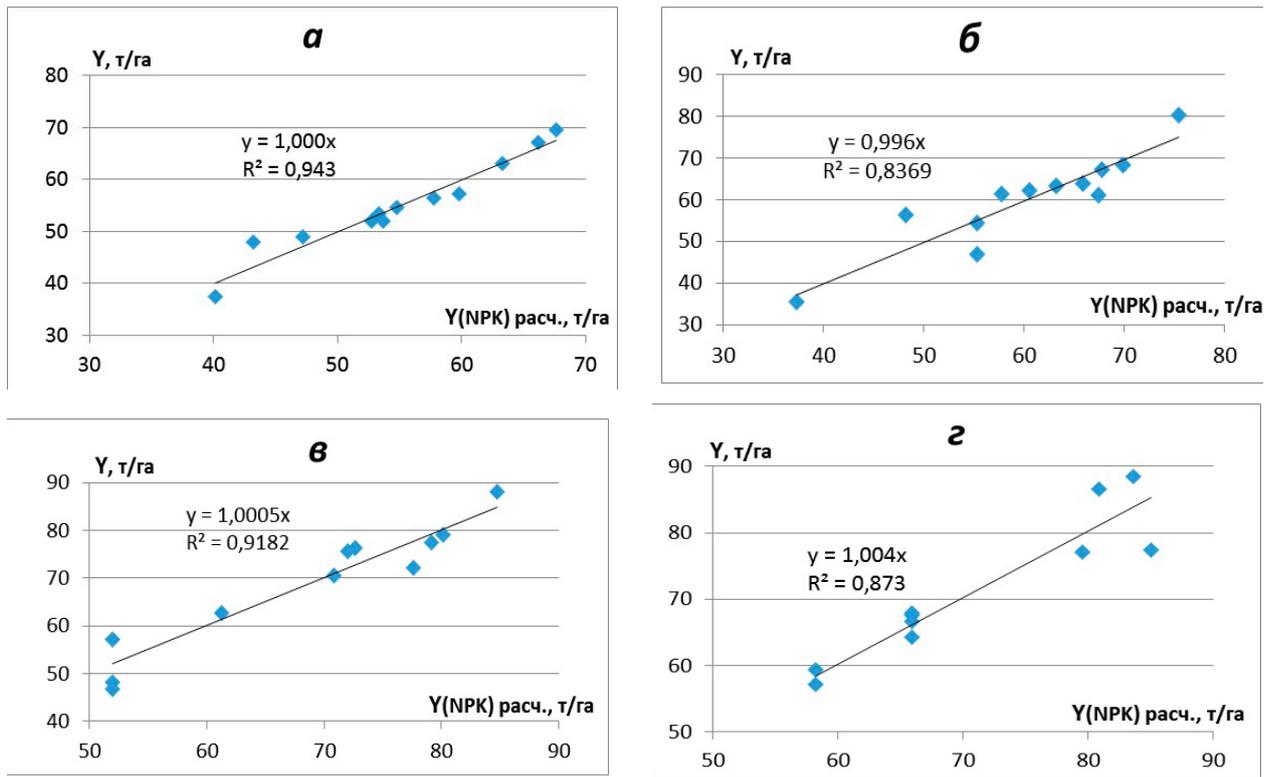


Рис. 3. Сравнение вычисленных по (7) и полученных в поле урожайностей сахарной свеклы: а – ГСХУ «Кобринская СС»; б – ГСХУ «Молодечненская СС»; в – ГСХУ «Несвижская СС»; з – Щучинский ГСУ

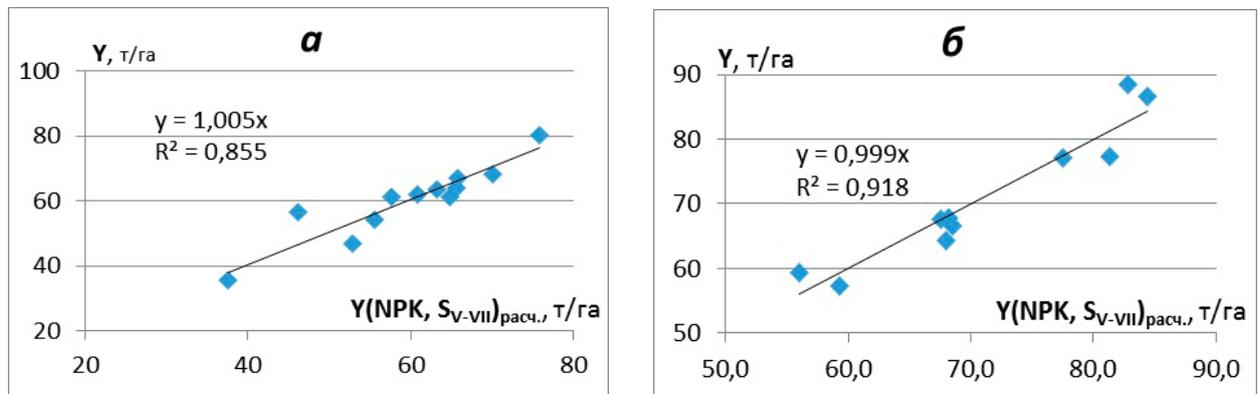


Рис. 4. Сравнение вычисленных по (9) и полученных в поле урожайностей сахарной свеклы: а – ГСХУ «Молодечненская СС»; б – Щучинский ГСУ

Проверим данное утверждение. На рис. 4 показаны результаты сравнения урожайностей сахарной свеклы, полученных в ГСХУ «Молодечненская СС» и Щучинском ГСУ и вычисленных по (7) с учетом атмосферных осадков, выпавших за наиболее ответственный для культуры период вегетации (май – июль включительно).

Ранее нами было показано, что атмосферные осадки как показатель влагообеспечен-

ности сахарной свеклы целесообразно использовать при моделировании урожайности данной культуры [19]. При учете двух урожайобразующих факторов – уровня питания и атмосферных осадков – математическая модель урожайности сахарной свеклы несколько усложняется. В соответствии с прообразом модели урожайности (5) будем иметь:

$$\frac{Y}{Y_{NPK,S(\max)}} = \left[1 - a_{NPK} \left(\frac{NPK_{opt} - NPK}{NPK_{opt} - NPK_{min}} \right)^2 \right] \left[1 - a_s \left(\frac{S_{opt} - S}{S_{opt} - S_{min}} \right)^2 \right], \quad (9)$$

где $Y_{NPK,S}$ – максимум урожая (потенциал урожайности), полученный при оптимальном уровне питания и влагообеспеченности (при оптимальной суммарной дозе NPK и оптимальной сумме атмосферных осадков за наиболее ответственный период вегетации культуры) с учетом его снижения при неоптимальности других неучтенных урожаеформирующих факторов; a_S – коэффициент, характеризующий степень влияния влагообеспеченности на урожай; S_{opt} – оптимальное количество атмосферных осадков за наиболее ответственный период вегетации культуры, при которых достигается максимум урожая; S_{min} – условный граничный показатель суммы S (сумма атмосферных осадков за наиболее ответственный период вегетации культуры), при которой урожай не формируется.

На рис. 4 показаны результаты сравнения урожайностей сахарной свеклы, полученных в ГСХУ «Молодечненская СС» и Щучинском ГСУ и вычисленных по (9) с учетом атмосферных осадков, выпавших за наиболее ответственный для культуры период вегетации (май – июль включительно). При анализе результатов, полученных в расчетах по формуле (9), установлено, что коэффициент, характеризующий степень влияния влагообеспеченности растений на урожайность для всей свеклосеющей зоны Беларуси также можно принять равным единице ($a_S = 1$).

Заметим, что расстояние от участка с сахарной свеклой в ГСХУ «Молодечненская СС» до ближайшего метеопункта «Марково», где измерялись атмосферные осадки, составляет 30 км. Конечно, результат был бы более точным,

Заключение

Математическое моделирование зависимости урожайности сахарной свеклы, выполненное на основе физического принципа причинно-следственных взаимодействий (*causal interaction*) с использованием данных сортоиспытательных станций (гг. Кобрин, Молодечно, Несвиж) и сортоиспытательного участка (г. Щучин), подтвердило справедливость принятой теоретической основы. Установленные опорные показатели математической модели зависимости урожайности сахарной свеклы

если бы контроль выполнялся непосредственно рядом с границей участка. И нельзя ожидать, что на большом расстоянии между участком и метеопостом атмосферные осадки на них будут одинаковыми. Согласно существующим правилам при оценке тепло- и влагообеспеченности культуры, измерение осадков и температур воздуха должно проводиться на расстоянии не более 5 км от участка возделывания растений. В нашем случае данный допуск многократно превышен. Вместе с тем при сравнении коэффициентов детерминации на рис. 1 б, 3 б и 4 а видим, что даже в этом случае удалось несколько повысить тесноту связи между замеренными в поле и вычисленными урожайностями.

От метеостанции «Щучин» до Щучинского ГСУ около 10 км, что тоже достаточно много. Но полученный результат (рис. 3 г и 4 б) демонстрирует, что дополнительный учет влагообеспеченности культуры при математическом моделировании урожайности по (9) позволяет существенно повысить точность модели. В данном случае коэффициент детерминации связи заметно вырос (с 0,87 до 0,92).

Третий этап математического моделирования урожайности сельскохозяйственной культуры – это дополнительный учет такого урожаеобразующего фактора, как теплообеспеченность растений. Но для его выполнения нет оснований, поскольку контроль за температурами (среднесуточной и максимальной) воздуха проводился на вышеуказанных расстояниях от опытных участков и результаты такого моделирования не позволят получить достоверные и обоснованные выводы.

от фактора питания позволили установить вероятную причину выбраковки Государственной комиссией результатов опыта с данной культурой в Щучинском ГСУ за 2021 и 2022 гг. Отмечена необходимость дополнения применяемой методики сортоиспытаний сельскохозяйственных культур контролем за атмосферными осадками и температурами воздуха непосредственно на территории возделывания культур.

Благодарности

Работа выполнена в рамках подпрограммы «Плодородие почв и защита растений» Государственной программы научных исследований «Сельскохозяйственные технологии

и продовольственная безопасность на 2021–2025 годы» по заданию «Разработка методики оценки комплексного влияния водно-пищевого режима на урожайность сахарной свеклы».

Библиографический список

1. Красовский, Г. И. Планирование эксперимента / Г. И. Красовский, Г. Ф. Филаретов. – Минск : Изд-во БГУ, 1982. – 303 с.
2. Машарова, О. В. Режим орошения и удобрения баклажанов при поливе дождеванием на светло-каштановых почвах Волго-Донского междуречья : автореф. дис. ... канд. с.-х. наук : 06.01.02 / О. В. Машарова ; Волгоград. гос. с.-х. акад. – Волгоград, 2011. – 24 с.
3. Шенцева, Е. В. Совершенствование агротехники выращивания баклажан при капельном орошении с использованием тоннельных укрытий для получения ранней продукции : автореф. дис. ... канд. с.-х. наук : 06.01.02 / Е. В. Шенцева ; Саратов. гос. аграр. ун-т им. Н. И. Вавилова. – Саратов, 2012. – 23 с.
4. Богданенко, М. П. Технология возделывания рассадного лука при капельном орошении в Нижнем Поволжье : автореф. дис. ... канд. с.-х. наук : 06.01.02 / М. П. Богданенко ; Саратов. гос. аграр. ун-т им. Н. И. Вавилова. – Саратов, 2012. – 24 с.
5. Валге, А. М. Математическое моделирование урожайности многолетних трав / А. М. Валге, Э. А. Папушин, А. Н. Перекопский // Вестн. Рос. акад. с.-х. наук. – 2013. – № 5. – С. 8–10.
6. Прошкин, В. А. Моделирование эффективности минеральных удобрений по показателям агрохимических свойств почвы / В. А. Прошкин // Агрохимия. – 2012. – № 7. – С. 16–27.
7. Семененко, Н. Н. Торфяно-болотные почвы Полесья: трансформация и пути эффективного использования / Н. Н. Семененко. – Минск : Беларус. навука, 2015. – 282 с.
8. Степура, М. Ф. Использование методов математического моделирования при оценке систем удобрений и оптимизации минерального питания свеклы столовой / М. Ф. Степура // Овощеводство : сб. науч. тр. / Нац. акад. наук Беларуси, РУП «Институт овощеводства» ; ред. В. В. Скорина [и др.]. – Минск, 2012. – Т. 20. – С. 245–254.
9. Степура, М. Ф. Использование методов математического моделирования при оптимизации систем удобрения моркови / М. Ф. Степура // Картофель и овощи. – 2013. – № 1. – С. 19–21.
10. Абнормальные формы функции отклика «удобрения-продуктивность»: полевые наблюдения и модельный анализ / А. Г. Топаж, П. В. Лекомцев, А. В. Пасынков, А. В. Пуховский // Изв. РГАУ-МСХА им. К. А. Тимирязева. – 2015. – Вып. 2. – С. 15–27.
11. Ушакова, Е. В. Технологические приемы возделывания различных сортов сои при капельном орошении в засушливых условиях Нижнего Поволжья : автореф. дис. ... канд. с.-х. наук : 06.01.01, 06.01.02 / Е. В. Ушакова ; Саратов. гос. аграр. ун-т им. Н. И. Вавилова. – Саратов, 2015. – 24 с.
12. Шаповалов, Н. К. Математическое моделирование управления производственным процессом на посевах сахарной свеклы / Н. К. Шаповалов, И. Е. Солдат // Достижения науки и техники АПК. – 2013. – № 2. – С. 29–31.
13. Акулинина, М. А. Капельное орошение огурца в сухостепной зоне светло-каштановых почв Нижнего Поволжья : автореф. дис. ... канд. с.-х. наук : 06.01.02 / М. А. Акулинина ; Волгоград. гос. с.-х. акад. – Волгоград, 2010. – 23 с.

14. Мартынова, А. А. Совершенствование агротехнических приемов возделывания моркови на светло-каштановых почвах Нижнего Поволжья : автореф. дис. ... канд. с.-х. наук : 06.01.01 / А. А. Мартынова ; Саратов. гос. аграр. ун-т им. Н. И. Вавилова. – Саратов, 2011. – 19 с.

15. Вахонин, Н. К. Концептуальные основы моделирования урожайности в системе принятия решений по регулированию водного режима / Н. К. Вахонин // Мелиорация. – 2014. – № 2 (72). – С. 7–15.

16. Вахонин, Н. К. Моделирование урожаев в системе точного земледелия / Н. К. Вахонин // Мелиорация. – 2015. – № 1 (73). – С. 131–136.

17. Дмитренко, В. П. Оценка влияния температуры воздуха и осадков на формирование урожая основных зерновых культур / В. П. Дмитренко. – Ленинград : Гидрометеоиздат, 1976. – 49 с.

18. Лихацевич, А. П. Использование математического моделирования для повышения достоверности оценки результатов полевого агрономического опыта / А. П. Лихацевич. // Вес. Нац. акад. навук Беларусі. Сер. аграр. навук. – 2018. – Т. 56, № 3. – С. 321–334.

19. Выбор показателя водного режима в математической модели урожайности сахарной свеклы / А. П. Лихацевич, Г. В. Латушкина, А. А. Левкевич, А. В. Малышко, М. Н. Титова // Мелиорация. – 2022. – № 4 (102). – С. 45–54.

Поступила 24 августа 2023 г.

ОЦЕНКА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ДРЕНАЖНЫХ КОЛЛЕКТОРОВ БОЛЬШОГО ДИАМЕТРА НА МЕЛИОРАТИВНЫХ СИСТЕМАХ БЕЛОРУССКОГО ПОЛЕСЬЯ

В. М. Макоед, ведущий научный сотрудник
А. И. Митрахович, кандидат технических наук

РУП «Институт мелиорации», г. Минск, Беларусь

Аннотация

Приводятся данные по техническому состоянию дренажных коллекторов мелиоративных систем, выполненных из асбестоцементных и железобетонных труб большого диаметра (0,3–0,6 м) с площадью обслуживания 87–94 га. Обследовались коллекторы после 7 и 47 лет их эксплуатации, определялись состояние внутренней поверхности труб, величина заиливания и причины, обуславливающие его. Выявлено низкое качество строительства, в ходе которого допускались смещение стыков труб и их плохая герметизация. Однако исследованные коллекторы работоспособны даже при существующем состоянии. Следовательно, вместо отдельных открытых каналов возможно применять полимерные трубы большого диаметра с герметичными соединениями на объектах реконструкции.

Ключевые слова: осушительно-увлажнительные системы, дренаж, коллектор большого диаметра, тип водного питания, шлюзование, заиливание труб, смотровой колодец, открытый канал.

Abstract

V. M. Makoed, A. I. Mitrakhovich

ASSESSMENT OF THE TECHNICAL CONDITION OF DRAINAGE COLLECTORS LARGE DIAMETER ON RECLAMATION SYSTEMS BELARUSIAN POLESIE

Data on the technical condition of drainage collectors of reclamation systems made of asbestos-cement and reinforced concrete pipes of large diameter (0.3–0.6 m) with a service area of 87–94 hectares have been given. Collectors were examined after 7 and 47 years of their operation, the condition of the inner surface of the pipes, the amount of siltation and the reasons for it have been determined. The low quality of construction has been revealed, during which the displacement of pipe joints and their poor sealing have been allowed. However, the studied collectors are operable even with the existing condition. Therefore, it is possible to use large-diameter polymer pipes with sealed connections at reconstruction facilities instead of separate open channels.

Keywords: drainage and humidification systems, drainage, large-diameter collector, type of water supply, locking, silting of pipes, manhole, open channel.

Введение

Согласно действующей в Республике Беларусь концепции развития гидротехнической сельскохозяйственной мелиорации улучшение влагообеспеченности сельскохозяйственных земель должно повышать эффективность их использования и проводиться при минимально возможном изменении естественного водного режима с применением ресурсосберегающих технологий водорегулирования. Это означает, что важно соблюдать оптимальное соотношение между осушительным и увлажнительным воздействием мелиоративных систем с учетом потребностей растений и обе-

спечивать условия для эффективной работы сельскохозяйственной техники.

В рамках концепции необходимо искать новые решения по конструкциям осушительно-увлажнительных систем и технологиям их эксплуатации, применяя уже испытанные в производственных условиях конструкции мелиоративной сети и сооружений на ней с учетом положительного опыта их эксплуатации. Это относится и к внедрению сейчас в практику проектирования применения труб большого диаметра. Они заменяют отдельные открытые каналы, что позволяет уменьшить

контурность полей, улучшить условия работы широкозахватной сельскохозяйственной техники и рационально использовать освободившиеся дополнительные площади под сельскохозяйственное производство.

Потери полезной площади под открытыми каналами превышают в Беларуси 3 % (более 3 га на 100 га) мелиорированной площади [1].

Возможность и целесообразность применения новых конструкций осушительно-увлажнительных систем с использованием полимерных труб большого диаметра обусловлены значительной протяженностью открытой сети каналов на функционирующих мелиоративных объектах страны, где отдельные каналы на проводящей сети могут быть заменены полимерными трубопроводами. Это увеличит размер площадей и повысит производительность широкозахватной техники в растениеводстве. В табл. 1–4 приведены данные по сети каналов из Прил. 4 к приказу № 106 Министерства сельского хозяйства и продовольствия Республики Беларусь от 29.04.2023 г.

Краткая характеристика осушительно-увлажнительной системы «Молотковичи»

Проект осушительно-увлажнительной системы «Молотковичи» разработан проектным институтом «Полесьегипроводхоз» [6]. Объект введен в эксплуатацию в 1976 г. и находится в надпойменной террасе р. Пины (рис. 1). Территория представляет собой задровую равнину, сложенную песчаными и торфяными отложениями. В средней части к системе примыкают облесенные песчаные бугры и гряды.

Структура почвенного покрова объекта весьма неоднородна и включает в себя как торфяно-болотные почвы, занимающие самые низкие участки рельефа, так и минеральные супесчаные почвы. С глубины 1,2 ÷ 2,5 м по всей территории залегают пески с примесью гравия и гальки (более подробное описание данных почв и их водно-физических свойств см. в [7]).

Аналогичные почвенные сочетания широко распространены в пределах Белорусского Полесья [8].

Водное питание на торфяных почвах преимущественно атмосферное, на минеральных –

Особенно актуально такое совершенствование конструкции мелиоративных систем при осушении легких почв в условиях Белорусского Полесья, где эффективная альтернатива горизонтальному дренажу пока отсутствует.

Впервые крупные дренажные системы с водосборной площадью до 100 га начали строить за рубежом (в частности, в США), где диаметр железобетонных коллекторов достигал 1,0 м [2]. В СССР дренажные системы с применением бетонных и железобетонных труб диаметром 30, 40 и 50 см строились в 1960-х гг. в Литовской, Латвийской и Эстонской ССР [3, 4], а на территории Беларуси крупные дренажные системы с коллекторами аналогичного диаметра внедряли в 1970-х гг. преимущественно в регионе Полесья. Так, наиболее крупные мелиоративные системы с подобными коллекторами построены в Пинском р-не Брестской обл. на объекте «Молотковичи» площадью 228 га [5] и в Петриковском р-не Гомельской обл. на объекте «Новоселки» площадью 206 га.

смешанное. Избыточное увлажнение почвы возникало вследствие высокого расположения уровней грунтовых вод. Основной метод осушения земель на данной системе состоял в ускорении внутрипочвенного и поверхностного стока, который осуществлялся систематическим гончарным дренажем с устройством в понижениях рельефа колодцев-поглотителей.

На мелиоративной системе отдельные участки территории имеют разный тип водного питания: одни – атмосферный, другие – смешанный с атмосферным + приток поверхностных вод, третьи – с атмосферным питанием + приток грунтовых вод. В связи с этим при проектировании возникла необходимость планирования разных способов увлажнения на разных участках системы с учетом их водообеспеченности.

Увлажнение на системе осуществлялось тремя способами: дождеванием на площади 60 га, предупредительным шлюзованием (25 га), шлюзованием с гарантированным водоисточником (148 га).

Таблица 1. Межхозяйственные осушительно-увлажнительные системы

Наименование области	Протяженность открытой сети каналов, км	Сооружения на открытой сети, шт.			всего
		шлюзы-регуляторы	трубы-регуляторы	трубы-переезды	
Брестская	31 690,7	350	7110	9788	19 381
Витебская	0	0	0	0	0
Гомельская	19 886,3	566	5221	6117	13 175
Гродненская	5335,6	97	556	1451	2456
Минская	9270,0	278	2490	2449	5935
Могилевская	236,6	0	43	59	105
Итого	66 419,2	1291	15 420	19 864	41 052

Таблица 2. Межхозяйственные осушительные системы, расположенные на землях сельскохозяйственного назначения

Наименование области	Протяженность открытой сети каналов, км	Сооружения на открытой сети, шт.			всего
		шлюзы-регуляторы	трубы-регуляторы	трубы-переезды	
Брестская	617,0	2	53	149	229
Витебская	22 625,3	71	200	12 347	15 065
Гомельская	53,5	1	14	32	47
Гродненская	11 700,8	114	784	4576	6343
Минская	21 530,0	392	3894	6360	12 349
Могилевская	12 999,9	272	814	4659	7135
Итого	69 526,5	852	5759	28 133	41 168

Таблица 3. Внутрихозяйственные осушительно-увлажнительные системы, расположенные на землях сельскохозяйственного назначения

Наименование области	Общая площадь осушенных земель, га	С двухсторонним регулированием водного режима, га	Протяженность открытой сети каналов, км	Сооружения на открытой сети, шт.				всего
				шлюзы-регуляторы	трубы-регуляторы	трубы-переезды	шлюзы-регуляторы	
Брестская	711 569,5	276 440,3	8467,3	8	624	3716	8	5997
Витебская	0	0	0	0	0	0	0	0
Гомельская	521 871,0	521 082,0	10 959,7	3	2206	4233	3	7656
Гродненская	96 202,7	96 290,4	0	0	0	0	0	23
Минская	173 223,0	173 223,0	97,0	3	25	31	3	101
Могилевская	3594,0	3594,0	0	0	0	0	0	0
Итого	1 520 007,6	646 118,1	19 524,0	14	2855	7980	14	13 777

Таблица 4. Внутрихозяйственные осушительные системы, расположенные на землях сельскохозяйственного назначения

Наименование области	Кол-во систем, шт.	Общая площадь осушенных земель, га	С двухсторонним регулированием водного режима, га	Протяженность открытой сети каналов, км	Сооружения на открытой сети, шт.				всего
					шлюзы-регуляторы	трубы-регуляторы	трубы-переезды	шлюзы-регуляторы	
Брестская	45	12 965,8	125,4	341,8	0	14	138	0	178
Витебская	1	549 159,0	0	0	0	0	0	0	0
Гомельская	12	3098,0	0	97,6	0	10	14	0	39
Гродненская	649	215 800,1	2759,6	0	0	0	0	0	4
Минская	656	459 181,0	0	833,0	0	31	200	0	373
Могилевская	20	296 692,0	13 865,0	49,2	0	1	7	0	8
Итого	1383	1 536 895,9	16 750,0	1321,6	0	56	359	0	602

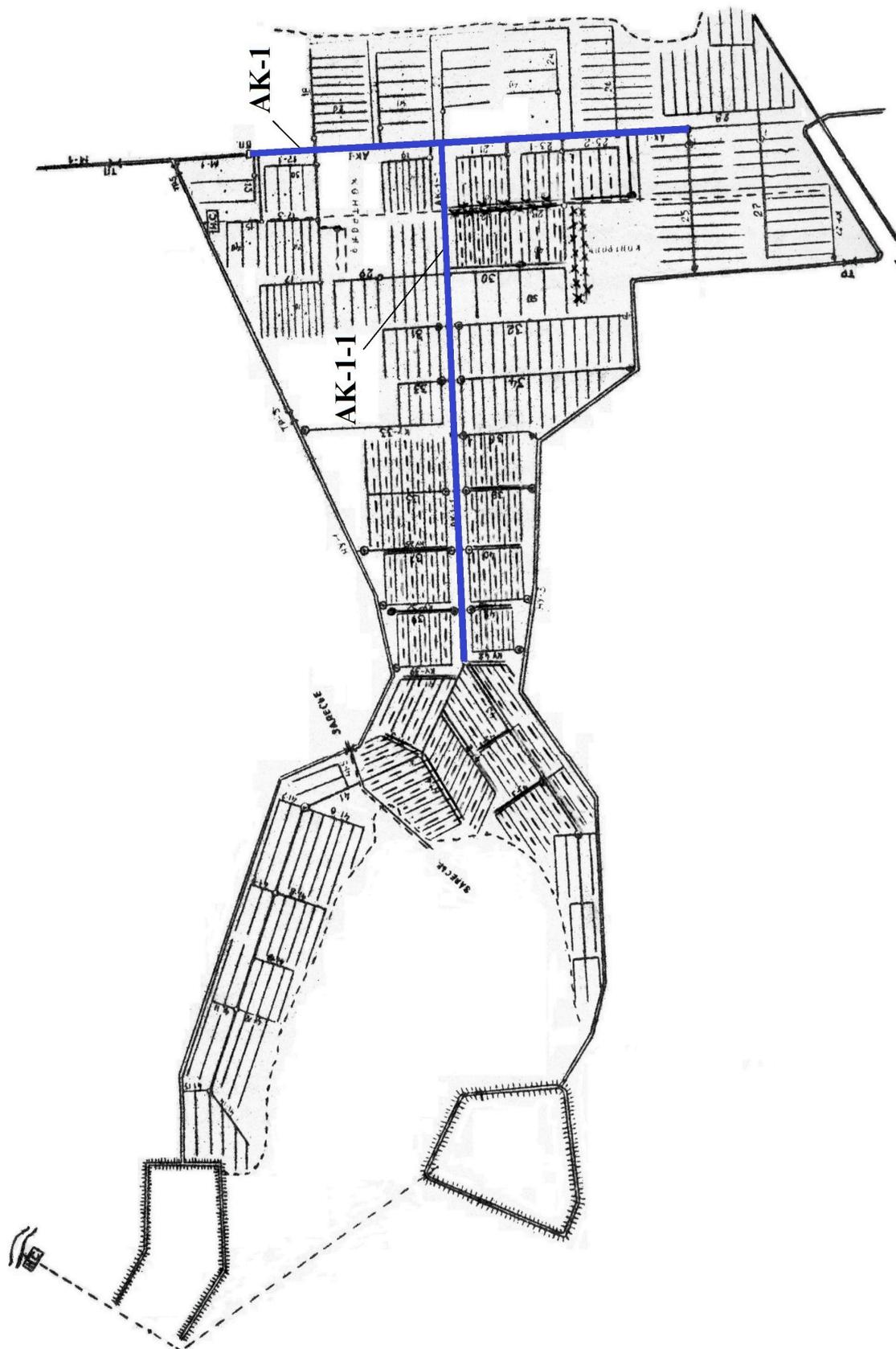


Рис. 1. Осушительно-увлажнительная система «Молотковичи» Пинского р-на Брестской обл.
с дренажными коллекторами АК-1-1 и АК-1 из труб большого диаметра

Для дождевания использовалась дождевальная установка «Волжанка».

Предупредительное шлюзование выполнялось путем аккумуляции местного стока трубами-регуляторами, накоплением воды в каналах с последующей подачей в дренажную сеть. Шлюзование с гарантированным водоисточником осуществлялось путем подачи воды из прудов в каналы-увлажнители и далее – в устья коллекторов-осушителей или в верховья дрен через коллекторы-увлажнители. Для регулирования уровней грунтовых вод на дренажной системе в устьях и верховьях коллекторов запроектированы колодцы-регуляторы. Площадь зеркала прудов составляла 17,2 га с полезной емкостью около 3 га (303,6 тыс. м³).

На мелиоративной системе вместо открытых каналов были построены закрытые кол-

лекторы большого диаметра АК-1-1 из асбестоцементных труб диаметром 291–482 мм протяженностью 1300 м и АК-1 диаметром 338–600 мм (1235 м), в том числе из железобетонных труб диаметром 600 мм длиной 490 м с подключением на каждом трубопроводе дренажных систем через железобетонные смотровые колодцы.

Коллектор АК-1-1 с водосборной площадью 94,3 га выполнен с уклоном 0,002 длиной 650 м и с уклоном 0,001 с такой же длиной; водосборная площадь коллектора АК-1 – 87,1 га, длина 1235 м, уклон 0,0005.

Для исследования влияния параметров дренажа на водный режим почв построены отдельные дренажные системы с разными расстояниями между дренами и глубинами их закладки.

Оценка технического состояния осушительно-увлажнительной системы «Молотковичи» после шести лет эксплуатации (1977–1982 гг.)

Сотрудниками Института мелиорации проведены исследования эффективности работы осушительно-увлажнительной системы «Молотковичи» по регулированию водного режима на торфяных и минеральных почвах в условиях неоднородной структуры почвенного покрова. Выполнены гидравлические исследования дренажных коллекторов АК-1-1 и АК-1, в ходе которых определялись степень заиливания, скорость потока воды, пропускная способность труб и модули стока [4, 5].

Степень заиливания труб замерялась через смотровые колодцы, установленные на трубопроводах, при этом фиксировалась толщина (высота) наилка в трубах и отстойниках смотровых колодцев. Методика замеров заключалась в измерении расстояния от верха колодца до поверхности в нем воды, определении глубины наполнения коллектора водой, вычислении площади живого сечения потока в коллекторе, гидравлического уклона потока. Затем по скорости движения воды в коллекторе вычислялись расход и модуль стока.

Для определения технического состояния коллекторов после 7 лет эксплуатации (рис. 2) была проведена нивелировка продольного профиля трубопровода, которая показала большие отклонения от проектного уклона с многочисленными понижениями и повышениями по трассе коллектора. Обследование

состояния стыков (соединений) труб показало, что у многих из них были открытые полости, через которые грунт в разжиженном состоянии проникал внутрь труб, что приводило к их заилению. Были обнаружены существенные изъяны на смотровых колодцах, переоборудованных в колодцы-поглотители. Все это приводило к снижению эффективности и существенно уменьшило долговечность работы осушительно-увлажнительной системы.

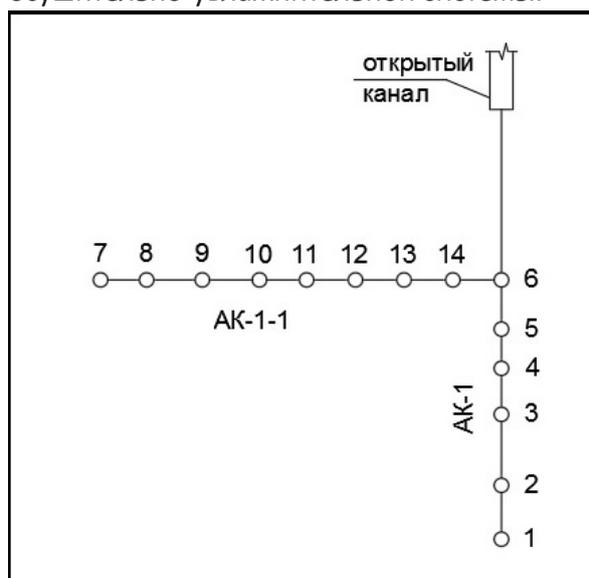


Рис. 2. Схема расположения обследованных коллекторов большого диаметра со смотровыми колодцами на мелиоративной системе «Молотковичи» (участок «Залесье»)

Результаты обследования осушительно-увлажнительных систем с трубами большого диаметра в Белорусском Полесье в 1970–80 гг.

Обследования осушительно-увлажнительных систем проводились сотрудником Института мелиорации Л. Д. Зеленковым на ряде объектов в Брестской, Гомельской и Минской областях [9]. Всего обследовано 19 мелиоративных систем с 59 коллекторами большого диаметра общей длиной 22,3 км с установленными на них 119 смотровыми колодцами. При обследованиях замерялась величина слоя заилиения в коллекторах, отстойниках смотровых колодцев и в устьях коллекторов.

По результатам обследований была оценена работоспособность дренажных коллекторов, выявлены серьезные нарушения при их строительстве. Так как в Белорусском Полесье преобладают плоские, малоуклонные или даже безуклонные территории, коллекторы с диаметром 0,3–0,6 м проектировались обычно с малым уклоном (у 80 % коллекторов был уклон 0,0005), то следовало ожидать, что режим и долговечность работы коллекторов в значительной степени будут зависеть от интенсивности заилиения.

Установлено, что неудовлетворительное состояние коллекторов обусловлено в первую очередь низким качеством строительства. Например, на мелиоративной системе «Но-

воселки» (дер. Филипповичи Петриковского р-на Гомельской обл.) стыки железобетонных труб диаметром 0,6 м частично не загерметизированы и грунт беспрепятственно попадает в коллектор. На мелиоративной системе «Новоселки» (уч. Ванютичи Петриковского р-на) произошло заилиение канала у устья коллектора на 0,15 м выше верха коллектора. На мелиоративной системе «Знамя Победы» (Кобринский р-н Брестской обл.) коллектор большую часть времени находился в подпоре, что также приводило к заилиению. На мелиоративной системе «Жданова» (Кобринский р-н) устье коллектора было почти полностью забито наносами из него.

На обследованных мелиоративных системах при их сроке службы 9,5 лет заилиение на части коллекторов составило в среднем 44,9 % от площади поперечного сечения труб. Большинство же обследованных коллекторов не имело таких грубых нарушений технологии строительства и находилось в удовлетворительном состоянии. За срок эксплуатации 8–9 лет средняя величина их заилиения составила 8,7 % от площади поперечного сечения. При этом не наблюдался существенный рост слоя заилиения [9].

Результаты обследования осушительно-увлажнительной системы «Молотковичи» после ее реконструкции в 2014 г.

В 2014 г. была проведена реконструкция мелиоративной системы «Молотковичи», при этом на площади 180 га предусматривалось проводить регулирование водного режима почв с помощью предупредительного шлюзования. Для увеличения осушительного действия системы параллельно к дренажным коллекторам большого диаметра были построены открытые каналы М-1-1* и М-1-1, впадающие в магистральный канал М-1 (рис. 3).

Для оценки современного технического состояния мелиоративной системы «Молотковичи» в мае 2023 г. РУП «Институт мелиорации» проводил обследование технического состояния трубопроводов и смотровых колодцев. Установлено, что трубопровод АК-1-1 в верхней части заилен на 30–40 % от площа-

ди сечения асбоцементного трубопровода (рис. 4 а), а в нижней части – на 60–70 % (рис. 4 б).

Обследованы также смотровые колодцы из железобетонных колец с внутренним диаметром 1,0 м (рис. 5): установлено, что отстойники оказались заилены до уровня подключения дренажных коллекторов и выше.

Смотровые колодцы и трубопроводы были заилены в основном вследствие раскрытия стыков до 1–2 см между трубами по длине и в местах подключения дренажных коллекторов к смотровым колодцам. Во многих колодцах обнаружено смещение железобетонных колец, отсутствие песчано-цементной замазки стыков (через них проникает разжиженный грунт внутрь смотровых колодцев).

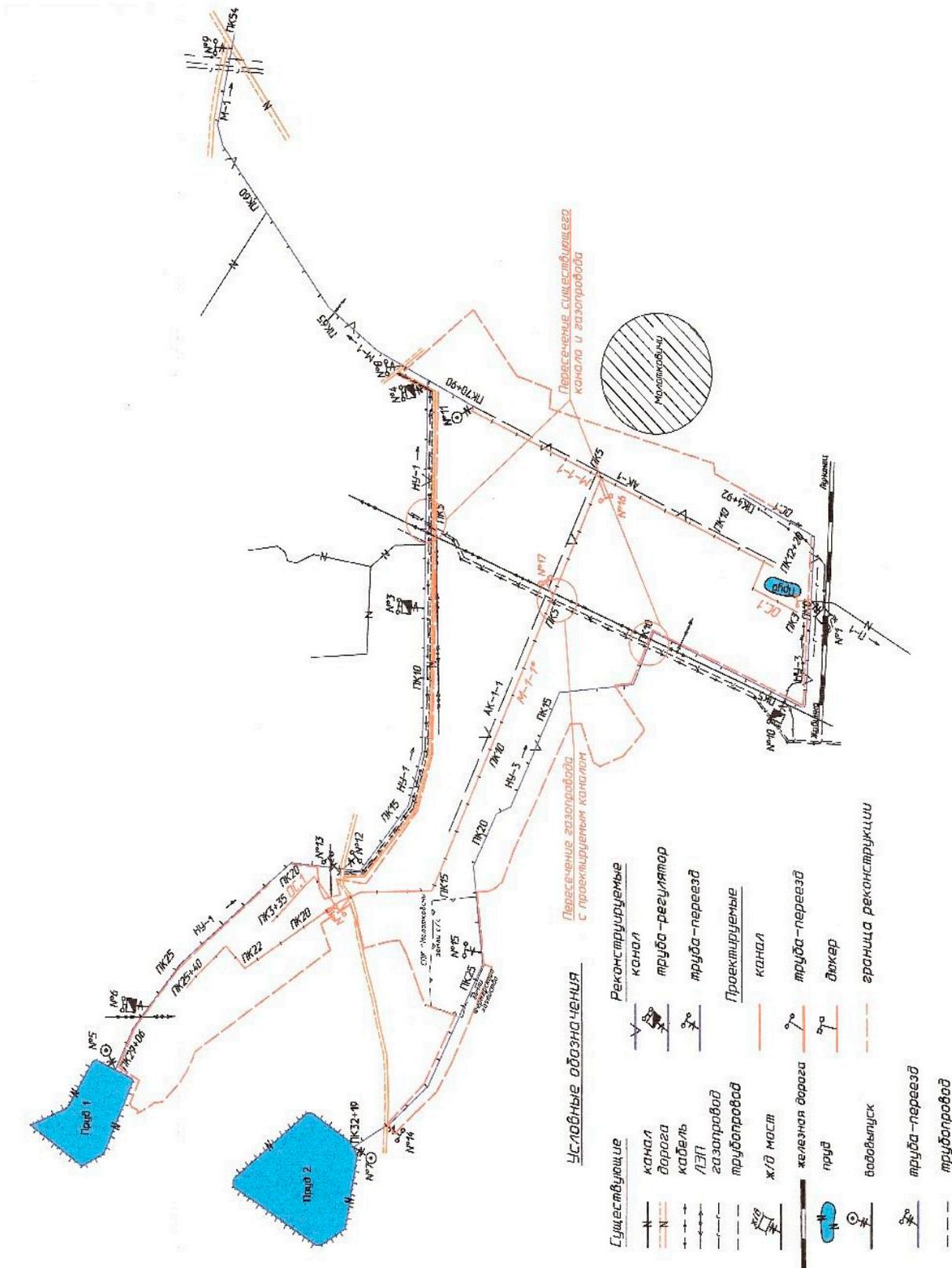


Рис. 3. Реконструкция мелиоративной системы «Молоковичи» (участок «Залесье», 2014 г.)



Рис. 4. Заиливание трубопровода большого диаметра АК-1-1 из асбестоцементных труб на мелиоративной системе «Молотковичи» (2023 г.)

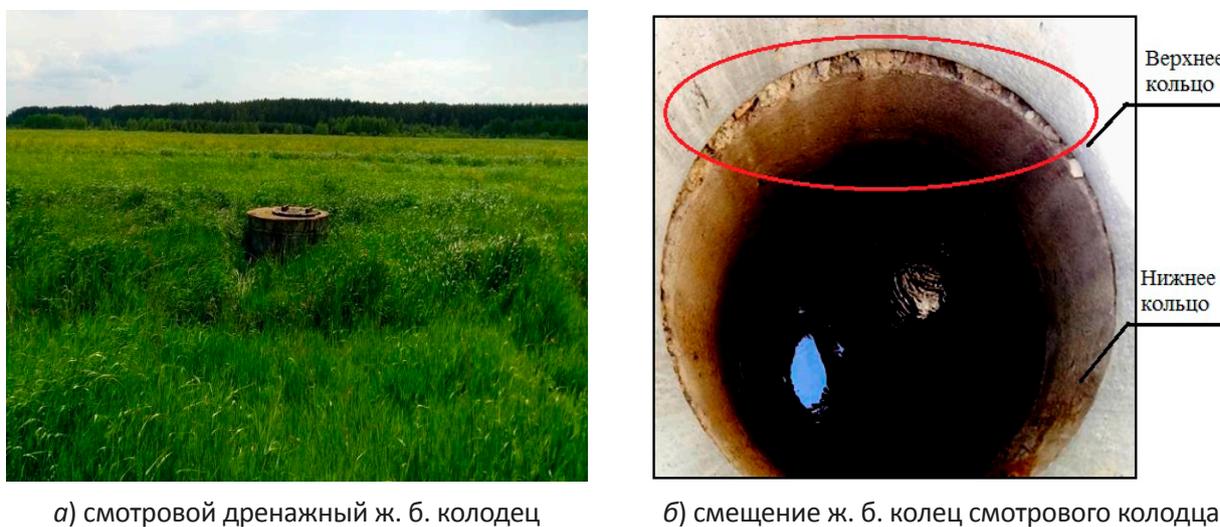


Рис. 5. Смотровой дренажный колодец из железобетонных колец диаметром 1,0 м на мелиоративной системе «Молотковичи» (2023 г.)

В результате обследования современного технического состояния трубопроводов большого диаметра из асбоцементных труб и смотровых колодцев из железобетонных колец установлено, что трубопровод большого диаметра, несмотря на существенную степень заиливания, находится в работоспособном состоянии даже при снижении пропускной способности.

Следует также отметить, что осушительно-увлажнительная система «Молотковичи»

на протяжении долгих лет работает только на осушение, то есть как осушительная система.

Тенденция перевода осушительных систем в осушительно-увлажнительные требует детального технико-экономического обоснования с учетом новых технических решений и существующих возможностей создания оптимальной влагообеспеченности сельскохозяйственных культур в течение вегетационного периода.

Выводы

1. На мелиоративных системах Белорусского Полесья причина неэффективной работы дренажных коллекторов из труб большого диаметра заключается в неудовлетворительном качестве их строительства.

2. Полученные данные по степени заиливания дренажных коллекторов из труб диаметром 350–400 мм свидетельствуют, что при хорошем качестве строительства трубопроводов последние обеспечивают требуемую работо-

способность и могут сохраняться при реконструкции мелиоративной системы.

3. Опыт применения коллекторов большого диаметра на мелиоративных системах в Белорусском Полесье показал возможность применения трубопроводов на проводящей сети мелиоративных систем вместо отдельных открытых каналов при качественной герметизации стыков труб при строительстве.

4. На осушительно-увлажнительной системе «Молотковичи» влагообеспеченность растений в засушливые периоды вегетации невозможно повысить из-за несовершенства конструкций регулирующих сооружений, поэтому многие годы система работает только на осушение со сбросом местного стока в водоприемник.

Библиографический список

1. Из опыта применения на осушительных системах коллекторов из труб большого диаметра / А. И. Митрахович, В. М. Макоед, А. П. Сергееня, С. М. Лавушев // Мелиорация. – 2019. – № 2 (88). – С. 13–17.

2. Шкиннис, Ц. Н. Некоторые вопросы проектирования больших дренажных систем / Ц. Н. Шкиннис // Гидротехника и мелиорация в Латвийской ССР. – 1963. – № 3. – С. 72–83.

3. Риекстс, И. А. Опыт строительства крупных закрытых осушительных систем с коллекторами от 0,3 до 1,0 м / И. А. Риекстс // Технология строительства закрытых осушительных систем : сб. ст. – Вильнюс, 1969. – С. 197–207.

4. Рудой, А. У. Исследование работы осушительно-увлажнительной системы в условиях неоднородной структуры почвенного покрова (объект «Молотковичи») / А. У. Рудой, В. М. Макоед // Мелиорация переувлажненных земель : сб. науч. тр. / БелНИИМивХ ; В. Ф. Карловский (отв. ред.). – Минск, 1982. – Вып. 30. – С. 75–84.

5. Рудой, А. У. Формирование режима уровней грунтовых вод на легких минеральных почвах мелиоративной системы «Молотковичи» / А. У. Рудой, В. М. Макоед // Регулирование водного режима торфяных и минеральных почв : сб. науч. тр. / БелНИИМивХ ; В. Ф. Карловский (отв. ред.). – Минск, 1981. – С. 18–31.

6. Конончук, Н. П. Осушительно-увлажнительная система «Молотковичи» / Н. П. Конончук, Н. М. Савульчик // НТИ Минводхоза БССР. – 1973. – № 5. – С. 1–4.

7. Рудой, А. У. Некоторые особенности осушительного действия дренажа в почвах разной степени заболоченности / А. У. Рудой, В. М. Макоед // Водное хозяйство и гидротехническое строительство : сб. науч. ст. / БПИ ; гл. ред. В. П. Старинский. – Минск : Выш. школа, 1980. – Вып. 10. – С. 78–84.

8. Смяян, Н. И. Структура почвенного покрова Белорусского Полесья / Н. И. Смяян, Т. А. Романова, Т. Н. Пучкарева // Проблемы Полесья : сб. ст. / АН БССР, Науч. совет по пробл. комплекс. использования аграр. ресурсов и развития производит. сил Полесской низменности ; гл. ред. С. Х. Будыка. – Минск : Наука и техника, 1975. – Вып. 4. – С. 187–201.

9. Зеленков, Л. Д. Оценка работоспособности дренажных коллекторов больших диаметров / Л. Д. Зеленков // Вопросы эксплуатации осушительно-увлажнительных систем : сб. науч. работ / БелНИИМивХ ; В. Ф. Карловский (отв. ред.). – Минск, 1983. – С. 173–180.

Поступила 7 августа 2023 г.

МЕЛИОРАТИВНОЕ СОСТОЯНИЕ ПОЧВ РАЗЛИЧНОЙ СТЕПЕНИ ЗАСОЛЕННОСТИ НА ОПЫТНОМ УЧАСТКЕ В САЛЬАНСКОЙ СТЕПИ

А. А. Джафарова, PhD по аграрным наукам

С. М. Талиби, PhD по аграрным наукам

Б. Т. Гулиева, научный сотрудник

Институт почвоведения и агрохимии, г. Баку, Азербайджан

Аннотация

Проанализировано общее природно-экологическое состояние Сальянской степи. Цель исследования в ходе изучения фактического мелиоративного состояния орошаемых серо-луговых почв под хлопчатником и зерновыми культурами – определение, наряду со степенью засоления, типа засоления и солонцеватости почв по общепринятым методикам. Установлено, что в грунтовых водах количество иона SO_4 на опытном участке составляет 1,08–1,09 г/л; иона Cl – 7,0–9,59 г/л; CO_3 – 0,03–0,05 г/л; HCO_3 – 0,29–0,32 г/л; Ca – 0,08–0,50 г/л; Mg – 0,01–0,22 г/л. Сумма солей изменялась от 9,23 до 11,22 г/л.

Ключевые слова: засоление, солонцеватость, минерализация, грунтовые воды, серо-луговые почвы.

Abstract

A. A. Jafarova, S. M. Talibi, B. T. Quliyeva

RECLAMATION STATE OF SOILS OF VARYING DEGREES OF SALINITY OF THE EXPERIMENTAL SITE IN THE SALYAN STEPPE

The general natural and ecological state of the Salyan steppe has been analyzed. The purpose of the study in the course of studying the actual reclamation state of irrigated gray-meadow soils under cotton and grain crops is to determine, along with the degree of salinity, the type of salinity and salinity of soils according to generally accepted methods. It has been found that the amount of SO_4 in groundwater at the experimental site is 1.08–1.09 g/l; Cl ion 7.0–9.59 g/l; CO_3 – 0.03–0.05 g/l; HCO_3 – 0.29–0.32 g/l; Ca – 0.08–0.50 g/l; Mg – 0.01–0.22 g/l. The amount of salts varied from 9.23 g/l to 11.22 g/l.

Keywords: salinization, salinity, mineralization, groundwater, gray-meadow soils.

Введение

В связи с принятием в нашей стране закона «О плодородии почв», направленного на защиту и повышение плодородия почв, а также Государственной программы по надежному снабжению населения продовольственными товарами в Азербайджанской Республике на 2008–2015 гг. существует необходимость регулирования ряда показателей (водно-физических свойств почв, плодородия и др.) и устранения почвенно-экологических изменений. Подготовка комплексных агромелиоративных мероприятий и определение общего характера процессов, происходящих в почве, требуют оценки текущего состояния почвы по степени и типу засоления.

Нефтечалинский район, где проходили исследования, расположен в юго-восточной части Азербайджана, на востоке Кура-Араксинской низменности, где р. Кура впадает в Каспийское море. Общая площадь данной

территории – 145 170 га; с севера регион граничит с Ширванским государственным заповедником, а с юга – Кызылагачским государственным природным заповедником [1]. На климат региона влияют различные центры атмосферного давления. Среднегодовая температура устья Куры – 21–26 °С, годовая абсолютная влажность воздуха колеблется между 6,5 и 22,8 мб. Относительная влажность – 74–77 %, среднегодовое количество осадков – 240÷290 мм; максимальные показатели приходятся на ноябрь, октябрь и декабрь, а минимальные – на июль, июнь и август. Сумма годового испарения в районе составляет 940 мм; его максимальное количество наблюдается в июле и августе [2]. В результате влияния близости Каспийского моря устье Куры имеет климатические отличия от центральной и западной частей Кура-Араксинской низменности.

Объект и методика исследования

В качестве объекта исследования была определена площадь 2,0 га под посевы хлопчатника и зерновых культур фермерского хозяйства «Ватан», расположенного на участке ПМК-31 в Нефтечалинском р-не. Использовались такие сорта зерновых, как Азаматлы-95 и Карабах. Велись фенологические наблюдения за растениями в период вегетации, а в апреле 2022 г. в лабораторных условиях анализировались пробы почвы и воды.

Анализ и обсуждение результатов исследования

Вследствие влияния климатических изменений на экосистему и использования природных ресурсов в Азербайджане расширяются зоны полупустынь и сухих пустынь, усиливается процесс эрозии (на 10–15 %), речной сток уменьшается (на 10–20 %), количество осадков снижается в весенне-летний период и увеличивается в осенне-зимний; недостаток воды оценивается в 5 км³ (согласно прогнозам он может увеличиться до 11 ÷ 13 км³). Повысится и засоление орошаемых земель Кура-Араксинской низменности на 10 ÷ 15 %. С учетом того, что 80 % сельскохозяйственной продукции в Азербайджане получают с названных земель, сельское хозяйство столкнется с серьезными проблемами, если не будут приняты адекватные меры [2].

Рельеф района в основном равнинный. Общий уклон равнины в юго-восточном направлении довольно слабый. Отчетливо заметно влияние р. Куры на формирование нынешнего рельефа. Так, на отдельных участках территории имеются микро- и макровпадины, а иногда и протоки. Гипсометрический уровень большей части территории – 22 м ниже уровня моря. В связи с этим грунтовые воды находятся близко к поверхности, поэтому большая часть территории региона в той или иной степени подверглась засолению, что затрудняет освоение земель. На отрицательных формах рельефа процессы олуговенья и заболачивания обычно протекают интенсивно. Северо-восточная часть территории отличается высоким рельефом. Долины и оросительные каналы в этом районе вызвали фрагментацию местности. Хотя местность равнинная, порой встречаются и небольшие впадины [3].

Посев проводили 15 октября и 15 ноября. Семена пшеницы высевали из расчета 180 кг/га. Во время посева использовали рядковое удобрение (100 кг нитроаммофоски на гектар). Перед поливом вносили 200 кг/га карбамида, а в период с 18 по 20 марта вносили еще 150 кг/га. Урожай был собран 20 июня.

Почвенные исследования и все лабораторные анализы проводились по общепринятым методикам [2].

С геоморфологической точки зрения Сальянская равнина как самая малая часть Кура-Араксинской низменности образовалась в результате регрессии Каспийского моря, следы которой сохранились до сих пор. В результате продолжающегося отступления моря в южной части равнины образовались террасы с плоской поверхностью [4]. Сальянская равнина расположена в восточной части котловины между Малым и Большим Кавказом и на западе граничит с Каспийским морем. Ее геология связана с общей историей геотектонической зоны Каспия. Петрографический состав здешних почв определяют первичные материалы, магнетиты и полевои шпат [5].

Поскольку исследуемый район находится на 22 м ниже уровня моря, подъем и падение уровня Каспийского моря напрямую влияют на почвы. Уровень грунтовых вод (далее – УГВ) на исследуемой территории находится на разной глубине в зависимости от рельефа. Наиболее близкий к поверхности земли УГВ в основном приходится на май – июнь [3].

Как видно из почвенной карты Азербайджанской Республики, на Сальянской равнине в основном распространены малогумусные, среднегумусные, серо-луговые, лугово-серые почвы, солончаки, такыры и такыровидные почвы. Малогумусные серо-луговые почвы представляют собой молодые почвы, развитые на аллювиальных отложениях. Переходы в профиле не видны. Гумус в верхнем слое в ряде случаев достигает 2 %, в нижних слоях он резко уменьшается. Обилие гумуса в основном наблюдается в слое 10–20 см. Малогумусовые серо-луговые почвы бывают различной степени засоления по сульфатно-хлорному и хлорно-сульфатному составам [6–9].

Большую роль в формировании лугово-серых почв играют грунтовые воды, залегание которых на глубине 1,5–2 м благоприятствует образованию указанных почв. Поскольку растительность хорошо развита, обеспеченность почв гумусом относительно высока, гумусовый слой выражен (40–75 см), и лугово-серые почвы считаются пригодными для сельского хозяйства.

Засоленные почвы расположены в северо-восточной части равнины. Цвет почвы темно-серый и светло-серый; ее структура в верхних слоях зернисто-ореховидная, комковатая, в нижних слоях не выделяется. По гранулометрическому составу почва встречается как тяжелая глинистая, так и легкая глинистая. Начиная с верхних слоев, почвы постепенно становятся влажными; степень засоления – от средней до тяжелой.

Такыры и такыроподобные почвы представляют собой ровные участки, занимающие небольшую часть в северо-восточной части равнины; они используются как пастбище. Их цвет серый и сероватый, структура комковатая. Верхние части почвы твердые, а нижние слои относительно мягкие. В верхних слоях почва сухая, в нижних – известковая, переходы генетических слоев постепенные [7].

Растительность Сальянской равнины впервые была изучена в 1929 г. А. Г. Гроссгеймом. На ее территории распространены галофитные, ксерофитные, эфемерные и гидрофильные растения. Галофитные растения, в основном солелюбивые или солеустойчивые – это ведущая группа растительности района; они присутствуют в течение всего вегетационного периода на сырых и отдохнувших полях. Группа галофитов (лебеда, солянка, гребенчук) – засухо- и солеустойчивые кормовые растения полупустынных лугов. Ксерофитные растения (полынь, лебеда и др.), будучи устойчивыми к засухе, не занимают большой площади на исследуемом участке и не влияют на почвообразовательный процесс. Эфемерные растения (четочник, костер, ежевика) занимают малую площадь; они начинают прорастать ранней весной после первых осенних дождей. Гидрофильные растения зелены круглый год и развиваются при избытке влаги. На территории равнины эти растения в основном распространены около рек, ручьев и озер [3, 7].

В ходе исследования изучалось состояние орошаемых серо-луговых почв Сальянской равнины, чтобы на их основе разработать комплексную систему агро-мелиоративных мероприятий. Также исследовалось влияние засоления почв и грунтовых вод Сальянской равнины на продуктивность сельскохозяйственных растений; определялись количество и типы солей в почвах и грунтовых водах района. Обработка данных показала, что продуктивность сельскохозяйственных культур, плодородие почвы, ее водно-физические свойства зависят от глубины залегания грунтовых вод и их минерализованности. Поэтому изучение изменений уровня и минерализации грунтовых вод на орошаемых землях Сальянской равнины имеет большое практическое значение.

Известно, что грунтовые воды могут существовать в различных природных условиях. На некоторых наклонных участках они имеют естественный сток и в таких случаях становятся менее засоленными. Однако есть участки, где естественный сток грунтовых вод отсутствует и он носит непроточный характер. При таких обстоятельствах воды становятся сильнозасоленными, так как длительное время растворяют соли в материнской породе. Засоление усиливается вследствие высокого уровня испарения в местах залегания грунтовых вод, что приводит к засолению почвы и ее непригодности к использованию в течение длительного периода времени.

Исследования показывают, что глубина залегания грунтовых вод на дренированных участках увеличивается по мере приближения к дренам. В результате орошения растительности начинает подниматься УГВ, но после завершения работ по орошению он снижается: через 5–8 дней после окончания каждого полива скорость понижения составляет 1,0–0,8 см/сут. В целом грунтовые воды поступают по уклону в сторону рек Кура и Аракс, а через них – в море. В результате интенсивного орошения УГВ начинает резко подниматься, и в результате неправильного орошения на участках, близких к поверхности земли, плохого функционирования дренажных систем в этом районе и иных причин вновь происходит засоление почвы. Поэтому для предотвращения подъема УГВ на орошаемых землях и их

засоления следует точно соблюдать правила полива. В связи с этим изучение глубины и минерализации грунтовых вод в районе исследований весьма актуально [3, 6].

С начала ранней весны в результате падения уровня Куры и смешения ее вод с водами Каспийского моря вода в районе до поселка Сурра становится соленой и непригодной для орошения. По сравнению с предыдущими годами урожайность зерна снизилась: в 2021 г. наибольшая убранная площадь составила 55–58 ц/га, наименьшая – 40 ц/га, а в 2022 г. урожайность колебалась от 35–38 ц/га до 12–17 ц/га.

Как следует из данных, представленных в табл. 1, глубина залегания грунтовых вод составляет 1,30–1,50 м, а их минерализация колеблется от 4,95 до 5,00 г/л. Количество ионов SO_4 в грунтовых водах на опытном участке отмечалось в пределах 1,08–1,09 г/л; ионов Cl – 7,00–9,59; CO_3 – 0,03–0,05; HCO_3 – 0,29–0,32; Ca – 0,08–0,50; Mg – 0,01–0,22 г/л, а сумма

солей изменялась от 9,23 до 11,22 г/л. Минерализация оросительной воды составляет 1,23 г/л по сухому остатку, а сумма солей – 1,16 г/л.

В табл. 2 показаны результаты анализа проб, отобранных с почвы исследуемых территорий. В зависимости от сухого остатка количество солей колеблется в пределах 1,23–1,94 %; SO_4 – 0,20–0,54; HCO_3 – 0,024–0,049; Cl – 0,168–0,375; Ca – 0,007–0,13; Mg – 0,036–0,117; $Na + K$ – 0,11–0,31 %, а общее содержание солей – в пределах 1,04–1,44 %.

По сравнению с 2021 г. Cl изменяется от 0,027 до 0,322 % в слое 0–25 см; от 0,107 до 0,308 % в слое 0–100 см. Наблюдается, что SO_4 изменяется примерно на 0,052–0,54 % в слое 0–25 см и на 0,122–0,50 % в слое 0–100 см; Ca в слое 0–25 см – 0,010–0,130 %; в слое 0–100 см – 0,035–0,080 %. Так, мы наблюдаем увеличение сумма солей в слое 0–25 см составляет 1,180–1,25, в слое 0–100 см – 0,390–1,22 %.

Таблица 1. Изменение минерализации воды на опытном участке (Нефтечалинский район, 2022 г.)

№ разреза и глубина грунтовых вод	Вносимые вещества, г/л							Плотный остаток, г/л	Сумма солей, %
	CO_3	HCO_3	Cl	SO_4	Ca	Mg	$Na + K$		
К-1 (грунтовые воды, глубина 4,95 м)	0,03	0,32	9,59	1,08	0,08	0,01	0,11	11,30	11,22
К-2 (грунтовые воды, глубина 5,00 м)	0,05	0,29	7,00	1,09	0,50	0,22	0,08	9,35	9,23
Оросительные воды	0,02	0,04	0,37	0,39	0,15	0,12	0,07	1,23	1,16
Дренажные воды	0,02	0,19	11,60	1,03	0,38	0,03	0,35	13,75	13,60

Таблица 2. Изменение количества солей в почвах опытного участка (Нефтечалинский район, 2022 г.)

№ разреза	Глубина, см	Состав солей, мг-экв							Плотный остаток, г/л	Сумма солей, %	pH
		CO_3	HCO_3	Cl	SO_4	Ca	Mg	$Na + K$			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
К-1	0–25	–	0,6	9,2	11,24	6,5	9,75	4,79	1,280	1,250	7,54
	25–50	–	0,8	6,4	8,54	3,5	5,25	6,99	1,230	1,190	7,71
	50–75	–	0,8	8,6	10,20	3,5	5,25	10,85	1,250	1,220	7,70
	75–100	–	0,6	8,8	10,41	4,0	6,0	9,81	1,270	1,220	7,65
К-2	0–25	–	0,2	9,2	10,41	3,25	4,87	11,69	1,450	1,220	7,29
	25–50	–	0,6	9,4	8,74	3,25	4,87	11,72	1,420	1,170	7,42
	50–75	–	0,4	4,8	10,83	2,00	3,00	11,03	1,260	1,040	7,62
	75–100	–	0,6	8,9	4,17	3,00	4,50	10,15	1,940	1,440	7,66

№ разреза	Глубина, см	Состав солей, %							Плотный остаток, г/л	Сумма солей, %	рН
		CO ₃	HCO	Cl	SO ₄	Ca	Mg	Na + K			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
К-1	0–25	–	0,037	0,322	0,540	0,13	0,117	0,110	1,280	1,250	7,54
	25–50	–	0,049	0,224	0,410	0,07	0,063	0,160	1,230	1,190	7,71
	50–75	–	0,049	0,301	0,490	0,07	0,063	0,240	1,250	1,220	7,70
	75–100	–	0,037	0,308	0,500	0,08	0,072	0,220	1,270	1,220	7,65
К-2	0–25	–	0,012	0,322	0,500	0,065	0,058	0,260	1,450	1,220	7,29
	25–50	–	0,037	0,329	0,420	0,065	0,058	0,270	1,420	1,170	7,42
	50–75	–	0,024	0,168	0,520	0,040	0,036	0,250	1,260	1,040	7,62
	75–100	–	0,037	0,375	0,200	0,060	0,054	0,310	1,940	1,440	7,66

Заключение

Определено, что минерализация грунтовых вод на опытном участке составляет 9,35–11,30 г/л, рН – 7,92–8,35; количество солей в почве варьировалось от 1,104 до 1,44 %, рН – 7,42–7,6. На основании полученных результатов установлено, что почвы опытного участка средnezасоленные и сильнозасоленные.

После уборки зерна рекомендуется вспахивать участки, вносить под вспашки органи-

ческие и минеральные удобрения, проводить определенные мелиоративные мероприятия, сделать временные дренажи и собиратели, обеспечить их сброс в постоянные дренажи. Прокладка временных дренажей и водосборников способствует снижению количества солей в почве, уровня грунтовых вод и их минерализации на этих участках.

Библиографический список

1. Асланов, Х. Г. Экогеографические проблемы нижнего течения Куры / Х. Г. Асланов. – Баку : Саşıođlu, 2013. – 233 с.
2. Аринушкина, Е. В. Руководство по химическому анализу почв / Е. В. Аринушкина. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва : МГУ, 1970. – 488 с.
3. Волобуев, В. Р. Генетические формы засоления почв Кура-Араксинской низменности / В. Р. Волобуев. – Баку : Акад. наук АзССР, 1965. – 248 с.
4. Махмудов Р. Н. Гидрометеорологическая служба Азербайджана за последние три века / Р. Н. Махмудов. – Баку : Зия-Нурлан, 2007. – 218 с.
5. Хаин, В. Е. Геологическая история и строение Куринской впадины / В. Е. Хаин, А. Н. Шарданов. – Баку : Акад. наук АзССР, 1952. – 347 с.
6. Мустафаев, М. Г. Изменение глубины и минерализации подземных вод Мугано-Сальянского массива / М. Г. Мустафаев, Г. З. Азизов // Азербайджанское общество почвоведов : сб. науч. тр. – Баку : Элм, 2010. – Т. XI. – С. 31–38.
7. Мамедов, Г. Ш. Экология и охрана окружающей среды / Г. Ш. Мамедов, М. Ю. Халилов. – Баку : Элм, 2005. – 879 с.
8. Мамедов, Г. Ш. Основы почвоведения и географии почв / Г. Ш. Мамедов. – Баку : Элм, 2007. – 661 с.
9. Джафаров, М. И. Почвоведение / М. И. Джафаров. – Баку : Элм, 2005. – 460 с.

Поступила 25 августа 2023 г.

КОЛИЧЕСТВО И ТИПЫ СОЛЕЙ ПОЧВ КУРА-АРАКСИНСКОЙ НИЗМЕННОСТИ (НА ПРИМЕРЕ САЛЬЯНСКОЙ СТЕПИ)

М. Г. Мустафаев, доктор аграрных наук

Л. З. Джалилова, PhD по аграрным наукам

Институт почвоведения и агрохимии, г. Баку, Азербайджан

Аннотация

Цель работы – определение актуального состояния орошаемых почв Кура-Араксинской низменности под хлопковые и зерновые культуры. Исследования проводились на опытном участке с. Сейидсадыхлы (площадь 2,5 га). Установлены количество, состав и типы почв, изучена их продуктивность. Результаты анализа показали, что количество солей в 0–100 см слое почвы, используемой под хлопчатник и зерновые культуры, составили соответственно 0,22–0,39 и 0,00, 18–0,48 %. Типы солей этих почв по общему количеству ионов Cl и соотношению Cl:SO₄ – сульфатно-хлоридные. В период исследований продуктивность хлопчатника составила 30–35 ц/га, зерновых – 28–30 ц/га. Определено значение pH, менявшегося в пределах 7,12–7,71.

Ключевые слова: засоление, грунтовые воды, количество солей, продуктивность.

Abstract

M. G. Mustafayev, L. Z. Jalilova

QUANTITY AND TYPES OF THE SALT IN THE SOIL OF THE KUR-ARAZ VALLEY (IN THE SALYAN STEPPE)

The purpose of the paper is to determine the current state of irrigated soils of the Kura-Araz lowland for cotton and grain crops. Studies have been carried out in the experimental area near Seyidsadykhly (area 2.5 hectares). The amount, composition and types of soils have been determined; their productivity has been studied. The results of the analysis have showed that the amount of salts in the 0–100 cm soil layer used for cotton and cereals was 0.22–0.39 and 0.00, 18–0.48 %, respectively. The types of salts of these soils in terms of the total number of Cl ions and the ratio of Cl:SO₄ are sulfate-chloric. During the study period, the productivity of cotton was 30–35 c/ha, grain – 28–30 c/ha. The pH has been determined to vary between 7.12 and 7.71.

Keywords: salinization, groundwater, amounts of salt, productivity.

Введение

Улучшение мелиоративного состояния земель, используемых под пашню, и получение от них высокой продуктивности считаются одними из важнейших задач, стоящих перед специалистами Азербайджанской Республики. В результате проведенных реформ в нашей стране повысилась продуктивность, полученная в результате восстановления и повышения плодородия орошаемых земель под сельскохозяйственными культурами. Однако часть земель подверглась разной степени засоления из-за их неправильного использования. Азербайджан имеет богатые земельные ресурсы, но более 40 % земель в той или иной степени подвержены эрозионным процессам, а широкомасштабное вмешательство человека в природные комплексы без учета земельного-экологического законодательства привело

к деградации земельного покрова на значительных территориях [1, с. 6–15].

Как известно, большинство сельскохозяйственных культур не может расти на участках с большим количеством легкорастворимых солей в почве или же их продуктивность бывает очень низкой. Поэтому эксплуатация засоленных и солонцеватых почв возможна только после применения сложных комплексных мелиоративных мероприятий. Они влияют на продуктивность сельскохозяйственных культур в зависимости от количества солей в почве (токсичность этих солей различна). Ее эффективное использование детерминировано внесением в почву в оптимальном количестве минеральных и органических удобрений, правильной вспашкой земли. Одна из основных причин засоления почв заключается в близком

расположении к поверхности земли грунтовых вод с высоким содержанием минералов.

Многолетние исследования показывают, что плодородие почв при интенсивном использовании сельскохозяйственных культур с каждым годом снижается. Для повышения плодородия важно ежегодно вносить в почву 12 тонн органических и необходимое количество минеральных удобрений, что облегчит их усвоение растениями и существенно увеличит урожайность. На полях должны быть проведены: глубокая вспашка, планировка, соответствующая культивация, мероприятия по борьбе с сорняками и вредителями, своевременное и планомерное внесение удобрений и др. [2, с. 47].

Почвы Кура-Араксинской низменности считаются наиболее ценными для выращивания сельскохозяйственных культур. Благоприятные природные условия и наличие на данной территории источников пресной воды с давних времен давали широкие возможности для развития здесь ирригационного земледе-

лия. Площадь низменности составляет 2,2 млн га, а ее почвы в целом плодородны и пригодны для возделывания. В то же время эта равнинная местность, имеющая очень низкую естественную дренажную способность, стала местом вымывания и приноса солей с окружающих возвышенностей, что привело к накоплению большого количества солей в почве и грунтовых водах равнины. В районе немало засоленных почв, которые имеют неблагоприятные водно-физические свойства.

Проведено немало исследований по изучению засоления, геологии и гидрогеологии почв равнины (С. Н. Тюремнов, В. А. Приклонский, Ф. П. Саваренский, В. Р. Волобуев, А. К. Алимов, Ф. Ш. Алиев и др.). Так, В. Р. Волобуев проанализировал закономерности географического распределения солей в почве, исследовал водно-солевой режим с учетом геоморфологических особенностей местности и определил генетические формы засоления почв Кура-Араксинской низменности [3, с. 14–16].

Объект и методика исследования

Цель исследования – изучение изменений, происходящих в почвах Сальянской степи, расположенной в Кура-Араксинской низменности, и определение количества и типа солей. Площадь объекта исследования – 2,5 га в районе с. Сейидсадыхлы, занятых под по-

севы хлопчатника и зерновых культур. Почвы на исследуемой территории относятся к лугово-сероземному типу. На обоих участках были сделаны 6 разрезов с отмеченными координатами; химические анализы проведены по общепринятой методике [4, с. 392–399].

Анализ и обсуждение результатов исследования

Сальянская степь расположена на Кура-Араксинской низменности на правом берегу р. Куры, в районе между Муганской степью и Каспийским морем. Площадь степи составляет 149 000 га, из которых 46 000 га используются под сельскохозяйственные культуры. Участки степи вдоль побережья залива Кызыл-Агач заболочены. Хотя местность равнинная, местами встречаются небольшие ямы. Речные долины и оросительные каналы в этом районе вызвали фрагментацию рельефа, который состоит в основном из равнин, а большую его часть с гипсометрической точки зрения составляют низменности, расположенные ниже уровня моря. Долины рек и оросительные каналы в этом районе вызвали фрагментацию рельефа, который несколько повышается к северу, что более отчетливо заметно в районах конусов выноса рек. В зависимости от местно-

сти уровень грунтовых вод располагается на разной глубине. Исследования показывают, что подземные воды на изучаемой территории имеют разный уровень минерализации [5]. Годовая температура воздуха на равнине колеблется в пределах 1,8–2,5 °С, а относительная влажность – в пределах 62–81 %.

Почвы Сальянской степи в основном относятся к сульфатно-хлоридному типу засоления, а местами встречаются и засоленные почвы хлоридного типа; они имеют различную водопроницаемость; для орошения почв используется вода р. Акуша [6]. Количество гумуса колеблется в пределах 1,2–2,8 % в верхнем слое почвы. По гранулометрическому составу почва глинистая, суглинистая, песчаная. Почвенный покров Сальянской степи был подробно изучен А. К. Бейбутовым, Х. Ф. Джафаровым, Н. А. Димо, В. Р. Волобуевым, М. Э. Салаевым,

Г. А. Алиевым, М. П. Бабаевым, Г. Ш. Мамедовым и др.

Естественная растительность Сальянской степи была подробно исследована А. Г. Гроссгеймом в 1929 г. [7]. В результате наблюдений и анализа естественный растительный покров региона был разделен условно на следующие группы: галофитные, ксерофитные, эфемерные и гидрофильные растения.

Травянисто-сероземные почвы – одни из самых распространенных типов почв в Азербайджане. Они формируются на аллювиальных равнинах Кура-Араксинской низменности, во многих случаях – в депрессивных понижениях, а при благоприятных условиях увлажнения – под полынно-эфемерными сенокосами [6, 8]. Для районов распространения травяно-серых почв характерен субтропический полупустынный климат с теплой и безморозной зимой, сухим и жарким летом. Как уже отмечалось, орошаемые лугово-сероземные почвы опытного участка используются под хлопчатник и зерновые культуры. Почвенные образцы были взяты из характерных мест; были определены гранулометрический состав, поглощенные основания, рН, состав солей. За период исследований опытный участок поливался 3 раза.

В зависимости от гранулометрического состава почвы меняются как условия возделывания, время полевых работ, так и нормы внесения удобрений, и расположение сель-

скохозяйственных культур. Проводились обширные исследования по изменению гранулометрического состава почв под влиянием орошения [9, 10]. Количество физической глины (частицы меньше < 0,01 мм) в почвах опытного участка составило 41,64–56,16 %. Количество иловой фракции (частицы больше < 0,001 мм), соответственно, варьировалось в пределах 10,04–24,72 %. Также было установлено, что количество поглощенных оснований в почвах под хлопчатником составляет 26,6–35,5 и 10,1–40,9 мг-экв. В сумме поглощенных оснований наблюдалось значительное увеличение катиона Mg. В почвах под хлопчатником его количество изменялось от 32,3 до 75,25 %, а в почвах под зерновыми – от 1,60 до 62,1 %.

В результате проведенных исследований в слое 0–100 см количество солей (средний показатель) на опытном участке под хлопчатником зафиксировано в пределах 0,22–0,39 %, а в почве под зерновыми – 0,18–0,48 %. Значит, почвы опытного участка незасоленные и слабозасоленные. Величина рН под зерновыми варьировалась в пределах 7,31–7,71, а в почвах под хлопчатником – в пределах 7,12–7,53. Это свидетельствует о том, что почвы опытного участка щелочные.

В приведенных ниже таблице и рисунке представлены данные по изменению количества и состава солей в почве исследуемого участка.

Таблица. Результаты полной водной вытяжки почв опытного участка

№	Номер и координаты разреза	Глубина, см	CO ₃	HCO ₃	Cl	SO ₄	Ca	Mg	Na + K	Сумма солей, %	Плотный остаток, %
			%								
1	R-7 (хлопчатник) N39033128,111 E48054111,311	0–100	нет	0,064	0,061	0,076	0,033	0,010	0,043	0,28	0,33
2	R-8 (хлопчатник) N39033129,511 E48054111,611	0–100	нет	0,048	0,037	0,060	0,035	0,003	0,032	0,22	0,23
3	R-9 (хлопчатник) N39033131,411 E48054111,411	0–100	нет	0,048	0,042	0,192	0,044	0,039	0,054	0,39	0,60
4	R-10 (зерновые) N39033128,711 E48054107,511	0–100	нет	0,081	0,016	0,020	0,035	0,004	0,004	0,48	0,53
5	R-11 (зерновые) N39033129,111 E48054106,811	0–100	нет	0,044	0,031	0,084	0,028	0,008	0,029	0,23	0,29
6	R-12 (зерновые) N39033131,511 E48054103,411	0–100	нет	0,052	0,023	0,056	0,032	0,003	0,019	0,18	0,23

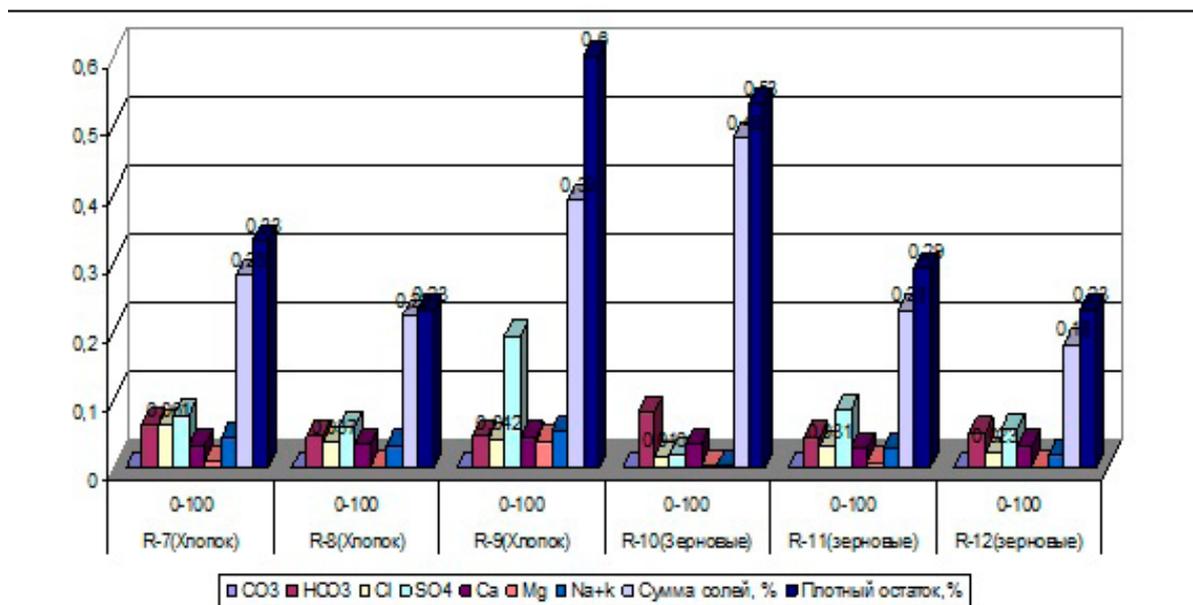


Рисунок. Диаграмма изменения солей на опытном участке

В ходе исследований также определяли продуктивность хлопчатника и зерновых культур. Так, урожайность хлопчатника Беязалтун на опытном участке составила 30–35 ц/га, а зерновых – 28–30 ц/га.

Для решения таких вопросов, как картирование, правильное размещение сельскохозяйственных растений, определение норм мойки, необходимо знать, какими солями и в какой степени засолены почвы. В почвогрунтах соли

классифицированы по количеству и типу солей. Классификация почв по количеству и типу солей предлагалась многими авторами (В. Р. Волобуев, В. В. Егоров, Н. И. Базилевич, Е. И. Панкова и др.). Нами были определены количество солей и их типы по классификации В. Р. Волобуева. Типы засоления по соотношению $Cl:SO_4$ относятся к хлоридно-сульфатному типу.

Выводы

В результате исследований установлено, что количество солей в орошаемых лугово-сероземных почвах опытного участка под хлопчатник составляет 0,22–0,39 %, а под зерновые – 0,18–0,48 %. В 100 г почвы сумма поглощенных оснований под хлопчатник – 35,5

мг-экв, а в почвах под зерновые – 10,1–40,9 мг-экв. Величина рН под зерновые менялась в пределах 7,31–7,7; под хлопчатник – в пределах 7,12–7,53.

Тип засоления по соотношению $Cl:SO_4$ относится к хлорно-сульфатному.

Библиографический список

1. Бабаев, М. П. Образцовая биоморфогенетическая диагностика базовой классификации почв Азербайджана / М. П. Бабаев. – Баку : Наука, 2001. – 40 с.
2. Азизов, Г. З. Засоленные земли Азербайджана, их мелиорация и повышение плодородия / Г. А. Азизов. – Баку : АЗИМУ, 1999. – 76 с.
3. Азизов, Г. З. Классификация засоленных почв Азербайджана по степени и типу засоленности / Г. З. Азизов. – Баку : R.N.Novruz, 2002. – С. 4–71.
4. Аринушкина, Е. В. Руководство по химическому анализу почв / Е. В. Аринушкина. – Москва : МГУ, 1970. – 488 с.
5. Мамедов, Г. Ш. Экомелиоративная оценка засоленных и солонцеватых почв / Г. Ш. Мамедов, А. Дж. Гашимов, Х. Ф. Джафаров. – Баку : Элм, 2005. – 180 с.
6. Мустафаев, М. Г. Изучение изменения засоления почв и грунтовых вод Сальянской степи / М. Г. Мустафаев // Научные исследования в мелиорации и водном хозяйстве :

сб. науч. тр. / М-во с. х. Респ. Казахстан ; ДГП «Научно исследовательский институт водного хозяйства». – Тараз : ИЦ «Аква», 2006. – Т. 42, вып. 2. – С. 51–53.

7. Гроссгейм, А. А. Анализ флоры Кавказа / А. А. Гроссгейм. – Баку : Изд-во Азербайдж. фил. Акад. наук СССР, 1936. – Т. 1. – 297 с.

8. Джалилова, Л. З. Некоторые диагностические показатели почв экспериментальной площади Сальянской степи / Л. З. Джалилова, Х. Н. Сулейманова // Экологический вестник Северного Кавказа. – 2022. – Т. 18, № 2. – С. 88–91.

9. Азизов, Г. З. Научный анализ водно-солевого баланса мелиорированных почв Кура-Араксинской низменности / Г. З. Азизов. – Баку : Элм, 2006. – 164 с.

10. Джалилова, Л. З. Изменение количества солей в почвах Кура-Араксинской низменности / Л. З. Джалилова, Ф. М. Мустафаев // Экология, мелиорация и энергетика почв : материалы науч.-практ. конф., посвящ. 110-летию со дня рождения акад. В. Р. Волобуева, Баку, 2019 г. / Ин-т почвоведения и агрохимии НАНА ; ред. А. Г. Гулиев. – Баку : Msvnəşr, 2019. – С. 46.

Поступила 10 августа 2023 г.

АНАЛИЗ И ОЦЕНКА ОПОЛЗНЕВОГО РИСКА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПОКАЗАТЕЛЯ ХЁРСТА ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ГЕОТЕХНИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА

А. И. Кацко, магистрант

С. И. Маций, доктор технических наук

*Кубанский государственный аграрный университет имени И. Т. Трубилина,
г. Краснодар, Россия*

Аннотация

Работа нацелена на разработку эффективной мелиорационной методики оценки состояния оползня по результатам наблюдений, полученных в реальном режиме времени с использованием автоматизированной системы мониторинга, включающей геотехническое и геодезическое оборудование. Объект исследования – реальные данные результатов геотехнического мониторинга горного ландшафта. Представлена классификация участков оползневого тела по группам риска. Результаты анализа данных мониторинга оползневого склона позволяют сделать вывод, что скорость ползучести почвы может характеризоваться показателем Хёрста. Предлагается использовать метод идеальной точки для упорядочивания инклинометрических скважин по степени риска.

Ключевые слова: охрана земель, оползень, геотехнический мониторинг, индекс Хёрста, анализ, идеальная точка.

Abstract

A. I. Katsko, S. I. Matsiy

ANALYSIS AND ASSESSMENT OF LANDSLIDE RISK WITH USE OF THE HURST INDICATOR BASED ON THE RESULTS OF GEOTECH MONITORING

The purpose of the work is to develop a methodology for assessing the state of a landslide based on the results of observations obtained in real time use an automated monitoring system including geotechnical and geodetic equipment. The object of the study is the real data of the results of geotechnical monitoring. The landslide body sites by risk groups are presented. The obtained results of the analysis of the monitoring data of the landslide slope allow us to conclude that the creep rate can be characterized by the Hurst index. To arrange inclinometric wells according to the degree of risk, it is proposed to use the ideal point method.

Keywords: land protection, landslide, geotechnical monitoring, Hurst index, analysis, ideal point.

Введение

Антропогенное воздействие на природу в сельской местности влечет за собой техногенное изменение естественного природного ландшафта и превращение его в агроландшафт. Основным ресурсом в сельском хозяйстве является земля (сельскохозяйственные угодья, в том числе пашня, пастбища, сенокосы, земли, занятые многолетними насаждениями и др.). Кроме того, рассматриваются земли населенных пунктов, особо охраняемых территорий, связанные между собой линейными объектами.

Одна из основных задач современной мелиорации – надежная и рациональная эксплуатация земель различного назначения. Для этого необходимо применять комплексный

подход к мелиорации и охране переувлажненных и подверженных деградации земель, что достигается использованием ресурсосберегающих адаптированных технологий. Инженерная защита объектов гражданского, промышленного, гидротехнического назначений, автомобильных и железных дорог предусматривает проведение инженерно-геодезических, инженерно-геологических изысканий, расчет коэффициента устойчивости склона, проектирование мероприятий противооползневой защиты и их дальнейшую эксплуатацию [1].

Защиту техногенных агроландшафтов следует проводить комплексно с выделением двух этапов [2–6]. На первом этапе охраны техногенных агроландшафтов осуществляют

мелиорацию и охрану земель от подтопления и переувлажнения. На втором этапе осуществляются мониторинг техногенных агроландшафтов, прогнозы по подтоплению, переувлажнению и развитию оползневых процессов.

Геотехнический мониторинг позволяет выявить развитие неблагоприятных тенденций. Визуальный мониторинг с использованием инструментальных измерений проводят по специальной программе работ с частотой, обусловленной интенсивностью оползневых процессов (обычно несколько раз в месяц). В сложных инженерно-геологических условиях рекомендуется применение автоматизированных систем мониторинга, с помощью которых можно проводить измерения через определенный промежуток времени (например, каждые 20 минут) в течение нескольких месяцев.

Традиционно результаты мониторинга представляются с использованием графического изображения развития оползневых процессов и носят описательный характер. Пока еще не разработана методика, позволяющая проводить аналитическое исследование результатов геотехнического мониторинга

оползневых процессов и упорядочивание различных участков оползневого склона по степени риска.

В нормативной документации, такой как СП 305.1325800.2017, СП 22.13330.2011, ГОСТ 31937-2011, ОДМ 218.3.008-2011, содержится исчерпывающе большой объем указаний о видах и методах проведения геотехнического мониторинга, составлении программы работ, однако анализ результатов мониторинга оформлен только как графическое (качественное) описание поведения наблюдаемого явления [7–10]. Для совершенствования процесса поддержки принятия конкретного решения по изучаемому объекту необходимо использовать количественные показатели, поэтому требуется разработать алгоритм анализа и оценки оползневого риска по результатам геотехнического мониторинга.

Результаты геотехнического мониторинга представляют собой временные ряды. Временной ряд – это расположенная в хронологическом порядке последовательность наблюдений за некоторым явлением, характер которого меняется со временем:

$$x_1, x_2, \dots, x_{t-1}, x_t.$$

Изучение оползневого процесса с использованием показателя Хёрста

Характеристика исходных данных. Объект исследования – строительство и реконструкция подпорных стенок на автомобильной дороге А–147 Джубга – Сочи (граница с Республикой Абхазия, Краснодарский край). Длина участка – 1675 м, диапазон – 195 км + + 310 м – 196 км + 985 м (привязка к километровым знакам).

Регистрация данных мониторинга производилась на протяжении 4 месяцев непрерывно каждые 20 минут. Результаты были оформлены в виде графиков раскрытия деформационных швов, отклонений от вертикали сооружений и инклинометрических обсадных труб; их следует рассматривать как многомерные временные ряды, которые можно изучать с использованием модели векторной авторегрессии и применять для прогнозирования изменения данных [11–16].

Измерения проводились в шести группах (точках) – I–VI. В табл. 1 показано применяемое оборудование: наклонометры, трещиномеры (точки I, VI); датчики давления, наклоно-

меры, трещиномеры (точка II); инклинометры, датчики давления, наклонометры, трещиномеры (точки III–V). При использовании данных по трещиномерам и инклинометрам рассматривался итоговый общий вектор (рис. 1). Анализ наблюдений проводился на основе статистического пакета GRETЛ.

На практике в пределах одного оползневого цирка оползень может разбиваться на несколько участков. При проведении мониторинга и разработке противооползневых мероприятий для поддержки процесса принятия решений требуется ранжировать эти участки по степени риска.

Оползневые процессы могут объясняться как внезапными климатическими проявлениями (ливни, ураганы, землетрясения и т. п.), так и долговременными процессами (внешняя нагрузка, собственный вес грунта, разложение органики, износ удерживающих конструкций), для описания которых может использоваться аппарат статистической теории векторной авторегрессии [12].

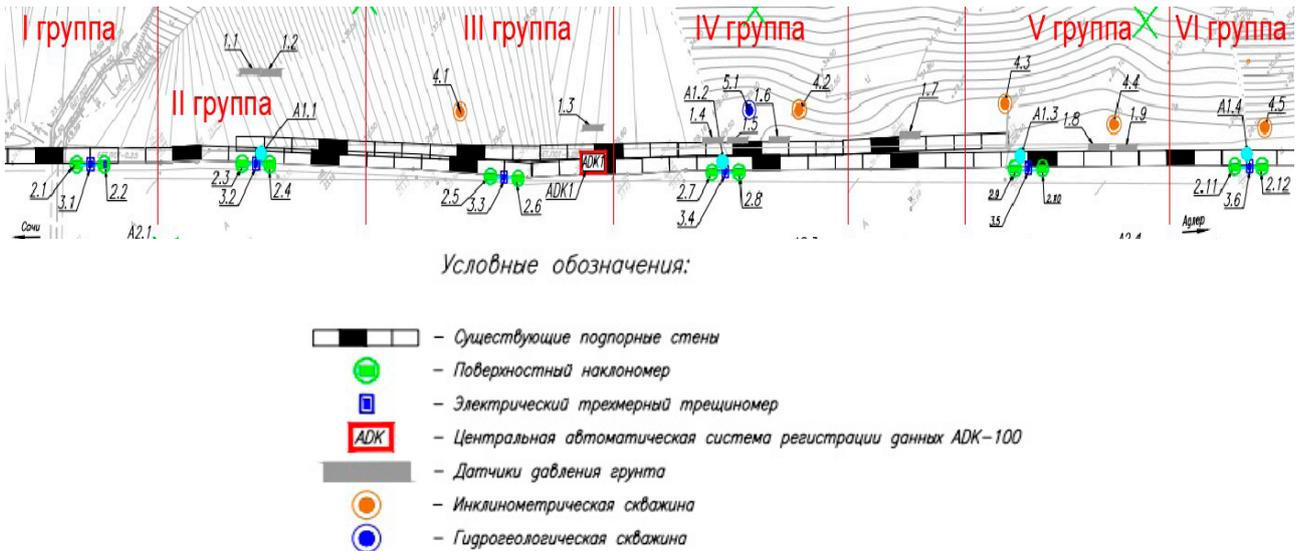


Рис. 1. Разделение объекта мониторинга на группы (точки)

Таблица 1. Спецификация общего количества применяемого геотехнического оборудования

Применяемое оборудование	Место установки	Кол-во оборудования	Наблюдаемые параметры
Датчик давления грунта	Оползневой склон	9 шт.	Давление оползневого массива на подпорное сооружение
Инклинометрическая скважина	Оползневой склон	5 скважин по 25 м на верховом сооружении	Глубинные деформации оползневого массива
Гидрологическая скважина	Оползневой склон	1 скважина, 20 м	Уровень грунтовых вод
Электрические трехмерные трещиномеры	Подпорное сооружение	6 шт. на верховом сооружении	Смещения секций конструкции подпорных сооружений
Наклономеры	Подпорное сооружение	12 шт. на верховом сооружении	Наклон подпорного сооружения
Система сбора данных ADK	Подпорное сооружение	2 шт.	Сбор, обработка и передача данных

Альтернативный подход к изучению оползневых процессов реализовал в 1951 г. английский гидролог Г. Хёрст, предложивший использовать относительную R/S-статистику [14]:

$$\frac{R}{S(n)} = \frac{1}{s_n} \left[\max \sum_{i=1}^k (x_i - \bar{x}_n) - \min \sum_{i=1}^k (x_i - \bar{x}_n) \right], \quad (1)$$

где $1 \leq k \leq n$, $s_n = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}_n)^2}{n}}$ – стандартное отклонение для всего ряда;

R – размах накопленных отклонений n значений от \bar{x}_n – среднего значения ряда;

x_i – случайная величина, наблюдаемая в дискретные промежутки времени;

n – количество измерений;

k – длина выборки.

R/S-статистика всегда неотрицательна и представляет собой преобразованный вариант размаха вариации признака ($R = x_{\max} - x_{\min}$).

С опорой на минимальные положения об изучаемой системе показатель Хёрста позволяет классифицировать временные ряды и отличать случайный ряд от неслучайного.

В 1969 г. было предложено использовать R/S-анализ для обнаружения «памяти ряда», то есть долговременных трендов, цикличностей и т. д., генерируемых случайным процессом, в виде формулы

$$\frac{R}{S(n)} \sim n^H, \quad (2)$$

где H – известная экспонента Хёрста.

Коэффициент Хёрста предлагается оценивать в двойных логарифмических координатах ($\log(R/S(n))$ и $\log(n)$).

Известно, что экспонента Хёрста в зависимости от принимаемых значений интерпретируется так [6]:

$H = 5$ – случайный процесс (корреляции во временном ряде отсутствуют, $C = 5$ – процесс без памяти);

$0 < H < 0,5$ – демонстрирует возврат к среднему (приращения коррелированы, но имеет-ся вероятность переворота на противоположную тенденцию) или антиперсистентный ряд;

$0,5 < H < 1$ – устойчивый тренд (ряд с памятью) или персистентный, сила которого увеличивается при приближении к 1.

Значение $H = 1$ отражает присутствие отдаленной корреляции степенного вида (указывает на нестационарность ряда и может описываться как проблема единичного корня, требующая привлечения расширенного теста Дики – Фуллера).

Рассмотрим для изучаемых наблюдений показатель Хёрста (табл. 2), полученный с использованием статистического пакета GRETLL, где g_4 – датчики давления грунта на искусственное противооползневое сооружение; ab – показания инклинометра на различной глубине; $Grad$ – показания наклономера; g_1 – показания трещиномера; H_{vod_stlb} – показания датчика-измерителя грунтовых вод.

Таким образом, практически для всех временных рядов точки IV наблюдается сохранение долговременной тенденции, в том числе и для скорости изменения давления датчиков и высоты водяного столба. Для скорости изменения остальных переменных показатель Хёрста меньше 0,5, что указывает на затухающую ползучесть в данной точке.

Для точек V (табл. 3) и VI (табл. 4, рис. 2) поведение наблюдений, измеренных с использованием датчиков давления, наклономера, трещиномера, уровня грунтовых вод и инклинометрической скважины 2, может говорить о нестационарности изучаемых процессов, так как для отдельных периодов изменяются средние значения и амплитуды колебаний при отсутствии тренда.

Таблица 2. Показатели Хёрста для временных рядов в точке IV

Временной ряд	Показатель Хёрста для исходного ряда	Показатель Хёрста для первой разности ряда
g_{441}	0,954816	0,646850
g_{451}	0,951136	0,585589
g_{461}	0,979035	0,625741
ab_{21}	0,971927	0,179021
ab_{22}	1,031940	0,174535
ab_{23}	0,902328	0,168730
ab_{24}	1,070680	0,304184
ab_{25}	1,094620	0,239277
ab_{26}	1,026980	0,153749
$Grad_{41}$	0,976651	0,233768
$Grad_{42}$	0,988816	0,189191
$Grad_{43}$	0,988002	0,196438
$Grad_{44}$	0,812111	0,258897
g_{144}	0,956265	0,463560
H_{vod_stlb}	0,956421	0,731727

Таблица 3. Показатели Хёрста для временных рядов в точке V

Временной ряд	Показатель Хёрста для исходного ряда	Показатель Хёрста для первой разности ряда
<i>g_481</i>	0,956614	0,615885
<i>g_491</i>	0,947396	0,602717
<i>ab31</i>	1,03417	0,172338
<i>ab32</i>	0,773651	0,172145
<i>ab33</i>	0,930022	0,177218
<i>ab34</i>	0,972251	0,161146
<i>ab35</i>	0,908332	0,173577
<i>ab36</i>	0,955585	0,210824
<i>ab41</i>	0,80643	0,113133
<i>ab42</i>	0,852495	0,18337
<i>ab43</i>	0,979336	0,157236
<i>ab44</i>	0,873958	0,167007
<i>ab45</i>	0,805712	0,145784
<i>ab46</i>	0,846642	0,143709
<i>Grad51</i>	0,928694	0,340394
<i>Grad52</i>	0,774093	0,170888
<i>Grad53</i>	0,984986	0,228628
<i>Grad54</i>	0,850359	0,217114
<i>g_154</i>	0,803714	0,260158



Рис. 2. Графики изменения углов, трещин и показаний инклинометра на различных глубинах в точке VI (*ab*)

Таблица 4. Показатели Хёрста для временных рядов в точке VI

Временной ряд	Показатель Хёрста для исходного ряда	Показатель Хёрста для первой разности ряда
<i>ab51</i>	0,845809	0,16382
<i>ab52</i>	0,775990	0,186152
<i>ab53</i>	1,00954	0,369829
<i>ab54</i>	1,01946	0,346629
<i>ab55</i>	0,992976	0,358785
<i>ab56</i>	0,811934	0,348368
<i>Grad61</i>	0,915213	0,301739
<i>Grad62</i>	0,974057	0,21629
<i>Grad63</i>	0,907349	0,273398
<i>Grad64</i>	0,895485	0,293854
<i>g_164</i>	0,851632	0,235942

Оценка оползневой риска

Правило, по которому предлагается оценить риск, называют критерием. Одним из основных критериев в данной работе является понятие стационарности и нестационарности изучаемых временных рядов, которое характеризуется показателем Хёрста.

Однако опыт показывает, что при оценке меры риска недостаточно одного критерия, поэтому предлагается использовать векторную целевую функцию. Сегодня считается актуальной двухкритериальная постановка [6, 15, 16]. На множестве всех допустимых решений $w = \{w_1, w_2, \dots, w_n\}$ ($\sum_{i=1}^n w_i = 1$) определяется векторная целевая функция $F(w) = (F_1(w), F_2(w))$, где $F_1(w)$ – величина ожидаемого дохода (математическое ожидание) в случае принятия решения w , а $F_2(w)$ – величина риска (дисперсия или среднее квадратичное отклонение ожидаемого дохода от его математического ожидания):

$$F_1(w) \rightarrow \max, F_2(w) \rightarrow \min. \quad (3)$$

При оценке оползневой риска величина ожидаемого дохода $F_1(w)$ обычно не требует рассмотрения, так как необходимость проведения противооползневых мероприятий переводит ее в разряд детерминированных зависимостей. Таким образом, наибольший интерес представляет функция риска $F_2(w)$, где для оценки риска среднее квадратичное отклонение целесообразно заменить коэффициентом вариации и добавить коэффициенты

асимметрии, эксцесса и показатель Хёрста. Таким образом, при оценке риска рекомендуется рассматривать четырехкритериальную задачу.

В общем случае предполагается, что все критерии минимизируются и являются соизмеримыми – вышеуказанные составляющие четырехкритериальной задачи удовлетворяют этому условию. Если критерии упорядочены по относительной важности, то можно рассматривать задачу лексикографической оптимизации [5]. Известны также прямые методы оценки альтернатив на базе решающих правил, использующие целевые функции вида MINMAX, MAXMIN, MINSUM, расстояние до идеальной точки и др. [5].

В исследовании использовался метод идеальной точки. Предложено рассматривать значение (расстояние) до идеальной точки, отображающей идеальное описание устойчивого склона в 4 независимых критериях: коэффициенте вариации (характеристика однородности данных), коэффициенте асимметрии (характеристика симметрии распределения), эксцессе (характеристика отсутствия «тяжелых хвостов» и выбросов); показателе Хёрста (характеризующего поведение скорости ползучести).

Если склон устойчив, то его идеальное описание в случае четырех критериев будет таким:

- коэффициент вариации $V \leq 0,3$ – наблюдения однородны (например, $V = 0,3$);
- коэффициент асимметрии $A_s = 0$ – распределение симметрично;
- эксцесс $Ex = 0$ – отсутствие «тяжелых хвостов» и выбросов;
- показатель Хёрста $H = 0,5$ – стационарность.

Поэтому целесообразно использовать метод идеальной точки в критериальном пространстве $a = (H, Ex, As, V)$. Координаты – упорядоченные критерии $H \geq Ex \geq As \geq V$ с весами λ_j (например: $\lambda_1 = 0,5$; $\lambda_2 = 0,3$; $\lambda_3 = 0,1$; $\lambda_4 = 0,4$).

Расстояние до идеальной точки для каждого уровня измерений инклинометров (ab_{ij}) можно записать с использованием формулы расстояния Евклида:

$$\rho(\lambda, ab_{ij}) = \sum_{i=1}^4 \times \sqrt{\lambda_1(H_{ij} - 0,5)^2 + \lambda_2(Ex_{ij} - 0)^2 + \lambda_3(As_{ij} - 0)^2 + \lambda_4(V_{ij} - 0,3)^2} \quad (4)$$

Еще одной характеристикой оползневого риска является радиус кривизны – величина, характеризующая отклонение кривой от прямой (поверхности от плоскости), которая для окружности рассчитывается как $1/R$.

Используя формулу (4), найдем расстояния от идеальной точки до каждого значения критериального пространства, полученного по результатам измерений инклинометров (табл. 5). Для каждой скважины найдем среднее расстояние до идеальной точки и с его помощью определим радиус кривизны последовательно измеренных каждые 4 метров глубины скважин для упорядочивания группы по оползневому риску. Наибольший риск появления оползневого процесса имеет скважина 5 и далее, в порядке убывания риска, – 1, 4, 2, 3.

По архивным данным установлено, что постоянная ежегодная активизация оползня в исследуемом районе наблюдается с 1973 г. со времени начала строительства новой автострады. В результате планировочных подрезок склона активизировались процессы выветривания. Сравнительно быстро и резко изменился вещественный состав коренных пород олигоцен и ухудшились их прочностные свойства.

На теле оползня выделены два наиболее опасных очага (рис. 3), что соответствует результатам классификации скважин по группам риска (табл. 5).

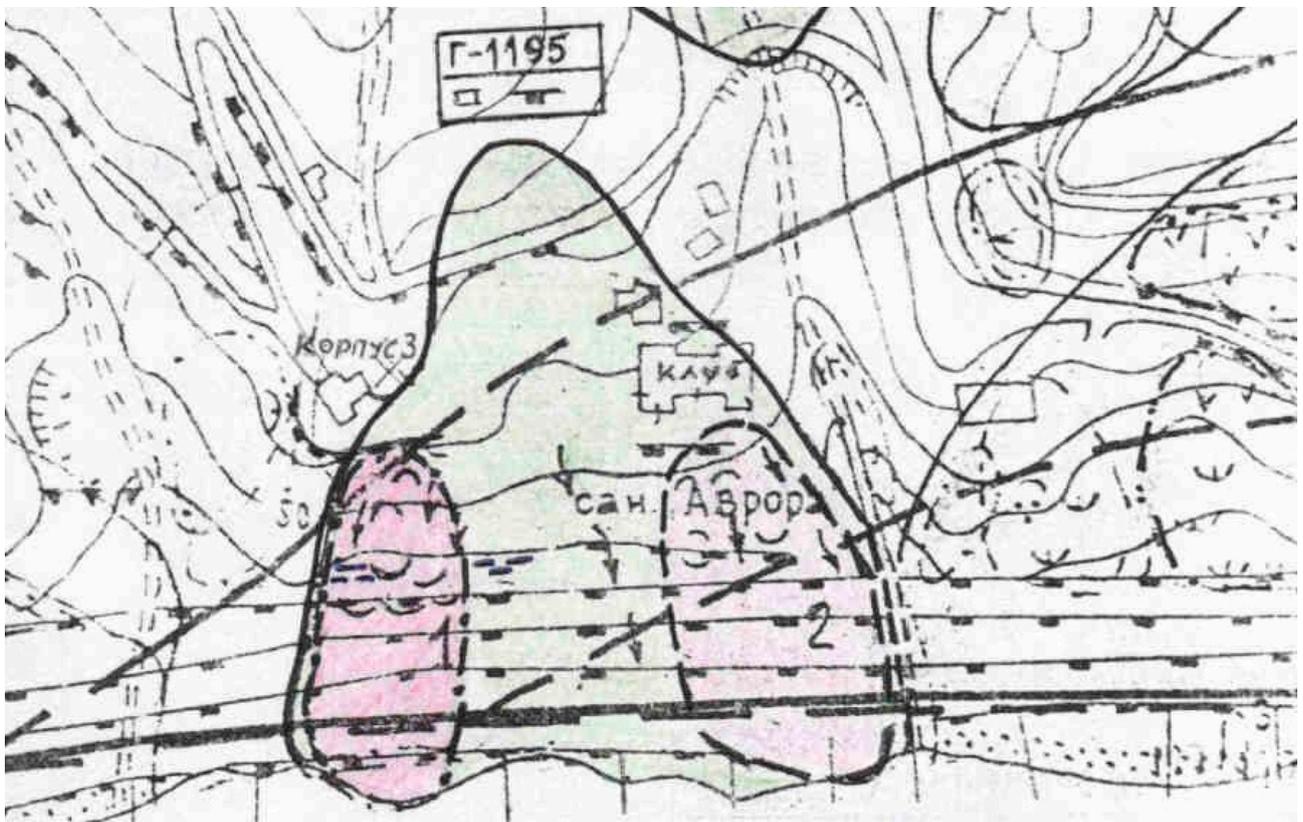


Рис. 3. Карта тела оползня

Таблица 5. Классификация скважин по группам риска

<i>I</i>	<i>G</i>	<i>Average</i>	σ	<i>As</i>	<i>Ex</i>	<i>V</i>	<i>H</i>	ρ	$\bar{\rho}$	Группа риска
<i>ab11</i>	24	1,786	0,831	-1,097	-0,389	0,465	1,056	0,654	0,594	II
<i>ab12</i>	20	1,450	0,876	0,496	-0,991	0,604	1,037	0,632		
<i>ab13</i>	16	2,904	2,811	0,655	-1,316	0,968	1,057	0,795		
<i>ab14</i>	12	0,332	0,152	0,333	-0,138	0,458	0,825	0,285		
<i>ab15</i>	8	0,782	0,289	0,028	-0,390	0,369	1,056	0,431		
<i>ab16</i>	4	0,908	0,427	0,574	1,422	0,471	0,982	0,768		
<i>ab21</i>	24	0,397	0,222	0,877	0,321	0,558	0,972	0,541	0,550	IV
<i>ab22</i>	20	0,541	0,338	0,923	0,167	0,625	1,032	0,573		
<i>ab23</i>	16	0,436	0,183	0,400	0,455	0,420	0,902	0,395		
<i>ab24</i>	12	1,719	1,020	0,116	-0,604	0,593	1,071	0,497		
<i>ab25</i>	8	1,990	1,220	0,080	-1,085	0,613	1,095	0,651		
<i>ab26</i>	4	0,703	0,341	-0,074	-1,164	0,485	1,027	0,644		
<i>ab31</i>	24	0,898	0,366	0,103	-0,283	0,408	1,034	0,402	0,358	V
<i>ab32</i>	20	0,597	0,185	-0,303	0,147	0,309	0,774	0,245		
<i>ab33</i>	16	0,953	0,209	-0,192	-0,210	0,219	0,930	0,331		
<i>ab34</i>	12	0,506	0,191	0,068	0,245	0,376	0,972	0,354		
<i>ab35</i>	8	0,491	0,171	0,144	-0,088	0,347	0,908	0,299		
<i>ab36</i>	4	1,290	0,364	-0,826	0,378	0,282	0,956	0,518		
<i>ab42</i>	20	0,229	0,153	1,457	2,742	0,666	0,852	1,415	0,559	III
<i>ab43</i>	16	0,386	0,172	0,454	-0,084	0,445	0,979	0,400		
<i>ab44</i>	12	0,318	0,148	0,589	0,568	0,467	0,874	0,455		
<i>ab45</i>	8	0,416	0,167	0,047	-0,273	0,402	0,806	0,251		
<i>ab46</i>	4	0,375	0,154	0,200	-0,187	0,412	0,847	0,276		
<i>ab51</i>	24	0,263	0,164	1,320	2,280	0,623	0,846	1,208		
<i>ab52</i>	20	0,351	0,205	1,361	2,508	0,584	0,776	1,294		
<i>ab53</i>	16	5,320	1,946	-1,414	0,155	0,366	1,010	0,732		
<i>ab54</i>	12	5,031	2,072	-1,260	-0,155	0,412	1,019	0,677		
<i>ab55</i>	8	2,461	0,889	-1,154	0,000	0,361	0,993	0,623		
<i>ab56</i>	4	0,357	0,198	2,562	29,866	0,553	0,812	13,408		

Алгоритм анализа и оценки оползневой риска по результатам геотехнического мониторинга

Данные, полученные по результатам геотехнического мониторинга, представляют собой многомерные временные ряды, которые имеют большой объем. Мониторинг решает задачи текущего состояния и прогнозирования изменения в поведении грунтов при возведении и эксплуатации природно-технических сооружений.

Результаты описания теории временных рядов и их использование на модельной задаче (проанализировано более 150 временных рядов, в том числе более 90 – по резуль-

татам измерений инклинометров) позволили прийти к выводу о том, что неустановившаяся (затухающая) ползучесть без риска перехода в установившуюся или прогрессирующую, идентифицируется на основании данных показателя Хёрста, характеризующего скорость изменения наблюдений.

Алгоритм анализа и оценки оползневой риска универсален и применим ко всем видам измерений параметров изучаемого объекта (геодезические наблюдения, гидрогеологические наблюдения, геофизические наблюдения

и т. д.). Рекомендуем в первую очередь анализировать данные с инклинометрических скважин, так как есть возможность определить одну из самых важных характеристик оползневого тела – глубину залегания поверхности скольжения оползня.

Предлагаемый алгоритм анализа и оценки оползневого риска по результатам изучения данных мониторинга заключается в выполнении следующей последовательности шагов.

1. Получить результаты геотехнического мониторинга; если участок наблюдений протяженный и по всей его длине снимались различного рода геотехнические показания, то необходимо разбить участок на группы.

2. Загрузить результаты в программный пакет GRETL, характеризовать каждую группу изменений показателем Хёрста ($H < 0,5$ – затухающая ползучесть, $H > 0,5$ – установившаяся ползучесть, $H > 1$ – прогрессирующая ползучесть).

3. Если показатель Хёрста $H > 1$, фиксируется прогрессирующая ползучесть (активно-

развивающийся оползневой процесс, аварийно-опасный участок; требуется срочное реагирование для предотвращения чрезвычайной ситуации).

4. Если показатель $H > 0,5$, это свидетельствует об установившейся ползучести (активный оползневой процесс, аварийно-опасный участок; требуется оперативное реагирование). Необходимо использовать понятие радиуса кривизны в пространстве состояний (H, Ex, As, V) для упорядочивания групп по степени риска.

5. Если $H < 0,5$, то это затухающая ползучесть (постепенное восстановление устойчивости). Предлагается использовать метод идеальной точки и понятие радиуса кривизны в пространстве состояний (H, Ex, As, V) для упорядочивания групп по степени риска.

6. Применять полученные результаты для принятия решений о проведении противооползневых мероприятий.

Выводы

Мелиорация может быть особенно эффективной при смягчении неблагоприятных условий, в том числе механических воздействий, таких как оползневые процессы, ветровая и водная эрозия. Надежная и рациональная эксплуатация противоэрозионных, противооползневых, водоотводящих систем требует организации наблюдений за грунтовыми природоохраняемыми сооружениями.

В статье предложен алгоритм для решения задачи упорядочивания областей оползнево-

го цирка по степени риска, предполагающий рассматривать результаты геотехнического мониторинга с точки зрения временных рядов. Для выявления случайных и неслучайных тенденций использовались показатель Херста и метод идеальной точки.

На реальном объекте показаны возможности применения данного алгоритма анализа временных рядов для упорядочивания по степени риска инклинометрических скважин, расположенных линейно в оползневом цирке.

Библиографический список

1. Безуглова, Е. В. Оползневой риск транспортных природно-технических систем : монография / Е. В. Безуглова, С. И. Маций, В. В. Подтелков. – Краснодар : КубГАУ, 2015. – 239 с.
2. Кузнецов, Е. В. Сельскохозяйственный мелиоративный комплекс для устойчивого развития агроландшафтов : учеб. пособие / Е. В. Кузнецов, А. Е. Хаджиди. – СПб. : Лань, 2018. – 300 с.
3. Кузнецов, М. С. Эрозия и охрана почв : учебник для вузов / М. С. Кузнецов, Г. П. Глазнов. – 3-е изд., испр. и доп. – Москва : Юрайт, 2021. – 387 с.
4. Маслов, Н. Н. Основы инженерной геологии и механики грунтов : учебник для вузов / Н. Н. Маслов. – Москва : Высш. школа, 1982. – 511 с.
5. Маслов, Н. Н. Физико-техническая теория ползучести глинистых грунтов в практике строительства / Н. Н. Маслов. – Москва : Стройиздат, 1984. – 176 с.
6. Перепелица, В. А. Математические модели и методы оценки рисков экономических, социальных и аграрных процессов / В. А. Перепелица, Е. В. Попова. – Ростов н/Д. : Изд-во Рост. ун-та, 2002. – 208 с.

7. Здания и сооружения. Правила проведения геотехнического мониторинга при строительстве : СП 305.1325800.2017. – Введ. 18.04.18. – Москва : Минстрой России, 2018. – 56 с.
8. Основания зданий и сооружений : СП 22.13330.2011. – Введ. 20.05.11. – Москва : Минрегион России, 2011. – 161 с.
9. Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния : ГОСТ 31937-2011. – Введ. 27.12.12. – Москва : Стандартинформ, 2014. – 54 с.
10. Рекомендации по мониторингу и обследованию подпорных стен и удерживающих сооружений на оползневых участках автомобильных дорог : ОДМД 218.3.008-2011. – Рек. Управл. науч.-техн. исслед., информ. обеспечения и ценообразования, Управл. эксплуатации и сохранности автомобил. дорог Федер. дорож. агентства М-ва транспорта Рос. Федерации. – Москва : Росавтодор, 2011. – 43 с.
11. Брантон, Ст. Л. Анализ данных в науке и технике. Машинное обучение, динамические системы и управление / Ст. Л. Брантон, Дж. Н. Куц ; пер. с англ. А. А. Слинкина. – Москва : ДМК Пресс, 2021. – 542 с.
12. Эконометрика : учебник для магистров / И. И. Елисеева [и др.] ; под ред. И. И. Елисейевой. – Москва : Юрайт, 2014. – 453 с.
13. Кацко, А. И. Когнитивное моделирование и прогнозирование развития оползней в пространстве состояний / А. И. Кацко, Д. И. Кацко, В. С. Маций // Системный анализ в проектировании и управлении : сб. науч. тр. XXV Междунар. науч. и учеб.-практ. конф., С.-Петербург, 13–14 окт. 2021 г. : в 3 ч. / С.-Петербург. политехн. ун-т Петра Великого ; В. Н. Волкова, В. Н. Козлов (отв. ред.). – СПб : Политех-пресс, 2021. – Ч. 1. – С. 342–345.
14. Калуш, Ю. А. Показатель Хёрста и его скрытые свойства / Ю. А. Калуш, В. М. Логинов // Сибирский журнал индустриальной математики. – 2002. – Т. 5, № 4 (12). – С. 29–37.
15. Райзер, В. Д. Вероятностные методы в анализе надежности и живучести сооружений / В. Д. Райзер. – Москва : АСВ, 2018. – 396 с.
16. Маций, С. И. Оценка оползневого риска транспортных сооружений : монография / С. И. Маций, Е. В. Безуглова, Д. В. Плешаков. – Краснодар : КубГАУ, 2015. – 120 с.

Поступила 5 сентября 2023 г.

Кормопроизводство

УДК 633.317:631.445

ВЛИЯНИЕ СИСТЕМЫ ПИТАНИЯ НА ПРОДУКТИВНОСТЬ ЛЮЦЕРНЫ ИЗМЕНЧИВОЙ НА МЕЛИОРИРОВАННЫХ МИНЕРАЛЬНЫХ ЗЕМЛЯХ ПООЗЕРЬЯ

А. Л. Бирюкович, кандидат сельскохозяйственных наук

А. В. Цубленок, младший научный сотрудник

РУП «Институт мелиорации», г. Минск, Беларусь

Аннотация

В условиях склоновых почв Поозерья максимальную урожайность – 105,5–108,1 ц/га сухой массы – люцерна изменчивая в среднем за два года сформировала на середине склона на осушенной слабосмытой дерново-подзолистой глееватой, легкосуглинистой почве при внесении РК + Нанопланта – Co, Mn, Cu, Fe. На слабосмытой дерново-подзолистой связносупесчаной почве (вершина склона) прибавка урожайности от внесения удобрений – 12,6 %, а при увеличении их дозы – 6,1 %. Доля люцерны изменчивой в урожае была высокой и составила 83,9–87,9 %, причем внесение удобрений практически не изменяло ее содержание в травостое. На вершине склона чистая продуктивность фотосинтеза люцерны изменчивой третьего года жизни в среднем за вегетацию была выше на 37,5 %, чем на его середине. Величина чистой продуктивности фотосинтеза без внесения удобрений увеличивалась от первого укоса к третьему. На вершине склона при внесении удобрений ее величина снижалась на 27,0–43,6 %.

Ключевые слова: люцерна изменчивая, элементы склона, удобрения, урожайность, ботанический состав травостоя, чистая продуктивность фотосинтеза.

Abstract

A. L. Biryukovich, A. V. Tsublenok

INFLUENCE OF POWER SYSTEM ON THE PRODUCTIVITY OF ALFALFA VARIABLE ON RECLAIMED MINERAL LANDS OF POOZERIE

In the conditions of sloping soils of Poozerie, the maximum yield of alfalfa variable – 105.5–108.1 kg/ha of dry weight – on average for two years, was formed in the middle of the slope on drained slightly washed sod-podzolic gleevate, light loamy soil with the introduction of PK + Nanoplant – Co, Mn, Cu, Fe. On slightly soiled sod-podzolic cohesive sandy soil (the top of the slope), the increase in yield from fertilization was 12.6 %, and with an increase in their dose was 6.1 %. The proportion of alfalfa variable in the harvest was high and amounted to 83.9–87.9 %, and fertilization practically did not change its content in the herbage. At the top of the slope, the net photosynthesis productivity of alfalfa changeable in the third year of life was 37.5 % higher on average during the growing season than in its middle. The value of the net productivity of photosynthesis without fertilization increased from the first mowing to the third. At the top of the slope, when fertilizing, its value decreased by 27.0–43.6 %.

Keywords: alfalfa variable, yield, botanical composition, coenotic activity of the component, fertilizers, elements of hillside.

Введение

Согласно Государственной программе «Аграрный бизнес» на 2021–2025 гг. основными индикаторами подкомплекса кормопроизводства на 2021–2025 гг. являются:

- обеспечение общественного поголовья крупного рогатого скота высокоэнергетическими сбалансированными кормами путем производства ежегодно не менее 45 центнеров кормовых единиц на условную голову, из

них травяных кормов – не менее 38 центнеров, включая заготовку кормов на зимне-стойловый период в объеме не менее 28 центнеров кормовых единиц на условную голову;

- увеличение к концу 2025 г. площади посевов многолетних трав не менее 1 млн гектаров, из которых доля бобовых и бобово-злаковых трав должна составлять до 90 % [1].

По данным инвентаризации Министерства сельского хозяйства и продовольствия Республики Беларусь, доля бобовых и бобово-злаковых трав составляет 77,1 %. Посевная площадь люцерны в стране с 2005 г. по 2023 г. (рис. 1) увеличилась в 5,5 раз (с 47,2 до 220,9 тыс. га). Совершенствование структуры травостоев многолетних трав на пашне и лугах путем увеличения в них доли бобового компонента – важный резерв повышения обеспеченности кормового рациона белком и снижения затрат на его импорт.

Отличительная особенность люцерны от клевера лугового заключается в ее большем продуктивном долголетии: 4–5 лет без пересева

при 3-укосном использовании травостоя. Люцерна обладает более высоким качеством белка по содержанию незаменимых аминокислот.

В областях Беларуси площади под люцерной увеличивались по-разному, и меньше всего их в Витебской области, где эта культура занимает лишь 4,7 тыс. га (рис. 2). По данным Института почвоведения и агрохимии, балл пашни в Витебской обл. составляет 28,5, в Гомельской – 28,3 [2, с. 235], однако площадь этой культуры в последней почти в 12 раз больше. Поэтому цель исследований – установить возможный потенциал продуктивности люцерны изменчивой в условиях Витебской обл.

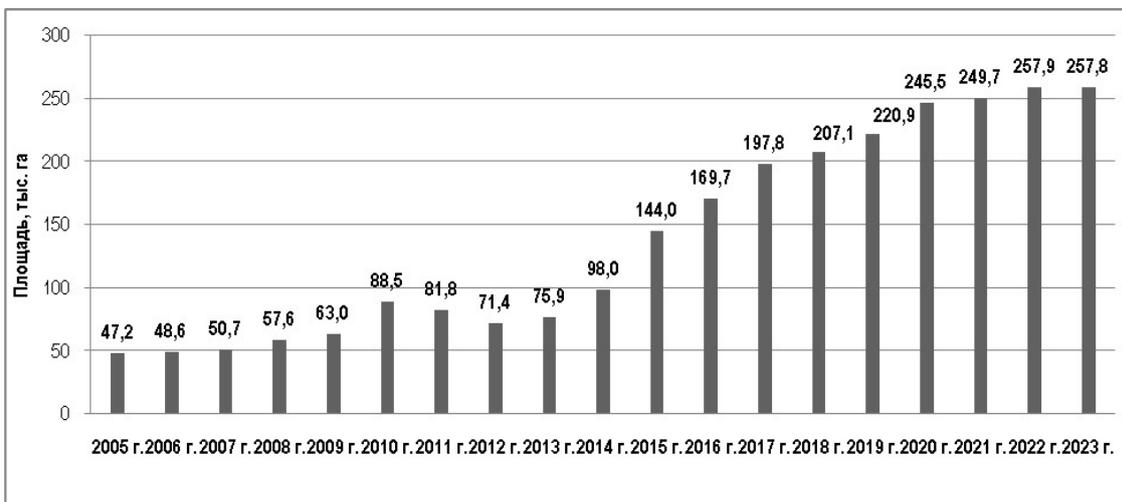


Рис. 1. Площади люцерны в Беларуси, тыс. га

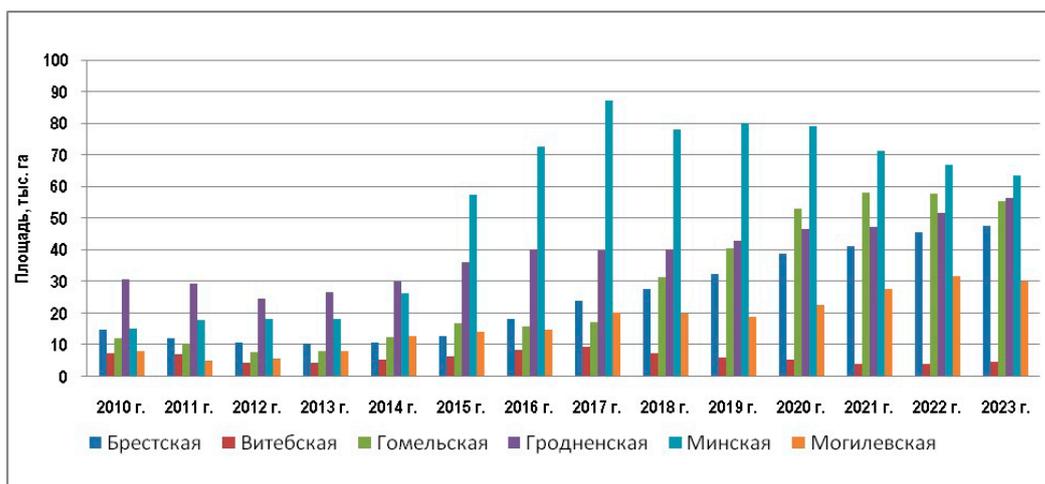


Рис. 2. Динамика площадей люцерны в областях Беларуси, тыс. га

Материалы и методы исследований

Полевые исследования проводили на Витебской опытно-мелиоративной станции. Почва участка представлена следующими разновидностями: слабосмытая дерново-подзолистая супесчаная, подстилаемая с глубины 0,5 м легким моренным суглинком (гу-

мус – 1,82 %; K₂O – 147,5 мг; P₂O₅ – 280,9 мг/кг почвы), – на вершине склона; осушенная слабосмытая дерново-подзолистая глееватая, легкосуглинистая, подстилаемая около 0,5 м средним моренным суглинком (гумус – 1,9 %; K₂O – 108,7 мг; P₂O₅ – 242,5 мг/кг почвы), – на

его середине. Крутизна склона – 3,0–3,5°, а длина – 145 м.

Поскольку склоновые почвы эрозионно опасны, то люцерну изменчивую (*Medicago varia* Mart.) посеяли в 2020 г. без покрова с нормой высева 6,5 млн шт./га. Использование травостоя 3-укосное. Во 2-й г. ж. люцерны 1-й укос провели 1 июня в фазу ветвления – начала бутонизации, 2-й – 6 июня, 3-й – 23 августа 2021 г. В 3-й г. ж. укосы проводили соответственно 7 июня, 6 июля, 23 августа 2022 г.

Удобрений на посевах люцерны изменчивой Прыгажуня Палесся вносили по следующей схеме: 1) P₀K₀; 2) P₆₀K₁₂₀ и Наноплант – Co, Mn, Cu, Fe; 3) P₆₀K₁₈₀ + Наноплант. В 2021 г. для доведения уровня рН до нижнего оптимального уровня выращивания люцерны (5,8) внесли 3,3–4,6 т/га доломитовой муки. Фосфорные удобрения вносили весной, а калийные – дробно, по K₃₀ перед каждым укосом; Наноплант – перед 2-м и 3-м укосами в дозе по 100 мл/га. Площадь деланки 12 (3 × 4) м², повторность 4-х кратная.

Чистую продуктивность фотосинтеза (далее – ЧПФ) – то есть количество сухого вещества, накопленного 1 м² листовой поверхности за 1 сутки, – определяли путем отбора листьев через 7–10 дней. Ее рассчитывали по формуле:

$$\text{ЧПФ} = \frac{B_1 - B_2}{0,5 \times (L_1 + L_2) \times n} \text{ г / м}^2 \text{ сут},$$

где B_1 и B_2 – сухая биомасса растений в начале и в конце учетного периода, г;

$B_2 - B_1$ – прирост сухой массы за n дней в граммах;

L_1 и L_2 – площадь листьев в начале и в конце периода в м²;

n – число дней в учетном периоде [3].

Площадь листьев определяли их сканированием и распознаванием изображения в программе *APFill Ink & Toner Coverage Meter*, %. Площадь сканированных листьев рассчитывали по формуле: $S = I \times A$, где S – площадь сканированных листьев; I – доля заполнения листа формата А4, %; A – площадь листа А4 (297 × 210 мм²) [4].

Вегетационный период 2021 г. был близок к норме, так как с апреля до сентября выпало на 30,9 мм осадков больше и среднесуточная температура воздуха была на 1,8 °С выше. Оптимальные условия для роста сельскохозяй-

ственных культур сложились только во второй декаде апреля (ГТК = 1,9), высота люцерны составила 2,5 см. В третьей декаде апреля – первой декаде мая среднесуточная температура воздуха была +10 °С, и среднесуточный прирост люцерны – 1,37 см. Во второй декаде мая, в условиях повышенной среднесуточной температуры (на 1,6 °С выше нормы) и избытка влаги (2,8 нормы осадков), среднесуточный прирост люцерны составил 1,64 см. Начало июня (первая и вторая декады) и весь июль были засушливыми (ГТК = 0,0–0,5). Засуха сдержала формирование 2-го укоса. ГТК первой и второй декад июня и июля – 0–0,7, то есть засуха продолжалась около 50 суток. Абсолютная влажность почвы в начале вегетации в слое почвы 0–15 см была близка к НВ = 18,9–19,3 %. На средней части склона абсолютная влажность почвы была ниже, чем на его вершине (рис. 3), и за период активной вегетации в слое 0–35 см в среднем составила 2,5 %.

Начало вегетационного периода 2022 г. характеризовалось неравномерным распределением осадков и повышенной температурой воздуха. Так, первая декада апреля была теплее среднемноголетнего уровня на 0,6 °С, а сумма атмосферных осадков составила 26,4 мм, или 203,1 % нормы. Во второй декаде температура воздуха была на 1,4 °С выше среднемноголетней, а сумма осадков – только 45,7 % от многолетней нормы. Температурный режим в третьей декаде апреля соответствовал многолетним значениям, а количество осадков было на 12,4 мм выше нормы. В целом апрель был теплый (температура воздуха выше многолетних значений на 0,8 °С) и избыточно влажный (сумма осадков – 143,3 % от нормы). В мае среднесуточная температура была 1,5 °С ниже многолетней, а количество осадков – 86,5 %. Июнь был на 2,7 °С теплее обычного, а количество осадков – 113,1 %. Условия месяца характеризовались неравномерным распределением осадков, первая и третья декады были засушливыми, ГТК составил 0,5 и 1,2 соответственно. А во второй декаде количество выпавших осадков составило 190,6 % от нормы, ГТК = 3,7. Август был очень жаркий и засушливый. Температура воздуха на 5,5 °С была выше многолетних значений, и незначительное количество осадков (30,4 % от

нормы) выпало только в первой декаде. ГТК месяца составил 0,01.

Результаты исследований и их обсуждение

Урожайность сухой массы люцерны изменчивой 2-го года жизни (г. ж.) на верхней части склона была примерно такой же, как и на его середине, разница между этими величинами была незначительной и составила 12,4 % (табл. 1). Засушливые условия середины вегетационного периода повлияли на распределение урожайности сухой массы, и величина третьего укоса – 32 % урожая за вегетацию, а второго – 29 %. На вершине склона прибавка урожайности от внесения $P_{60}K_{120}$ + Нанопланта составила 12,6 %, а при увеличении дозы удобрений до $P_{60}K_{180}$ + Нанопланта была несколько меньше (6,1 %). На середине склона, в условиях меньшей влагообеспеченности, прибавка урожайности от увеличения дозы калия со 120 до 180 кг/га д. в. практически не изменялась (19,8–16,7 %).

Внесение РК + Нанопланта на третьем г. ж. люцерны обеспечило на вершине склона практически такую же прибавку урожайности (6,1–13,0 %), как и на втором г. ж. (табл. 2). Урожайность сухого вещества люцерны на этом элементе рельефа была в 1,2 раза ниже, чем на середине склона.

Мониторинг абсолютной влажности почвы показал, что под посевами люцерны изменчивой третьего г. ж. она была выше, чем второго, причем на верхней части склона влажность была больше на 1,7 п. п., а на средней – 2,1 п. п. В период с неравномерным выпадением осадков (16.04–24.05.2022 г.) эти изменения на средней части склона были более значительными (рис. 3).

Следует отметить, что в 2022 г. на середине склона абсолютная влажность почвы была ниже, чем на вершине в среднем за вегетацию на 1,5 п. п. (рис. 4).

Таблица 1. Урожайность люцерны изменчивой второго г. ж. (2021 г.) на разных элементах склона на дерново-подзолистой супесчаной почве, ц/га сухой массы

Элемент склона	Удобрение	Укос			Σ	± прибавка	
		1-й	2-й	3-й		ц/га	%
вершина	P_0K_0	32,9	26,5	33,9	93,3	–	–
	$P_{60}K_{120}$ + Нанопланта	32,9	33,3	38,9	105,1	11,8	12,6
	$P_{60}K_{180}$ + Нанопланта	32,9	26,9	39,2	99,0	5,7	6,1
середина	P_0K_0	39,3	31,5	38,3	109,1	–	–
	$P_{60}K_{120}$ + Нанопланта	39,3	46,1	45,3	130,7	21,6	19,8
	$P_{60}K_{180}$ + Нанопланта	39,3	47,0	41,0	127,3	18,2	16,7

Таблица 2. Урожайность люцерны изменчивой третьего г. ж. (2022 г.) на разных элементах склона, ц/га сухой массы

Элемент склона	Удобрение	Укос			Σ	± прибавка	
		1-й	2-й	3-й		ц/га	%
вершина	P_0K_0	16,2	19,6	20,3	56,1	–	–
	$P_{60}K_{120}$ + Нанопланта	18,7	22,2	22,5	63,4	7,3	13,0
	$P_{60}K_{180}$ + Нанопланта	18,4	22,1	19,0	59,5	3,4	6,1

середина	P_0K_0	32,3	12,4	28,8	73,5	–	–
	$P_{60}K_{120}$ + Наноплант	44,5	13,6	22,1	80,2	6,7	9,1
	$P_{60}K_{180}$ + Наноплант	53,8	17,4	17,6	88,8	15,3	20,8

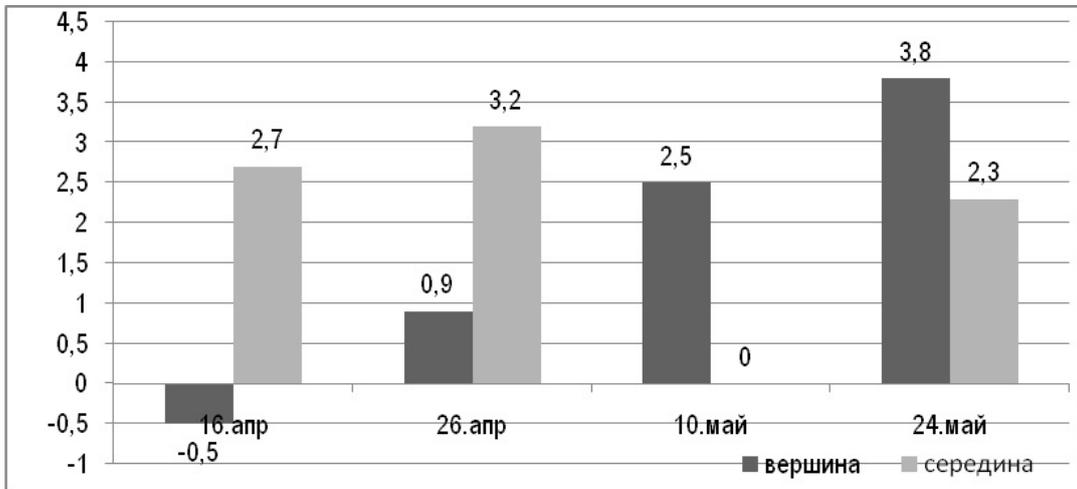


Рис. 3. Изменение абсолютной влажности почвы под посевами люцерны разных лет жизни (\pm 3-й г. ж. люцерны ко 2-му г. ж.), %

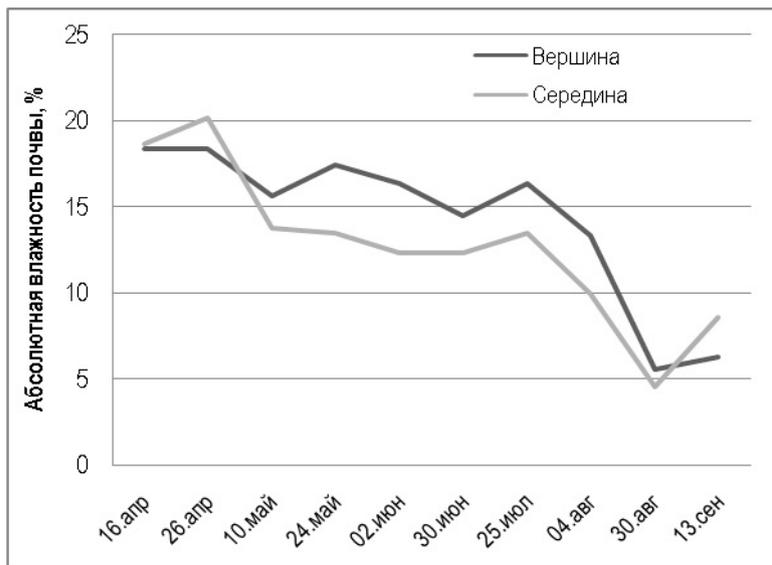


Рис. 4. Абсолютная влажность почвы под посевами люцерны разных лет жизни (\pm 3-й г. ж. люцерны ко 2-му г. ж.), %

В среднем за два года урожайность люцерны на середине склона была в 1,3 раза выше, чем на вершине (табл. 3). Максимальная урожайность в среднем за два года была получена на данном участке при внесении удобрений 105,5–108,1 ц/га сухой массы. Увеличение дозы минеральных удобрений на вершине склона с $P_{60}K_{120}$ до $P_{60}K_{180}$ снижало прибавку урожайности на 6,7 п. п., а на середине увеличивало на 3,3 п. п.

Учет ботанического состава травостоя показал, что доля люцерны в урожае была высокой, в среднем за 2 года – 83,9–87,9 %. Внесение удобрений практически не изменяло

содержание люцерны в травостое (табл. 4). Доля культуры в урожае зависела от количества выпавших осадков и, как следствие, от влажности почвы. Так, люцерна третьего г. ж. во втором укосе на середине склона составляла лишь 48,4–53,8 % урожая. Это связано с тем, что абсолютная влажность почвы в слое 0–20 см, начиная со второй декады мая и до первой декады августа, была стабильно ниже на 1,9–4,0 п. п., чем на вершине.

Анализ данных табл. 5 показал, что на вершине склона ЧПФ люцерны третьего г. ж. в среднем за вегетацию была выше на 37,5 %, чем на его середине. Величина ЧПФ без вне-

сения удобрений увеличивалась от первого укоса к третьему. На вершине склона при внесении РК-удобрений с Наноплантом величина ЧПФ люцерны снижалась на 27,0–43,6 %. На середине склона внесение удобрений увели-

чивало величину ЧПФ на 87,2–89,4 %. Вероятно, это связано с тем, что удобрения нивелировали отрицательное влияние недостатка влаги (рис. 4), которое отмечалось на этом элементе рельефа.

Таблица 4. Доля люцерны изменчивой в урожае в зависимости от элемента склона и доз удобрений, %

Элемент склона	Удобрение	Второй г. ж.			Третий г. ж.		
		1-й укос	2-й укос	3-й укос	1-й укос	2-й укос	3-й укос
вершина	P_0K_0	86,8	89,0	93,3	82,5	85,0	92,5
	$P_{60}K_{120}$ + Наноплант	86,8	94,5	94,5	79,5	87,8	89,2
	$P_{60}K_{180}$ + Наноплант	86,8	85,8	90,3	87,0	88,2	82,0
середина	P_0K_0	95,9	79,5	97,3	74,3	53,8	96,3
	$P_{60}K_{120}$ + Наноплант	95,9	91,1	94,9	73,7	58,7	97,0
	$P_{60}K_{180}$ + Наноплант	95,9	88,8	97,4	72,3	48,4	98,4

Таблица 5. Чистая продуктивность фотосинтеза у люцерны изменчивой третьего г. ж. на разных элементах рельефа, г/м² сут

Элемент склона	Удобрение	Укос			Среднее	± к контролю, %
		1-й	2-й	3-й		
вершина	P_0K_0	0,64	0,91	5,73	2,43	–
	$P_{60}K_{120}$ + Наноплант	0,69	0,60	2,82	1,37	–43,6
	$P_{60}K_{180}$ + Наноплант	0,56	1,44	4,18	2,06	–27,0
	Среднее	0,63	0,98	4,24	1,95	
середина	P_0K_0	0,39	0,50	1,10	0,66	–
	$P_{60}K_{120}$ + Наноплант	0,79	1,42	1,55	1,25	89,4
	$P_{60}K_{180}$ + Наноплант	1,09	2,99	1,17	1,75	87,2
	Среднее	0,76	1,64	1,27	1,22	

Заключение

Максимальная урожайность люцерны изменчивой Прыгажуня Палесся в среднем за два года была получена на осушенной слабосмытой дерново-подзолистой глееватой, легкосуглинистой почве (середина склона) при внесении $P_{60}K_{120-180}$ + Нанопланта – Co, Mn, Cu, Fe и составила 105,5–108,1 ц/га сухой массы.

На слабосмытой дерново-подзолистой связноспесчаной почве (вершина склона)

прибавка урожайности от внесения $P_{60}K_{120}$ + Нанопланта составила 12,6 %, а при увеличении дозы удобрений до $P_{60}K_{180}$ и Нанопланта была несколько меньше (6,1 %). На середине склона, в условиях меньшей влагообеспеченности, прибавка урожайности от увеличения дозы калия со 120 до 180 кг/га д. в. практически не изменялась (19,8–16,7 %).

Доля люцерны изменчивой в урожае была высокой и в среднем за 2 года составила 83,9–87,9 %, причем внесение удобрений практически не изменяло её содержание в травостое.

На вершине склона чистая продуктивность фотосинтеза люцерны изменчивой 3-го г. ж. в среднем за вегетацию была выше на 37,5 %,

чем на его середине. Величина чистой продуктивности фотосинтеза без внесения удобрений увеличивалась от 1-го укоса к 3-му. На вершине склона при внесении РК-удобрений с Наноплантом величина ЧПФ люцерны снижалась на 27,0–43,6 %.

Библиографический список

1. О Государственной программе «Аграрный бизнес» на 2021–2025 годы [Электронный ресурс] : постановление Совета Министров Респ. Беларусь, 1 февр. 2021 г., № 59 // Национальный правовой Интернет-портал Респ. Беларусь. – Режим доступа: <https://pravo.by/document/?guid=3871&p0=C22100059>. – Дата доступа: 25.07.2023.

2. Справочник агрохимика / В. В. Лапа [и др.] ; под ред. акад. В. В. Лапа. – Минск : ИВЦ Минфина, 2021. – 258 с.

3. Определение чистой продуктивности фотосинтеза [Электронный ресурс] / Физиология и биохимия растений : методические указания к лабораторно-практическим занятиям // Белорус. гос. с.-х. академия ; сост. В. П. Моисеев, Н. П. Решецкий. – Режим доступа: <https://studfile.net/preview/5611319/page:24/>. – Дата доступа 23.05.2023.

4. Дмитриев, Н. Н. Методика ускоренного определения площади листовой поверхности сельскохозяйственных культур с помощью компьютерной технологии / Н. Н. Дмитриев, Ш. К. Хуснидинов // Вестн. КрасГАУ. – 2016. – № 7 (118). – С. 88–93.

Поступила 5 сентября 2023 г.

● ЧТОБЫ ПОМНИЛИ ●



ПАМЯТИ МИХАИЛА ИВАНОВИЧА СВЯТЦЕВА

Михаил Иванович Святцев родился 4 апреля 1935 г. в пос. Зелёный Дуб Рогачевского р-на Гомельской обл. В 1958 г. окончил Белорусский политехнический институт (торфяной факультет), получил специальность инженера-механика. Трудовую деятельность начал начальником участка на торфопредприятии «Красная Беларусь» Быховского р-на Могилевской обл. (1958–1960), затем работал главным инженером на этом предприятии (1960–1962), начальником отдела и заместителем главного инженера торфяной опытной станции «Дукора» Института торфа Академии наук БССР (1962–1963), учился в аспирантуре АН БССР (1963–1966).

В 1967 г. Михаил Иванович начал работу в Институте мелиорации и луговодства НАН Беларуси как младший научный сотрудник. После защиты диссертации в 1968 г., получив ученую степень кандидата технических наук, он стал старшим научным сотрудником отдела гидротехнических сооружений. В 1976 г. был назначен заведующим отделом патентной службы, внедрения, координации и научно-технической информации, а в 1993 г. – заместителем директора по общим вопросам. С 1995 г. по 2007 г. работал ведущим научным сотрудником.

Михаил Иванович является автором более 50 научных работ, в том числе монографии, методических рекомендаций, а также 2 авторских свидетельств на изобретения и 12 рационализаторских предложений. Исследования связаны со строительством сельскохозяйственных дорог и других земляных сооружений на торфяных грунтах, изучением водно-физических и физико-механических свойств, разработкой приборов и оборудования для их определения.

Михаил Иванович принимал активное участие в общественной жизни: был секретарем комсомольской организации, членом обкома профсоюза, председателем профкома, секретарем партбюро, заседателем народного суда Советского района, депутатом районного совета. Благодаря его инициативе и скрупулезной работе вышла в свет книга, посвященная 95-летнему юбилею Института мелиорации.

М. И. Святцев награжден Почетной грамотой Верховного Совета БССР, Почетными грамотами Минводхозов СССР, БССР, БелНИИМиВХ и Академии аграрных наук Республики Беларусь, а также медалью «Ветеран труда», серебряной и бронзовой медалями, дипломами ВДНХ СССР и БССР.

Михаил Иванович Святцев отличался уравновешенностью и порядочностью, всегда имел принципиальную позицию по разным вопросам. Светлая память о нем навсегда сохранится в сердцах всех его коллег.



**АНТОН ФИЛИППОВИЧ
ДАНИЛОВИЧ
(к 120-летию)**

Антон Филиппович Данилович родился 23 августа 1903 г. в дер. Лучники Слуцкого р-на Минской обл. Окончил Краснобережский сельскохозяйственный техникум в Гомельской обл. (1925) и Белорусскую сельскохозяйственную академию (агрономический факультет), где получил специальность агронома-полевода (1931).

Работал агрономом и старшим агрономом в Народном комиссариате земледелия БССР (1931–1936), научным сотрудником Всесоюзного НИИ болотного хозяйства (1937–1941). Участник Великой Отечественной войны (1941–1942), находился в плену, работал на угольной шахте в Чехословакии (1942–1945).

С 1946 по 1970 гг. работал младшим, старшим научным сотрудником, заведующим отделом кормовых культур в БелНИИ мелиорации и водного хозяйства.

В 1953 г. А. Ф. Данилович защитил диссертацию на соискание ученой степени кандидата сельскохозяйственных наук по теме «Агротехнические приемы повышения урожайности и устойчивости клевера красного и розового на торфяно-болотных почвах Белорусской ССР». Автор 52 публикаций по семеноводству лугопастбищных трав на торфяно-болотных почвах и кормопроизводству, в том числе соавтор таких книг, как «Агротехника семеноводства лугопастбищных трав на торфяных почвах» (1949), «Семеноводство луговых трав на торфяно-болотных почвах» (1963).

Антон Филиппович активно участвовал в общественной жизни (избирался депутатом Минского городского Совета первого созыва (1939–1948), заместителем председателя профсоюзного комитета БелНИИМВХ и др.).

Награжден двумя медалями СССР, Почетной грамотой Президиума Верховного Совета БССР.



ВЛАДИСЛАВ ФИЛИППОВИЧ КАРЛОВСКИЙ (к 90-летию)

Владислав Филиппович Карловский родился 25 сентября 1933 г. в дер. Молчаны Речицкого р-на Гомельской обл. Окончил в 1955 г. Белорусскую сельскохозяйственную академию (гидромелиоративный факультет) и получил специальность инженера-гидротехника.

Его трудовая деятельность началась с должности начальника участка Буда-Кошелевской мелиоративной станции (1955–1956). Затем он работал главным инженером Сенненской машино-мелиоративной станции (1956–1960), аспирантом, младшим научным сотрудником БелНИИ мелиорации и водного хозяйства (1960–1965), начальником отдела мелиорации Госплана БССР, инструктором сельскохозяйственного отдела ЦК КПБ (1965–1969), заместителем директора БелНИИ мелиорации и водного хозяйства по научной работе (1969–1977), директором БелНИИ мелиорации и водного хозяйства и генеральным директором НПО «Мелиорация и луговое хозяйство» (1977–1997), заведующим отделом, главным научным сотрудником Института мелиорации и лугового хозяйства НАН Беларуси (с 1997).

В. Ф. Карловский защитил в 1964 г. диссертацию на соискание ученой степени кандидата технических наук по теме «Разработка способов строительства закрытого дренажа в неустойчивых грунтах» и в 1980 г. – ученой степени доктора технических наук по теме «Исследование и разработка технологических процессов производства земляных работ при осушении болот и заболоченных земель». Профессор (1982), академик Академии аграрных наук (1992), академик Национальной академии наук Беларуси (2003).

Владислав Филиппович опубликовал более 200 научных работ, в том числе 5 монографий, 12 рекомендаций, руководств, пособий и методических документов. Им исследованы, разработаны и созданы поточные технологии гидромелиоративного строительства, обеспечивающие повышение производительности труда, сокращение сроков строительства, повышение качества и надежности мелиоративных систем. Под его руководством и с его личным участием разработана система машин и механизмов для эксплуатации и строительства гидромелиоративных систем; создана и реконструирована научно-производственная база для проведения научных исследований и внедрения законченных НИР в производство.

В 1984 г. за разработку новых технологий строительства мелиоративных систем в зимний период Владиславу Филипповичу Карловскому присуждена премия Совета Министров СССР. Новизна и актуальность его разработок защищена 26 авторскими свидетельствами на изобретения и патентами.

В. Ф. Карловский был председателем, затем членом ученого совета института, председателем Совета по защите диссертаций, членом коллегии Минводхоза БССР, бюро научного совета по проблемам Полесья, НТС Минсельхозпрода РБ.

Награжден орденами Трудового Красного Знамени, «Знак Почета», Почетной грамотой Верховного Совета БССР, Почетными грамотами Минводхоза СССР и БССР, Главполесьеvodстроя, Минсельхоза БССР, золотыми и серебряными медалями ВДНХ СССР.



**ВЛАДИМИР СЕМЕНОВИЧ
БРЕЗГУНОВ
(к 85-летию)**

Владимир Семенович Брезгунов родился 10 августа 1938 г. в г. Горки Могилевской обл. Трудовую деятельность начал лаборантом кафедры неорганической и аналитической химии Белорусской сельскохозяйственной академии (1955–1956), затем учился на факультете агрохимии и почвоведения. После окончания вуза в 1961 г. получил специальность ученого агронома.

В течение сорока лет работал в Белорусском НИИ мелиорации и водного хозяйства. Сначала – младшим научным сотрудником отдела освоения мелиорированных земель (1961–1965). Затем обучался в аспирантуре института (1965–1968). В 1969 г. В. С. Брезгунов защитил диссертацию на соискание ученой степени кандидата сельскохозяйственных наук по теме «Некоторые приемы окультуривания торфяно-болотных почв верхового типа». Далее работал старшим научным сотрудником (1969–1974), заведующим лабораториями химических исследований, плодородия и оптимизации пищевого режима, использования животноводческих стоков (1974–1997), ведущим научным сотрудником (1997–2001).

Автор 252 научных работ, в том числе 3 монографий, 8 рекомендаций и методических указаний. Впервые в БССР В. С. Брезгуновым проведены исследования и разработана технология окультуривания верховых торфяников. Владимир Семенович проводил научные изыскания и руководил полевыми гидрохимическими экспедициями по ликвидации последствий аварии на Чернобыльской АЭС (1986–1989). Новизна и актуальность его разработок подтверждена 10 авторскими свидетельствами на изобретения и патентами.

Наиболее значимые его работы – Мелиорация земель и охрана окружающей среды (1982), «Расширенное воспроизводство плодородия торфяных почв» (1987), «Технология использования жидких органических удобрений на луговых угодьях, исключая загрязнение почв и природных вод и инкрустацию солей на напорных трубопроводах» (2005).

Владимир Семенович Брезгунов активно участвовал в общественной жизни республики и института: избирался внештатным инспектором Комитета народного контроля БССР, членом технического совета Минсельхоза БССР по проблемам почвоведения и научного совета АН БССР по проблемам биосферы.

Награжден Почетными грамотами Минводхоза СССР, Минсельхоза БССР, медалями ВДНХ СССР и дипломами ВДНХ БССР.

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 0,35 авторского листа (14 тыс. печатных знаков, включая пробелы между словами, знаки препинания, цифры и др.), но не более 0,5 авторского листа (20 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. Обязательно прилагаются распечатанные на бумажных листах 2 экземпляра статьи, подписанные авторами.

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.

УВАЖАЕМЫЕ КОЛЛЕГИ!

Журнал «Мелиорация» представляет результаты научных исследований, опытно-технологических, опытно-конструкторских работ, проводимых по актуальным проблемам современной мелиорации, рекультивации, охраны и сельскохозяйственного использования мелиорированных земель, мелиоративного образования, политики мелиоративного обустройства, экологии в Республике Беларусь и странах СНГ, а также публикует иные разнообразные материалы по указанным направлениям.

Приглашаем опытных и начинающих ученых, разработчиков, инженеров, производителей мелиоративного оборудования и систем управления, а также практиков стать нашими авторами. Мы уверены, что публикуемые статьи помогут специалистам быть в курсе технологических решений в сфере мелиорации и сопутствующих процессов.

Мы готовы публиковать рекламу продукции соответствующих предприятий.

В том случае, когда присланный в редакцию материал не соответствует тематике журнала, мы стараемся рекомендовать автору более подходящие по профилю издания и по возможности оказываем посильную координационную помощь в публикации.

При подготовке статьи следует соблюдать технические требования, предъявляемые нашей редакцией к оформлению материалов. С ними можно ознакомиться на сайте niimel.by: раздел «Журнал "Мелиорация"» – блок «Авторам» – Правила для авторов.

С уважением,

редакция журнала «Мелиорация»

Тел.: 8 (017) 363-49-03
Факс: 8 (017) 392-64-96
e-mail: redaktor@niimel.by,
info@niimel.by

Международная научно-практическая конференция

«Перспективы и потенциал использования мелиорированных земель» (Скоропановские чтения)

2–3 ноября 2023 г.

Уважаемые коллеги!

Приглашаем принять участие в работе конференции учёных, специалистов, аспирантов из Республики Беларусь, стран ближнего и дальнего зарубежья.

Научные направления:

- мелиорация (осушение, орошение) земель;
- сельскохозяйственное использование мелиорированных земель;
- гидротехнические сооружения, надёжность и безопасность;
- технологии и технические средства механизации мелиоративных работ;
- экономика и управление в мелиоративной отрасли;
- информационные технологии в мелиорации;
- луговое хозяйство и кормопроизводство;
- экология, природообустройство и водопользование.

Рабочие языки конференции: русский, белорусский, английский.

Форма участия: очно-заочная.

Участие в конференции **бесплатное**.

Адрес проведения конференции: г. Минск, ул. Некрасова, 39-2, РУП «Институт мелиорации».

По итогам работы конференции будет издан сборник материалов. Оргкомитетом осуществляется техническая редакция представленных статей, которые будут печататься на основе электронных версий авторских рукописей. Оргкомитет оставляет за собой право отклонить материал, не соответствующий тематике и проблематике конференции.

От одного автора принимаются не более 3 статей (в том числе в соавторстве).

Порядок подачи заявок на участие и регистрации в конференции

Проезд, проживание и питание – за счет направляющей стороны или самих участников. Информация о бронировании мест в гостинице/-ах может быть предоставлена контактными лицами организационного комитета.

Для участия в конференции необходимо выслать на электронную почту redaktor@niimel.by анкету-заявку (см.: <https://niimel.by/novosti/1091-konf-2023-invite>), текст статьи, оформленной согласно требованиям с пометкой «Конференция» **до 1 сентября 2023 г.** (включительно).

Телефоны для справок: +375 (017) 363-49-03, +375 (017) 251-98-24.

**ПРОГРАММА ПРОВЕДЕНИЯ
Международной научно-практической конференции**

**«Перспективы и потенциал использования
мелиорированных земель»
(Скоропановские чтения)**

2–3 ноября 2023 г.

(в Институте мелиорации НАН Беларуси, ул. Некрасова, 39-2)

02 ноября

9:00 – 10:30	Регистрация участников Конференции, кофе-брейк
10:30 – 12:00	Приветственное слово директора института. Открытие конференции. Выступления учеников и соратников С. Г. Скоропанова.
12:00 – 13:00	Пленарные доклады
13:00 – 14:00	Перерыв на обед
14:00 – 15:30	Мемориальные мероприятия, посвящённые памяти С. Г. Скоропанова, посещение музея истории института, мемориальной доски С.К. Скоропанова.
15:30 – 17:30	Пленарные доклады
17:30 – 19:00	Торжественный ужин

03 ноября

10:00 – 11:30	Секционные доклады
11:30 – 12:00	Кофе-брейк
12:00 – 13:00	Секционные доклады
13:00 – 14:00	Кофе-брейк
14:00 – 15:00	Подведение итогов. Завершение работы конференции

Регламент

Пленарные доклады – 15 мин.

Доклады на секциях – 10 мин.

Выступления – 5 мин.

Научные направления:

- мелиорация (осушение, орошение) земель;
- сельскохозяйственное использование мелиорированных земель;
- гидротехнические сооружения, надёжность и безопасность;
- технологии и технические средства механизации мелиоративных работ;
- экономика и управление в мелиоративной отрасли;
- информационные технологии в мелиорации;
- луговое хозяйство и кормопроизводство;
- экология, природообустройство и водопользование.

Рабочие языки конференции – русский, белорусский, английский.