

ISSN 2070–4828

МЕЛИОРАЦИЯ

Научный журнал

№ 4 (106)

Основан в 1951 году
Выходит 4 раза в год

Октябрь – декабрь 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 30.11.2023 г. Формат 60 x 84 1/8.
Уч.-изд. л. 7,53. Усл. печ. л. 9,30. Заказ 486. 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

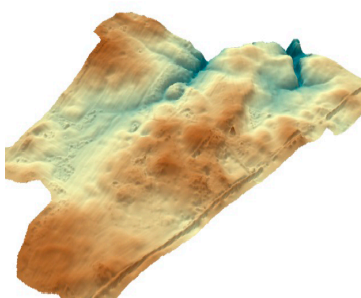
Land improvement



А. С. Анженков, В. П. Закржевский, П. И. Кирвель
Особенности определения параметров радиосигнала при прохождении через различные грунты мелиоративных систем

5

A. S. Anzhenkov, V. P. Zakrzhevsky, P. I. Kirvel
Features of determining radio signal parameters when passing through different soils of land on reclamation systems



Л. Н. Оскирко, В. М. Макоед, О. Г. Бондарчук
Сравнительный анализ цифровых моделей рельефа мелиоративных объектов, полученных различными аэрофототопографическими методами

14

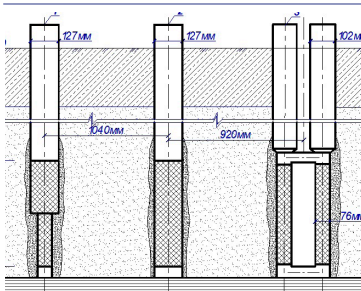
L. N. Oskirko, V. M. Makoeed, O. G. Bondarchuk
Comparative analysis of digital terrain models of land reclamation objects created by various aerial phototopographic methods



П. Ф. Тиво, Л. А. Саскевич
Комплексная мелиорация как фактор повышения плодородия осушенных земель Поозерья

24

P. F. Tivo, L. A. Saskevich
Integrated reclamation as a factor in increasing the fertility of drained lands in Poozerie



В. В. Ивашечкин, Ю. А. Медведева, В. И. Крицкая
Гидродинамические натурные исследования двухколонных двухфилтровых водозаборных скважин

33

V. V. Ivashechkin, Yu. A. Medvedeva, V. I. Kritskaya
Hydrodynamic field studies of double-column double-filter water injection wells



Е. И. Громадская, С. А. Дубенок
Сильно измененные водные объекты в Беларуси: критерии идентификации и подходы к инвентаризации

42

A. I. Hramadskaya, S. A. Dubianok
Heavily modified water objects in Belarus: identification criteria and approaches to inventory



Н. В. Шешенев, Ю. А. Мажайский

Динамика агрофизических показателей почвы при освоении залежных земель в условиях Центрального Нечерноземья

N. V. Sheshenev, Y. A. Mazhaisky

Dynamics of agrophysical indicators of soil during the development of fallow lands in the conditions of the Central Non-Chernozem zone

48

ЭКОЛОГИЯ

ECOLOGY



Е. Б. Евсеев

Исследование перехода цезия-137 в злаковые травы на торфянисто-глеевой почве

E. B. Evseev

Study of Cesium-137 transfer to cereal grasses on peat gley soil

54



М. Г. Мустафаев, А. М. Манафова

Мелиоративное состояние орошаемых засоленных почв на опытном участке Муганской степи

M. G. Mustafaev, A. M. Manafova

Reclamation status of irrigated saline soils at the experimental site on the Mugan steppe

64



М. А. Рзаев

Меры по рациональному использованию водных ресурсов в зонах орошения Азербайджана в условиях изменения климата

M. A. Rzayev

Measures for the rational use of water resources in irrigation zones in Azerbaijan under climate change

68



С. Т. Гасанов, Ш. В. Гудратзаде

Водные источники и запасы пресной воды Азербайджана

S. T. Hasanov, S. V. Gudratzade

Water sources and fresh water reserves of Azerbaijan

73

Чтобы помнили

To be remembered

Дмитрий Аврамович Забелло (к 120-летию)

78

Алик Павлович Русецкий (к 85-летию)

79

• МЕЛИОРАЦИЯ •

УДК 631.6: 631.421.1

ОСОБЕННОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ РАДИОСИГНАЛА ПРИ ПРОХОЖДЕНИИ ЧЕРЕЗ РАЗЛИЧНЫЕ ГРУНТЫ МЕЛИОРАТИВНЫХ СИСТЕМ

А. С. Анженков, кандидат технических наук

В. П. Закржевский, старший научный сотрудник

П. И. Кирвель, кандидат географических наук

РУП «Институт мелиорации», г. Минск, Беларусь

Аннотация

Проведены полевые исследования изменения параметров радиосигнала при прохождении через характерные почвогрунты мелиоративных систем. Выявлены особенности затухания радиосигналов в условиях действующих мелиоративных систем. Установлены частоты, которые можно использовать для передачи информационных потоков через массив почвогрунта.

Ключевые слова: радиопроницаемость, затухание сигнала, грунты мелиоративных систем.

Abstract

A. S. Anzhenkov, V. P. Zakrzhevsky, P. I. Kirvel

FEATURES OF DETERMINING RADIO SIGNAL PARAMETERS WHEN PASSING THROUGH DIFFERENT SOILS OF LAND ON RECLAMATION SYSTEMS

The field studies of radio signal parameters changes at passing through characteristic soil of reclamation systems are carried out. Peculiarities of radio signal attenuation in conditions of operating land reclamation systems were revealed. Frequencies, which can be used for transmission of information flows through the soil-soil array, are established.

Keywords: radio permeability, signal attenuation, soils of reclamation systems.

Введение

С течением времени, по причине естественного старения и накопления повреждений, сложность и энергоемкость обслуживания закрытой мелиоративной сети возрастают, вплоть до необходимости ее реконструкции. Только обладая полной информацией о месте и виде повреждений можно эффективно планировать и проектировать мероприятия по восстановлению работоспособности труднодоступных элементов мелиоративных систем.

Обслуживание закрытой мелиоративной сети, от которого напрямую зависит продолжительность ее работы без дорогостоящей реконструкции, требует точного определения местоположения таких элементов, как дренажное устье, примыкание дрен с коллекто-

ром, место установки колонки- и колодца-поглотителя.

В Беларуси осушено 2,9 млн га, из них 2,2 млн га (74 %) закрытой дренажной сетью, относительно сложной для эксплуатации, и, как следствие, необходимо использовать специализированную технику и для обслуживания, и обнаружения полностью скрытых подземных элементов. С учетом роста планируемых объемов реконструкции до 110 тыс. га в 2023 г. остро встает вопрос об увеличении сроков проведения работ и уменьшении их стоимости, что можно обеспечить ускорением и повышением эффективности изысканий на стадии проектирования. Для этого следует повысить оперативность и точность обнаружения всех элементов мелиоративной сети.

В мировой практике используются материальные маркеры, георадиолокация и электронное маркирование. Наибольшую надежность, точность и оперативность дает применение электронных маркеров. Их преимущество заключается в отсутствии помех для землепользования, точности позициони-

Основная часть

Исходя из анализа существующих технологий практическое определение местоположения элементов закрытой мелиоративной сети планируется осуществлять с помощью радиометок, расположенных на элементах закрытой мелиоративной сети. В данной статье устанавливаются параметры радиосигналов, обеспечивающие обнаружение местоположения скрытых под землей конструкций осушительной сети.

Новизна исследования состоит в том, что впервые выявляется зависимость затухания (поглощения) радиосигналов различной частоты в характерных почвогрунтах мелиорированных земель Беларуси с учетом их влажности, температуры и гранулометрического состава.

Общее правило при распространении всех радиоволн на малые расстояния заключается в том, что они распространяются как земные, и это правило в некоторой степени условно. Несмотря на особенности различных диапазонов, существуют общие закономерности распространения радиоволн. Они сводятся к тому, что в любой системе передачи сигнала присутствуют такие элементы, как передатчик, приемник и среда, в которой происходит распространение радиоволн. Под особенностью распространения радиоволн в свободном пространстве принято понимать однородную, безграничную, непоглощающую среду, относительная диэлектрическая и магнитная проницаемость которой равна единице [1]. Строго говоря, подобных

рования, надежности определения, долговечности. Недостатками являются необходимость маркирования объектов в процессе строительства и (или) эксплуатации, а также влияние типа и состояния почвогрунтов на эффективность обнаружения маркера.

сред в природе не существует. Однако в каждом конкретном случае, при определенных допущениях, реальные среды могут быть уподоблены свободному пространству.

В полевых исследованиях по измерению затухания радиосигналов при прохождении через почвогрунты мелиорированных земель использовался метод свободного пространства, описанный в [2–4].

Параметры радиосигнала при прохождении через различные почвогрунты определялись в различных комбинациях их видов при различных влажностях, температурах, гранулометрическом составе и на различном удалении от приемных и передающих антенн. Исследования параметров радиосигнала при прохождении через почвогрунты проводилось с применением анализатора спектра АКИП-4205 в диапазоне частот 9 кГц – 3,0 ГГц. При измерениях в различных диапазонах было задействовано два вида измерительных антенн: антенны штыревого типа для измерения затухания сигнала в диапазоне частот от 50 кГц до 600 МГц и логопериодические антенны для измерения затухания сигнала в диапазоне частот от 600 МГц до 3 ГГц. Исследования параметров радиопроницаемости осуществлялись векторным анализатором. Гранулометрический состав почвогрунтов определялся ситовым методом, влажность – термостатно-весовым, а температуру среды измеряли ртутным термометром с ценой деления 0,2 °С.

Результаты исследования и их обсуждение

Затухания радиосигналов измерялись на осушенных сельскохозяйственных землях мелиоративных систем «Волма» (объект «Обчак») и ОАО «1-я Минская птицефабрика» (Минский р-н Минской обл.). Исследования по определению параметров радиосигнала при прохождении через различные почвогрунты на мелиоративных системах представляли собой серии экспериментов, проходящие в 2 этапа.

На первом этапе были выбраны наиболее типичные для Беларуси почвогрунты, присутствующие на мелиоративной системе «Волма». Определение параметров радиосигнала осуществлялось (рис. 1): *а* – на глубине 500 мм и на расстоянии 1500 мм между измерительными штыревыми антеннами; *б* – на глубине 1000 мм и на расстоянии 1000 мм между измерительными штыревыми антеннами; *в* – с применением измерительных логопериодических антенн.



а



б



в

Рис. 1. Определение параметров радиосигнала в горизонтальной плоскости при изменении расстояния между антеннами и глубины их нахождения

Измерения проводились в двух шурфах, выкопанных параллельно друг другу, на глубинах 500 мм и 1000 мм (H) на расстояниях между измерительными антеннами 390, 500, 1000, 1500, 2500 и 5000 мм. Температура почвогрунта во время измерений составила на глубине 500 мм – 14,4 °С, на глубине 1000 мм – 12,6 °С, температура воздуха – 24,6 °С.

На основе полученных на различных глубинах образцов были измерены объемные влажности почвогрунтов. Средние объемные влажности почвогрунтов из первого шурфа составили на глубине 250 мм (торф) – 63,4 %, на глубине 500 мм (торф) – 84,3 %, на глубине 750 мм (торф) – 79,6 %, 1000 мм (пылеватый песок) – 24,8 %. Средние объемные влажности почвогрунтов из второго шурфа составили на глубине 250 мм (торф) – 66,3 %, на глубине 500 мм (торф) – 82,3 %, на глубине 750 мм

(торф) – 76,7 %, на глубине 1000 мм (пылеватый песок) – 23,54 %.

Подчеркнем, что к основным особенностям полевых исследований необходимо отнести фактор свободного пространства и ландшафтно-климатический фактор местности, а также отсутствие лимитирующих параметров микроклимата лабораторной среды и экспериментальной установки ранее проводимых исследований.

Характеристики гранулометрического состава исследуемых почвогрунтов приведены в табл. 1.

Результаты исследования 1-го этапа отражены на рис. 2. Параметры радиосигнала проходили на расстоянии между измерительными штыревыми антеннами 390, 500, 1000 и 1500 мм.

Таблица 1. Гранулометрический состав почвогрунтов

Размер частиц, мм	Вес частиц, г	Доля, %	Вес частиц, г	Доля, %
	торф, $H = 500$ мм		пылеватый песок, $H = 1000$ мм	
2	11,97	4	0	0
1	50,6	17	0	0
0,7	37,34	12	0,31	0
0,5	30,18	10	0,6	0
0,25	80,56	27	5,24	2
0,1	49,12	16	194,71	65
< 0,1	40,23	13	99,14	33

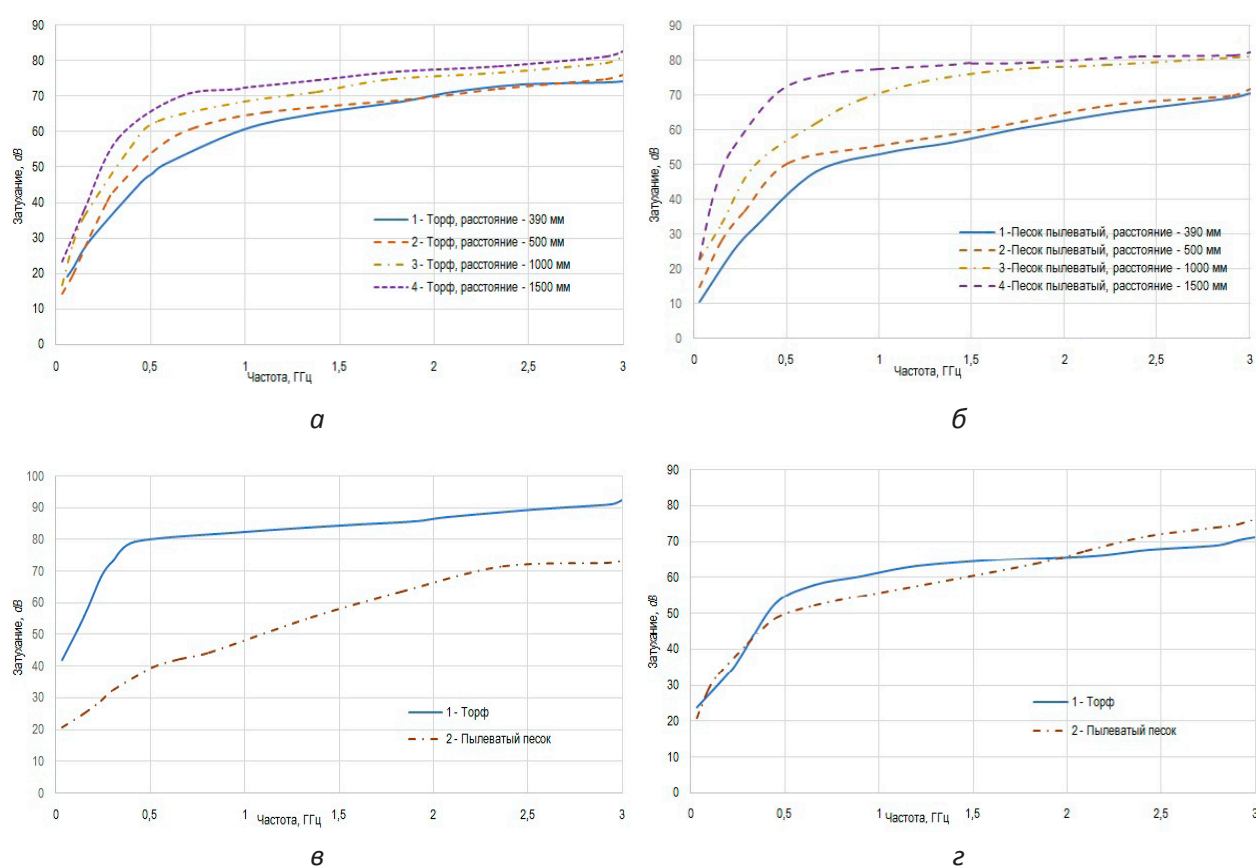


Рис. 2. График параметров радиосигнала: а – через торф на глубине 500 мм; б – пылеватый песок на глубине 1000 мм; в – комбинации почвогрунтов (торф – пылеватый песок); г – различные почвогрунты (торф; пылеватый песок)

Исходя из данных, полученных на первом этапе исследования, можно утверждать, что затухание радиосигнала при прохождении через почвогрунты на мелиоративных системах в горизонтальной плоскости имеет прямую зависимость от температуры, влажности, гранулометрического состава и обратную зависимость от частоты. Так, затухание радиосигнала уменьшается на низких частотах и возрастает

на высоких, при этом с увеличением расстояния между антеннами эта зависимость возрастает. Это согласуется с исследованиями, выполненными ранее [5].

На втором этапе измерения проводились на объекте ОАО «1-я Минская птицефабрика» на глубинах 400, 500, 700 и 1000 мм на расстояниях между измерительными антеннами 500, 1000, 1600 мм в двух шурфах, выкопанных па-

параллельно друг другу. Для определения параметров радиосигнала при прохождении через почвогрунты были выбраны четыре точки по 2 в каждом из шурфов на глубинах 400 и 700 мм (т. 0, т. 1 – точки установки антенн). Измерения по прохождению радиосигнала осуществлялись как по горизонтали, так и по вертикали (рис. 3): *а* – общий вид участка проведения исследований; *б* – установка штыревых антенн в шурфе; *в* – снятие параметров вертикального затухания.; *г* – снятие параметров горизонтального затухания логопериодическими антеннами. Температура почвогрунта во время измерений составила 9 °С.

На основе образцов, полученных на различных глубинах, были измерены объемные

влажности почвогрунтов. Средние объемные влажности почвогрунтов из первого шурфа составили: на глубине 30 см – 33,50 %; на глубине 50 см – 35,33 %; на глубине 80 см – 34,65 %.

Средние объемные влажности почвогрунтов из второго шурфа составили: на глубине 30 см – 35,23 %; на глубине 50 см – 37,24 %; на глубине 80 см – 43,33 %.

Характеристики гранулометрического состава исследуемых почвогрунтов представляют собой средне- и мелкозернистые частицы размером от 0,5 до 0,25 мм со значительной частью пылеватых частиц 0,1 мм и с небольшой примесью крупных частичек 2–0,7 мм. Доля глины (менее 0,1 мм) может достигать до четверти массы пробы (табл. 2 и 3).



а



б



в



г

Рис. 3. Ход выполнения исследований по определению параметров радиосигнала в горизонтальной и вертикальной плоскостях с применением штыревых и логопериодических антенн

Таблица 2. Гранулометрический состав почвогрунтов в 1-м шурфе

Размер частиц, мм	Вес частиц, г	Доля, %	Вес частиц, г	Доля, %	Вес частиц, г	Доля, %	Вес частиц, г	Доля, %
	т. 0, H = 400 мм		т. 0, H = 700 мм		т. 1, H = 400 мм		т. 1, H = 700 мм	
2	0	0	1	1	1,81	1	0,03	0
1	1,52	1	6,23	3	4,74	2	1,45	1
0,7	3,39	2	7,23	4	7,81	4	0,82	0
0,5	5,29	3	12,73	6	9,93	5	1,69	1
0,25	59,76	30	85,7	43	73,01	37	54,5	27
0,1	95,87	48	76,16	38	70,93	35	92,39	46
<0,1	34,17	17	10,95	5	31,77	16	49,12	25

Таблица 3. Гранулометрический состав почвогрунтов во 2-м шурфе

Размер частиц, мм	Вес частиц, г	Доля, %	Вес частиц, г	Доля, %	Вес частиц, г	Доля, %	Вес частиц, г	Доля, %
	т. 0, H = 400 мм		т. 0, H = 700 мм		т. 1, H = 400 мм		т. 1, H = 700 мм	
2	0	0	2,63	1	0	0	0	0
1	3,19	2	5,16	3	0,2	0	1,05	1
0,7	4,83	2	3,76	2	1,82	1	0,45	0
0,5	5,21	3	2,96	1	2,93	1	1,08	1
0,25	56,79	28	60,26	30	63,86	32	91,46	46
0,1	91,64	46	106,44	53	99,71	50	89,83	45
<0,1	38,34	19	18,79	9	31,48	16	16,13	8

Анализ гранулометрического состава почвогрунтов показал, что исследуемые образцы легкие по механическому составу, но содержат много глинистых включений, количество которых по мере глубины уменьшается. Таким образом, грунты в зоне проведения полевых исследований представлены в верхнем слое супесью легкой, а в подстилающем слое – песком мелким.

На рис. 4, 5 и в табл. 4, 5 приведены результаты измерений затухания радиосигналов с использованием штыревых измерительных антенн в связи с изменением влажности почвогрунтов в горизонтальных (на глубине 70 см, расстоянии 100 см, при влажности 35,33 и 27 %) и вертикальных плоскостях (на расстоянии 50 см с интервалом в сутки, при влажности 43,33 и 25 %) с интервалом в сутки.

Определено, что органогенные почвогрунты имеют неоднозначную зависимость радиопроницаемости как от частоты радиосигнала, так и от влажности. Радиопроницаемость почвогрунтов с содержанием глея находятся

в обратной зависимости от влажности, хотя отмечаются отдельные стохастические аномалии затухания радиосигнала.

Выявлена векторная составляющая затухания радиосигналов в почвогрунтах естественного заложения. Структура почвогрунтов естественного залегания не изотропна, в первую очередь из-за различий в направлениях процессов гравитационного и фильтрационного формирования. Даже для относительно однородных слоев почвогрунтов характерно слоистое строение. Как следствие, радиопроницаемость в горизонтальном и вертикальном направлениях различается.

Для определения степени анизотропности естественных почвогрунтов проведена серия полевых измерений. Схема проведения исследования зависимости затухания радиосигнала по вертикали и горизонтали в почвогрунтах в полевых условиях с применением штыревых антенн приведена на рис. 6.

Результаты измерений затухания радиосигнала (TL) приведены в табл. 6.

Таблица 4. Затухание радиосигналов в горизонтальной плоскости при изменении влажности в почвогрунтах из 1-го шурфа

Частота, МГц	Затухания радиосигналов, dB	
	При влажности 35,33 %	При влажности 27 %
100	19,1	24,8
500	39,9	51,3
1000	50,8	57,5
1500	58,0	61,1
2000	64,3	64,6
2500	68,1	70,0
3000	69,5	72,6

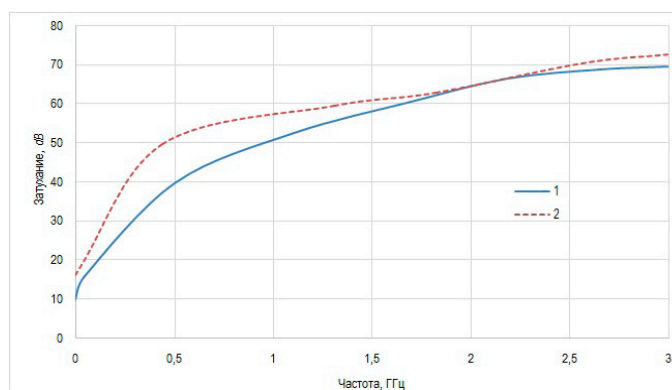


Рис. 4. График затухания радиосигналов (по данным табл. 4)

Таблица 5. Затухание радиосигналов в вертикальной плоскости при изменении влажности в почвогрунтах из 2-го шурфа

Частота, МГц	Затухания радиосигналов, dB	
	При влажности 43,33 %	При влажности 25 %
100	27,9	23,0
500	52,0	40,4
1000	64,1	50,1
1500	68,8	54,4
2000	71,2	57,7
2500	73,9	60,8
3000	75,8	64,9

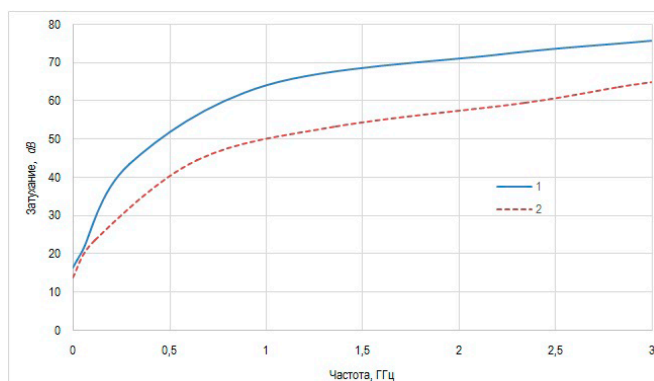


Рис. 5. График затухания радиосигналов (по данным табл. 5)

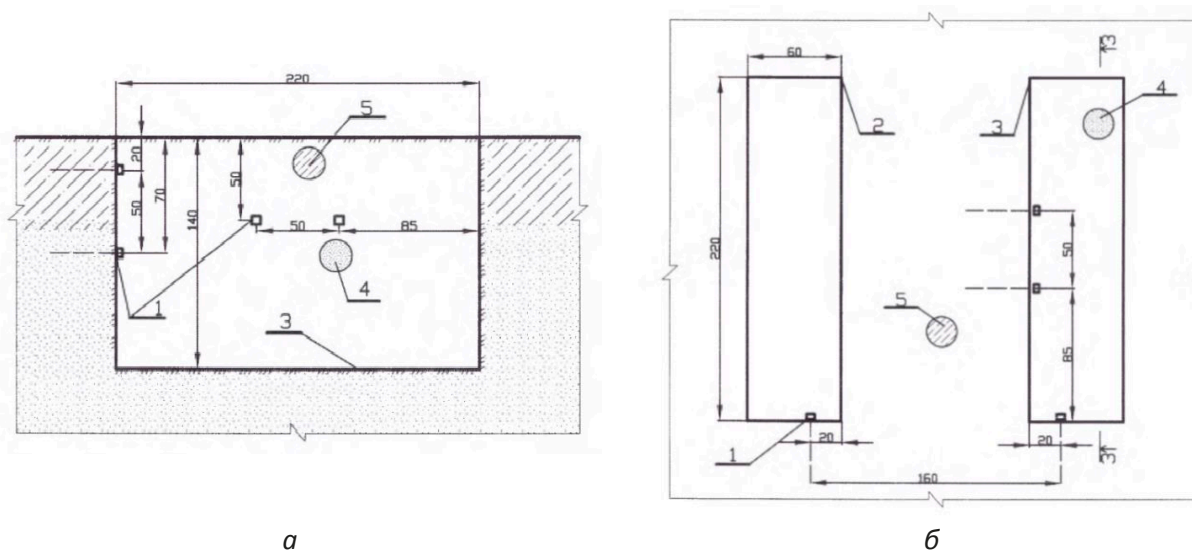


Рис. 6. Схема опыта: а – разрез шурфа; б – вид шурфов сверху;
1 – штыревая антенна; 2 – первый шурф; 3 – второй шурф; 4, 5 – точки отбора проб грунта с глубины шурфа и приповерхностного слоя

Таблица 6. Результаты измерений затухания радиосигнала

Частота, МГц	Затухание по горизонтали, dB	Затухание по вертикали, dB	tg φ
100	23,1	23,0	1,00
1000	54,4	50,1	0,92
2000	67,5	57,7	0,85
3000	72,6	64,9	0,89

На основании измеренных численных значений проведен анализ отклонения вектора радиопроницаемости от геометрического вектора направления радиосигнала (рис. 7, 8), который характеризуется углом ψ , а степень анизотропности радиопроницаемости – отклонением вектора радиопроницаемости от геометрического вектора, которое для упрощения дальнейших расчетов удобно представить, как tg сопряженного угла φ (рис. 7, 8).

В таком виде коэффициент анизотропности радиопроницаемости почвогрунтов естественного заложения определяется по формуле:

$$\text{tg } \varphi = TL_V / TL_H, \quad (1)$$

где TL_V – затухание радиосигнала в вертикальном направлении, dB;

TL_H – затухание радиосигнала в горизонтальном направлении, dB;

L_V – расстояние между антеннами по вертикали;

L_H – расстояние между антеннами по горизонтали;

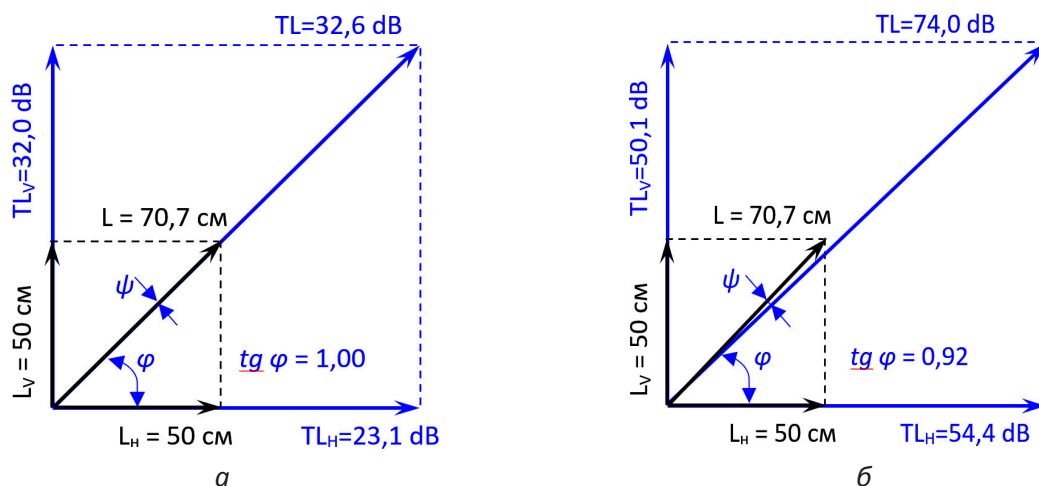


Рис. 7. Векторная диаграмма отклонения радиопроницаемости от геометрического направления радиосигнала: а – 100 МГц; б – 1000 МГц

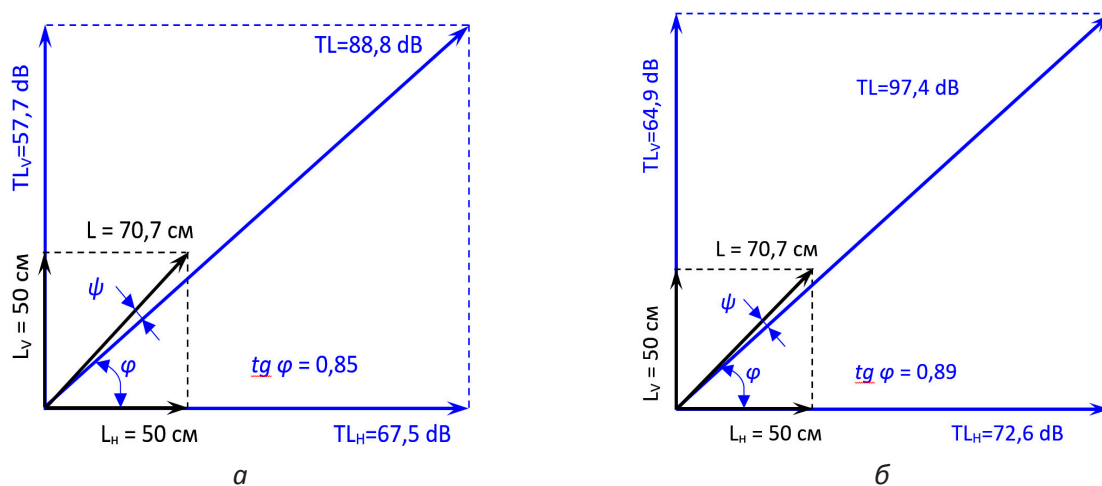


Рис. 8. Векторная диаграмма отклонения радиопроницаемости от геометрического направления радиосигнала: а – 2000 МГц; б – 3000 МГц

Отмечено превышение затухания радиосигнала в горизонтальной плоскости в сравнении с таковым в вертикальной плоскости. Например, для частоты 100 МГц коэффициент анизотропии составит: $\text{tg } \varphi_{100} = 23,0 / 23,1 = 0,996$.

Результаты расчета $\text{tg } \varphi$ для других частот, а также итоги измерения анизотропии приведены в табл. 7; графическое представление данной величины – на рис. 9.

Анализ результатов векторной составляющей затухания радиосигналов в почвогрунтах естественного заложения свидетельствует о неравномерности анизотропных свойств их радиопроницаемости в зависимости от частоты. Значимость коэффициента превышает 5 % на частоте 600 МГц, при этом анизотропностью на низких частотах можно пренебречь.

Таблица 7. Результаты измерений анизотропии

Частота, МГц	$\text{tg } \varphi$
100	1,00
1000	0,92
2000	0,85
3000	0,89

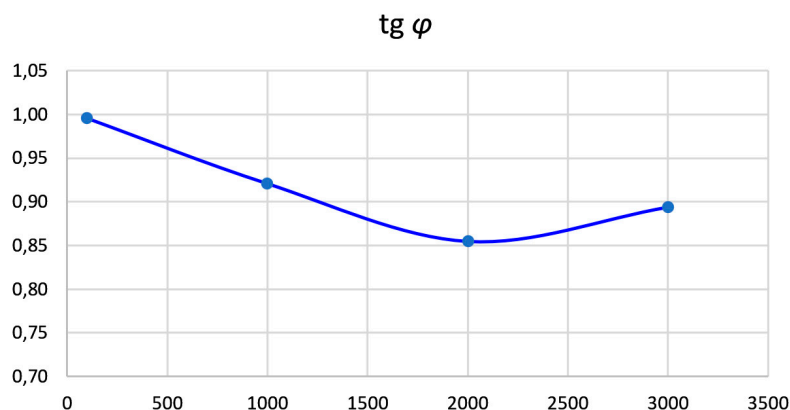


Рис. 9. Зависимость коэффициента $\text{tg } \varphi$ от частоты радиосигнала для суглинистого почвогрунта

Выводы

Прохождение радиосигнала через различные виды и комбинации почвогрунтов при некотором различии уровней их затухания показывает динамику нарастания затухания радиосигнала при увеличении частоты выше

500 МГц. На практике для передачи информационных потоков посредством радиопередачи через слой почвогрунтов на расстоянии до 1,5 м можно использовать частотный диапазон до 500 МГц [6].

Библиографический список

1. Родос, Л. Я. Электродинамика и распространение радиоволн (распространение радиоволн) : учеб.-метод. комплекс / Л. Я. Родос. – С.-Петербург : Изд-во СЗТУ, 2007. – 90 с.
2. Безверхняя, Е. И. Температурная зависимость диэлектрических свойств почв Васюганских болот / Е. И. Безверхняя. – Томск : ТГУ, 2019. – 29 с.
3. Расчет ослабления в свободном пространстве : рекомендация МСЭ-R P.525-2 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/p/R-REC-P.525-2-199408-S!!PDF-R.pdf. – Дата доступа: 21.10.2023.
4. Справочник по распространению земных волн [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.itu.int/dms_pub/itu-r/opb/hdb/R-HDB-59-2014-PDF-R.pdf. – Дата доступа: 23.10.2023.
5. Анженков, А. С. Радиопроницаемость мелиорированных земель на примере торфяных почв, подстилаемых песком / А. С. Анженков, В. П. Закржевский, И. О. Мосенз // Мелиорация. – 2021. – № 4 (98). – С. 14–17.
6. Электрические характеристики земной поверхности : рекомендация МСЭ-R P.527-4. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/p/R-REC-P.527-4-201706-!!PDF-R.pdf. – Дата доступа: 23.10.2023.

Поступила 14 ноября 2023 г.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ЦИФРОВЫХ МОДЕЛЕЙ РЕЛЬЕФА МЕЛИОРАТИВНЫХ ОБЪЕКТОВ, ПОЛУЧЕННЫХ РАЗЛИЧНЫМИ АЭРОФОТОТОПОГРАФИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ

*Л. Н. Оскирко, старший научный сотрудник
В. М. Макоед, ведущий научный сотрудник
О. Г. Бондарчук, старший научный сотрудник*

РУП «Институт мелиорации», г. Минск, Беларусь

Аннотация

Для изучения особенностей и ограничений, присущих различным методам съемки рельефа, проведен сравнительный анализ цифровых моделей рельефа мелиоративных объектов, построенных на основе материалов наземной топографической съемки, цифровой аэрофотосъемки и воздушного лазерного сканирования с беспилотных летательных аппаратов. Установлено, что для задач проектирования мелиоративных мероприятий, расчета морфометрических характеристик рельефа и моделирования поверхностного стока целесообразно использовать комбинированный метод съемки рельефа, при котором съемка объекта осуществляется с помощью аэрофототопографических методов с последующим дополнительным выполнением наземной съемки в труднодоступных для дистанционных видов съемки местах, таких как заполненные водой замкнутые понижения, заросшие густой древесно-кустарниковой растительностью участки и др.

Ключевые слова: мелиоративные изыскания, цифровая модель рельефа, цифровая аэрофотосъемка, воздушное лазерное сканирование, беспилотный летательный аппарат, замкнутые понижения рельефа.

Abstract

L. N. Oskirko, V. M. Makoed, O. G. Bondarchuk

COMPARATIVE ANALYSIS OF DIGITAL TERRAIN MODELS OF LAND RECLAMATION OBJECTS CREATED BY VARIOUS AERIAL PHOTOTOPOGRAPHIC METHODS

To study the features and limitations inherent in various methods of relief survey, a comparative analysis of digital terrain models of land reclamation objects based on ground topographic survey materials, digital aerial photography from unmanned aerial vehicles and aerial laser scanning was carried out. It is established that for the design of land reclamation measures, calculation of relief morphometric characteristics and modeling surface runoff, it is advisable to use a combined method of terrain survey, in which the survey of an object is carried out using aerial topographic methods followed by additional ground survey in places that are difficult to access for remote types of survey, such as drainless depressions filled with water, areas overgrown with dense trees and shrubby vegetation and etc.

Keywords: land reclamation surveys, digital terrain model, digital aerial photography, airborne laser scanning, unmanned aerial vehicle, drainless depressions.

Введение

Актуальные и достоверные данные о рельефе местности и его характеристиках, выраженных через количественные морфометрические показатели, являются необходимым условием для решения широкого круга научных и прикладных задач. Так, рельеф местности – это один из основных факторов, учитываемых при разработке проектов строительства и реконструкции мелиоративных систем. Формы рельефа определяют величины водосборных площадей, неравномерное распределение осадков по территории и динамику поверхностного стока, а следовательно –

но, дифференциацию интенсивности водного питания грунтовых вод, вызывая затруднение стока на плоских участках и в замкнутых понижениях, что вкупе с притоком воды с прилегающих возвышенных элементов рельефа приводит к переувлажнению почвы и застою поверхностных вод. Несвоевременное отведение избыточной влаги формирует неблагоприятный водный режим в корнеобитаемом слое почвы, осложняет обработку почвы сельскохозяйственной техникой и ухудшает условия возделывания сельскохозяйственных культур.

В связи с этим рельеф является важнейшей характеристикой, определяющей проектирование площадного и высотного расположения мелиоративной сети, причем с точки зрения отвода как грунтовых, так и поверхностных вод. Поэтому наличие надежных данных по рельефу и эффективных процедур расчета объемов застоя поверхностных вод для использования в проектных расчетах представляет особую актуальность при проектировании реконструкции мелиоративных систем, в том числе мероприятий по устранению застоя поверхностных вод.

В настоящее время топографическая съемка рельефа в рамках топографо-геодезических изысканий для проектов строительства и реконструкции мелиоративных систем производится преимущественно наземными методами с использованием электронных тахеометров, а также приемников систем спутниковой навигации (GNSS) в режиме кинематики в реальном времени (RTK) либо в постобработке (PPK). На основании массива высотных отметок, полученных в результате такой съемки, в специализированном программном обеспечении (КРЕДО, AutoCAD и т. п.) строятся триангуляционные (TIN) цифровые модели рельефа (ЦМР), по которым генерируются горизонтали с необходимой высотой сечения рельефа [1].

Топографо-геодезическая съемка мелиоративных объектов выполняется в масштабе 1 : 2000 с сечением рельефа 0,5 м, при наличии развитого микрорельефа – 0,25 м. На равнинной местности пикетные точки набираются не реже чем через 40 м местности при сечении рельефа 0,5 м (не менее 25 точек/дм²

в масштабе плана) и не реже чем через 20 м при сечении рельефа 0,25 м. Формы микрорельефа изображаются полугоризонталями или вспомогательными горизонталями [2].

Составление топографических планов с отображением микрорельефа связано с трудностями выявления микрозападин. Поэтому при съемке рельефа для определения западин глубиной 0,10–0,25 м расстояние между съемочными пикетами не должно превышать 10–20 м [3].

В последнее десятилетие широкое распространение получили аэрофототопографические методы съемки, в том числе цифровая аэрофотосъемка с применением беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) и воздушное лазерное сканирование (лидарная съемка), позволяющие получать более точно соответствующие реальной поверхности цифровые модели рельефа и при этом обеспечивающие высокую производительность работ. При использовании данных методов цифровая модель рельефа строится на основе плотного облака точек, получаемого путем обработки данных различных сенсоров летательных аппаратов.

Для изучения особенностей цифровых моделей рельефа, создаваемых с помощью дистанционных методов, анализа их преимуществ и недостатков, а также применимости при проектировании реконструкции и строительства мелиоративных объектов, расчета морфометрических характеристик рельефа и моделирования поверхностного стока был выполнен сравнительный анализ ЦМР тестовых мелиоративных объектов, построенных по результатам различных видов съемки.

Методика и объекты исследования

Для сравнения были построены ЦМР по результатам различных видов съемки, выполненной на объектах мелиоративного строительства «Осушение высокоплодородных земель у д. Литовск на землях СП "Газовик-Сипаково" (филиал РУП «Могилевоблгаз» Шкловского р-на Могилевской обл.; площадь 409 га, далее – объект «Литовск») и «Осушение высокоплодородных земель у д. Брасуки на землях СП "Газовик-Сипаково"» (филиал РУП «Могилевоблгаз» Шкловского р-на Могилевской обл. (площадь 258 га, далее – объект «Барсуки»).

Оба объекта расположены в южной части Шкловского р-на Могилевской обл. на правобережье р. Днепр, в пределах Оршанско-Могилевской равнины. Рельеф местности – равнинно-волнистый и равнинно-холмистый, расчлененный глубокооврезанными ложбинами и балками. Абсолютные высоты рельефа на объекте «Литовск» находятся в пределах 161–207 м, на объекте «Барсуки» – 178–207 м. Уклоны поверхности составляют от 1–2° (на возвышенных водораздельных участках) до 8–10° на склонах оврагов и балок (местами свыше 20°). Рельеф объекта «Литовск» харак-

теризуется более развитой ложбинной сетью по сравнению с объектом «Барсуки».

Особенность рельефа обоих объектов – обилие замкнутых понижений, представляющих собой западины различной величины, образовавшиеся в результате суффозионных процессов на лессовидных суглинках и лессах. В периоды весеннего половодья и летне-осенних паводков в западинах скапливается и застаивается вода, что приводит к вымоканию посевов сельскохозяйственных культур и затрудняет передвижение сельскохозяйственной техники.

В период проведения съемок большая часть сельскохозяйственных земель была занята посевами озимых в стадии весеннего кущения, северная часть объекта «Литовск» находилась в распаханном состоянии. Земли, приуроченные к оврагам и балкам, поросли густым высокотравьем и древесно-кустарниковой растительностью (ДКР). В переувлажненных замкнутых понижениях произрастала влаголюбивая болотная растительность – осоки, тростник и ДКР, которая представлена в основном ивой, осинкой, ольхой и березой. Площадь земель, покрытых ДКР, на объекте «Литовск» – 42 га (около 15 % от площади объекта), на объекте «Барсуки» – 25 га (12 %). В период проведения изысканий западины были заполнены водой.

Аэрофотосъемка объектов производилась 29 апреля 2022 г. компанией «КВАНД ИС» с

помощью беспилотного летательного аппарата самолетного типа BOREY-10 с цифровой камерой Sony α6000. Для координатной привязки снимков использовались высокоточное бортовое GNSS-оборудование (ОЕМ плата TR-3N) и данные Спутниковой системы точного позиционирования Республики Беларусь (далее – ССТП РБ). Контроль плановой и вертикальной точности материалов, полученных в результате аэрофотосъемки, осуществлялся с помощью наземных контрольных точек, закрепленных на местности опознавательными знаками. Их координаты были определены геодезическим двухчастотным GNSS-приемником JAVAD TRIUMPH-2 в режиме RTK с использованием ССТП РБ.

Обработка полученных данных осуществлялась в программном обеспечении *Agisoft Metashape*. На основании материалов аэрофотосъемки были выполнены ортофотопланы исследуемых мелиоративных объектов (а – объект «Литовск»; б – объект «Барсуки») с пространственным разрешением 5 см/пиксел (рис. 1), а также растровые цифровые модели местности (ЦММ) в формате GeoTIFF с пространственным разрешением 30 см/пиксел. Из плотного облака точек при помощи автоматической классификации были выделены отметки земли, на основе которых были созданы ЦМР с таким же разрешением (рис. 2). Для наглядности вертикальный масштаб на рис. 2, 3 увеличен в 10 раз.



Рис. 1. Ортофотопланы, построенные по результатам аэрофотосъемки:
а – объект «Литовск»; б – объект «Барсуки»

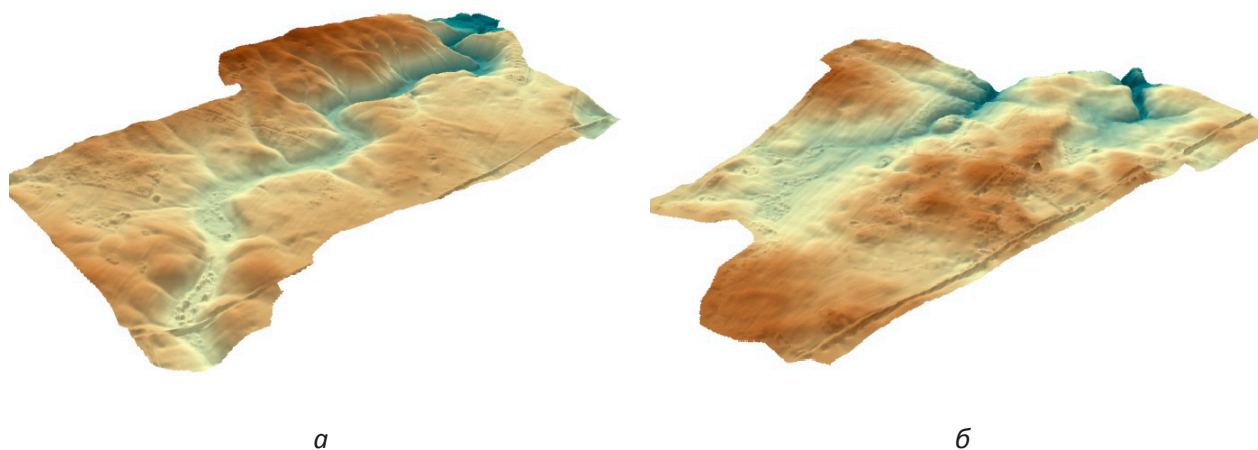


Рис. 2. Цифровые модели рельефа, построенные по результатам аэрофотосъемки:
а – объект «Литовск»; *б* – объект «Барсуки»

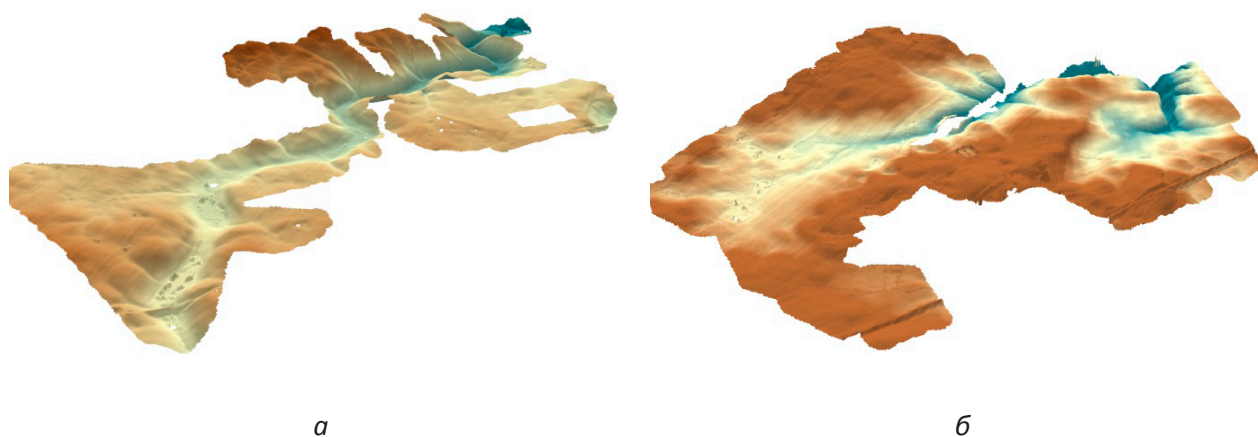


Рис. 3. Цифровые модели рельефа, построенные с помощью воздушного лазерного сканирования
а – объект «Литовск»; *б* – объект «Барсуки»

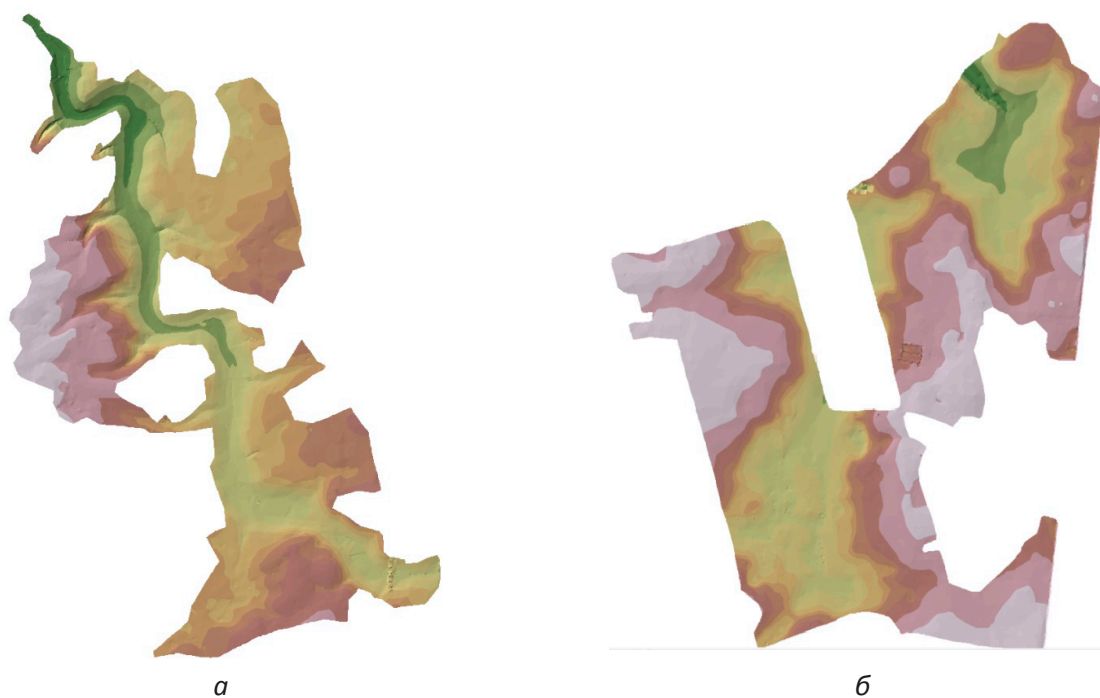


Рис. 4. Цифровые модели рельефа, построенные методом TIN по данным наземной съемки
а – объект «Литовск»; *б* – объект «Барсуки»

Съемка рельефа тестовых объектов методом воздушного лазерного сканирования производилась 10–11 мая 2022 г. совместно с сотрудниками факультета географии и геоинформатики БГУ при помощи лидара DJI Zenmuse L1, установленного на платформу БПЛА мультироторного типа (квадрокоптер) DJI Matrice 300 RTK. Для координатной привязки использовалось высокоточное бортовое GNSS-оборудование в режиме RTK с использованием ССТП РБ.

В результате обработки данных, полученных с датчиков лидара, было построено плотное облако точек. При помощи автоматической классификации из него выделены отметки земли, на основе которых созданы растровые цифровые модели рельефа, сохраненные в формате GeoTIFF с пространственным разрешением 30 см/пиксел (см. рис. 3).

Точность высот ЦМР, построенных с применением аэрофототопографических методов съемки, оценивалась относительно отметок высот рельефа, полученных в рамках топографо-геодезических изысканий, которые выполнялись проектными организациями на территории объектов «Литовск» и «Барсуки» в марте – апреле 2022 г. методом GNSS-съемки в режиме RTK. Уточним, что для сравнения использовались не отдельные точки, закрепленные опознавательными знаками на мест-

ности, а весь массив отметок высот рельефа, геопривязанных в системе координат топопланов.

Из электронных чертежей топографических планов масштаба 1 : 2000, выполненных в формате DWG, были извлечены точки со значениями отметок высот рельефа, а также горизонтали и структурные линии. Количество точек с отметками высот для объекта «Литовск» составило 5764, для объекта «Барсуки» – 2067. На основе полученных данных с применением метода TIN были построены цифровые модели рельефа тестовых объектов (см. рис. 4). Затем TIN был конвертирован в растровый формат GeoTIFF для последующего сравнения с ЦМР, построенными с помощью аэрофототопографических методов.

Из общего массива точек с отметками высот были выбраны точки, попадающие в границы как ЦМР, созданных по результатам аэрофотосъемки с БПЛА (ЦМР АФС), так и ЦМР, созданных по результатам воздушного лазерного сканирования (ЦМР ВЛС): 5063 точки для объекта «Литовск» и 1959 точек для объекта «Барсуки». Из ЦМР АФС и ЦМР ВЛС с помощью инструмента *Add Surface Information* модуля ArcGIS 3D Analyst в атрибутивную таблицу точек топосъемки были извлечены высоты, соответствующие местоположению отметок высот топопланов.

Результаты исследований и их обсуждение

Исходными показателями для оценки точности служили разности высот ΔH соответствующих цифровых моделей рельефа ($H_{\text{ЦМР}}$) и отметок топосъемки ($H_{\text{топо}}$):

$$\Delta H = H_{\text{ЦМР}} - H_{\text{топо}} \quad (1)$$

На основе полученных данных были построены гистограммы распределения ошибок для каждой ЦМР (рис. 5–6).

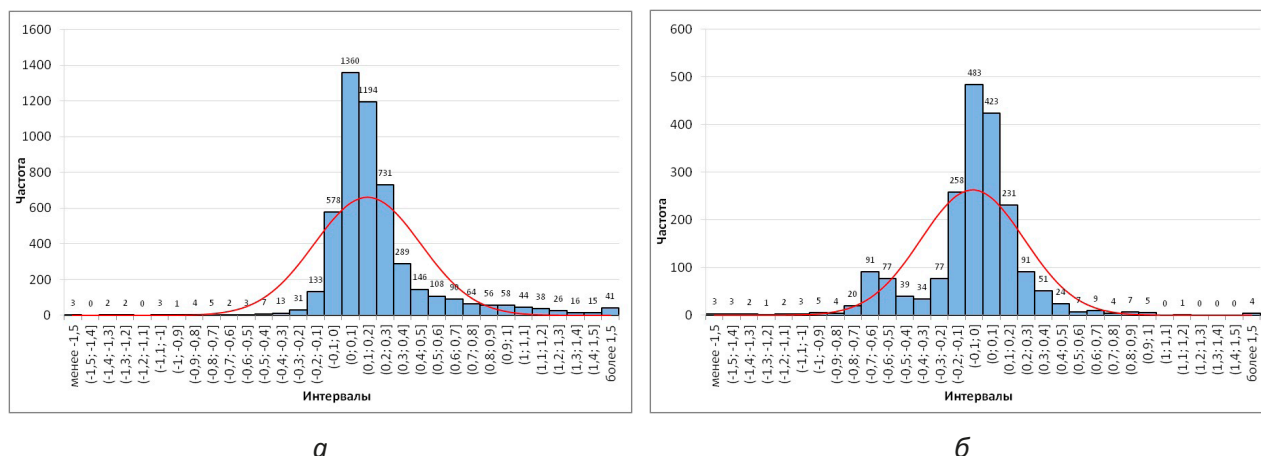
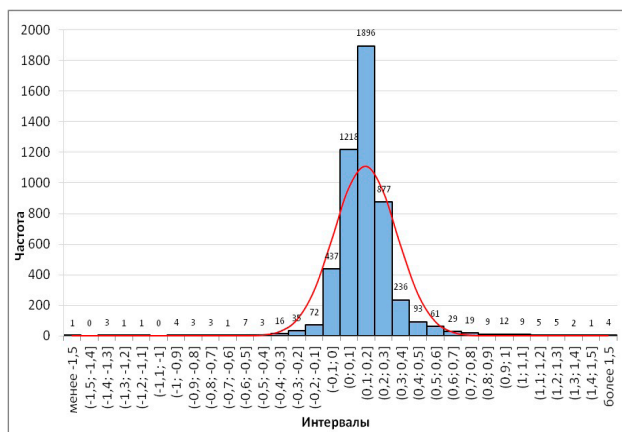
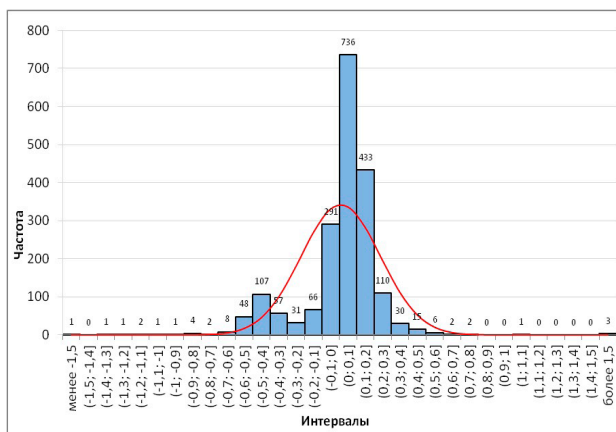


Рис. 5. Гистограммы распределения ошибок высот ЦМР АФС:
а – объект «Литовск»; б – объект «Барсуки»



а



б

Рис. 6. Гистограммы распределения ошибок высот ЦМР ВЛС

а – объект «Литовск»; б – объект «Барсуки»

Общий визуальный анализ гистограмм показал следующее:

- гистограммы распределения ошибок ЦМР ВЛС характеризуются меньшим разбросом значений, чем гистограммы ЦМР АФС;

- на гистограммах распределения ошибок высот ЦМР объекта «Барсуки» наблюдаются аномальные выбросы в интервалах от $-0,4$ до $-0,7$ м для ЦМР АФС и от $-0,3$ до $-0,6$ м для ЦМР ВЛС, и, так как данная аномалия наблюдается на обеих гистограммах, можно предположить, что это является следствием погрешности, допущенной при проведении наземной топосъемки;

- в общем случае (при исключении данной аномалии) наблюдается скос гистограмм в сторону положительных значений, что свидетельствует о влиянии растительности, неотфильтрованной алгоритмами автоматической классификации, при этом правая асимметрия более явно выражена у гистограмм ЦМР АФС.

На основе обработки всей совокупности пар значений рассчитаны следующие статистические показатели точности высотной составляющей ЦМР [4, 5]:

- среднее значение разности высот ЦМР и пикетных точек (систематическая ошибка):

$$\Delta H_{\text{ср.}} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Delta H_i, \quad (2)$$

где n – число точек;

- минимальное ($\Delta H_{\min}$) и максимальное ($\Delta H_{\max}$) значения разностей высот;

- среднеквадратическая ошибка:

$$RMSE_{\Delta H} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Delta H_i^2}; \quad (3)$$

- средняя абсолютная ошибка:

$$MAE_{\Delta H} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |\Delta H_i|; \quad (4)$$

- стандартное отклонение:

$$SD_{\Delta H} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (\Delta H_i - \Delta H_{\text{ср.}})^2}; \quad (5)$$

- вероятная линейная ошибка $LE90$, то есть величина, которую с вероятностью 90 % не превзойдет отклонение по высоте оцениваемой точки от ее контрольного значения, рассчитываемая в соответствии с [6]:

$$LE90_{\Delta H} = 1,645 \cdot SD_{\Delta H}. \quad (6)$$

Статистические показатели оценки точности по результатам обработки всей совокупности данных приведены в табл. 1. Для наглядности, помимо ошибок ЦМР, в таблицу включены также ошибки, рассчитанные при сравнении высот цифровых моделей местности, построенных по результатам аэрофотосъемки (ЦММ АФС).

Таблица 1. Показатели точности высот моделей поверхности, м

Характеристика	Объект «Литовск»			Объект «Барсуки»		
	ЦММ АФС	ЦМР АФС	ЦМР ВЛС	ЦММ АФС	ЦМР АФС	ЦМР ВЛС
Количество точек, шт.	5063	5063	5063	1959	1959	1959
Среднее значение разности высот (систематическая ошибка) $\Delta H_{\text{ср.}}$	0,61	0,20	0,15	0,29	–0,06	0,01
Минимальное значение разности высот ΔH_{min}	–1,72	–1,72	–1,60	–2,48	–2,48	–2,55
Максимальное значение разности высот ΔH_{max}	17,61	2,89	2,84	15,55	2,49	2,67
Среднеквадратическая ошибка $\text{RMSE}_{\Delta H}$	1,95	0,38	0,23	1,67	0,32	0,24
Средняя абсолютная ошибка $\text{MAE}_{\Delta H}$	0,64	0,23	0,17	0,52	0,20	0,15
Стандартное отклонение $\text{SD}_{\Delta H}$	1,85	0,32	0,18	1,65	0,31	0,24
Вероятная линейная ошибка $\text{LE90}_{\Delta H}$	–	0,53	0,30	–	0,51	0,40

На основании анализа полученных величин ошибок можно сделать следующие выводы:

- значения ошибок ЦМР ВЛС во всех случаях меньше, чем ЦМР АФС;

- большие значения ΔH_{max} для ЦММ АФС (то есть поверхности без фильтрации растительности) свидетельствуют о наличии на участке топосъемки ДКР соответствующей высоты, прочие значения ошибок для данной модели поверхности также ожидаемо более высокие, чем у ЦМР;

- значения средней абсолютной ошибки ЦМР АФС больше, чем у ЦМР ВЛС, на 5–6 см (примерно в 1,3 раза) на обоих участках;

- значения среднеквадратической ошибки и стандартного отклонения у ЦМР АФС больше, чем у ЦМР ВЛС на 14–15 см для объекта «Литовск» и на 7–8 см для объекта «Барсуки», что связано с большей степенью расчлененности рельефа местности объекта «Литовск», систематическая ошибка $\Delta H_{\text{ср.}}$ также имеет заметно большее значение на объекте «Литовск».

В соответствии с [1] для топографических планов масштаба 1 : 2000 средние погрешности съемки рельефа относительно ближайших точек съемочной геодезической сети не должны превышать от принятой высоты сечения рельефа: 1/4 — при углах наклона до 2°; 1/3 — при углах наклона свыше 2°.

Принимая во внимание, что значение средней абсолютной ошибки высоты ЦМР ВЛС составило 0,17 м для объекта «Литовск» и 0,15 м

для объекта «Барсуки» и то, что на территории объектов преобладают уклоны рельефа более 2°, можно сделать вывод о возможности использования ЦМР, полученной по материалам воздушного лазерного сканирования, для создания топографических планов с высотой сечения рельефа 0,5 м.

При анализе ошибок в контрольных точках следует учитывать, что плотность точек при выполнении съемки аэрофототопографическими методами (до 10–20 точек на кв. м) значительно выше, чем при наземной топосъемке. Данное обстоятельство позволяет получать цифровую модель рельефа, более приближенную к реальной поверхности участка, и, как следствие, выявлять элементы микро- и даже нанорельефа, пропущенные при построении ЦМР по результатам наземной топосъемки.

Для анализа пространственного распределения отклонения высот по территории объектов при помощи инструмента *Map Algebra* модуля *ArcGIS Spatial Analyst* были получены карты разностей высот цифровых моделей рельефа, построенных по результатам наземной топосъемки (ЦМР Топо, см. рис. 5), и цифровых моделей рельефа, построенных аэрофототопографическими методами (ЦМР АФС и ЦМР ВЛС, см. рис. 3–4). Результаты сравнения в виде растров разностей высот представлены на рис. 7–8.

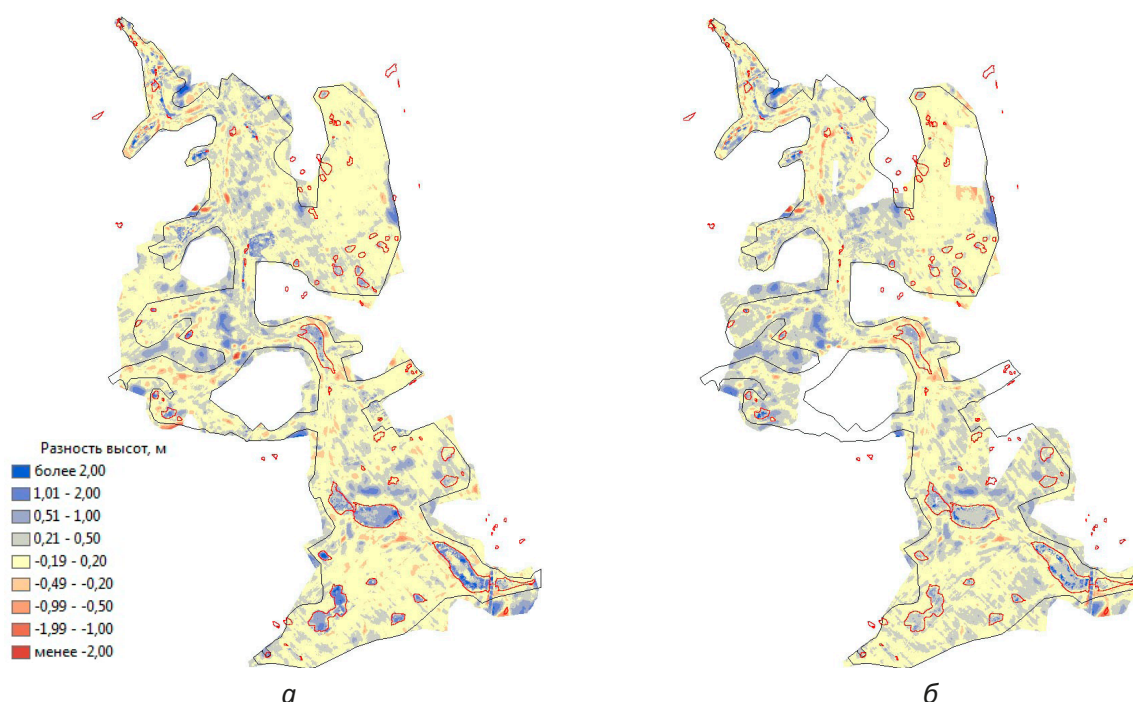


Рис. 7. Растры разностей высот ЦМР (объект «Литовск»):
а – ЦМР АФС – ЦМР Топо; *б* – ЦМР ВЛС – ЦМР Топо



Рис. 8. Растры разностей высот ЦМР (объект «Барсуки»):
а – ЦМР АФС – ЦМР Топо; *б* – ЦМР ВЛС – ЦМР Топо

Анализ разностных растров ЦМР показывает следующее:

- наибольшие положительные отклонения (то есть области, обозначенные синим цветом, в которых ЦМР АФС и ЦМР ВЛС выше, чем ЦМР Топо) наблюдаются в заполненных водой замкнутых понижениях, где рельеф дна

не был вскрыт ни одним из методов дистанционной съемки;

- на растрах ЦМР АФС, в отличие от растров ЦМР ВЛС, наибольшие положительные отклонения относительно высот топоъемки ожидаемо приходятся также на участки, покрытые ДКР, в том числе заросшие ложбины и западины;

- алгоритмы автоматической классификации точек плотного облака данных ВЛС хуже справляются с выделением растительности в замкнутых понижениях, заполненных водой, что, очевидно, связано как с особенностями отражающей поверхности, так и с большей густотой влаголюбивой растительности;

- на открытых участках местности положительные отклонения соответствуют местам, где по результатам наземной топосъемки, из-за недостаточной густоты пикетных точек или их неправильного расположения, не были выявлены положительные элементы микрорельефа (повышения, холмики, бугры, выпуклости склонов и т. п.);

- отрицательные отклонения (то есть области, обозначенные красным цветом, в которых ЦМР АФС и ЦМР ВЛС выше, чем ЦМР Топо) соответствуют местам, где наземной топосъемкой не были выявлены отрицательные формы

Заключение

В результате рассмотрения особенностей и ограничений, присущих различным методам съемки рельефа, сделаны следующие выводы.

1. Плотность точек, полученных с помощью аэрофототопографических методов, позволяет получить цифровую модель рельефа, наиболее приближенную к реальной поверхности участка, вплоть до выделения объектов микро- и нанорельефа, пропущенных при построении ЦМР по результатам наземной топосъемки.

2. К преимуществам аэрофототопографических методов также относятся более короткие – по сравнению с наземными видами съемки – сроки выполнения полевых изысканий и камеральной обработки полученных данных.

3. В весенний период выполнение наземной съемки затрудняется переувлажненным состоянием почвы, при этом важным преимуществом аэрофототопографических методов съемки является их дистанционность.

4. Для получения достоверных результатов съемка рельефа с применением аэрофототопографических методов должна выполняться в относительно короткие промежутки времени – между сходом снежного покрова с полей и началом активной вегетации сельскохозяй-

микрорельефа (замкнутые микропонижения рельефа, небольшие ложбины, промоины), вогнутость склонов в целом;

- на обоих растрах разностей высот ЦМР объекта «Барсуки» наблюдается отрицательная аномалия – область красного цвета в центре растра. Так как она отмечается в данных, полученных в результате обеих независимо проведенных аэрофототопографических съемок, то, вероятнее всего, причина этого заключается в погрешности, допущенной при проведении наземной топосъемки, из-за чего значения высот на данном участке были завышены примерно на 0,3–0,5 м. Это могло произойти, например, вследствие потери сигнала базовой станции, спутников, неправильно установленной высоты вешки, ошибок, допущенных при камеральной обработке данных и пр.

ственных культур либо после уборки сельскохозяйственных посевов с полей.

5. Цифровая аэрофотосъемка не дает точных отметок высот поверхности земли, покрытой густой растительностью, что представляет собой существенный недостаток, поскольку требующие реконструкции мелиорированные земли, как правило, характеризуются наличием участков, покрытых древесно-кустарниковой растительностью.

6. Лидарная съемка, в отличие от цифровой аэрофотосъемки рельефа, позволяет получить рельеф даже покрытой ДКР поверхности, что составляет ее главное преимущество. Возможности обоих видов дистанционной съемки (АФС и ВЛС) на непокрытой растительностью местности, в том числе для выявления объектов микрорельефа, сопоставимы.

7. Аэрофототопографические методы непригодны для съемки рельефа в замкнутых понижениях, заполненных водой, что является их недостатком, поскольку требующие реконструкции мелиорированные земли, как правило, характеризуются неблагоприятным водным режимом с наличием многочисленных подтопленных западин.

8. Применение аэрофототопографических методов требует дополнительных затрат на приобретение дорогостоящего оборудования

и программного обеспечения, а также наличия работников соответствующей квалификации.

Таким образом, при создании цифровых моделей рельефа для задач проектирования мелиоративных мероприятий, расчета морфометрических характеристик рельефа и моделирования поверхностного стока целесообразно использовать комбинированный метод,

при котором съемка объекта осуществляется с помощью аэрофототопографических методов (причем при значительной заустаренности предпочтительнее ВЛС) с последующим дополнительным выполнением наземной топосъемки в труднодоступных для дистанционных видов съемки местах, таких как заполненные водой замкнутые понижения.

Библиографический список

1. Инженерные изыскания для строительства : СН 1.02.01-2019. – Введ. 26.12.2019. – Минск : Минстройархитектуры, 2020. – 108 с.
2. Руководство по проектированию и изысканиям объектов мелиоративного и водохозяйственного строительства в Белорусской ССР : РПИ-82 / М-во мелиорации и вод. хоз-ва БССР, Белгипроводхоз ; гл. ред. П. Е. Лапчук ; ред. комиссия: Г. В. Азява [и др.]. – 1984. – Ч. 12. Топографо-геодезические работы. – 211 с.
3. Рекомендации по проектированию мероприятий по организации поверхностного стока на осушаемых минеральных землях / М-во мелиорации и вод. хоз-ва СССР, Белорус. науч.-исслед. ин-т мелиорации и вод. хоз-ва; сост. Ш. И. Брусиловский [и др.]. – Минск, 1983. – 55 с.
4. Höhle, J. Accuracy assessment of digital elevation models by means of robust statistical methods / J. Höhle, M. Höhle // ISPRS. Journ. of Photogrammetry and Remote Sensing. – 2009. – Vol. 64, iss. 4. – P. 398-406. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2009.02.003>
5. Mesa-Mingorance, J. L. Accuracy assessment of digital elevation models (DEMs): A Critical Review of Practices of the Past Three Decades [Electronic resource] / J. L. Mesa-Mingorance, F. J. Ariza-López // Remote Sensing. – 2020. – № 12(16). – Mode of access: https://www.mdpi.com/2072-4292/12/16/2630/review_report. – Date of access: 24.11.2023. <https://doi.org/10.3390/rs12162630>
6. Титаров, П. С. Характеристики точности координат точек местности – СЕ и LE / П. С. Титаров // Геопрофи. – 2010. – № 1. – С. 52–53.

Поступила 14 ноября 2023 г.

КОМПЛЕКСНАЯ МЕЛИОРАЦИЯ КАК ФАКТОР ПОВЫШЕНИЯ ПЛОДОРОДИЯ ОСУШЕННЫХ ЗЕМЕЛЬ ПООЗЕРЬЯ

П. Ф. Тиво, доктор сельскохозяйственных наук

Л. А. Саскевич, старший научный сотрудник

РУП «Институт мелиорации», г. Минск, Беларусь

Аннотация

Установлена высокая эффективность осушения переувлажненных минеральных земель в том случае, если она дополняется комплексом мероприятий по повышению плодородия почв путем известкования, применения минеральных и органических удобрений, включая компосты на основе сапропеля, а также возделывания многолетних бобовых трав и пожнивных культур. Отмечается целесообразность расширения площадей раннеспелых зерновых культур, особенно озимого ячменя.

Ключевые слова: комплексная мелиорация, виды органических удобрений, компосты, сапропель.

Abstract

P. F. Tivo, L. A. Saskevich

INTEGRATED RECLAMATION AS A FACTOR IN INCREASING THE FERTILITY OF DRAINED LANDS IN POOZERIE

The high efficiency of drainage of waterlogged mineral lands has been established if it is complemented by a set of measures to increase soil fertility through liming, the use of mineral and organic fertilizers, including sapropel-based composts, as well as the cultivation of perennial leguminous grasses and stubble crops. The expediency of expanding the area of early-ripening grain crops, especially winter barley, is noted.

Keywords: complex melioration, types of organic fertilizers, composts, sapropel.

Введение

Осушительная мелиорация земель в Беларуси, как и в других странах, проводилась с целью вовлечения в сельскохозяйственный оборот потенциально плодородных заболоченных земель, представленных в значительной части торфяниками, а также для создания условий расширенного воспроизводства почвенного плодородия на сельскохозяйственных угодьях в тех районах, где лимитирующим фактором плодородия являлось периодическое или постоянное переувлажнение. Ставилась задача с помощью мелиорации придать устойчивость сельскохозяйственному производству, повысить эффективность применения других факторов его интенсификации, включая использование удобрений и средств механизации [1].

Из первоочередного мелиоративного фонда Беларуси, составляющего, по оценкам почвоведов и специалистов по земельным ресурсам, к середине 20 в. около 4,5 млн га, за период 1960–1990 гг. осушено около 3,4 млн га, из которых 2,9 млн представлены сельхозугодьями. В мелиоративное преобразование

земель республики вложено 7,5 млрд долларов. В общих объемах капитальных вложений в мелиорацию расходы на дорожное (построено около 20 тыс. км дорог) и жилищное строительство, в том числе новых поселков с их производственной инфраструктурой и объектами соцкультбыта составляют до 20 %. Не менее 15 % капитальных вложений направлено на создание производственной и жилой базы мелиоративных строительных и эксплуатационных организаций [1].

На начало 1990-х гг. на осушенных землях Беларуси производилось более трети растениеводческой продукции при средней продуктивности 33, а на пашне – 45 ц/га в зерновом эквиваленте, в том числе около 70 % грубых и сочных кормов.

На Витебщине глинистые и тяжелосуглинистые почвы составляют 2 % сельскохозяйственных земель, средние и легкосуглинистые – 48, хотя преобладают легкие суглинки. По характеру почвообразующих пород и почв Витебская область заметно отличается от других регионов. Это определяет специфику во-

дного режима почв, проявляющуюся почти в повсеместном их переувлажнении в течение всего или части вегетационного периода.

На долю автоморфных пахотных почв в области приходится лишь 29,7 %, тогда как в Могилевской и Гродненской областях их удельный вес достигает соответственно 42,1 и 47,7 % [2]. По наличию полугидроморфных почв Витебская обл. лидирует (64,4 %), а в таких ее районах, как Бешенковичский, Верхнедвинский, Витебский, Миорский, Полоцкий, Шумилинский, данный показатель превышает 70 %, в Шарковщинском – почти 90 %.

Избыточное увлажнение и связанные с ним явления лишают область около 0,5–1,0 млн т кормовых единиц растениеводческой продукции. Кроме того, пересеченность рельефа способствует развитию здесь эрозионных процессов. Наличие больших площадей эродированных, завалуненных пахотных земель и мелкоконтурность пашни осложняет сельскохозяйственное производство. Балл плодородия почвы на пашне в среднем составляет в Витебской обл. 27,9, в Минской обл. – 33,4, Брестской – 31,6 и Гродненской – 35,8.

Экономические условия также неблагоприятны для развития сельского хозяйства Витебщины. Нагрузка всех сельхозземель на одного среднегодового работника по хозяйствам области больше, чем в целом по республике. В этих сложных условиях комплексная мелиорация земель приобретает для Витебской обл. особое значение не только в целях интенсификации земледелия, но и для развития всего сельскохозяйственного производства. Площадь мелиорированных сельскохозяйственных земель в области составляет примерно 503 тыс. га, около 73 % которых – пашня, в том числе луговые угодья составляют 135 тыс. га – то есть по распаханности осушенных земель область лидирует.

Ведение сельскохозяйственного производства на осушенных землях подтверждает свою перспективность. Вместе с тем почти все мелиоративные системы эксплуатируются более 30–40 лет. Управляемость водным режимом на них во многих случаях не может обеспечить требований интенсивного земледелия, поэтому системы нуждаются в ремонте или реконструкции. Аналогичная ситуация наблюдается и за рубежом, где мелиоративные системы уже реконструировали 5–6 раз.

Любые технические системы имеют свой срок службы и для поддержания своей работоспособности нуждаются в постоянном уходе, ремонте, а после завершения жизненного цикла – в полном восстановлении (обычно посредством реконструкции). При отсутствии или недостатке поддерживающих работ мелиоративная сеть теряет работоспособность, в ней нарушается управление водным режимом, что приводит к вторичному заболачиванию площадей и значительному снижению продуктивности мелиорированных земель вплоть до их полного вывода из сельскохозяйственного использования. Чтобы это исключить, необходимо выполнять уходные работы за сетью своевременно и в полном объеме [3].

Кроме того, для достижения высокой продуктивности осушенных земель гидромелиоративные приемы должны дополняться комплексом мероприятий по повышению плодородия почвы, которые бы включали увеличение мощности пахотного слоя, улучшение водно-физических и агрохимических его свойств, особенно притом, что 26,3 % пахотных суглинистых и глинистых почв обеднены подвижным фосфором (I-я и II-я группы обеспеченности P_2O_5). Иногда востребованы также рыхление подпахотного слоя и щелевание связных почв, глубокое рыхление, планировка поверхности [4–11].

Одна из главных причин низкой отдачи осушенных почв заключается в несоответствии объемов гидромелиоративного строительства возможностям рационального освоения мелиорированных земель и их окультуривания. В отдельных случаях в водохозяйственном строительстве отмечается низкий технический уровень и неудовлетворительное качество работ [12].

Немалую роль в повышении плодородия почв играют удобрения: их доля в формировании урожая достигает 40 % [12]. Этот показатель в отношении зерновых культур составляет 30 %, в то время как защита растений от сорняков, вредителей и болезней – в 2 раза меньше. Зависимость урожая от погодных условий не превышает 15 %, а от сортов – 20 % [13–14], причем наибольший эффект от удобрений достигается при сбалансированном питании растений макро- и микроэлементами [15–18].

Следовательно, для условий Поозерья приоритетны регулирование водного режима

и окультуренность почв. Только из-за слабой окультуренности и мелкоконтурности пахотных почв их плодородие в области снижается на 6,9 и 4,8 балла. С учетом других факторов этот показатель уменьшается на 14,7 баллов,

а в среднем по республике – на 9,2. В связи с этим данная проблема требует, безусловно, своего решения, хотя этот процесс длительный, трудоемкий и затратный [19].

Результаты исследований и их обсуждение

Один из важнейших приемов повышения плодородия осушаемых земель – внесение органических удобрений. Строительство мелиоративных систем и их реконструкция часто приводят к снижению запасов гумуса в пахотном слое. При выполнении некачественной планировки поверхности его содержание иногда снижается в 1,3 раза относительно контроля. Для улучшения ситуации приходится вносить различные виды органических удобрений. В нашем случае использовались компосты, основой которых являлся сапропель, добытый из оз. Рубовского, расположенного в 2 км от опытного участка, и бесподстилочный навоз из местного животноводческого комплекса с добавлением соломы, сидератов, льнокостры и отходов сенажа и силоса.

Доза внесения как компостов, сапропеля, так и подстилочного навоза – 50 т/га.

На основании полученных данных, а также с учетом влажности различных видов органических удобрений определено количество питательных веществ, поступающих в почву: с сапропелем внесено 206 кг азота, фосфора (P_2O_5) – 62 и калия (K_2O) – 74 кг/га. С компостами поступало 172–196 кг азота, P_2O_5 – 61–63, K_2O – 70–92 кг/га. Только в варианте с сапропелево-навозно-люпиновым компостом внесено 42 кг/га фосфора.

В первые три года на опытном участке возделывали полевые культуры в следующем звене севооборота: однолетние травы – озимая тритикале – ячмень с подсевом многолетних трав, которые затем выращивали в течение двух лет.

Исследованиями установлено, что на дерново-подзолистой суглинистой почве на контроле в среднем за три года было получено 37,6 ц/га к. ед. растениеводческой продукции. При внесении полного минерального удобрения продуктивность 1 га севооборотной площади повысилась до 44,2 ц к. ед., то есть прибавка урожая составила 6,6 ц к. ед., или 17,6 % (табл. 1).

Дополнительное внесение 50 т/га подстилочного навоза обеспечило получение с 1 га 53,5 ц к. ед., что на 4,3 и 5,2 ц к. ед. больше, чем при внесении сапропеля и бесподстилочного навоза. Наиболее эффективным оказалось применение компостов, приготовленных на основе сапропеля и бесподстилочного навоза с использованием зеленой массы люпина и отходов сельскохозяйственного производства (солома и льнотреста). В итоге прибавка продукции в кормовых единицах в этом случае составила 12,4, 10,7 и 11,4 ц/га соответственно.

Таблица 1. Влияние внесения местных удобрений и их компостов на продуктивность сельскохозяйственных культур, ц/га [8]

Вариант опыта	Вика + + овес, сух. вещ.	Озимая трिति- кале, зерно	Ячмень, зерно	Сред- нее, к. ед.	Прибавка урожая от внесения			
					всех удобрений		органических удобрений	
					к. ед.	%	к. ед.	%
Дерново-подзолистая суглинистая почва								
Последствие удобрений (контроль)	35,1	30,2	29,6	37,6	–	–	–	–
N ₇₀ P ₁₂₀ K ₁₅₀ (фон)	50,0	33,1	33,6	44,2	6,6	17,6	–	–
Фон + подстилочный навоз	70,9	40,1	36,0	53,5	15,9	42,3	9,3	21,1
Фон + бесподстилочный навоз	52,3	38,8	36,1	49,2	11,6	30,9	5,0	11,4

Продолжение табл. 1

Сапропель	49,4	37,7	36,6	48,3	10,7	28,5	4,1	9,3
Сапропелево-навозный компост	57,6	40,0	37,4	51,5	13,9	37,0	7,3	16,5
Сапропелево-навозно-соломистый компост	61,7	41,2	40,1	54,9	17,3	46,0	10,7	24,2
Сапропелево-навозно-сенажный компост	59,6	40,2	38,2	52,5	14,9	39,7	8,3	18,8
Сапропелево-навозно-люпиновый компост	65,1	43,3	40,0	56,6	19,0	50,6	12,4	28,1
Сапропелево-навозно-льнякостровый компост	62,6	41,0	41,0	55,6	18,0	47,9	11,4	25,8
НСР _{0,95}	1,9	1,8	2,4	—	—	—	—	—
<i>Дерново-подзолистая супесчаная почва</i>								
Последствие удобрений (контроль)	32,2	29,8	31,9	37,7	—	—	—	—
N ₇₀ P ₁₂₀ K ₁₅₀ (фон)	47,8	32,5	33,6	43,5	5,8	15,4	—	—
Фон + подстилочный навоз	67,8	39,2	35,1	52,0	14,3	38,0	8,5	19,6
Фон + бесподстилочный навоз	51,6	38,3	36,4	49,0	11,3	30,0	5,5	12,7
Сапропель	49,1	36,4	36,8	47,7	10,0	26,6	4,2	9,7
Сапропелево-навозный компост	55,3	38,4	36,5	50,2	12,5	33,2	6,7	15,4
Сапропелево-навозно-соломистый компост	59,6	39,6	37,0	51,6	13,9	36,9	8,1	18,7
Сапропелево-навозно-сенажный компост	57,1	38,7	37,7	51,0	13,3	35,3	7,5	17,3
Сапропелево-навозно-люпиновый компост	61,6	41,8	37,9	53,8	16,1	42,7	10,3	23,7
Сапропелево-навозно-льнякостровый компост	59,9	40,0	38,4	57,9	20,2	53,6	14,4	33,1
НСР _{0,95}	2,7	4,2	1,9	—	—	—	—	—

Высокая эффективность от применения органических удобрений отмечена и на дерново-подзолистых супесчаных почвах. Так, в среднем за три года внесение подстилочного навоза обеспечило повышение продуктивности 1 га севооборотной площади на 8,5 ц к. ед. При использовании компостов с участием зеленой массы люпина и льнякостры прибавка достигла 10,3 и 14,4 ц к. ед., или 23,7 и 33,1 %.

Самая низкая отдача при окультуривании низкоплодородных как суглинистых, так и супесчаных почв получена от бесподстилочного навоза в чистом виде. Прибавка урожая сельскохозяйственных культур в среднем за три года в этом случае составила всего лишь 4,1 и 4,2 ц/га к. ед., или 9,3 и 9,7 % соответственно.

Внесение органических удобрений в первый год освоения земель оказало положительное влияние и на продуктивность многолетних трав, следующих за полевыми культурами. Так, в вариантах с внесением подстилочного навоза в среднем за два года на суглинках и на супесях получено 74,6 и 71,9 ц/га сухого вещества, что на 9,4 и 10,9 % больше, чем на минеральном фоне. Положительное действие на урожай многолетних трав оказало и внесение компостов. В то же время последствие бесподстилочного навоза здесь практически не проявилось, что обусловлено особенностью его химического состава, а точнее, узким соотношением углерода к азоту (C : N). Вследствие этого он, в отличие от подстилочного навоза,

интенсивно разлагается микрофлорой уже в год внесения.

Внесение органических удобрений отразилось на пищевом режиме почв. Так, в конце третьего года исследований содержание подвижных соединений фосфора в пахотном слое контрольных участков составляло 65–82 и калия 83 и 89 мг/кг, в то время как на фоне органических удобрений их количество повысилось соответственно до 91–225 и 100–191 мг/кг. Выросла и величина pH, особенно в варианте с сапропелем. Наряду с этим снизилась и плотность пахотного слоя суглинистой почвы. С окультуренностью почвы связывают также улучшение фильтрации, что играет важную роль для создания благоприятного водного режима на землях Поозерья. Этому способствуют также многолетние бобовые травы и зеленые удобрения [20–21].

Более ранние сроки сева и улучшение условий для роста и развития растений позволили получить на дренированных землях более

высокие и устойчивые урожаи зерна яровых зерновых культур. Так, более требовательный к условиям произрастания ячмень в среднем за 23 года обеспечил на этих землях, как показывают данные Витебской опытной мелиоративной станции, получение с гектара 43,6 ц зерна, что на 84,8 % выше, чем на контроле. Овес более влаголюбив, и прибавка урожая была более скромная: 11,9 ц/га, или 58,7 % (табл. 2).

Переувлажнение почвы в весенний период более отрицательно сказывается на выживаемости и продуктивности озимых культур, особенно пшеницы, урожай которой на контроле составил 20,7 ц/га, а прибавка урожая от дренажа – 9,1 ц, или 44 %. Озимая рожь на дренированных землях по продуктивности оказалась на втором месте после ячменя (40,2 ц/га) и обеспечила прибавку урожая зерна от проводимых мероприятий, приведенных в табл.1, на 71,8 %.

Таблица 2. Влияние осушения и окультуривания дерново-глебовых почв на продуктивность сельскохозяйственных культур (в среднем за 23 года, ц/га) [8]

Культура	Основной вид продукции	Недренированный участок			Дренированный участок			Прибавка			
		Урожай	Выход		Урожай	Выход		Урожай	Выход		
			сух. вещ.	к. ед.		сух. вещ.	к. ед.		сух. вещ.	ц/га	%
Озимая пшеница	зерно	20,7	42,1	29,9	29,8	58,2	42,9	9,1	16,1	13,0	43,5
Озимая рожь	—//—	23,4	49,3	34,7	40,2	79,6	59,1	16,8	30,3	24,4	70,4
Ячмень	—//—	23,6	41,0	35,4	43,6	73,6	65,2	20,0	32,6	29,8	84,2
Овес	—//—	20,3	38,3	24,4	32,2	61,5	40,8	11,9	23,2	16,4	67,3
Клевер + тимopheевка	сено	70,8	61,4	35,6	90,9	78,3	47,5	20,1	16,9	11,9	33,5
Картофель	клубни	113,5	31,8	37,4	184,8	51,3	60,2	71,3	19,5	22,8	61,0
Кукуруза	зел. масса	302,5	49,3	44,8	514,0	86,2	76,1	211,5	36,9	31,3	69,9
В среднем с 1 га севообор. площади		—	44,7	34,6	—	69,8	56,0	—	25,1	21,4	61,9
Долголетние культурные сенокосы	сено	74,8	64,5	39,1	84,1	72,6	42,9	9,3	8,1	3,8	9,8

На осушенных землях в зерне отмечается более высокое содержание азотистых веществ, чем на дренированных полях. Так, в первом случае в среднем за четыре года в зерне озимой пшеницы содержалось 13,57 % сырого протеина, озимой ржи – 10,54, ячменя – 11,5 и овса – 12,65 %, что заметно выше, чем на контроле.

О продуктивности осушенной почвы после проведенного ее окультуривания можно судить по данным табл. 2: так, в среднем за 23 года с одного гектара севооборотной площади на дренированном участке получено 56 ц к. ед., или прибавка от осушения достигла 21,4 ц (61,8 %). Что касается долголетних сенокосов, то прибавка от осушения составила всего лишь 9,8 %.

Дальнейшая окультуренность осушенных земель и точность в выборе пищевого режима почв и средств защиты растений от сорняков, вредителей и болезней дали возможность получать в среднем за 7 лет зерна яровой пшеницы 47 ц/га, ячменя – 45, озимой пшеницы – 53 и тритикале – 48 ц/га (табл. 3). Данные показывают, что озимая пшеница наиболее отзывчива на указанные приемы интенсификации.

По-разному себя вели зерновые культуры в 2023 г. при экстремальных погодных условиях. К примеру, рожь по сравнению со средними данными за 7 лет снизила урожайность на 45 %, тогда как озимая пшеница уменьшила свою продуктивность лишь на 15, тритикале – на 19; у ярового ячменя недобор урожая составил 21,6 %, яровой пшеницы – 41,4, овса – 23,9 %.

Более устойчивы к неблагоприятным условиям возделываемые растения на хорошо

окультуренных почвах, особенно при достаточной обеспеченности фосфором [12, 16].

Огромную роль в повышении плодородия кислых почв играет известкование. Склоновым землям больше подходит сыромолотый доломит. Его внесение обеспечивает соблюдение рекомендуемых доз мелиоранта независимо от скорости ветра во время проведения работ, попадание его в водные источники исключается. Кроме того, при этом создаются более безопасные условия для работы механизаторов при известковании почв, и, что самое важное, его применение заметно дешевле, чем использование доломитовой муки [22]. На легких суглинках, которые мало обеспечены известью, происходит миграция глинистых частиц и образование непроницаемых экранов в подпочве, что приводит к переувлажнению верхнего слоя почвы. Известкование способствует улучшению отвода влаги в подпочву [17].

Роль известкования особенно велика на осушенных почвах, где наблюдаются повышенные потери кальция и магния из-за дренажного стока, выноса с урожаем, физиологически кислых минеральных удобрений. Это без своевременного известкования может снижать урожай, особенно ячменя, пшеницы. За 30-летний период на дренированном участке снизилась и величина pH.

В табл. 4 представлены цифры существенных потерь оснований на осушенном участке по сравнению с контролем (в числителе – неосушенный участок, в знаменателе – осушенный).

Таблица 3. Урожайность зерновых культур за последние 7 лет (ВОМС)

Наименование культур	Урожайность по годам, ц/га							
	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	Среднее за 7 лет
<i>Яровые зерновые</i>								
Ячмень	43,8	49,0	43,6	42,4	41,4	39,3	55,3	45,0
Пшеница	38,9	51,8	37,7	56,0	55,2	36,7	53,5	47,1
Овес	50,8	51,6	42,2	49,8	57,1	37,7	53,8	43,0
<i>Озимые зерновые</i>								
Рожь	38,5	51,3	41,1	40,5	45,8	39,4	47,5	43,4
Пшеница	41,3	58,7	44,4	52,9	55,7	56,2	62,2	53,1
Тритикале	41,0	49,5	41,9	50,7	38,4	57,9	59,4	48,4

Таблица 4. Содержание валовых форм фосфора, калия и других элементов в дерново-глеевой связносупесчаной почве, %

Слой почвы, см	K ₂ O	P ₂ O ₅	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Al ₂ O ₃	MnO
0–30	<u>2</u>	<u>0,23</u>	<u>2,90</u>	<u>2,7</u>	<u>1,4</u>	<u>10,4</u>	<u>0,10</u>
	2	0,23	2,50	2,3	1,2	10,8	0,10
30–40	<u>2,2</u>	<u>0,15</u>	<u>1,90</u>	<u>3,3</u>	<u>1,5</u>	<u>9,3</u>	<u>0,12</u>
	2,5	0,16	2,54	2,5	1,0	11,3	0,08
40–60	<u>2,9</u>	<u>0,14</u>	<u>2,80</u>	<u>4,6</u>	<u>1,3</u>	<u>7,0</u>	<u>7,00</u>
	3,4	0,19	2,90	3,8	1,1	10,4	10,40
60–90	<u>2,8</u>	<u>0,17</u>	<u>1,70</u>	<u>5,6</u>	<u>1,2</u>	<u>6,6</u>	<u>0,10</u>
	2,4	0,16	1,70	4,5	1,2	5,3	0,10

Затраты на осушение связных минеральных почв окупаются прибавкой урожая после их окультуривания за 8–10 лет, хотя при отсутствии такого приема этот срок увеличивается в несколько раз. Исключение составляет лишь вариант, где почвы высокоплодородны. В целях экономии затрат на слабоглееватых

почвах и улучшения водного режима необходимо принимать меры по организации поверхностного стока. На землях глееватых и глеевых отдается предпочтение дренажу (в первом случае разреженному), однако и здесь не исключается проведение агромероприятий [23].

Заключение

Совместные действия мелиорации, химизации и органических удобрений позволяют получить максимальный урожай возделываемых культур при его высоком качестве.

Продуктивность дерново-глеевых почв после осушения и окультуривания возросла в 1,6 раза при окупаемости затрат за 9–10 лет, без окультуривания почв последний показатель увеличивался в 3–4 раза.

Положительные значения имеют и агромероприятия. Так, применение щелевания на землях со сложным рельефом позволяет повысить в 1,9–2,6 раза осушительную способность закрытого дренажа. Кроме того, от такого приема на верхних частях склона запасы влаги в корнеобитаемом слое увеличиваются на 13–20 мм, за счет которых возросла на 11–15 % урожайность возделываемых культур.

Проведение мероприятий по выравниванию поверхности полей, регулирование и организация поверхностного стока – важнейшие задачи мелиоративного земледелия. Планировка обеспечивает более равномерное распределение влаги, уменьшает гибель озимых зерновых, создает более благоприятные условия для проведения механизированных поле-

вых работ и снижает потери урожая при уборке. Однако при выравнивании поверхности нельзя допускать излишних срезов пахотного слоя, иначе возрастут затраты на восстановление плодородия таких участков из-за обеднения их гумусом.

Но даже самая совершенная мелиоративная система не повысит продуктивность осушенных земель, если не будут соблюдаться регламенты возделывания сельскохозяйственных культур, особенно относительно пищевого режима (прежде всего азотного и фосфатного) и средств защиты растений от сорняков, болезней и вредителей. В условиях Поозерья востребованы также скороспелые сорта зерновых культур и рапса. Целесообразно и расширение посевных площадей озимого ячменя, тем более, что НПЦ НАН Беларуси по земледелию создал его ранний сорт.

Требуется решения проблема органических удобрений, поскольку в Витебской области на пашню их вносится меньше, чем в других регионах республики. Для улучшения ситуации необходимо, наряду с применением навоза, соломы (сдобренной азотом из расчета 10 кг его на одну тонну, или при отсутствии минеральных удобрений можно использовать

жидкий навоз в дозе 15–20 т/га), возделывать поукосные и пожнивные культуры, заделывая их в почву после проявливания. В качестве сидератов применяют горчицу белую, редьку масличную, рапс яровой, фацелию и др. При использовании зеленой массы на корм животным запахиваются только пожнивные и корневые остатки, что эквивалентно 4 т/га навоза. Не менее важно и то, что сидераты и многолетние бобовые травы разуплотняют суглинистую почву.

Положительно влияют на плодородие почв и урожай компосты на основе сапропеля, что доказано в полевых опытах ВОМС, причем после добычи сапропеля из озера он подвергался и промораживался и только затем использовался для приготовления компостов.

Следовательно, для окультуривания связанных минеральных почв, повышения плодородия и продуктивности необходимы не отдельные приемы, а комплекс мер, включающих прежде всего создание благоприятного водного и пищевого режимов почв, нейтрализацию избыточной кислотности осушаемых земель, углубление пахотного слоя на основе применения органических удобрений, ликвидации мелкоконтурности полей.

Повышенный интерес к гумусу, карбонату кальция вызван их потерей в результате дренажного стока с осушенных земель. При этом нужно исключать внесение навоза только в ранневесенний период, когда из-за повышенной влажности почв не исключается переуплотнение пахотного слоя навозоразбрасывателями и ухудшение работы дренажа.

Библиографический список

1. Повышение эффективности мелиорированного комплекса Беларуси / А. П. Лихацевич [и др.] // Мелиорация. – 2004. – № 1. – С. 7–22.
2. Справочник агрохимика / В. В. Лапа [и др.]; Ин-т почвоведения и агрохимии; под ред. акад. В. В. Лапы. – 2-е изд. – Минск : ИВЦ Минфина, 2022. – 260 с.
3. Техническая эксплуатация закрытой мелиоративной сети / Н. Н. Погодин [и др.]; НАН Беларуси, Институт мелиорации. – Минск : Беларус. навука, 2022. – 154 с.
4. Кулеш, С. В. Повышение продуктивности периодически переувлажненных дерново-подзолистых почв тяжелого гранулометрического состава : автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук : 06.01.03 и 06.01.01 / С. В. Кулеш; Ин-т почвоведения и агрохимии. – Минск, 1991. – 36 с.
5. Окультурирование связанных почв на объектах реконструкции осушительных систем : рекомендации / М-во сел. хоз-ва и продовольствия Респ. Беларусь, РУП «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по земледелию», РУП «Институт мелиорации» ; сост. : П. Ф. Тиво [и др.]. – Минск : [б. и.], 2008. – 24 с.
6. Тиво, П. Ф. Повышение эффективности использования осушенных минеральных земель в Витебской области / П. Ф. Тиво, И. Э. Леуто, К. М. Саквенков // Белорус. сел. хоз-во. – 2009. – № 9. – С. 47–48.
7. Митрофанов, Ю. И. Адаптивный подход к агромелиоративным технологиям на осушаемых землях / Ю. И. Митрофанов // Мелиорация и вод. хоз-во. – 2013. – № 4. – С. 25–28.
8. Леуто, И. Э. Приемы и оценка эффективности окультуривания осушенных минеральных земель / И. Э. Леуто, П. Ф. Тиво // Мелиорация и рациональное использование переувлажненных минеральных земель Нечерноземья России и Беларуси / ГНУ ВНИИГиМ Россельхозакадемии ; под общ. ред. А. П. Лихацевича, Н. Г. Ковалева и Б. М. Кизяева. – Рязань, 2009. – С. 425–447.
9. Зайдельман, Ф. Р. Глубокое мелиоративное рыхление почв: состояние проблемы, итоги исследований, перспективы применения и деградационные изменения / Ф. Р. Зайдельман // Почвоведение. – 2016. – № 9. – С. 131–146.
10. Глубокое рыхление – осенние инвестиции в урожай / С. Яковчик [и др.] // Белорус. сел. хоз-во. – 2015. – № 7. – С. 92–96.
11. Пестряков, В. К. Окультурирование почв Северо-Запада / В. К. Пестряков. – Ленинград : Колос (Ленингр. отд-ние), 1977. – 343 с.

12. Почвенно-экологические условия возделывания сельскохозяйственных культур / В. В. Медведев, [и др.]; под ред. В. В. Медведева. – Киев : Урожай, 1991. – 176 с.
13. Ладонин, В. Ф. Перспективы развития земледелия в России в XXI веке / В. Ф. Ладонин // Агрохимия. – 1999. – № 3. – С. 5–11.
14. Интенсивное производство зерна / В. Беранек [и др.]; пер. с чеш. З. К. Благовещенской. – Москва : Агропромиздат, 1985. – 429 с.
15. Кулаковская, Т. Н. Оптимизация агрохимической системы почвенного питания растений / Т. Н. Кулаковская. – Москва : Агропромиздат, 1990. – 219 с.
16. Сычев, В. Г. Агрохимические свойства почв и эффективность минеральных удобрений / В. Г. Сычев, С. А. Шафран. – Москва : ВНИИ агрохимии им. Д. Н. Прянишникова, 2013. – 295 с.
17. Панников, В. Д. Почва, климат, удобрение и урожай / В. Д. Панников, В. Г. Минеев. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва : Агропромиздат, 1987. – 512 с.
18. Детковская, Л. П. Влияние удобрений на урожай и качество зерна / Л. П. Детковская, Е. М. Лимантова. – Минск : Ураджай, 1987. – 135 с.
19. Лапа, В. В. Перспективы повышения плодородия почв пахотных земель Беларуси (по материалам второго тура кадастровой оценки) / В. В. Лапа, Л. И. Шибут, Т. Н. Азаренок // Почвоведение и агрохимия. – 2018. – № 2. – С. 7–14.
20. Кант, Г. Биологическое растениеводство: возможности биологических агросистем / Г. Кант; пер. с нем. С. О. Эбель. – Москва : Агропромиздат, 1988. – 207 с.
21. Черныш, А. Ф. Приемы регулирования фильтрационной способности дерново-подзолистых эродированных почв / А. Ф. Черныш, А. Э. Дубовик // Почвоведение и агрохимия. – 2005. – № 2. – С. 58–62.
22. Рекомендации по применению сыромолотого доломита для известкования кислых пахотных земель / Нац. акад. наук Беларуси, Ин-т почвоведения и агрохимии; Г. В. Пироговская [и др.]. – Минск : Ин-т системных исследований в АПК НАН Беларуси, 2023. – 27 с.
23. Лихацевич, А. П. Повышение эффективности сельскохозяйственного использования мелиорированных минеральных земель / А. П. Лихацевич, И. Э. Леуто, А. У. Рудой // Изв. Акад. аграр. наук Респ. Беларусь. – 2002. – № 1. – С. 55–57.

Поступила 27 ноября 2023 г.

ГИДРОДИНАМИЧЕСКИЕ НАТУРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ДВУХКОЛОННЫХ ДВУХФИЛЬТРОВЫХ ВОДОЗАБОРНЫХ СКВАЖИН

В. В. Ивашечкин, доктор технических наук

Ю. А. Медведева, старший преподаватель

В. И. Крицкая, ассистент

Белорусский национальный технический университет,
г. Минск, Беларусь

Аннотация

Представлено обоснование устройства двухколонных двухфилтрных водозаборных скважин на основе результатов натурных исследований опытных скважин различных конструкций: типовой одноколонной скважины, двухколонной двухфилтрной скважины с филтрами на одном уровне и соединительными перемычками и одноколонной скважины с двухсекционным филтром, пробуренных в д. Приморье Минского р-на. Описывается расчет коэффициента филтрации пород, который характеризует сопротивление филтра и показатель обобщенного сопротивления филтра и прифилтрной зоны. Приводятся результаты натурных исследований действующей двухколонной двухфилтрной скважины в д. Войская Каменецкого р-на Брестской обл.

Ключевые слова: водозаборная скважина, гидравлика, насос, откачка, филтрация, удельный дебит, обследование.

Abstract

V. V. Ivashechkin, Yu. A. Medvedeva, V. I. Kritskaya

HYDRODYNAMIC FIELD STUDIES OF DOUBLE-COLUMN DOUBLE-FILTER WATER INJECTION WELLS

The rationale for the construction of two-column two-filter water wells is presented based on the results of field studies of experimental wells of various designs: a typical single-column well, a two-column two-filter well with filters at the same level and connecting jumpers, and a single-column well with a two-section filter, drilled in the village of Primorye, Minsk region. The calculation of the rock filtration coefficient is described, which characterizes both the filter resistance and the indicator of the generalized resistance of the filter and the filter zone. The results of field studies of an operating two-column two-filter well in the village of Voyskaya, Kamenets district, Brest region, are presented.

Keywords: water well, hydraulics, pump, pumping, filtration, specific flow rate, inspection.

Введение

В Белорусском национальном техническом университете разработан ряд конструкций двухколонных двухфилтрных водозаборных скважин, которые имеют один общий буровой ствол с размещенными в нем двумя филтровыми колоннами. Каждая колонна скважины содержит собственный оголовок, эксплуатационную трубу для размещения насоса, филтр, отстойник [1–4].

Различают несколько разновидностей двухколонных двухфилтрных скважин. У скважин с перемычками между филтрами колонны гидравлически связаны между собой выше и ниже филтров посредством верхней и нижней соединительных перемычек, сообщающих подфилтровые и надфилтровые полости скважин. В маломощных горизон-

тах филтры могут устанавливаться на одном уровне напротив друг друга, в горизонтах большой мощности – на разных уровнях. У скважин без перемычек между филтрами, имеющих более простую конструкцию, колонны гидравлически не связаны между собой. Такие конструкции скважин целесообразно применять для эксплуатации одного горизонта большой мощности неоднородного состава для забора воды на разных уровнях, а также для раздельного забора воды из двух несвязанных водоносных горизонтов. Конструкции двухколонных двухфилтрных скважин защищены тремя патентами [2–4].

Двухколонные двухфилтровые скважины обладают повышенной надежностью: при выходе из строя одного из насосов можно вклю-

чить в работу второй, чем обеспечивается бесперебойность подачи воды потребителю; при выходе из строя одного из фильтров или его ремонте работает второй фильтр, так как его пропускная способность рассчитана на полный дебит скважины. Установка в колоннах двух насосов с разными характеристиками позволяет регулировать подачу в соответствии с необходимым водопотреблением и экономить электроэнергию [5].

Недостаточная изученность гидравлических характеристик двухколонных двухфилтровых скважин сдерживает их внедрение на водозаборах подземных вод. В этой связи представляет интерес проведение опытных работ на длительно эксплуатирующихся двухколонных двухфилтровых скважинах с целью оценки их надежности и интенсивности изменения их удельного дебита в процессе эксплуатации, а также выполнение совместных гидродинамических исследований двухколонных двухфилтровых скважин с типовыми скважинами в аналогичных гидрогеологических условиях для сравнительной оценки их гидравлических характеристик.

В качестве критериев для сравнения эффективности различных конструкций фильтров или скважин могут быть приняты: удельный дебит скважин при равных дебитах (понижениях уровня); показатель обобщенного сопротивления фильтра и прифилтровой зоны; коэффициент фильтрации во фрагменте опытная – наблюдательная скважины. Наиболее надежные значения показателя обобщенного сопротивления фильтра и прифилтровой зоны опытной скважины могут быть получены при наличии наблюдательной скважины, расположенной на расстоянии 0,5–1 м от нее. Это позволяет учесть потери напора, обусловленные наличием фильтра и изменением проницаемости водоносных пород в процессе бурения [6].

Цель работы – проведение гидродинамических опытных работ по оценке эффективности двухколонных двухфилтровых водозаборных скважин. Для реализации этой цели проводились натурные исследования на опытных скважинах в д. Приморье Минского р-на и на действующей двухколонной скважине в д. Войская Брестской обл.

Результаты натурных исследований опытных скважин в д. Приморье Минского р-на

В 2018 г. на указанной территории была пробурена линейная группа из трех опытных скважин, которые каптируют воду из верхних четвертичных отложений сожской морены, сложенных разнотернистыми песками мощностью $m = 8,4$ м. Отложения выдержаны по мощности в пределах опытного участка и имеют площадное распространение. В кровле находятся супеси с прослойками суглинков в интервале от 0 до 5 м. В подошве – плотные

глины. Водоносный горизонт напорный. Напор воды над кровлей водоносного горизонта составляет 2,7 м. Опытные скважины пробурены в одну линию. Бурение производилось буровым станком ЛБУ-50, который позволяет бурить скважины шнековым и ударно-канатным способами глубиной до 50 м. На рис. 1 и 2 представлены общий вид и геолого-технические разрезы трех опытных скважин.



Рис. 1. Общий вид опытных скважин

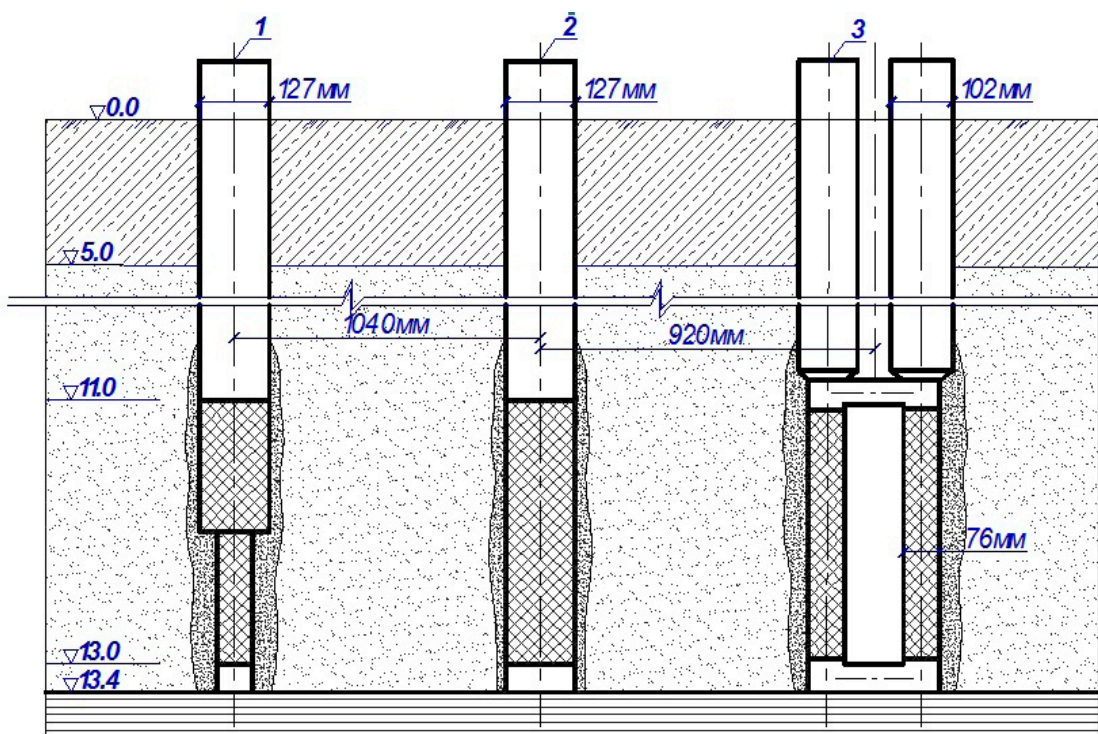


Рис. 2. Геолого-технические разрезы опытных скважин:

1 – скважина с двухсекционным фильтром; 2 – типовая скважина; 3 – двухколонная скважина

В центре группы находится типовая скважина одноколонной конструкции с сетчатым фильтром на сплошной колонне диаметром 127 мм. Фильтр представляет собой дырчатый каркас длиной 2 м, диаметром 127 мм и скважностью 10,5 % с дополнительной водоприемной поверхностью из полиамидной сетки галунного плетения. В процессе бурения водонос до подошвы был вскрыт ударно-канатным методом под защитой обсадной трубы диаметром 219 мм, в которую устанавливали фильтр с центрирующими фонарями, обсыпали его промытым фракционированным кварцевым песком с диаметром зерен 1,0–1,8 мм, затем обсадную трубу извлекали на поверхность.

Справа от типовой скважины пробурена двухколонная двухфильтровая скважина с фильтрами на одном уровне и соединительными перемычками, в которой на двух эксплуатационных колоннах диаметром 102 мм каждая приварены два фильтра длиной 2 м. Каждый фильтр представляет собой дырчатый каркас длиной 2 м, диаметром 76 мм и скважностью 10,5 % с дополнительной водоприемной поверхностью из полиамидной сетки галунного плетения. Перемычки также имеют диаметр 76 мм. В процессе бурения двухколонной скважины водонос до подош-

вы был вскрыт ударно-канатным методом под защитой обсадной трубы диаметром 273 мм, в которую устанавливали фильтр с центрирующими фонарями, обсыпали его промытым фракционированным кварцевым песком с диаметром зерен 1,0–1,8 мм, затем обсадную трубу извлекали на поверхность.

Слева от типовой одноколонной скважины пробурена одноколонная скважина с двухсекционным фильтром: верхняя секция фильтра имеет диаметр 127 мм и длину 1 м, нижняя – 76 мм и такую же длину. Фильтр сетчатый с сеткой галунного плетения на дырчатых каркасах скважностью 10,5 %. Технология бурения скважины с двухсекционным фильтром была такая же, как у типовой одноколонной скважины.

Расстояние между центрами типовой одноколонной и двухколонной двухфильтровой скважинами – 0,92 м, а расстояние между центрами типовой скважины и скважины с двухсекционным фильтром – 1,04 м.

Первые натурные гидравлические исследования производились в 2018 г. сразу после сооружения скважин [7]. Для откачки воды применяли погружной насос ЭЦВ-4-2,5-65, который помещали в одну из колонн двухколонной двухфильтровой скважины. Расход воды измеряли объемным методом при работе на-

сосу на выброс в емкость объемом 0,1 м³. Статический и динамический уровни воды измеряли с помощью электроуровнемера. Откачки производили при одинаковых дебитах, чтобы полученные значения удельных дебитов можно было сравнивать.

Результаты замеров и расчетов удельного дебита строительной откачки представлены в табл. 1.

Сравнение результатов строительной откачки показало, что удельный дебит двухколонной двухфилтровой скважины на 8,6 % превышает удельный дебит типовой одноколонной скважины.

В опытах, проведенных в июле 2019 г., осуществлялись раздельные и одновременные откачки из двух колонн двухфилтровой сква-

жины двумя водоподъемниками – погружным насосом ЭЦВ-4-2,5-65 и мотопомпой DAJO DJQGZ 80-26 (рис. 3).

Испытания двухколонной двухфилтровой скважины проводились для трех различных вариантов ее работы с целью выявления влияния условий забора воды из скважины на величину ее удельного дебита: 1-й вариант – работает погружной насос в одной филтровой колонне; 2-й вариант – работает погружной насос в одной филтровой колонне, вторая филтровая колонна полностью затампонирована; 3-й вариант – одновременная откачка из обеих колонн скважины погружным насосом и мотопомпой.

Результаты испытаний двухколонной скважины представлены в табл. 2.

Таблица 1. Результаты строительной откачки в 2018 г. [7]

Наименование скважины	Площадь поверхности фильтра F , м ²	Расход Q , м ³ /ч	Понижение уровня S , м	Удельный дебит q , м ² /ч
Одноколонная типовая	0,028	5,00	1,42	3,50
Двухколонная двухфилтровая	0,021	4,95	1,31	3,80



Рис. 3. Полевые испытания скважины двухколонной конструкции

Таблица 2. Данные испытаний двухколонной скважины в 2019 г.

Условия забора воды	Расход Q , м ³ /ч	Понижение уровня S , м	Удельный дебит q , м ² /ч
1-й вариант	5,00	1,50	3,40
2-й вариант	4,90	1,60	3,10
3-й вариант	6,50	2,06	3,20

Анализ результатов откачки воды из двухколонной двухфилтровой скважины в 2019 г. показал, что с 2018 г. произошла некоторая кольматация фильтров в результате коррозии металлических каркасов, что несколько снизило удельный дебит двухколонной скважины: с $q = 3,8 \text{ м}^2/\text{ч}$ до $q = 3,4 \text{ м}^2/\text{ч}$.

Тампонаж одной из фильтровых колонн с помощью помещенного внутрь пожарного рукава, наполненного водой, привел к снижению значения удельного дебита с $q = 3,4 \text{ м}^2/\text{ч}$ (1-й вариант) до $q = 3,1 \text{ м}^2/\text{ч}$ (2-й вариант), что указывает на то, что при работе водоподъемника, размещенного в фильтровой колонне, подключается в работу второй фильтр благодаря наличию перемычек между фильтрами.

Некоторое снижение значения удельного дебита скважины с $3,4$ до $3,2 \text{ м}^2/\text{ч}$ при возрастании расхода воды с 5 до $6,5 \text{ м}^3/\text{ч}$, работе двумя водоподъемниками – погружным насосом и помпой (3-й вариант) – обусловлено нелинейностью зависимости $q = f(Q)$.

В 2023 г. выполнялись сравнительные гидродинамические испытания эффективности типовой одноколонной и двухколонной двухфилтровой скважин по значениям показателя обобщенного сопротивления фильтра и прифилтровой зоны. Откачки из скважин производились погружными винтовыми насосами miniVINT 25-70. Из опытной скважины вода откачивалась на выброс. Расход воды Q измеряли объемным методом с помощью секундомера и емкости объемом $V = 33 \text{ дм}^3$. Положения уровней воды в опытной и наблюдательных скважинах определяли электроуровнемером.

По результатам измерений вычисляли коэффициент фильтрации пород k_n по формуле

Дюпюи во фрагменте *опытная скважина – наблюдательная скважина*, который характеризует и сопротивление фильтра [6]:

$$k_n = \frac{Q \cdot \ln \frac{r_{\text{он}}}{r_o}}{2\pi \cdot m(S_o - S_n)}, \quad (1)$$

где $r_{\text{он}}$ – расстояние от оси опытной скважины до стенки наблюдательной скважины;

r_o – внутренний радиус фильтра опытной скважины;

S_o, S_n – понижения в опытной и наблюдательной скважинах соответственно.

Также вычисляли показатель обобщенного сопротивления фильтра и прифилтровой зоны ζ_2 опытной скважины с учетом несовершенства по степени вскрытия пласта опытной и наблюдательной скважин по формуле [6]:

$$\zeta_2 = \frac{2,73k \cdot m(S_o - S_n)}{Q} - \left[\lg \frac{r_{\text{он}}}{r_o} + 0,435(\zeta'_1 - \zeta''_1) \right], \quad (2)$$

где ζ'_1 и ζ''_1 – показатели сопротивлений, обусловленные несовершенством степени вскрытия пласта опытной и наблюдательной скважин, которые определяли по графикам в зависимости от параметров l_ϕ/m и m/r [8], где l_ϕ – длина фильтра.

Откачка из двухколонной опытной скважины.

При откачке воды из двухколонной опытной скважины в качестве наблюдательной использовали типовую одноколонную скважину. В табл. 3 представлены результаты опытов.

Установлено, что удельный дебит скважины остался практически неизменным, во-первых, при подключении в работу второго насоса и, во-вторых, при откачке из нее двумя одинаковыми насосами – с увеличением общего расхода откачки с $1,37$ до $2,72 \text{ м}^3/\text{ч}$.

Таблица 3. Результаты испытаний двухколонной скважины в 2023 г.

Условия забора воды	Расход откачки $Q, \text{ м}^3/\text{ч}$	Понижение уровня $S_o, \text{ м}$	Удельный дебит $q, \text{ м}^2/\text{ч}$	Понижение уровня $S_n, \text{ м}$	Коэффициент фильтрации пород $k_n, \text{ м/сут}$	Показатель обобщенного сопротивления фильтра и прифилтровой зоны ζ_2
Качает один погружной насос	1,37	0,37	3,65	0,12	6,24	0,87
Качают два погружных насоса	2,72	0,76	3,57	0,26	6,20	0,89

Для вычислений по формулам (1) и (2) необходимо определить расчетный внутренний радиус фильтра r_o двухколонной скважины. Два цилиндрических фильтра длиной l_ϕ и внутренним радиусом r_ϕ можно схематизировать одним цилиндрическим фильтром той же длины l_ϕ с внутренним приведенным радиусом r_o равновеликой площади. Приравняв площади боковых поверхностей $4\pi r_\phi l_\phi = 2\pi r_o l_\phi$, получим: $r_o = 2 r_\phi$.

В качестве исходных данных для расчетов по формулам (1) и (2) были приняты сле-

дующие: $m = 8,4$ м; $k = 10$ м/сут; $r_{он} = 0,86$ м; $r_o = 2r_\phi = 2 \cdot 0,035 = 0,07$ м; $\zeta'_1 = 11,3$ при $l_\phi / m = 2 / 8,4 = 0,24$ и $m / r_o = 8,4 / 0,07 = 120$; $\zeta''_1 = 11,8$ при $l_\phi / m = 2 / 8,4 = 0,24$ и $m / r_n = 8,4 / 0,06 = 140$.

Откачка из типовой одноколонной опытной скважины.

При откачке воды из типовой одноколонной опытной скважины в качестве наблюдательной использовали двухколонную двухфильтровую скважину. В табл. 4 представлены результаты опытов.

Таблица 4. Результаты испытаний типовой одноколонной скважины в 2023 г.

Условия забора воды	Расход откачки Q , м ³ /ч	Понижение уровня S_o , м	Удельный дебит q , м ² /ч	Понижение уровня S_n , м	Коэффициент фильтрации пород k_n , м/сут	Показатель обобщенного сопротивления фильтра и прифильтровой зоны ζ_2
Качает один погружной насос	1,37	0,40	3,43	0,13	6,20	0,5

В качестве исходных данных для расчетов по формулам (1) и (2) были приняты следующие: $m = 8,4$ м; $k = 10$ м/сут; $r_{он} = 0,87$ м; $r_o = 0,06$ м; $\zeta'_1 = 11,8$ при $l_\phi / m = 2 / 8,4 = 0,24$ и $m / r_o = 8 / 0,06 = 140$; $\zeta''_1 = 11,3$ при $l_\phi / m = 2 / 8,4 = 0,24$ и $m / r_n = 8 / 0,07 = 120$.

Удельный дебит у двухколонной скважины зафиксирован на 6 % больше, чем у типовой одноколонной.

Сравнительный анализ полученных значений коэффициентов фильтрации пород k_n во фрагменте *опытная – наблюдательная сква-*

жины и значений показателей обобщенного сопротивления фильтра и прифильтровой зоны ζ_2 при откачках одним насосом при одинаковом дебите $Q = 1,37$ м³/ч из двухколонной и типовой скважин показал, что у обеих скважин эти значения практически не отличаются (см. табл. 3 и 4). С ростом дебита двухколонной скважины почти в два раза ($Q = 2,72$ м³/ч) эти показатели несколько ухудшились, что, вероятно, связано с нарушением линейного закона фильтрации в ее фильтре и прифильтровой зоне.

Результаты натурных исследований действующей двухколонной двухфильтровой скважины в д. Войская Каменецкого р-на Брестской обл.

Двухколонная двухфильтровая скважина (№ 42937/88) пробурена в 1988 г. в названном районе для снабжения водой населения и фермы крупнорогатого скота Барановичским СМУ треста «Промбурвод».

Паспортный разрез скважины представлен на рис. 4. Глубина скважины 85 м, она оборудована двумя эксплуатационными колоннами 219 мм с фильтрами 219 мм в интервалах (71–83) м и (68–80) м с нижней перемычкой между фильтрами на отметке 80 м. Первая колонна имеет отстойник в интервале 83–85 м.

В 2019 г. проводились гидравлические исследования скважины [9], определялся удельный дебит скважины по истечении более 30-летней ее работы. В двух колоннах скважины были установлены рабочие насосы ЭЦВ 6-10-80. Один из насосов приподняли, установили на хомут и использовали для откачки на выброс (рис. 5). Дебит скважины измеряли объемным способом с помощью емкости объемом 50 дм³ и секундомера, уровни воды в колоннах – электроуровнемером.

Результаты гидравлических исследований скважины приведены в табл. 5.

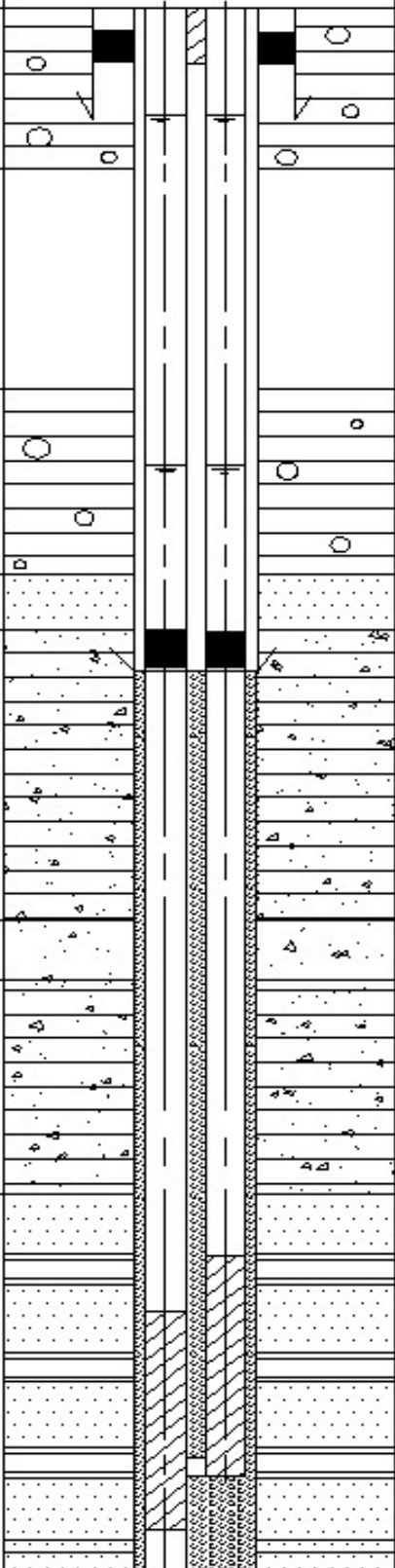
Литологическое описание пород	Геологический разрез и конструкция скважины	Мощность пласта, м
Глина коричневая валунная		9
Гравийно-галечные отложения		21
Глина коричневая валунная		31
Песок серый водоносный		34
Глина с гравием и галькой		50
Гравийно-галечная смесь		53
Глина серая с гравием		65
Песок серый с прослойками глин		68
		71
		80
		83
		85

Рис. 4. Паспортный геолого-технический разрез двухколонной скважины в д. Войская

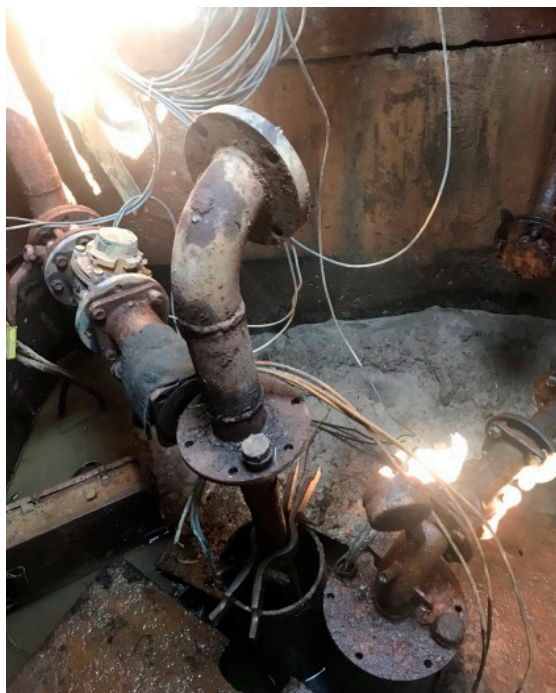


Рис. 5. Общий вид обвязки при обследовании двухколонной скважины в д. Войская Каменецкого р-на

Таблица 5. Результаты гидравлических исследований скважины № 42937/88

№ п/п	Основные показатели	Измерения после бурения 1988 г.	Исследования 2019 г.
1	Дебит скважины, м ³ /ч	100	5,67
2	Статический уровень, м	6	7,5
3	Динамический уровень, м	25	8,36
4	Понижение уровня, м	19	0,86
5	Удельный дебит q , м ² /ч	5,3	6,6

Обследование скважины показало, что глубина скважины в обеих колоннах соответствовала паспортной. Понижения S в обеих колоннах при работе насоса имели одинаковые значения – 0,86 м. Песок в пробах воды отсутствовал. Удельный дебит при откачке воды с расходом $Q = 5,67$ м³/ч составил 6,6 м²/ч,

что превысило значение удельного дебита в 1988 г. при $Q = 100$ м³/ч. Это свидетельствует о том, что по прошествии 30 лет работы двухколонная скважина находится в хорошем состоянии, работает без перебоев и обеспечивает водой д. Войская и близлежащие ферму.

Выводы

1. Проведены натурные гидравлические исследования двухколонной двухфилтровой скважины с двумя перемычками между фильтрами и типовой одноколонной скважины, пробуренных на опытном участке в 2018 г. в д. Приморье Минского р-на.

Сравнение результатов строительной откачки опытных скважин в 2018 г. показало, что удельный дебит двухколонной двухфилтровой скважины на 8,6 % превысил удельный де-

бит типовой одноколонной скважины. В течение года в результате кольматации фильтров произошло некоторое снижение удельного дебита двухколонной скважины с $q = 3,8$ м²/ч (2018 г.) до $q = 3,4$ м²/ч (2019 г.).

Установлено, что при работе одним насосом совместно работают оба фильтра двухколонной скважины благодаря перемычкам между ними: при выключении из работы одного из фильтров с помощью помещенного

внутри пожарного рукава, наполненного водой, удельный дебит скважины снизился с $q = 3,4 \text{ м}^3/\text{ч}$ до $q = 3,1 \text{ м}^3/\text{ч}$.

Сравнительный анализ полученных значений коэффициентов фильтрации пород k_n во фрагменте *опытная – наблюдательная скважина* и значений показателей обобщенного сопротивления фильтра и прифильтровой зоны ζ_2 при откачках одним насосом при одинаковом дебите $Q = 1,37 \text{ м}^3/\text{ч}$ из двухколонной и типовой скважин поочередно показал, что у обеих скважин эти значения практически не отличаются; в то же время удельный дебит двухколонной скважины на 6–8 % выше. Идентичность гидрогеологических условий, условий бурения и освоения скважин, одинаковые

конструкции сетчатых фильтров на дырчатых трубчатых каркасах одинаковой скважности позволяют считать приведенные данные репрезентативными.

2. В 2019 г. проведены гидравлические исследования эксплуатирующейся с 1988 г. двухколонной двухфильтровой скважины с одной перемычкой между фильтрами в д. Войска Каменецкого р-на Брестской обл. Установлено, что после 30 лет работы скважина находится в рабочем состоянии, не пескует, работает с высоким удельным дебитом двумя погружными насосами и обеспечивает водой близлежащие ферму и деревню, что подтверждает высокую надежность и долговечность скважин этой конструкции.

Библиографический список

1. Ивашечкин, В. В. Ремонтпригодные водозаборные скважины / В. В. Ивашечкин, П. А. Автушко ; под ред. В. В. Ивашечкина. – Минск : БНТУ, 2016. – 228 с.
2. Водозаборная скважина : пат. BY № 21423 / В. В. Ивашечкин, А. В. Ивашечкин, И. Е. Иванова, Ю. С. Машук, А. С. Доморацкий, А. Л. Корсюк. – Оpubл. 11.07.2017.
3. Конструкция водозаборной скважины : пат. 033351 ЕАПВ / В. В. Ивашечкин, Ю. А. Медведева, А. Н. Курч. – Оpubл. 30.09.2019.
4. Водозаборная скважина : пат. BY 23608 / В. В. Ивашечкин, Ю. А. Медведева. – Оpubл. 30.12.2021.
5. Ивашечкин, В. В. Оптимизация работы водозаборов подземных вод с помощью двухколонных скважин / В. В. Ивашечкин, Ю. А. Медведева // Энергетика. Изв. высш. учеб. завед. и энергет. об-ний СНГ. – 2022. – № 65 (5). – С. 451–462.
6. Гаврилко, В. М. Фильтры буровых скважин / В. М. Гаврилко, В. С. Алексеев. – Москва : Недра, 1985. – 334 с.
7. Медведева, Ю. А. Лабораторные и натурные исследования двухколонной водозаборной скважины / Ю. А. Медведева, В. В. Ивашечкин, А. Ю. Кочергин // Геотехника Беларуси: наука и практика = Geotechnics in Belarus: science and practice : материалы Междунар. конф., Минск, 23–26 окт. 2018 г. / Белорус. нац. техн. ун-т ; сост.: В. А. Сернов [и др.]. – Минск : БНТУ, 2018. – С. 132–138.
8. Проектирование водозаборов подземных вод / А. И. Арцев [и др.] ; под ред. Ф. М. Бочевера. – Москва : Стройиздат, 1976. – 292 с.
9. Медведева, Ю. А. Полевые испытания двухколонной водозаборной скважины / Ю. А. Медведева, В. В. Ивашечкин // Социально-экономические и экологические проблемы горной промышленности, строительства и энергетики : сб. материалов 15-й Междунар. конф. по пробл. гор. пром-сти, стр-ва и энергетики, Минск – Тула – Донецк, 29–30 окт. 2019 г. : в 4 т. / Белорус. нац. техн. ун-т, Тул. гос. ун-т, Донец. нац. техн. ун-т ; ред. И. А. Басалай. – Минск : БНТУ, 2019. – Т. 1 – С. 154–158.

Поступила 17 октября 2023 г.

СИЛЬНО ИЗМЕНЕННЫЕ ВОДНЫЕ ОБЪЕКТЫ В БЕЛАРУСИ: КРИТЕРИИ ИДЕНТИФИКАЦИИ И ПОДХОДЫ К ИНВЕНТАРИЗАЦИИ

Е. И. Громадская¹, начальник отдела поверхностных вод

С. А. Дубенок^{1,2}, кандидат технических наук

¹РУП «Центральный НИИ комплексного использования водных ресурсов»

²Белорусский национальный технический университет,
г. Минск, Беларусь

Аннотация

В Республике Беларусь назрела необходимость определения критериев для идентификации и классификации поверхностных водных объектов, которые имеют естественное происхождение, но которые невозможно отнести к природным, поскольку они имеют постоянные и необратимые изменения гидроморфологических и, как следствие, гидрологических характеристик. Такие водные объекты в международной практике относят к сильно измененным водным объектам (СИВО). Основные критерии их выделения применительно к Беларуси сформулированы на основе результатов научно-исследовательских работ, проводимых в период 2018–2023 гг. в области инвентаризации и классификации поверхностных водных объектов в соответствии с Водным кодексом Республики Беларусь.

Ключевые слова: *поверхностный водный объект, естественное происхождение, физические трансформации, необратимые изменения, антропогенное воздействие, гидроморфологические характеристики, цели пользования.*

Abstract

A. I. Hramadskaya, S. A. Dubianok

HEAVILY MODIFIED WATER OBJECTS IN BELARUS: IDENTIFICATION CRITERIA AND APPROACHES TO IN- VENTORY

In the Republic of Belarus, there is a need to define criteria for the identification and classification of surface water bodies that are of natural origin, but which cannot be attributed to natural ones, since they have permanent and irreversible changes in hydromorphological and, as a result, hydrological characteristics. In international practice, such water objects are referred to as heavily modified water bodies (HMWB). The article presents the main criteria in relation of Belarus based on the results of research work carried out in the period 2018–2023 in the field of inventory and classification of surface water objects in accordance with the Water Code of the Republic of Belarus.

Keywords: *surface water object, natural, physical transformations, irreversible changes, anthropogenic impact, hydromorphological morphological characteristics, purposes of use.*

Введение

Результаты исследований поверхностных водных объектов, проводимых в настоящее время, все чаще указывают на невозможность однозначного отнесения водотока или водоема к естественному или искусственному, поскольку водный объект, имеющий естественное происхождение, утратил свои природные гидроморфологические характеристики вследствие значительных и необратимых физических трансформаций (канализование, спрямление, берегоукрепление, дноуглубление, зарегулирование). В результате полевых исследований преобразованных малых рек и ручьев нередко фиксируется пересыхание русел. Помимо последствий влияния изменения климата, причина данного явления заключа-

ется преимущественно в физических преобразованиях морфологических характеристик водотока.

Гидрологические и морфометрические показатели большого количества поверхностных водных объектов Беларуси подверглись значительной трансформации вследствие различных видов хозяйственной деятельности. В связи с этим необходимо оценить количество таких водных объектов по стране с целью определения основных принципов их использования и предотвращения дальнейшего истощения и исчезновения.

Анализ международного опыта определения и классификации сильно измененных водных объектов (далее – СИВО) показал, что управление водными ресурсами в большин-

стве стран мира, включая государства, граничащие с Республикой Беларусь, основывается на бассейновом принципе как наиболее актуальном и эффективном с точки зрения сохранения водных объектов, а также их водосборных бассейнов.

Водная рамочная директива, основной европейский документ, регламентирующий управление водными ресурсами стран Европейского союза, предлагает категоризировать такие водные объекты как сильно измененные. Современный европейский подход допускает недостижение хорошего экологического состояния (статуса) для конкретной категории поверхностных водных объектов, которые были значительно изменены с целью обеспечения определенного вида водопользования. Согласно Водной рамочной директиве на поверхностные водные объекты, отнесенные к СИВО, не распространяются требования по достижению ими хорошего экологического состояния (статуса), а устанавливаются лишь требования по хорошему экологическому потенциалу, что предполагает более низкие экологические стандарты.

Сравнительный анализ международных подходов по установлению критериев идентификации СИВО (по странам ЕС, Российской Федерации, Республике Казахстан, Грузии, Азербайджану, Армении и ряду других государств) показал, что применяемые критерии идентичны. Принципиальным отличием СИВО от искусственного водного объекта является его происхождение.

Понятие «сильно измененный водный объект» уже получило закрепление в национальном законодательстве при разработке планов управления речными бассейнами на первичном этапе идентификации (делиниации) водных объектов в пределах речного бассейна. Однако до настоящего времени в Республике Беларусь отсутствуют законодательно закрепленные критерии по категории сильноизмененных поверхностных водных объектов.

С научной точки зрения СИВО представляет собой естественный поверхностный во-

дный объект, который подвергся серьезным физическим изменениям, чтобы обеспечить определенную цель водопользования: производство электроэнергии, обеспечение питьевой водой, регулирование водных потоков, защиту от наводнений, понижение уровня увлажненности территории, рекреацию.

Эти определенные виды использования требуют, как правило, значительных гидроморфологических изменений такого масштаба, что восстановление хорошего экологического состояния, определяющегося по совокупности гидроморфологических, гидробиологических и гидрохимических показателей, может быть недостижимо даже в долгосрочной перспективе. Национальные подходы к определению экологического состояния (статуса) поверхностных водных объектов закреплены ст. 6 Водного кодекса Республики Беларусь [1] и ТКП 17.13-24-2021 (33140) «Охрана окружающей среды и природопользование. Отбор проб и проведение измерений, мониторинг. Порядок отнесения поверхностных водных объектов (их частей) к классам экологического состояния (статуса)» [2].

С учетом национальной классификации поверхностных водных объектов, закрепленной в Водном кодексе Республики Беларусь, только естественные водные объекты (реки, ручьи и озера) можно относить к СИВО. Пруды и водохранилища не могут быть причислены к ним, поскольку изначально имеют искусственное происхождение; исключение составляют водохранилища озерного типа образования.

Если морфологические характеристики (площадь поверхности воды, длина и ширина, длина береговой линии, средняя и максимальная глубина) водного объекта существенно изменены по сравнению с природными и это изменение носит долгосрочный характер, то это повлечет за собой изменения гидрологических характеристик (объем и уровень воды, скорость течения, расход воды за определенный промежуток времени). В данном случае поверхностный водный объект уже нельзя относить к естественному.

Методы исследования

Основными гидроморфологическими изменениями поверхностных водных объектов, сильно измененных в результате хозяйственной деятельности, являются следующие.

1. *Изменение поперечного и продольного профиля водного объекта.* Это приводит к изменениям в структуре русел и берегов, гидрологическом режиме и физико-химических

условиях, что впоследствии не может не оказать воздействия на состояние речной воды и может ухудшить условия жизни водных организмов в силу модификации условий среды обитания.

2. *Формирование берегов озер* в населенных пунктах. Гидроморфологические изменения такого рода связаны, главным образом, со значительной трансформацией береговой зоны озер, обусловленной рекреационной деятельностью и туризмом. Ликвидация прибрежной и водной растительности изменяет структуру озерных берегов и, следовательно, условия обитания организмов.

3. *Формирование набережных.* Следует признать, что набережные обычно не оказывают непосредственного влияния на дно водотоков, однако из-за отсечения части долины водотока от естественного повышенного уровня реки и одновременного прекращения поступления воды к водотоку из суббассейна уровень грунтовых вод пойменных равнин может измениться, в результате чего затопленные экосистемы могут исчезнуть и степень биоразнообразия снизится.

4. *Создание искусственных сооружений в русле реки* (плотины, мосты, дюкеры и др.). Они являются серьезным препятствием для миграции организмов, в частности рыб. Подобные сооружения также приводят к изменениям гидрологического режима и физико-химических условий, трансформируют места обитания и ухудшают условия жизни водных организмов. Русловые искусственные водоемы на водотоках, помимо негативного воздействия, создаваемого плотинами, изменяют водный режим и существующие экосистемы.

5. *Включение естественных водотоков (рек, ручьев) и их участков в состав мелиоративных систем.* Мелиоративные работы вызывают изменение уровня грунтовых вод и, как следствие, режима и объема речного стока в пределах площади водосбора, что подтверждается результатами полевых исследований малых водотоков на мелиорированных землях, проведенных РУП «Центральный научно-исследовательский институт комплексного использования водных ресурсов» в бассейне р. Припять в 2021 г.

Результаты исследования показали, что 25 % всех водотоков, отобранных для обследования на местности, в бассейне р. Припять, имели частично или полностью высохшее русло, вследствие чего водоток активно зарастает водной и околотовной растительностью [3].

Указанные изменения (в том числе за счет того, что ранее заболоченные и переувлажненные территории переводятся в сельскохозяйственные земли, используемые для решения проблемы продовольственной безопасности страны) также обуславливают сокращение площади заболоченных территорий и ускоряют процесс эвтрофикации вследствие интенсификации стока биогенных веществ в водотоки.

6. *Создание насыпей вдоль водного объекта.* Насыпь – это искусственный берег, отсыпанный выше уровня естественного берега с целью уменьшения вероятности затопления прилегающей территории.

7. *Укрепление берега (облицовка) искусственными материалами.*

Основные мероприятия по обновлению гидроморфологических характеристик водного объекта могут быть направлены на восстановление:

- меандра (для водотоков);
- связи водного объекта и его поймы (удаление дамб, берегоукрепления);
- непрерывности течения (удаление плотин);
- берега и водной среды.

Запрет перевода сельскохозяйственных земель в заболоченные и переувлажненные территории, техническая неосуществимость (невозможность вернуть водный объект в естественное состояние) и несоразмерность затрат на преобразование водного объекта (потенциальный экономический ущерб) – все это может мешать достижению хорошего экологического статуса водного объекта по гидроморфологическим показателям.

При временных или обратимых преобразованиях гидроморфологических характеристик водного объекта его следует относить не к СИВО, а к естественному водному объекту.

В Беларуси в рамках государственной научно-технической программы «Зеленые технологии ресурсопользования и экобезопасности» (рассчитанной на период 2021–2025 гг.)

проводится исследование по выделению и классификации СИВО для всей территории страны. Так, разработаны и научно обоснованы следующие критерии отнесения поверхностного объекта к СИВО:

Критерий 1. Естественное происхождение водного объекта;

Критерий 2. Наличие определенной цели пользования;

Критерий 3. Наличие постоянных и необратимых изменений гидроморфологических характеристик водного объекта;

Критерий 4. Нарушение непрерывности течения;

Критерий 5. Степень антропогенной измененности (наличие значительной антропогенной нагрузки);

Критерий 6. Невозможность достижения определенной цели пользования, для которой используется СИВО, иными средствами.

С учетом международного опыта для разработки и обоснования критериев отнесения водного объекта к СИВО поверхностные водные объекты рассматриваются в разрезе основных речных бассейнов – Днепра, Припяти, Западной Двины, Немана и Западного Буга.

Основными источниками данных для оценки водных объектов по названным критериям

являются данные Национальной системы мониторинга в Республике Беларусь, полученные в результате наблюдений на гидрологических постах, исследований гидроморфологических характеристик водных объектов, итоги ранее проведенных изысканий в данной области (разработка Планов управления речными бассейнами, анализ водопользования, инвентаризация поверхностных водных объектов [4]), а также материалы полевых экспедиционных исследований.

Далее, при помощи средств географических информационных систем на основе данных космоснимков и дистанционного зондирования Земли Белорусским предприятием сельскохозяйственных аэрофотогеодезических изысканий (далее – БелПСХАГИ) будет проведена работа по выделению СИВО на территории Беларуси с представлением результатов в виде пространственных данных (*shape-файлов*), а также атрибутивных данных в формате *Microsoft Excel*.

На основе анализа международного опыта выделения и идентификации СИВО разработан алгоритм пошагового определения возможности отнесения водного объекта к СИВО либо к естественному водному объекту применительно к Республике Беларусь (рисунок).



Рисунок. Алгоритм пошагового определения возможности отнесения водного объекта к СИВО

Разработанные и научно обоснованные критерии отнесения поверхностных водных объектов к СИВО позволяют сформулировать в дальнейшем основные принципы использования таких водных объектов с целью предотвращения возможного ухудшения экологического состояния водных объектов, установления адекватных требований по их сохранению, устойчивому использованию с учетом той определенной цели пользования, для которой физические изменения были проведены.

Необходимое ограничение проведения каких-либо мероприятий с водными объектами – это запрет на ухудшение водного режима прилегающих сельскохозяйственных земель.

На основе анализа международного и национального законодательства [2, 5, 6], результатов полевых исследований и инвентаризации поверхностных водных объектов охарактеризованы следующие условия, при которых водный объект будет определен как кандидат для последующего его включения в перечень СИВО (наличие всех условий необязательно, достаточно одного из нижеперечисленных):

1) более 35 % водотока имеет изменение конфигурации (извилистости) русла (спрямление, углубление);

2) более 35 % водотока имеет изменение в продольном или поперечном профиле (регулирование, дноуглубление, дноукрепление, наличие водопропускных труб);

3) более 15 % водного объекта заняты искусственными донными отложениями (бетонные укрепления, габионовые сетки, валуны);

4) более 50 % водного объекта характеризуется присутствием внутрирусловых особенностей (пороги, острова, мелководья, откосы, ямы, образованные изъятием гравия, дренаж);

5) характер течения водотока сильно изменен (наличие плотин, мостов, бродов, водозаборов);

6) расход воды водотока существенно изменен за счет интенсивности водопользования (водный стресс): уменьшение на 30 % и более;

7) присутствие искусственных сооружений (не применяется к таким естественным барьерам, как озера), препятствующих миграции всех видов биоты и транспорта наносов;

8) более 35 % берега подвержено жесткому берегоукреплению искусственными материалами;

9) более 35 % береговой зоны (полоса растительности, примыкающая к руслу) имеет неестественный почвенно-растительный покров;

10) свыше 75 % неестественного почвенно-растительного покрова за пределами береговой зоны (в том числе наличие искусственных водных объектов);

11) неспособность русла водотока к естественному перемещению в пределах поймы (свыше 35 % участка имеет препятствия к меандрированию).

Выводы

1. Выделение СИВО позволит содействовать продолжению осуществления необходимых видов использования, которые обеспечивают ценные социальные и экономические выгоды, но в то же время на этой основе можно будет принимать меры по смягчению последствий для улучшения экологического состояния водного объекта.

2. Исследования предоставляют возможность оценить целесообразность и эффективность осуществления гидроморфологических преобразований водных объектов, не затрагивающих определенную цель пользования для улучшения экологического состояния СИВО. При этом необходимо разделить мероприятия, направленные:

- на изменение гидроморфологических характеристик (физические трансформации – например, воссоздание прибрежной растительности или благоустройство прибрежной зоны, что улучшит гидроморфологические показатели);

- снижение воздействия физических изменений на окружающую среду (улучшение экологического состояния – например, строительство рыбоходов; создание благоприятного водного режима почв на сельскохозяйственных землях);

- прямые меры по улучшению гидробиологических показателей.

3. Отказ от определенной цели пользования, которую обеспечивает СИВО, для дости-

жения хорошего экологического состояния может вызвать потери важных услуг, непоставимые с нагрузкой, оказываемой на водный объект. Например, ликвидация гидротехнических сооружений, предназначенных для поддержания уровня воды в водном

объекте, может обернуться падением уровня воды, что неблагоприятно скажется на биологическом разнообразии, либо повышением уровня грунтовых вод и затоплением прилегающей территории, что повлечет ущерб для населения.

Библиографический список

1. Водный кодекс Республики Беларусь [Электронный ресурс] : 30 апр. 2014 г. № 149-З : принят Палатой представителей 2 апр. 2014 г. : одобр. Советом Респ. 11.04.2014 г. // Эталон. Законодательство Респ. Беларусь / Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Режим доступа: <https://etalonline.by/document/?regnum=hk1400149>. – Дата доступа: 22.08.2023.

2. Охрана окружающей среды и природопользование. Отбор проб и проведение измерений, мониторинг. Порядок отнесения поверхностных водных объектов (их частей) к классам экологического состояния (статуса) : ТКП 17.13-24-2021 (33140). – Введ. 24.12.21. – Минск : Минприроды, 2021. – 36 с.

3. Таврыкина, О. М. Результаты инвентаризации поверхностных водных объектов в бассейне реки Припять / О. М. Таврыкина, Д. С. Баканова, М. В. Водейко // Наука и инновации. – 2022. – № 6. – С. 77–79.

4. О порядке инвентаризации поверхностных водных объектов [Электронный ресурс] : постановление М-ва природ. ресурсов и охраны окружающей среды Респ. Беларусь, 28 окт. 2022 г., № 58 // М-во природы. – Режим доступа: <https://minpriroda.gov.by/ru/news-ru/view/utverzhdenn-porjadok-inventarizatsii-poverxnostnyx-vodnyx-objektov-4533/>. – Дата доступа: 10.08.2023.

5. Охрана окружающей среды и природопользование. Аналитический контроль и мониторинг. Руководство по оценке гидроморфологических показателей состояния рек : СТБ 17.13.04-02-2013/EN 15843:2010. – Минск : Госстандарт, 2012. – 28 с.

6. Охрана окружающей среды и природопользование. Аналитический контроль и мониторинг. Руководство по определению степени изменения гидроморфологических показателей состояния рек : СТБ 17.13.04-01-2012/EN 14614:2004. – Минск : Госстандарт, 2012. – 19 с.

Поступила 17 ноября 2023 г.

ДИНАМИКА АГРОФИЗИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПОЧВЫ ПРИ ОСВОЕНИИ ЗАЛЕЖНЫХ ЗЕМЕЛЬ В УСЛОВИЯХ ЦЕНТРАЛЬНОГО НЕЧЕРНОЗЕМЬЯ

Н. В. Шешенев, аспирант

Ю. А. Мажайский, доктор сельскохозяйственных наук

ФГБНУ «ФНЦ ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова»,

г. Москва, Россия

Аннотация

Цель исследований – оценить влияние фитомелиорации и известкования на агрофизические свойства почвы при введении в сельскохозяйственный оборот залежных земель на примере дерново-подзолистой почвы опытного участка Мещерского филиала «ФНЦ ВНИИГиМ им. А. Н. Костякова». Представлены многолетние наблюдения за агрофизическими показателями разработанной залежи, описана технологическая схема освоения залежных земель. Показана динамика плотности дерново-подзолистой почвы на посевах фитомелиорантов в условиях монокультуры, севооборота и химической мелиорации. В качестве культур-освоителей использованы рапс яровой, люпин узколистый и овес посевной. Установлено, что фитомелиоранты оказывают неодинаковое влияние на плотность почвы, что определяется степенью развития их корневой системы. Наибольшей эффективностью разуплотнения отличается рапс яровой, который целесообразно возделывать при освоении залежных земель тяжелого гранулометрического состава. На всех изученных вариантах опыта плотность почвы постепенно повышается из-за выпадающих осадков и воздействия сил гравитации, что отчетливо прослеживается в пахотном слое 0–20 см. Залежь, и освоенный участок имеют оптимальную плотность пахотного слоя 1,15–1,17 г/см³, что соответствует благоприятным значениям для дерново-подзолистой почвы и позволяет успешно возделывать на таких землях как зерновые и кормовые культуры, так и пропашные, включая картофель и корнеплоды.

Ключевые слова: залежные земли, агрофизические свойства почвы, мелиорация, фитомелиорация, рапс, люпин, овес.

Abstract

N. V. Sheshenev, Y. A. Mazhaisky

DYNAMICS OF AGROPHYSICAL INDICATORS OF SOIL DURING THE DEVELOPMENT OF FALLOW LANDS IN THE CONDITIONS OF THE CENTRAL NON-CHERNOZEM ZONE

The purpose of the research is to evaluate the influence of phytomelioration and liming on the agrophysical properties of the soil when introducing fallow lands into agricultural use using the example of sod-podzolic soil of the experimental plot of the Meshchersky branch of the «Federal Scientific Center of the All-Russian Scientific Research Institute of Hydraulic Engineering and Land Reclamation named after A. N. Kostyakov». The article presents long-term observations of the agrophysical indicators of the developed deposit, a technological scheme for the development of fallow lands is described. The dynamics of the density of sod-podzolic soil on phytomeliorant crops under conditions of monoculture, crop rotation and chemical reclamation. Spring rape, angustifolia lupine and common oats were used as master crops. It has been established that phytomeliorants have a different effect on soil density, which is determined by the degree of development of their root system. Spring rape is characterized by the greatest decompaction efficiency, which is advisable to cultivate when developing fallow lands with a heavy granulometric composition. In all experimental variants studied, the soil density gradually increases due to precipitation and the influence of gravity, which is clearly visible in the upper arable layer of 0–20 cm. Both the fallow land and the developed area have an optimal density of the arable layer, which is 1.15–1.17 g/cm³, which corresponds to favorable values for sod-podzolic soil and allows for successful cultivation of both grain and fodder crops on such lands, as well as row crops, including potatoes and root crops.

Keywords: fallow lands, agrophysical properties of the soil, melioration, phytomelioration, rapeseed, lupine, oats.

Введение

На протяжении последних десятилетий в аграрном секторе Российской Федерации прослеживается тенденция к сокращению посевных площадей, которые ранее активно использовались в сельскохозяйственном производстве. В субъектах Нечерноземной зоны из

сельскохозяйственного оборота выбыли значительные площади сельскохозяйственных угодий, в том числе и ранее мелиорированные [1]. В условиях экономических санкций перед аграрным сектором страны стоит задача обеспечения населения собственными продуктами над-

лежащего качества, что означает увеличение продукционного потенциала почвы за счет введения в сельскохозяйственный оборот залежных земель с применением агромелиоративных приемов восстановления плодородия почвы [2].

Материалы и методы исследований

Освоение земель, выбывших из оборота в 1990-х гг., начато осенью 2019 г. на испытательном участке Мещерского филиала ФГБНУ «ВНИИГиМ им. А. Н. Костякова» в Рязанской области, где предварительно были проведены культуртехнические работы, связанные с удалением деревьев, кустарников, ликвидацией закорчеванности с последующим выравниванием рельефа, после чего распахан участок с неполным оборотом пласта на глубину 30 см (рис. 1).

Весной 2020 г. поверхность участка была дополнительно выровнена, осуществлено его фрезерование на глубину 10 см (рис. 2). Также было проведено известкование до pH 5,5; осуществлены предпосевная подготовка почвы и посев фитомелиорантов (овес посевной, рапс яровой, люпин узколистный) по разработанной схеме опыта в соответствии с методикой Б. А. Доспехова [3].

Последовательность работ по технологической схеме освоения залежных земель включала в себя: первоначальное обследование залежи, культуртехнические работы (удаление деревьев, кустарников, кочек, выравнивание рельефа), распашку залежи, фрезерование,

Цель наших исследований – изучение воздействия различных приемов обработки и фитомелиорантов на агрофизические показатели почвы при освоении залежных земель в условиях Центрального района Нечерноземной зоны России.

регулирование pH (известкование), фитомелиорацию (посев фитокультур), измельчение зеленой массы растений и заделывание ее в почву, анализ важнейших агрофизических показателей почвы.

Контролем служила залежь. При освоении производился простой подсчет ДКР; на участке преобладали кустарники из рода ив (*Salix caprea* L., *Salix cinerea* L.), а также молодые деревья видов *Betula* L. и *Acer negundo*. В качестве залежи для сравнения динамики агрофизических показателей почвы был использован необработанный участок полигона, без ДКР, с естественным травяным покровом; в качестве фитомелиорантов – растения, которые относятся к разным семействам и отличаются морфологическими различиями как надземных органов, так и корневой системы [4].

Исследования по изучению динамики агрофизических показателей при освоении залежных земель с применением фитомелиорантов выполнены в четырехкратной повторности стационарного мелкоделяночного опыта, размер делянок – 12 м² каждая (рис. 3–5).



Рис. 1. Распашка залежи на испытательном участке Мещерского филиала ФГБНУ «ВНИИГиМ им. А. Н. Костякова»



Рис. 2. Фрезерование перезимовавшей распаханной залежи

Отборы почвенных проб проводились по слоям, с интервалом 10 см по диагонали каждой делянки в 4 местах; затем из каждой почвенной разности формировался средний образец массой 300 г. Анализы осуществлены по общепринятым методикам, применяемым в научно-исследовательских учреждениях сельскохозяйственного профиля [5]. Влажность определялась термостатно-весовым ме-

тодом, а плотность почвы – методом режущего кольца (рис. 6).

Учет густоты стояния растений, анализ структуры и урожайности посевов выполнялись по методике Государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур (1989), а статистическая обработка данных – методом дисперсионного анализа в изложении Б. А. Доспехова [6].



Рис. 3. Выход в трубку овса на опытной делянке



Рис. 4. Фаза цветения рапса на опытной делянке



Рис. 5. Фаза цветения люпина на опытной делянке



Рис. 6. Отбор образца для определения плотности почвы методом режущего кольца

Результаты исследований и их обсуждение

Сравнительный анализ агрофизических свойств почвы залежи и освоенного участка в слое 0–20 см перед посевом фитомелиорантов показал, что залежь отличалась повышенной влажностью по слоям почвы, однако разница по данному показателю была несущественной как в пахотном слое (0–20 см), так и в метровом горизонте относительно освоен-

ного участка и составила соответственно 0,3 и 0,4 % при $НСР_{05} = 1,4$ %.

Плотность твердой фазы и плотность почвы залежного участка также отличаются недостоверным увеличением по сравнению с вариантом, возвращенным в производственное использование (+0,02 г/см³ в пахотном и +0,01–0,02 г/см³ в метровом слое).

В наших исследованиях показатели общей пористости и объема газообразной фазы имеют несущественное превышение в пахотном слое освоенного участка по сравнению с залежью (соответственно +0,3–0,4 % при НСР₀₅ = 3,3–1,8 %), в то время как уже с глубины 40 см у обоих вариантов различий не отмечено. Что касается объема жидкой фазы, то различий по данному показателю между изучаемыми вариантами не установлено, поскольку значения были одинаковыми как в пахотном слое (21,3–21,4 %), так и в метровом (28,2–28,3 %). Отме-

тим, что в условиях малоснежных зим, даже в период посевной кампании, объем жидкой фазы и абсолютная влажность почвы были ниже оптимальных значений, которые для условий Нечерноземной зоны составляют 25 %.

Плотность освоенной почвы – один из важнейших показателей почвенного плодородия, поскольку определяет ее воздушный, водный и тепловой режимы. В наших исследованиях плотность почвы корнеобитаемого слоя изучалась на фоне влияния фитомелиорантов, известкования и соблюдения севооборота (табл. 1).

Таблица 1. **Динамика плотности почвы (г/см³) в зависимости от влияния фитомелиорантов, известкования и соблюдения севооборотов при освоении залежи (в среднем за 2020–2022 гг.)**

Вариант опыта	Фон кислотности	Слой почвы, см	При монокультуре				При соблюдении севооборота			
			26.05	26.06	26.07	в среднем	26.05	26.06	26.07	в среднем
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Залежь (контроль)	Естественный фон (рН 4,5)	0–20	1,34	1,34	1,34	1,34	–	–	–	–
		0–40	1,40	1,40	1,40	1,40	–	–	–	–
		0–100	1,49	1,49	1,49	1,49	–	–	–	–
Рапс яровой		0–20	1,30	1,31	1,32	1,31	1,29	1,30	1,31	1,30
		0–40	1,37	1,38	1,38	1,38	1,35	1,36	1,37	1,36
		0–100	1,46	1,47	1,47	1,47	1,45	1,46	1,46	1,46
Люпин узколистный		0–20	1,30	1,32	1,33	1,32	1,29	1,31	1,32	1,31
		0–40	1,37	1,38	1,39	1,38	1,36	1,37	1,38	1,37
		0–100	1,46	1,47	1,47	1,47	1,45	1,46	1,46	1,46
Овес посевной		0–20	1,29	1,29	1,30	1,29	1,28	1,29	1,29	1,29
		0–40	1,37	1,37	1,38	1,37	1,36	1,37	1,38	1,37
		0–100	1,48	1,49	1,49	1,49	1,48	1,49	1,49	1,49
Рапс яровой	С известкованием (рН 5,5)	0–20	1,28	1,30	1,31	1,30	1,26	1,27	1,28	1,27
		0–40	1,34	1,35	1,36	1,35	1,32	1,33	1,34	1,33
		0–100	1,42	1,42	1,43	1,42	1,40	1,40	1,40	1,40
Люпин узколистный		0–20	1,28	1,28	1,29	1,28	1,27	1,27	1,28	1,27
		0–40	1,34	1,34	1,35	1,34	1,33	1,33	1,34	1,33
		0–100	1,43	1,43	1,44	1,43	1,41	1,42	1,42	1,42
Овес посевной		0–20	1,25	1,26	1,27	1,26	1,23	1,25	1,26	1,25
		0–40	1,35	1,36	1,37	1,36	1,34	1,35	1,36	1,35
		0–100	1,48	1,49	1,49	1,49	1,48	1,49	1,49	1,49
НСР ₀₅		0–20	0,09	0,08	0,09	0,09	–	–	–	–
		0–40	0,09	0,09	0,09	0,09	–	–	–	–
		0–100	0,10	0,10	0,10	0,10	–	–	–	–

Установлено, что по сравнению с контрольным вариантом плотность почвы существенно не отличалась от исходного значения, однако по всем изученным слоям отмечена тенденция к ее снижению, которая особенно заметна в пахотном слое 0–20 см. Так, в среднем за вегетационный период плотность уменьшилась при естественном фоне кислотности и монокультуре на 0,02–0,05 г/см³, а при доведении кислотности с помощью известкования до pH 5,5 ед. снижение составило 0,04–0,06 г/см³ при НСР₀₅ = 0,09 г/см³. В слое почвы 0–40 см умень-

шение составило соответственно 0,02–0,03 и 0,04–0,06 г/см³, а в слое 0–100 см – 0,0–0,02 и 0,0–0,07 г/см³.

При соблюдении севооборота отмеченная закономерность проявилась более отчетливо. Так, при естественном фоне кислотности плотность пахотного слоя снизилась относительно контроля на 0,03–0,05 г/см³, а при известковании – на 0,07–0,09 г/см³; в слое 0–40 см соответственно на 0,05–0,07 и в слое 0–100 см – на 0,0–0,09 г/см³.

Выводы

1. Установлено, что фитомелиоранты оказывают неодинаковое влияние на плотность почвы, что определяется степенью развития их корневой системы. Так, овес посевной оказывает максимально разуплотняющее действие только в верхних слоях почвы, где формируется его мочковатая корневая система, в то время как рапс и люпин, имеющие стержневую корневую систему, снижают плотность всех изученных почвенных горизонтов.

2. Среди изученных фитомелиорантов наибольшей эффективностью разуплотнения отличается рапс яровой, который, по нашему мнению, целесообразно возделывать при освоении залежных земель тяжелого гранулометрического состава (глинистые и тяжелосуглинистые почвы).

3. На всех изученных вариантах опыта при освоении залежных земель плотность почвы в течение вегетационного периода постепенно повышается из-за выпадающих осадков и воздействия сил гравитации, что особенно явно прослеживается в верхнем пахотном слое 0–20 см. Вместе с тем установлено, что как залежь, так и освоенный участок имеют оптимальную плотность пахотного слоя, которая составляет 1,15–1,17 г/см³, что соответствует благоприятным значениям для дерново-подзолистой почвы различного гранулометрического состава (1,11–1,27 г/см³) и позволяет успешно возделывать на таких землях как зерновые и кормовые культуры, так и пропашные, включая картофель и корнеплоды.

Библиографический список

1. Экологические проблемы при вовлечении в оборот ранее мелиорированных земель Нечерноземной зоны и пути их решения : монография / В. А. Шевченко [и др.]. – Москва : ФГБНУ «ВНИИГиМ им. А. Н. Костякова», 2021. – 135 с.
2. Агромелиоративные приемы восстановления плодородия деградированных и вышедших из оборота сельскохозяйственных земель и пастбищных территорий / В. А. Шевченко [и др.] ; под ред. В. А. Шевченко. – Москва : ФГБНУ «ВНИИГиМ им. А. Н. Костякова», 2022. – 205 с.
3. Доспехов, Б. А. Методика полевого опыта : учебник для студентов высш. с.-х. учеб. заведений по агрономическим специальностям / Б. А. Доспехов. – 6-е изд. – Москва : Альянс, 2011. – 350 с.
4. Коломейченко, В. В. Растениеводство : учебник / В. В. Коломейченко. – Москва : Агробизнесцентр, 2007. – 600 с.
5. Степанов, Н. С. Практикум по основам агрономии для агроинженерных специальностей / Н. С. Степанов, И. И. Костецкий. – Москва : Колос, 1981. – 240 с.
6. Доспехов, Б. А. Практикум по земледелию / Б. А. Доспехов. – Москва : Агропромиздат, 1987. – 383 с.
7. Зеленов, А. В. Сидеральные севообороты – основа сохранения плодородия почв в системе органического земледелия / А. В. Зеленов, А. А. Холод, А. Н. Сидоров // Развитие

АПК на основе принципов рационального природопользования и применения конвергентных технологий: материалы Междунар. науч.-практ. конф., проведенной в рамках Междунар. науч.-практ. форума, посвящ. 75-летию образования Волгоград. гос. аграр. ун-та, Волгоград, 30 янв. – 1 февр. 2019 г. : в 2 т. – Волгоград : Волгоград. гос. аграр. ун-т, 2019. – Т. 1. – С. 124–131.

8. Мажайский, Ю. А. Способ освоения залежных земель Нечерноземной зоны при выращивании кормовых культур / Ю. А. Мажайский, А. А. Павлов // Вестн. Рязан. гос. агротехнолог. ун-та им. П. А. Костычева. – 2020. – № 3 (47). – С. 138–143.

9. Пчёлкин, В. В. Водопотребление многолетних трав на дерново-подзолистых почвах водораздельных площадей Нечерноземной зоны / В. В. Пчёлкин, М. А. Никитина, Н. В. Сурикова // Природообустройство. – 2021. – № 2. – С. 36–42. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2021-2-36-42>

10. Титова, И. С. Применение люпиновой сидерации на опытном участке СЛИ / И. С. Титова // Февральские чтения : сб. материалов науч.-практ. конф. профессор.-преподават. состава Сыктывкар. лес. ин-та по итогам науч.-исследов. работы в 2012 г., Сыктывкар, 18–20 февр. 2013 г. – Сыктывкар : Сыктывкар. лес. ин-т, 2013. – С. 283–288.

11. Савенков, В. П. Фитосанитарное состояние посевов ярового рапса и других полевых культур в зависимости от применения различных систем основной обработки почвы в севообороте / В. П. Савенков, А. М. Епифанцева // Масличные культуры. Науч.-техн. бюллетень Всерос. науч.-исследов. ин-та масличных культур. – 2016. – № 1 (165). – С. 73–80.

12. Гафин, М. М. Известкование кислых почв – важнейший фактор продуктивности земледелия / М. М. Гафин // Актуальные проблемы молодежной науки в развитии АПК : материалы Всерос. (национальной) науч.-практ. конф., Курск, 11–13 дек. 2019 г. : в 2 ч. – Курск : Курская гос. с.-х. академия им. проф. И. И. Иванова, 2020. – Ч. 1. – С. 141–145.

Поступила 25 октября 2023 г.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПЕРЕХОДА ЦЕЗИЯ-137 В ЗЛАКОВЫЕ ТРАВЫ НА ТОРФЯНИСТО-ГЛЕЕВОЙ ПОЧВЕ

Е. Б. Евсеев, кандидат сельскохозяйственных наук

*Полесский государственный радиационно-экологический заповедник,
г. Хойники, Беларусь*

Аннотация

Удельная активность цезия-137 в сене злаковых трав, произрастающих на радиоактивно загрязненных торфянисто-глеевых почвах, зависит от высоковариабельных факторов, оказывающих как позитивное, так и негативное влияние. Посредством регрессионного анализа установлена количественная зависимость от 10 показателей перехода цезия-137 в злаковые травы, которая позволяет выявить доминирующие факторы и снизить коэффициенты перехода цезия-137 из почвы в сено многолетних трав.

Ключевые слова: цезий-137, удельная активность, торфянисто-глеевая почва, злаковая травосмесь, регрессионный анализ, математическая модель.

Abstract

E. B. Evseev

STUDY OF CESIUM-137 TRANSFER TO CEREAL GRASSES ON PEAT GLEY SOIL

Specific activity of Cesium-137 in hay of cereal grasses growing on radioactively contaminated peat-gley soils depends on highly covariable factors having both positive and negative influence. During the regression analysis a quantitative dependence on 10 indicators has been established of the transition of Cesium-137 in grasses has been developed, which will make it possible to identify the dominant factors with a high degree of probability and reduce the coefficients of its transition from soil to hay of perennial grasses.

Keywords: Cesium-137, specific activity, peat-gley soil, cereal grass mixture, regression analysis, mathematical model.

Введение

В условиях Припятского Полесья на эрозионно-опасных мелиорированных землях исследователи рекомендуют использовать на среднемощных торфах зерно-травяные севообороты, при которых многолетние травосмеси занимают не менее 5 полей, а зерновые культуры – 3–4 поля. При ведении сельского хозяйства на мелкозалежных торфяниках с мощностью торфяного слоя до 0,7 м предлагается использование многолетних трав с перезалужением через 5–7 лет.

В целях предотвращения эрозионных процессов органогенного горизонта почв на мелиорированных землях Беларуси большая роль отводится многолетним травам. Многочисленными исследованиями доказано, что мелкозалежные торфяники должны отводиться под культурные сенокосы и пастбища [1].

Припятское Полесье включает в себя, помимо иных, и территории Полесского государственного радиационно-экологического за-

поведника (далее – ПГРЭЗ). Высокие уровни радиоактивного загрязнения почвы, его мозаичный и неоднородный характер [2] не позволяют выделить какие-то участки для продолжения их хозяйственного пользования.

Основная задача деятельности заповедника – проведение научно-исследовательских и экспериментальных работ. Уровни загрязнения цезием-137 в здешних условиях колеблются от 5 до 200 и более Ки/км² [2], поэтому территория заповедника наилучшим образом подходит для того, чтобы верифицировать данные различных прогнозных эмпирических уравнений, описывающих переход цезия-137 в сельскохозяйственные растения.

Миграция цезия-137 из почвы в растения является результатом не только физико-химических процессов в почве, но и биологических (физиологических), связанных с поглощением радионуклидов корневой системой растений из почвенного раствора. В трудах ученых от-

мечена главенствующая роль содержания и внесения калия в снижении коэффициентов перехода цезия-137 из почвы в растительность [1]. Однако при проведении исследований выявляются и другие факторы, оказывающие высокую степень влияния на удельную активность и коэффициенты перехода изучаемого радионуклида в злаковых травах [3].

Регрессионный анализ показывает влияние независимых значений на зависимую перемен-

ную. В наших исследованиях рассматривается, в какой степени удельная активность цезия-137 в сене злаковых трав зависит от плотности загрязнения почвы, содержания нитратного и аммонийного азота в почве и других параметров. На основе результатов анализа выделяются доминирующие факторы, которые позволяют прогнозировать ведущие направления дальнейших исследований, планировать и принимать управленческие решения.

Методы исследований

Стационарный полевой опыт по изучению влияния минеральных удобрений на накопление цезия-137 в многолетних злаковых травах на торфянисто-глеевой почве проводился в течение 4 лет (2016–2019 гг.) на землях государственного предприятия «Синкевичский» Лунинецкого р-на Брестской обл. по методике Б. А. Доспехова [4]. Погодные условия вегетации трав оценивались в соответствии с общепринятой методикой Г. Т. Селянинова [5].

Объектом исследований являлись торфянисто-глеевая низинная осушенная почва, а также среднеспелая злаковая травосмесь на основе костреца безостого, овсяницы луговой и тимофеевки луговой.

Почва опытного участка – торфянисто-глеевая низинная осушенная, развивающаяся на тростниково-осоковых торфах, подстилаемых с глубины 0,26 м связными древнеаллювиальными песками; средняя плотность загрязнения участка цезием-137 составляет 143,9 кБк/м² (3,9 Ки/км²). Опыт заложен методом рандомизированных повторений в 4-кратной повтор-

ности. Общая площадь делянки (4 × 5) = 20 м²; площадь учетной делянки (3 × 4) = 12 м². Посев многолетних злаковых трав беспокровный. Схема эксперимента включает 12 вариантов (табл. 1).

Минеральные удобрения вносились в соответствии со схемой полевого эксперимента; использовались карбамид, суперфосфат, хлористый калий.

Обработка медным купоросом проводилась в период, соответствующий фазе выхода в трубку. После первого укоса была произведена внекорневая подкормка ранцевым опрыскивателем в соответствии со схемой опыта.

Нормы высева в составе травосмеси: тимофеевка луговая – 2 кг/га, овсяница луговая – 5 кг/га, кострец безостый – 6 кг/га. Направление использования травосмеси – сенокосное [6].

Для регрессионного анализа факторов и разработки соответствующего им эмпирического уравнения применялся пакет *Microsoft Office Excel* (16).

Таблица 1. Схема применения минеральных удобрений в опыте

Варианты опыта	Дозы удобрений под 1-й укос, кг/га д. в.			Дозы удобрений под 2-й укос, кг/га д. в.		
	N	P	K	N	P	K
1. Контроль (без удобрений)	–	–	–	–	–	–
2. P ₉₀ K ₁₂₀	–	90	90	–	–	30
3. P ₉₀ K ₁₅₀	–	90	90	–	–	60
4. P ₉₀ K ₁₈₀	–	90	120	–	–	60
5. N ₁₀₀ P ₉₀ K ₁₅₀	60	90	90	40	–	60
6. N ₁₂₀ P ₉₀ K ₁₅₀	80	90	90	40	–	60
7. N ₁₄₀ P ₉₀ K ₁₅₀	80	90	90	60	–	60
8. N ₁₀₀ P ₉₀ K ₁₈₀	60	90	120	40	–	60
9. N ₁₂₀ P ₉₀ K ₁₈₀	80	90	120	40	–	60
10. N ₁₄₀ P ₉₀ K ₁₈₀	80	90	120	60	–	60
11. N ₁₂₀ P ₉₀ K ₁₅₀ + Cu _{0,08}	80	90	90	40	–	60
12. N ₁₄₀ P ₉₀ K ₁₅₀ + Cu _{0,08}	80	90	90	60	–	60

Условия опыта

По агрохимическим показателям почва имела слабокислую реакцию среды и соответствовала интервалу оптимального значения этого показателя ($pH_{KCl} - 5,29-5,48$) для торфяных почв. Гидролитическая кислотность колебалась от 24,1 до 27,7 мг-экв /100 г почвы.

Содержание и запасы органического вещества в почве составляли в среднем 64,0 % и 576 т/га соответственно; зольность – 36,0 %, что соответствует высокозольным торфяникам.

Содержание общего азота в слое 0–25 см колебалось от 1,67 до 1,77 %, минерального азота – от 49,36 до 62,03 мг/кг почвы. Обеспе-

ченность подвижным фосфором (по методу А. Т. Кирсанова) составляла в среднем 875 мг/кг почвы, подвижным калием – 805 мг/кг почвы. Торфянисто-глеевая почва характеризовалась высоким содержанием P_2O_5 и повышенным содержанием K_2O .

Содержание обменного кальция в пахотном слое колебалось от 3102 до 3462 мг/кг почвы (среднее содержание), подвижного магния – от 504 до 625 мг/кг почвы (повышенное содержание). Обеспеченность подвижной медью соответствовала 2-й группе (средняя) – 7,15–7,99 мг/кг почвы.

Таблица 2. Агрохимические показатели торфянисто-глеевой почвы

Показатели	Значения показателей		
	минимальное	максимальное	среднее
Обменная кислотность, pH_{KCl}	5,29	5,48	5,37
Содержание минерального азота, мг/кг почвы	49,4	62,0	55,0
Содержание подвижного калия, мг/кг почвы	722	875	805

Согласно принятой градации [7], почва относится ко второй группе (1,0–4,9 Ки/км²) по степени загрязнения ¹³⁷Cs. Плотность загрязнения в среднем составила ¹³⁷Cs в 143,9 кБк/м² (3,9 Ки/км²).

На территории Беларуси при значениях ГТК от 0,2 до 0,4 условия вегетационного периода характеризуются как сухие, от 0,4 до 0,7 – очень засушливые, от 0,7 до 1,0 – засушливые, от 1,0 до 1,3 – слабозасушливые, 1,3–1,6 – оптимальные и > 1,6 – влажные [5].

За весь период исследований метеорологические условия (апрель – август) существенно различались. По степени увлажнения вегетационный период 2016 г. характеризовался слабозасушливыми условиями с ГТК 1,28; 2017 г. был влажным (ГТК – 2,24); 2018 г. – засушливым (ГТК – 0,97); период 2019 г. отличался оптимальными гидротермическими условиями (ГТК – 1,30).

Погодные условия существенно влияют на накопление радионуклидов в растениях [3]. Нами установлено, что в зависимости от метеорологической ситуации различия в накоплении ¹³⁷Cs в сене многолетних трав первого укоса достигают 4,3 раза, в сене второго укоса – 3,3. Наибольшее поступление ¹³⁷Cs на-

блюдается в условиях повышенного увлажнения вегетационного периода, меньшее – при засушливых условиях, самое низкое – при оптимальных условиях увлажнения. Исходя из этого следует предложить и обосновать уравнение, в котором влияние ГТК описывалось бы в математическом выражении и отражало бы как качественное влияние на накопление радионуклидов, так и количественное.

Кроме основных почвенно-климатических условий и биологических особенностей растений, выделяют группу факторов, снижающих поступление радионуклидов. Поглощение цезия-137 первоначально происходит в результате транспорта ионов путем свободной диффузии в объеме клеточной стенки коры корня. Поскольку радионуклиды поступают из почвенного раствора, можно предположительно сделать вывод, что концентрация их в растении прямо пропорциональна концентрации в почвенном растворе (при прочих равных условиях).

Применение калийных удобрений – основной агрохимический прием, снижающий поступление ¹³⁷Cs в сельскохозяйственные культуры. На почвах разного генезиса под влиянием калия накопление ¹³⁷Cs в растениях может

уменьшаться от 2 до 20 раз [8]. Его положительная роль возрастает на фоне оптимальных параметров минерального питания растений [9].

Поступление цезия-137 значительно снижается при увеличении концентрации K^+ до

Результаты исследования и их обсуждение

В результате проведенных исследований определено влияние разных доз калийных удобрений на поступление ^{137}Cs в сено многолетних среднеспелых злаковых трав. На рис. 1 приведена информация об удельной активности ^{137}Cs в сене многолетних злаковых трав.

Фосфорные и калийные удобрения в дозах $P_{90}K_{90}$ снижают переход ^{137}Cs из почвы в траву первого укоса на 27–28 % по отношению к контролю. При внесении под первый укос K_{120} также наблюдается снижение поступления ^{137}Cs из почвы в растения. Подкормка трав второго укоса калием в дозе 30 кг/га на фоне $P_{90}K_{90}$ обеспечивает уменьшение коэффициента перехода радионуклида в сено на 50 %. При внесении под второй укос K_{60} на фонах $P_{90}K_{90}$ и $P_{90}K_{120}$ поступление радионуклида в растения

1 ммоль/л [10]. Однако интенсивность перехода ^{137}Cs в растение зависит не только от содержания K^+ в почвенном растворе, но и концентрации его в самом растении [11].

по отношению к варианту $P_{90}K_{120}$ уменьшается незначительно [12].

Регрессионный анализ аккумуляции цезия-137 в сене злаковых трав в зависимости от доз калийных удобрений позволил выявить наиболее тесную корреляционную связь между удельной активностью сена второго укоса и вносимыми дозами калийных удобрений (табл. 3). Предложенные математические зависимости помогут спрогнозировать значения удельной активности цезия-137 в сене трав первого укоса с достоверностью 36 %, и в сене трав второго укоса – с достоверностью 74 %. Однако проведенный анализ выявил влияние только одного фактора без учета множества других факторов.

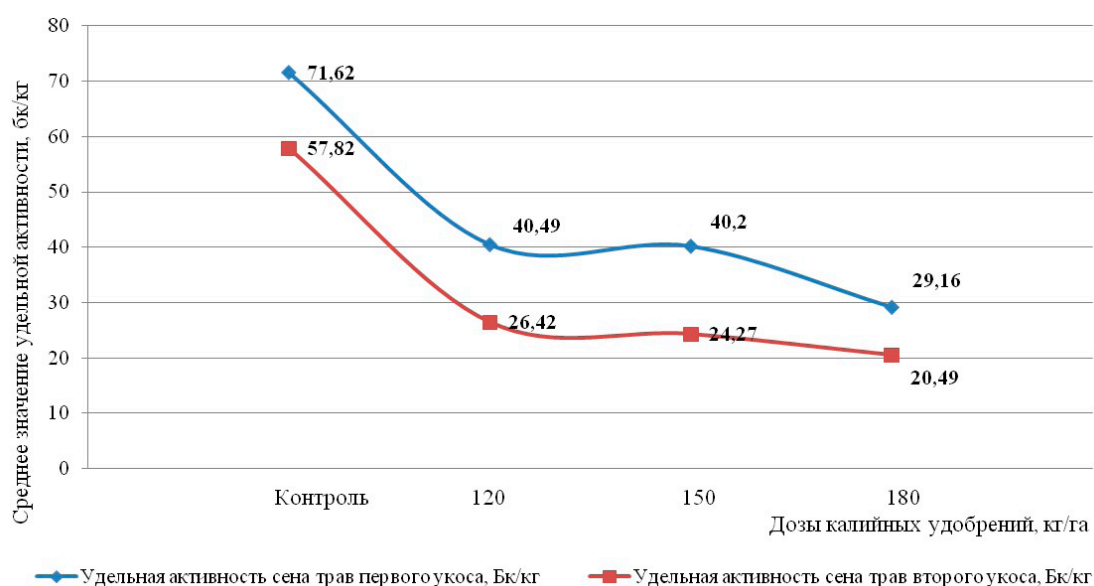


Рис. 1. Удельная активность ^{137}Cs в сене многолетних среднеспелых злаковых трав в зависимости от доз калийных удобрений, Бк/кг

Таблица 3. Зависимость удельной активности ^{137}Cs в сене от доз калийных удобрений

Укосы трав	Уравнения	Коэффициент детерминации (R^2)	Стандартная ошибка (S_y)
Первый укос	$Y_1 = 71,34 - 0,23x$	0,36	22,5
Второй укос	$Y_2 = 56,62 - 0,22x$	0,74	9,6

Регулированию азотного питания растений на загрязненных радионуклидами почвах придается большое значение, поскольку недостаток доступного азота в почве приводит к снижению урожайности сельскохозяйственных культур, а высокие дозы азотных удобрений усиливают поглощение радионуклидов растениями. В работе [3] изучено влияние разных доз и сроков внесения азотных удобрений на поступление ^{137}Cs в сено многолетних злаковых трав. Азотные удобрения применяли в начале весеннего отрастания трав под первый укос в дозах 60 и 80 кг/га, под второй укос – в дозах 40 и 60 кг/га. Их общие дозы колебались от 100 до 140 кг/га действующего вещества на двух фосфорно-калийных фонах – $\text{P}_{90}\text{K}_{150}$ и $\text{P}_{90}\text{K}_{180}$ (рис. 2).

Внесение N_{100} и N_{120} незначительно увеличивает поступление ^{137}Cs в растения. В среднем за годы исследований минимальное содержание ^{137}Cs в сене первого укоса (33,77 Бк/кг) отмечено в варианте с применением 100 кг/га азота на фоне $\text{P}_{90}\text{K}_{180}$. Вторая азотная подкормка трав приводит к некоторому увеличению накопления ^{137}Cs в сене трав второго укоса по отношению к фосфорно-калийным фонам. Однако концентрация его в растениях не превышает 35 Бк/кг, что более чем на порядок ниже допустимого уровня. Поступление ^{137}Cs в сено при повышенных дозах азотных удобрений ($\text{N}_{120-140}$) снижается на высоком фоне применения калийных удобрений ($\text{P}_{90}\text{K}_{180}$) [13].

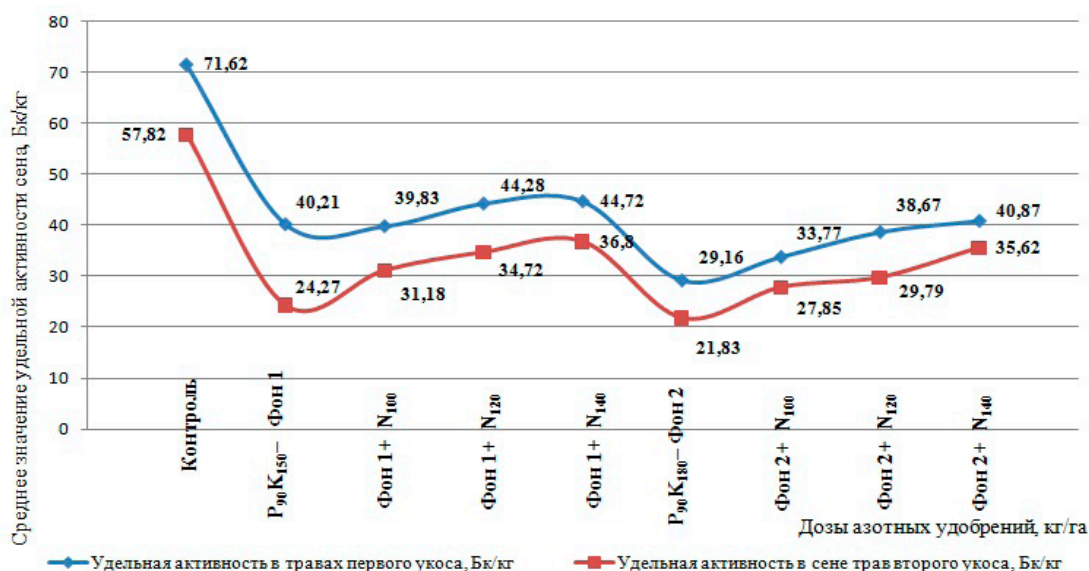


Рис. 2. Удельная активность ^{137}Cs в сене многолетних злаковых трав в зависимости от доз азотных удобрений, Бк/кг

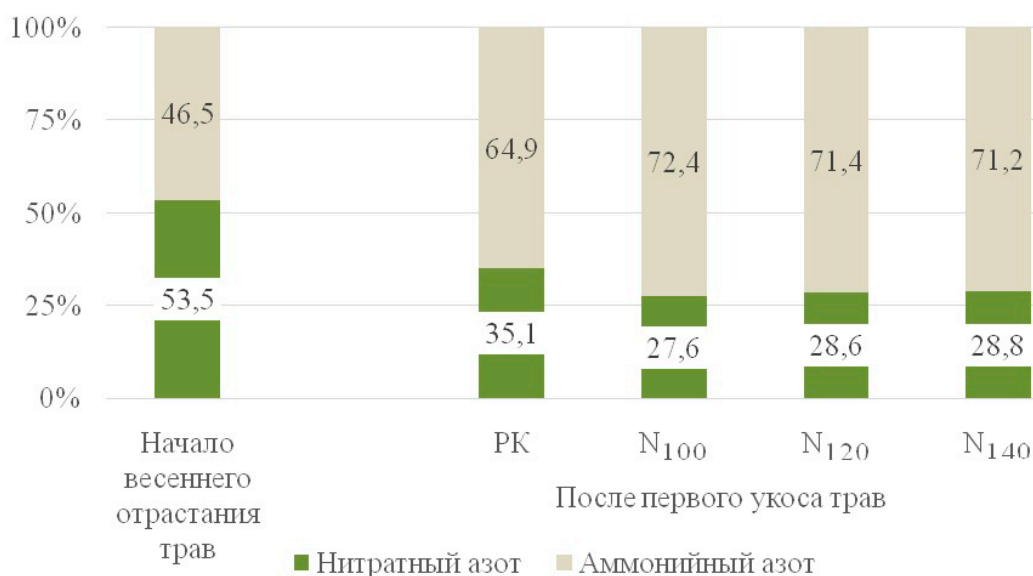


Рис. 3. Соотношение NO_3 и NH_4 в составе минерального азота в почве, %

Регрессионный анализ удельной активности цезия-137 в сене злаковых трав в зависимости от доз азотных удобрений не позволил выявить наиболее тесную корреляционную связь между исследуемыми параметрами. В результате построенные математические зависимости не могут точно предсказать значения удельной активности цезия-137 в сене злаковых трав. У коэффициента детерминации было значение меньше 0,02 для обоих укосов.

Однако обеспеченность сельскохозяйственных культур азотом зависит не столько от общего содержания в почве, сколько от наличия его минеральных форм – нитратов и обменного аммония, содержание которых в почве составляет приблизительно 1 % от общего количества азота. Для характеристики обеспеченности растений азотом учитывают в основном две его формы – нитратную и аммонийную, поэтому стоит рассмотреть влияние содержания минерального (нитратного и аммонийного) азота в почве на удельную активность цезия-137 в сене злаковых трав.

Цикл азота в почве характеризуется постоянно действующими минерализационно-иммобилизационными процессами его превращения. Взаимодействие этих процессов определяет направленность потоков азота в агроэкосистемах.

Содержание минеральных соединений (аммонийного и нитратного) азота в почве является динамичной величиной, поскольку оно

зависит от действия множества разнонаправленных факторов. Благодаря своей динамичности минеральные формы азота представляют наибольший интерес при оценке азотного режима почв. По динамике изменения минеральных соединений азота в почве определяют обеспеченность возделываемых культур азотом и уровень их продуктивности, а также изменение качества урожая, включая накопление радионуклидов в получаемой продукции (рис. 3).

С целью определения зависимостей между содержанием минерального азота в пахотном (T_n) слое торфянисто-глеевой почвы, с одной стороны, и поступлением ^{137}Cs в растения и продуктивностью многолетних трав, с другой стороны, был проведен корреляционно-регрессионный анализ данных (во всех уравнениях критерий значимости превышал табличные значения). Содержание азота в почве принималось как сумма азота почвы и азота вносимых удобрений под первый и второй укосы трав.

Установлены невысокие корреляционные связи ($R^2 = 0,25$, по Б. А. Доспехову) между содержанием $N_{\text{мин}}$ в почве в ранневесенний период и удельной активностью ^{137}Cs в сене многолетних трав первого укоса (стандартное отклонение для удельная активность – 17,8, а средняя ошибка аппроксимации – 3,57) (рис. 4).

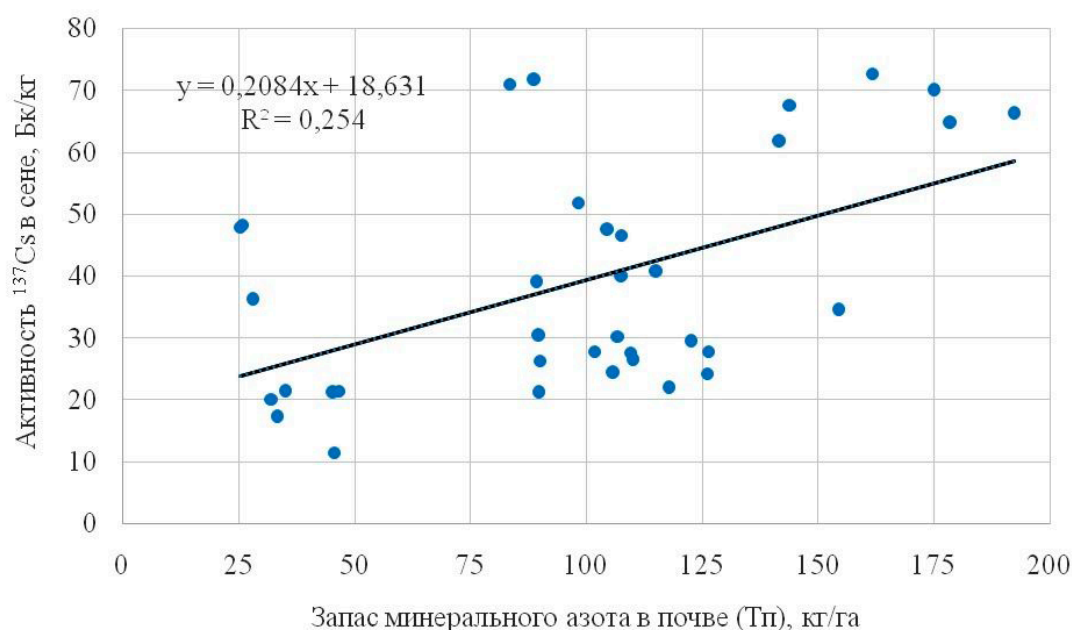


Рис. 4. Зависимость удельной активности ^{137}Cs в сене первого укоса от запасов минерального азота в почве

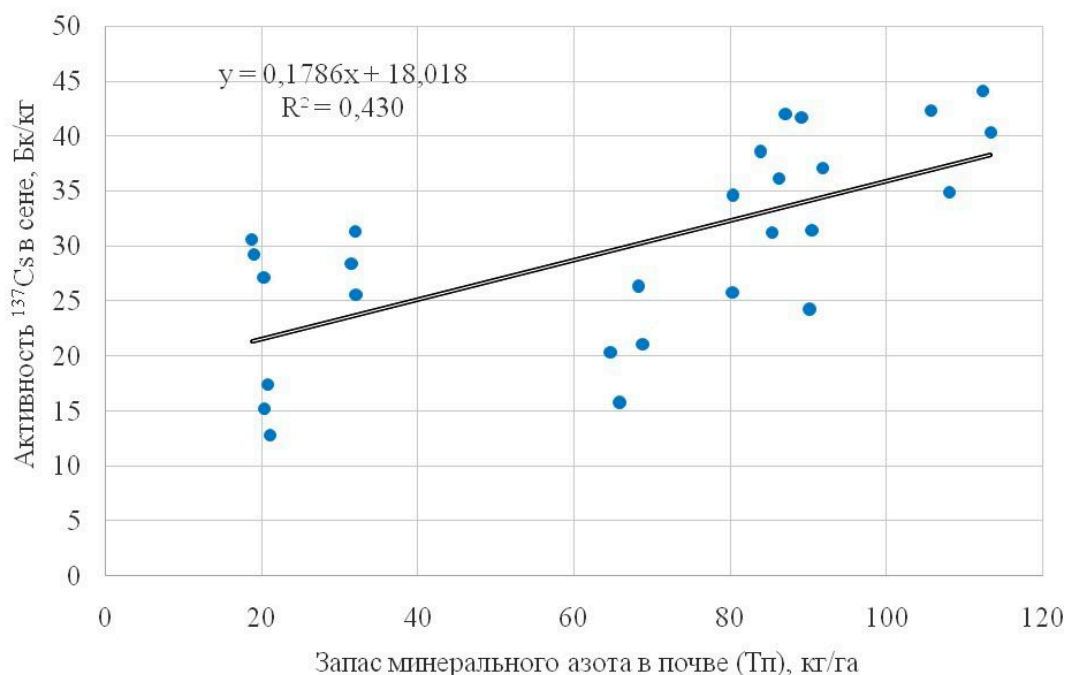


Рис. 5. Зависимость удельной активности ^{137}Cs в сене второго укоса от запасов минерального азота в почве

Также средний уровень корреляционной зависимости ($R^2 = 0,43$) выявлен между содержанием $N_{\text{мин}}$ в почве после первого укоса трав и удельной активностью ^{137}Cs в сене второго укоса (стандартное отклонение для удельной активности – 8,97, а средняя ошибка аппроксимации – 1,76) (рис. 5). Как показывают данные, с повышением содержания минеральных соединений азота в почве наблюдается функциональное увеличение удельной активности радионуклида в растениях.

Даже при запасах $N_{\text{мин}}$ в пахотном слое почвы на уровне 180–200 кг/га (высокая степень обеспеченности по градации Н. Н. Семеновко) концентрация ^{137}Cs в сене не превышала 100 Бк/кг. Республиканский допустимый уровень (РДУ) содержания радионуклида в сене при производстве цельного молока – 1300 Бк/кг, то есть более чем на порядок.

Рассмотрев основные параметры по зависимости перехода цезия-137 в злаковые травы на торфянисто-глеевой почве, составим матрицу для регрессионного анализа.

Матрица включает 84 наблюдения опыта, результирующий параметр (удельная активность в сене злаковых трав, Бк/кг) и 10 влияющих признаков.

A_y – удельная активность в сене, Бк/кг;

X1 – плотность загрязнения цезием-137 почвы, кБк/м²;

X2 – содержание нитратного азота в почве, мг/кг;

X3 – содержание аммонийного азота в почве, мг/кг;

X4 – содержание подвижного калия в почве;

X5 – содержание подвижного фосфора в почве;

X6 – кислотность pH_{KCl} ;

X7 – урожайность злаковых трав, ц/га;

X8 – гидротермический коэффициент;

X9 – вносимый калий, кг/га д. в.;

X10 – вносимый азот, кг/га д. в.

Коэффициент детерминации (R^2) соответствует высокому уровню (0,83) тесноты взаимосвязи результирующего признака с исследуемыми переменными признаками. Средняя ошибка аппроксимации – 8,6. Однако значение в столбце p -значение должно быть меньше либо равно 0,05. По данному признаку X4, X5, X6 не соответствуют допустимым значениям, что может быть следствием мультиколлинеарности переменных, следовательно, из расчетной формулы они должны быть удалены.

Далее составляем новую модель эмпирического уравнения без учета вышеприведенных переменных. В результате коэффициент детерминации (R^2) соответствует высокому уровню (0,83) тесноты взаимосвязи результирующего признака с исследуемыми переменными.

ными признаками. Средняя ошибка аппроксимации – 8,6.

Данные результаты свидетельствуют о высокой зависимости. Исходя из 83%-го предсказания значений можно сделать вывод, что предложенное нами эмпирическое уравнение не учитывает 17 % других параметров, влияющих на удельную активность цезия-137 в сене многолетних злаковых трав. Использование метода множественной линейной регрессии показало, что:

$$A_y = 4,67 + 0,43 \times X_1 + 5,87 \times X_2 + 0,37 \times X_3 - 0,22 \times X_7 - 7,26 \times X_8 - 0,18 \times X_9 + 0,1 \times X_{10}. \quad (1)$$

Для дальнейшей интерпретации полученного уравнения регрессии следует сделать несколько группировок данных по основным параметрам, которые могут быть изменены в результате направленного хозяйственного воздействия. Для начала следует учесть градацию загрязнения торфяных почв цезием-137 (табл. 4). Для расчета обеспеченности почв нитратным азотом примем равной средней величине между вариантами опыта оптимального года: $X_2 = 4,63$ мг/кг. Для расчетов содержание аммонийного азота в почве примем значение $X_3 = 53,26$ мг/кг, что соответствует средней величине между вариантами опыта оптимального года. Урожайность злаковых трав берем оптимальную $X_7 = 39,4$ ц/га. Значения переменных X_9, X_{10} будут принимать лучший вариант применения удобрений как с экономической, так и радиологической точек зрения ($X_9 = 150$ кг/га; $X_{10} = 120$ кг/га) [14].

Вместо X_8 будем подставлять данные, отражающие оптимальные климатическим условия (оптимальный ГТК – 1,3). Тогда уравнение модели для оптимального года примет следующий вид:

$$A_y = 18,44 + 0,43 \times X_1. \quad (2)$$

Путем подстановки вместо X_1 различных градаций загрязнения почв получим прогнозное значение удельной активности цезия-137 в сене злаковых трав. В наших оценках удельная активность ^{137}Cs в сене, из которого возможно производство кормов из многолетних злаковых трав в пределах РДУ-99 или допустимых уровней технического регламента таможенного союза (ДУ ТР ТС), принималась на уровне 70 % от расчетной величины. Полученный результат отражен в табл. 4.

В соответствии с РДУ-99 для получения нормативно чистого цельного молока (< 100 Бк/л) и мяса (< 500 Бк/л) допустимый уровень ^{137}Cs в сене не должен превышать 1300 Бк/кг; для получения нормативно чистого молока-сырья при переработке на масло – 1850 Бк/кг. Техническим регламентом (ТР ТС 021/2011) «О безопасности пищевой продукции» в рамках Таможенного союза установлен более жесткий – по сравнению с РДУ-99 – норматив на содержание ^{137}Cs в мясе: 200 Бк/кг. Поэтому допустимое содержание цезия-137 в сене для заключительной стадии откормки животных примерно в 2,5 раза ниже и не должно превышать 520 Бк/кг [15, 16].

Таблица 4. Прогнозные значения накопления цезия-137 в сене злаковых трав

№ п/п	Градация почв по плотности загрязнения, кБк/м ² (Ки/км ²)	Удельная активность в сене, Бк/кг	(РДУ-99) 1300 Бк/кг	(РДУ-99) 1850 Бк/кг	(ДУ ТР ТС) 520 Бк/кг
1	37–184,9 (1–4,9)	44,9–127,5	< 40	< 40	< 40
2	185–554,9(5,0–14,9)	127,6–334,3	< 40	< 40	< 40
3	555–1480(15,0–40,0)	334,4–851,5	< 40	< 40	ограничения
4	1481–3700(40,1–100) для ПГРЭЗ	851,6–2092,5	ограничения	ограничения	ограничения

По итогам прогнозных расчетов, приведенных в табл. 4, можно сделать вывод, что на торфянисто-глеевой почве при внесении минеральных удобрений $N_{120}P_{90}K_{150}$ удель-

ная активность цезия-137 в сене многолетних среднеспелых злаковых трав не превысит республиканских допустимых уровней при плотности загрязнения почвы данным радио-

нуклидом до 40 Ки/км² для использования его на корм крупному рогатому скоту в целях получения цельного молока и молока-сырья при переработке на масло. Однако на территории экспериментально-хозяйственной зоны заповедника накладываются ограничения на использование сена злаковых трав при кормлении крупного рогатого скота с целью получения цельного молока и молока-сырья при переработке на масло в 2280 кБк/м² (61,6 Ки/км²) и 3265 кБк/м² (88,2 Ки/км²) соответственно.

Заключение

По итогам исследования и применения регрессионного анализа предложено эмпирическое уравнение, описывающее параметры значения удельной активности цезия-137 в сене многолетних злаковых трав на торфянисто-глеевых почвах. Коэффициент корреляции и коэффициент детерминации соответствует высокому уровню тесноты взаимосвязи результирующего признака с исследуемыми переменными признаками. Разработанная модель не учитывает 17 % других параметров, влияющих на удельную активность цезия-137 в сене многолетних злаковых трав.

Производство мяса с содержанием ¹³⁷Cs до 200 Бк/кг возможно при удельной активности цезия-137 в сене до 520 Бк/кг. На торфянисто-глеевых почвах при применении N₁₂₀P₉₀K₁₅₀ возможно получение сена многолетних злаковых трав с вышеуказанным пороговым значением удельной активности цезия-137 в нем при плотности загрязнения почвы до 885 кБк/м² (23,9 Ки/км²).

Полученные прогнозные данные корректируют значения предельно допустимых плотностей загрязнения почвы, приведенные в ранее опубликованных материалах исследований. Предложенное уравнение наиболее полно описывает накопление цезия-137 в сене злаковых трав по сравнению со стандартными методиками и рекомендуется к использованию в расчетах при прогнозировании удельной активности злаковых трав, возделываемых на загрязненных цезием-137 землях, в частности для экспериментального возделывания на территории экспериментально-хозяйственной зоны Полесского заповедника.

Библиографический список

1. Рекомендации по организации севооборотов на загрязненных радионуклидами землях / Деп. по ликвидации последствий катастрофы на Чернобыльской АЭС М-ва по чрезвычайным ситуациям Респ. Беларусь, М-во с. х. и продовольствия Респ. Беларусь; РНИУП «Институт радиологии» ; Н. Н. Цыбулько [и др.]. – Минск : Ин-т радиологии, 2012. – 84 с.
2. Атлас современных и прогнозных аспектов последствий аварии на Чернобыльской АЭС на пострадавших территориях России и Беларуси / под ред. Ю. А. Израэля, И. М. Богдевича. – Москва : Фонд «Инфосфера – НИА – Природа»; Минск : Белкартография, 2009. – 140 с.
3. Евсеев, Е. Б. Влияние азотного и калийного питания на поступление ¹³⁷Cs в растения и продуктивность многолетних злаковых трав на торфянисто-глеевой почве : автореф. ... дис. канд. с.-х. наук : 06.01.04 / Е. Б. Евсеев; Нац. акад. наук Беларуси, Респ. науч. дочер. унитар. предприятие «Институт почвоведения и агрохимии». – Минск, 2022. – 24 с.
4. Доспехов, Б. А. Методика полевого опыта / Б. А. Доспехов. – Москва : Агропромиздат, 1985. – 351 с.
5. Агроклиматическое зонирование территории Беларуси с учетом изменения климата / В. И. Мельник [и др.]. – Минск – Женева, 2017. – С. 6–8.
6. Евсеев, Е. Б. Технология получения высоких урожаев многолетних среднеспелых злаковых трав, возделываемых на торфяно-деградированной почве, загрязненной цезием-137 / Е. Б. Евсеев // Технологические аспекты возделывания сельскохозяйственных культур : сб. ст. по материалам XIII Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 100-летию кафедры растениеводства, Горки, 30–31 янв. 2019 г. – Горки : БГСХА, 2019. – С. 72–75.

7. Практикум по агрохимии : учеб. пособие для с.-х. вузов / под ред. И. Р. Вильдфлуша, С. П. Кукреша. – Минск : Ураджай, 1998. – 270 с.
8. Яковлева, С. Н. Факторы определяющие величину накопления цезия – 137 многолетними сеянными злаковыми травами / С. Н. Яковлева // Третья Всесоюз. конф. по с.-х. радиологии : тез. докл. : в 3 т. – Обнинск, 1990. – Т. I. – С. 66–67.
9. Оценка состояния Cs-137 в почвах и анализ факторов влияющих на биологическую доступность радионуклида / Р. М. Алексахин [и др.] // Роль творческого наследия академика ВАСХНИЛ В. М. Ключковского в решении современных проблем сельскохозяйственной радиологии : материалы науч.-практ. конф., Москва, 5–6 дек. 2000 г. / ЦНИИ агрохим. обслуживания сел. хоз-ва ; под ред. Р. М. Алексахина, В. Г. Сычева. – Москва, 2001. – С. 196–201.
10. Behaviour of radionuclides in meadows and efficiency of countermeasures / N. I. Sanzharova [et al.] // Radiation Protection Dosimetry. – 1996. – Vol. 64, iss. 1–2. – P. 43–48. <https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.rpd.a031564>
11. Рерих, Л. А. Влияние свойств почвы на трансформацию форм Cs-137 и поступление его в сельскохозяйственные растения / Л. А. Рерих, И. Т. Моисеев // Агрохимия. – 1989. – № 8. – С. 96–104.
12. Цыбулько, Н. Н. Накопление ¹³⁷Cs многолетними злаковыми травами на торфянисто-глеевой почве в зависимости от доз калийных удобрений / Н. Н. Цыбулько, И. И. Жукова, Е. Б. Евсеев // Почвоведение и агрохимия. – 2018. – № 2 (61). – С. 112–120.
13. Влияние азотных удобрений на накопление ¹³⁷Cs многолетними злаковыми травами на торфянисто-глеевой почве / Н. Н. Цыбулько [и др.] // Почвоведение и агрохимия. – 2019. – № 1 (62). – С. 157–168.
14. Цыбулько, Н. Н. Агрономическая и экономическая эффективность применения минеральных удобрений под многолетние злаковые травы на торфянисто-глеевой почве / Н. Н. Цыбулько, Е. Б. Евсеев, И. И. Жукова // Почвоведение и агрохимия. – 2021. – № 1 (66). – С. 113–119.
15. Республиканские допустимые уровни содержания радионуклидов цезия-137 и стронция-90 в пищевых продуктах и питьевой воде (РДУ-99) : ГН №10-117-99 ; введ. 26.04. 99 ; с изм. и доп.: № 8/5786 от 02.05.2001 г. – Минск : ГУ «Республиканский центр гигиены, эпидемиологии и общественного здоровья». – 10 с.
16. О безопасности пищевой продукции : ТР ТС 021/2011 : утв. 9.12. 2011 : вступ. в силу 15.12.2011 / Евраз. эконом. комис. – Москва – Минск, 2011. – 292 с.
17. Бондарь, Ю. И. Научно-исследовательская деятельность Полесского государственного радиационно-экологического заповедника / Ю. И. Бондарь, П. М. Кудан // Экосистемы и радиация: аспекты существования и развития : сб. науч. тр., посвящ. 25-летию Полесского гос. радиационно-экологического заповедника / М-во по чрезвычай. сит. Респ. Беларусь, Деп. по ликвидации последствий катастрофы на Чернобыльской АЭС, Полес. гос. радиационно-экологический заповедник ; под общ. ред. Ю. И. Бондаря. – Минск : Институт радиологии, 2013. – С. 3–18.

Поступила 21 сентября 2023 г.

МЕЛИОРАТИВНОЕ СОСТОЯНИЕ ОРОШАЕМЫХ ЗАСОЛЕННЫХ ПОЧВ НА ОПЫТНОМ УЧАСТКЕ МУГАНСКОЙ СТЕПИ

М. Г. Мустафаев, доктор аграрных наук

А. М. Манафова, PhD по аграрным наукам

*Институт почвоведения и агрохимии Министерства науки и образования
Азербайджанской Республики, г. Баку, Азербайджан*

Аннотация

Статья информирует о засоленных почвах орошаемых земель Муганской степи и о причинах засоления. Результаты исследований показывают, что на данной территории в местах неудовлетворительного состояния коллекторно-дренажных и оросительных сетей выявлен повышенный уровень минерализации грунтовых вод и засоленности почв. Там, где коллекторно-дренажные и оросительные системы работают эффективно, эти показатели снизились на 10–15 %. Предложены комплексные мелиоративные мероприятия по улучшению состояния земель указанного региона.

Ключевые слова: засоление, минерализация грунтовых вод, физические глины, удельный вес, объемная масса.

Abstract

M. G. Mustafaeu, A. M. Manafova

RECLAMATION STATUS OF IRRIGATED SALINE SOILS AT THE EXPERIMENTAL SITE ON THE MUGAN STEPPE

The article informs about saline soils of irrigated lands of the Mugan steppe and the causes of its salinization. The research results show that in this area, in places where the condition of collector-drainage and irrigation networks is unsatisfactory, an increased level of groundwater mineralization and soil salinity has been identified. Where collector-drainage and irrigation systems operate efficiently, these indicators have decreased by 10–15 %. Comprehensive reclamation measures have been proposed to improve the condition of the lands in this region.

Keywords: salinization, mineralization of groundwater, phic clays, specific gravity, volumetric weight.

Введение

На территории Муганской степи распространены в основном лугово-сероземные и сероземно-луговые почвы и под влиянием разной интенсивности увлажнения в аллювиальном ряду луговых почв формируются луговые светлые, луговые темные, лугово-болотные и болотные типы. Сероземные почвы, имея небольшой запас гумуса и питательных элементов, по своему потенциальному плодородию уступают другим типам полупустынной зоны. Величина рН здесь изменяется от 7,4 до 8,3. По гранулометрическому составу профиль описываемых почв хорошо дифференцирован тяжело-глинистыми и глинистыми типами [1, 2].

Значительный вклад в обобщение результатов исследований, проведенных в Кура-Араксинской низменности, был внесен В. Р. Волобуевым, который составил карты засоления и

солевого состава почв на указанной территории, а также почвенно-геохимические карты, отражающие содержание в почвах отдельных компонентов солевого состава [3]. Проводились также дополнительные исследования, результатом которых стали более детальные карты, где представлены отдельные части низменности. О влиянии орошения на процессы засоления и рассоления почв писали различные ученые [1–4]. Как известно, в орошаемом земледелии засоление почв, особенно в условиях плохой дренированности, обусловлено не столько орошением как таковым, сколько наличием солей в почвогрунтах до орошения, а орошение же преимущественно перераспределяет запасы солей, уже имевшихся в почвах [4, 5].

Влияние орошения на изменение свойств и плодородия почв проявляется в зависимости

от исходных почвенных и гидрогеологических условий орошаемых территорий, качества поливных вод, инженерного уровня и состояния оросительных систем, общей культуры орошаемого земледелия.

Засоленность орошаемых земель Муганской степи актуализирует необходимость проведения комплексных мелиоративных работ. Наблюдения за солевым режимом орошаемых земель показывают, что при наличии

уплотненного водонепроницаемого горизонта на глубине 30–50 см сильное засоление почвы связано с превышением оросительных норм, что приводит к перемещению солей из нижних слоев и усиленному засолению верхних горизонтов почвы [1, 3]. Анализ уровня грунтовых вод показывает, что можно достичь устойчивого опреснения почвогрунтов и систематического снижения уровня грунтовых вод [6].

Объекты и методы исследований

Исследования проводилась на опытном участке мелиорируемых земель в Муганской степи. Водная вытяжка почв, взятые пробы оросительных, грунтовых и дренажных вод определялись по общепринятой методике Е. В. Аринушкиной [7]; объемная масса почвы – по методу К. А. Качинского [8, с. 60–79];

удельная масса – по методу С. И. Долгова; гранулометрический состав – по методу пипетки с обработкой 1,0%-го раствора NaCl, а также в соответствии с ареометрическим методом по ГОСТу 12536-2014 и ISO 11277-2009; pH – потенциометрическим способом.

Результаты исследований и их обсуждение

Неудовлетворительная работа коллекторно-дренажной системы и высокая минерализация грунтовых вод актуализируют проведение на дренажной системе мероприятий, направленных на снижение минерализации грунтовых вод. Многие из них хорошо известны, но по разным причинам не осуществляются или проводятся в недостаточных объемах; практически все сооружения оросительной сети требуют ремонта или переустройства. Комплексы этих мероприятий должны быть строго дифференцированы с учетом конкретных почвенно-мелиоративных и общих экологических условий. К важным мерам по ослаблению негативных последствий засоления можно отнести совершенствование дренажа на действующих оросительных системах, устройство современных дренажных систем на территориях «нового» орошения [6, 9].

Засоленные почвы различают по составу солей и по степени засоления: хлоридно-сульфатные, сульфатно-хлоридные и хлоридные. Перераспределение легкорастворимых солей по почвенному профилю зависит от начальных запасов солей, минерализации поливной воды, глубины залегания и минерализации грунтовых вод. В связи с высоким уровнем грунтовых вод на исследуемом участке и их существенной минерализацией повсеместно наблюдается вторичное засоление орошаемых

земель, обусловленное превышением расхода грунтовых вод во время испарения [5, 10, 11].

В результате наших исследований выявлена связь между минерализацией грунтовых вод и засолением почв на изучаемой территории. Они характеризуются значительной пестротой, соответствующей характеру исходного засоления почвогрунтов, дренированности, рельефа местности, динамики уровня грунтовых вод. Во время исследования на этой территории было заложено около 12 разрезов глубиной 2,0 м. Результаты исследования представлены в таблице.

Выявлено, что в 2021 г. на незасоленных почвах в слое 0–200 см количество солей менялось в пределах 0,229–0,246 %, а минерализация грунтовых вод составляла 2,68–4,55 г/л; на слабозасоленных почвах – 0,275–0,486 % и 3,31–4,95 г/л соответственно; на средnezасоленных почвах – от 0,586–0,891 % и 4,68–5,64 г/л.

На незасоленных почвах количество физической глины в указанном году менялось в пределах 46,51–54,25 %; удельной массы – 2,51–2,56 г/см³; объемной массы – 1,21–1,36 г/см³; pH – 7,3–7,5; на слабозасоленных почвах 53,22–57,77 % и 2,5–32,68 г/см³ соответственно, 1,29–1,47 г/см³ и 7,5–7,9; на средnezасоленных землях – 55,15–60,68 % и 2,55–2,70 г/см³, 1,38–1,50 г/см и 7,7–8,1 соответственно.

Таблица. Изменение ряда показателей почвы на опытном участке в 2021–2022 гг.

Градации засоления	Количество солей, %	Минерализация грунтовых вод, г/л	Физическая глина, %	Удельная масса, г/см ³	Объемная масса, г/см ³	Порозность, %	Полная влагоемкость, %	pH
Незасоленные почвы	0,229–0,246 0,220–0,236	2,68–4,55 2,48–4,15	46,51–54,25 44,31–53,15	2,51–2,56 2,50–2,53	1,21–1,36 1,20–1,26	424–4 40–42	26–28 24–21	7,3–7,5 7,2–7,4
Слабозасоленные почвы	0,275–0,486 0,262–0,473	3,31–4,95 3,30–4,57	53,22–57,77 51,12–56,38	2,53–2,68 2,51–2,61	1,29–1,47 1,25–1,44	40–42 39–40	28–30 26–28	7,5–7,9 7,5–7,7
Среднезасоленные почвы	0,586–0,891 0,566–0,863	4,43–5,27 4,68–5,64	55,15–58,68 52,15–58,12	2,55–2,70 2,52–2,68	1,38–1,50 1,29–1,50	42–46 41–44	32–34 29–31	7,7–8,1 7,7–7,9

Также данные свидетельствуют, что на этой территории порозность меняется в пределах 42–46 %, а полная влагоемкость почвы – от 26 до 34 %.

В 2022 г. на незасоленных почвах в слое 0–200 см количество солей менялось в пределах 0,220–0,236 %, а минерализация грунтовых вод составляла 2,48–4,15 г/л; на слабозасоленных почвах – 0,262–0,473 %, и 3,30–4,57 г/л соответственно; на средnezасоленных землях – от 0,566–0,863 % и 4,43–5,27 г/л.

Выводы

В зависимости от степени засоленности почв Муганской степи изменение их физико-химических свойств происходит следующим образом: на слабозасоленных почвах удельная масса составляет 2,51–2,62 г/см³, объемная – 1,22–1,36 г/см³, физическая глина (< 0,01 мм) – 35,12–50,18 %, порозность – 47–50 %, полная полевая влагоемкость – 33–41 %, pH – 7,5–7,7, гумус – 2,35–0,60 %, сумма поглощенных оснований – 22,15–30,35 мг-экв., величина Na – 5,69–6,63 % от суммы поглощенных оснований.

На средnezасоленных почвах эти показатели изменились соответственно: 2,65–2,72 г/см³, 1,39–1,52 г/см³, 50,83–58,24 %, 44–48 %, 27–31 %, 7,6–7,8, 2,09–0,50 %, 21,45–25,33 мг-экв и 7,19–8,1 %.

Установлено, что на опытном участке Муганской степи уровень залегания грунтовых

вод меняется в пределах 2,0–3,0 м, а минерализация грунтовых вод составляет 3,0–4,6 г/л.

На незасоленных почвах количество физической глины менялось в пределах 44,31–53,15 %, удельной массы – 2,50–2,53 г/см³; объемной массы – 1,20–1,26 г/см³; pH – 7,2–7,4; на слабозасоленных почвах – 51,12–56,38 %, 2,51–2,61 г/см³, 1,25–1,44 г/см³ и 7,5–7,7 соответственно; на средnezасоленных землях – 52,15–58,12 %, 2,52–2,68 г/см³, 1,29–1,50 г/см³ и 7,7–7,9 соответственно.

На этой территории порозность меняется в пределах 41–44 %, а полная влагоемкость почвы – от 24 до 31 %.

вод меняется в пределах 2,0–3,0 м, а минерализация грунтовых вод составляет 3,0–4,6 г/л.

Вышеуказанные причины по-разному влияют на урожайность, особенно сильно сказываются они на продуктивности орошаемых земель.

Анализ изменений в процессах засоления почв и минерализации грунтовых вод Муганской степи актуализирует проведение комплексных мероприятий для улучшения мелиоративного состояния земель указанного региона. Необходимо пересмотреть концепцию развития сельского хозяйства области в части использования орошаемых земель, выделить целевые средства на реконструкцию и эксплуатацию мелиоративных и оросительных систем.

Библиографический список

1. Азизов, К. З. Водно-солевой баланс мелиорируемых почвогрунтов Кура-Араксинской низменности и научный анализ его результатов / К. З. Азизов. – Баку : Элм, 2006. – 260 с.
2. Морфогенетические профили почв Азербайджана / М. Э. Салаев [и др.]. – Баку : Элм, 2004. – 204 с.

3. Волобуев, В. Р. Генетические формы засоления почв Кура-Араксинской низменности / В. Р. Волобуев. – Баку : ИАН Азербайджанской ССР, 1965. – 246 с.
4. Костяков, А. Н. Основы мелиорации / А. Н. Костяков. – Москва : Сельхозгиз, 1960. – 633 с.
5. 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, 2010. – Т. XI. – С. 31–38.
6. Мустафаев, М. Г. Роль мелиорации почв Мугано-Сальянского массива / М. Г. Мустафаев // Мелиорация и водное хозяйство XXI века. Наука и образование : материалы Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 90-летию мелиоративно-строительного факультета, Горки, 4–6 июня 2009 г. / Белорус. гос. с.-х. академия. – Горки, 2009. – С. 41–45.
7. Аринушкина, Е. В. Руководство по химическому анализу почв / Е. В. Аринушкина. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва : МГУ, 1970. – 488 с.
8. Качинский, Н. А. Физика почв / Н. А. Качинский. – Москва : Высшая школа, 1965. – 324 с.
9. Mustafayev, M. G. Influence of soil-climatic conditions of Mugan-Salyan massif on agricultural production / M. G. Mustafayev // Annals of Agrarian Science. – 2008. – Vol. 6. – № 3. – P. 44–47.
10. Мустафаев, М. Г. Эффективность проводимых мелиоративных мероприятий и их оценка / М. Г. Мустафаев // Экологическое состояние природной среды и научно-практические аспекты современных мелиоративных технологий : сб. науч. тр. / Мещерский филиал ВНИИГиМ; под общ. ред. Ю. А. Мажайского. – Рязань : РАГУ, 2012. – Вып. 5. – С. 187–190.
11. Mustafayev, M. G. Change of the salt's quantity and type in the irrigated soils of the Mughan Plain and their impact on plants productivity / M. G. Mustafayev // Intern. Journ. of Food Science and Agriculture. – 2020. – № 4 (2). – P. 101–108. <http://dx.doi.org/10.26855/ijfsa.2020.06.001>

Поступила 23 октября 2023 г.

МЕРЫ ПО РАЦИОНАЛЬНОМУ ИСПОЛЬЗОВАНИЮ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ В ЗОНАХ ОРОШЕНИЯ АЗЕРБАЙДЖАНА В УСЛОВИЯХ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА

М. А. Рзаев, доктор аграрных наук

Научно-исследовательский институт мелиорации,
г. Баку, Азербайджан

Аннотация

Анализируются данные о состоянии водных ресурсов Азербайджана; обосновываются комплексные меры по повышению эффективности использования воды при орошении как действенный ответ на вызовы, связанные с изменением климата и сокращения водных ресурсов. Предлагается переустройство ирригационно-мелиоративных систем с применением новых технологий орошения, а также улучшение управления ими для предотвращения непроизводительных потерь воды и создания условий для получения устойчивых урожаев сельскохозяйственных культур.

Ключевые слова: водные ресурсы, орошение, потери воды, переустройство, учет воды, современные технологии поливов, управление орошением.

Abstract

M. A. Rzayev

MEASURES FOR THE RATIONAL USE OF WATER RESOURCES IN IRRIGATION ZONES IN AZERBAIJAN UNDER CLIMATE CHANGE

Data of Azerbaijan's water resources have been analyzed; comprehensive measures have been grounded to increase the efficiency of water use in irrigation as an effective response to the challenges associated with climate change in the context of declining water resources. It has been proposed to reconstruct irrigation and reclamation systems using new irrigation technologies, as well as to improve their management to prevent unproductive water losses and to create conditions for receiving sustainable crop yields.

Keywords: water resources, irrigation, water losses, reconstruction, water accounting, modern irrigation technologies, irrigation management.

Введение

В советский период в Азербайджане была создана водохозяйственная, ирригационно-мелиоративная инфраструктура, которая развивалась для увеличения объемов сельскохозяйственной продукции на орошаемых землях; большинство оросительных сетей представляли собой систему земляных каналов, где применялись традиционные методы орошения.

В начале 1990-х гг., после перехода к рыночной экономике, из-за нехватки инвестиций, компетентных специалистов, раздробления полей, переданных в пользование крестьянам, в стране стало уделяться основное внимание сохранению эксплуатационных способностей сложившейся инфраструктуры, поэтому технологическая отсталость остается до сих пор большой проблемой, и она обусловила возникновение непроизводительных потерь при водоподаче и слабое управление поливами [1].

После перехода к мелкоземельному хозяйствованию внутрихозяйственные системы потеряли техническую целостность, что привело к увеличению густоты распределительных каналов, межполевых дорог и, соответственно, к потере воды при поливах. С другой стороны, из-за изменения климата водные ресурсы нашей страны за последние 30 лет сократились вследствие уменьшения притока из трансграничных рек и стока внутренних рек (до 15 %) [2, 3].

После 2015 г. в целях обеспечения продовольственной безопасности страны, модернизации сельскохозяйственного производства и рационального использования водных и земельных ресурсов особое внимание стало уделяться созданию современных ферм с большими земельными участками (агропарками), поэтому потребность в оросительной воде возросла [4]. Острая нехватка воды, особенно после 2020 г., вызвала многочисленные

жалобы фермеров в связи с потерями урожая из-за нарушения графиков орошения, что побудило правительство принять срочные меры по улучшению управления водными ресурсами. Была создана Государственная комиссия, в состав которой вошли все министерства и ведомства, занятые в системе как планирования, так и управления водохозяйственными объектами. Комиссия провела глубокий анализ ситуации и выработала меры по улучшению работы водного сектора: принят краткосрочный

план мероприятий по реализации неотложных мер в водном хозяйстве, модернизации ирригационно-мелиоративной инфраструктуры, отдельных объектов; определены организационно-институциональные процедуры по смягчению последствий, связанных с изменением климата, совершенствованию системы управления, способной противостоять названным вызовам, рациональному использованию и экологической охране ограниченных водных ресурсов в зоне орошения.

Материалы и методы исследования

Основу исследований составляют: анализ состояния водопользования; статистические базы данных по водному сектору; отчеты обслуживающих организаций; материалы, полученные в результате исследований; научная литература, в том числе международные до-

стоверные источники. Комплексный подход к решению насущных проблем означает учет всех возможных взаимосвязанных факторов, позволяющий сделать адекватные стратегические выводы.

Результаты исследований и их обсуждение

Почти 90 % сельхозпродукции Азербайджана производится на орошаемых землях, поэтому орошение – основной фактор ведения сельскохозяйственного производства в стране. Вследствие близкого залегания высокоминерализованных грунтовых вод орошение проводится на фоне дренажа и контроля водно-солевого режима корнеобитаемого слоя почвы.

Статистические данные метеорологических служб за 20 последних лет показывают, что, хотя все чаще повторяются периоды с небольшим количеством осадков, в то же время они выпадают с краткосрочной интенсивностью. В 2021 г. расход воды, поступающей из Куры, основной реки Азербайджана, по срав-

нению с многолетней нормой 575 м³/сек. составил всего 245 м³/сек. [5].

Водные ресурсы страны оцениваются как недостаточные. Азербайджан расположен в низовьях трансграничных и пограничных рек, поэтому очень нуждается в их потоках. В то же время у стран, расположенных в верховьях рек Кура и Аракс, возросла потребность в воде, так как из-за климатических изменений водные стоки этих рек уменьшились. Зонами особого внимания в этом регионе Азербайджана являются Апшеронский полуостров и Кура-Араксинская низменность [6, с. 87–89]. В табл. 1 представлена структура использования водных ресурсов в стране [7].

Таблица 1. Структура водопользования в Азербайджанской Республике (1990–2021 гг.)

Показатели	1990	2000	2010	2015	2020	2021
1. Вода, взятая из природных источников	16 176	11 110	11 566	12 285	12 961	13 743
2. На душу населения, м ³ /чел	2293	1397	1295	1289	1300	1372
3. Потребление воды (всего), млрд м ³ :	12,477	6,588	7,715	8,567	9,693	10,526
в том числе на хозяйств.-питьевые цели, млрд м ³	0,402	0,449	0,405	0,323	0,319	0,321
на производственные нужды, млрд м ³	3,418	2,316	1,742	2,117	2,073	2,566
орошение и сельское хозяйство, млрд м ³	8,627	3,819	5,497	6,057	7,252	7,575
4. Потеря при транспортировки, млрд м ³	4,206	3,053	3,851	3,718	3,268	3,217
5. Сброс сточных вод, млрд м ³	5,026	4,106	6,037	5,575	4,759	5,237
6. Площадь орошаемых земель, млн га	1,4228	1,4260	1,4246	1,4345	1,4802	1,4849
7. Расход воды на гектар, м ³	6063	2678	3858	4222	4899	5101

Сейчас можно увидеть тенденцию к увеличению забора воды из природных источников. Но в связи с ростом населения до 10 156,4 млн человек (в 1990 г. в Азербайджане было 7131,9 млн) количество воды, потребляемой на душу населения, снизилось с 2293 до 1372 м³. Также теряются большие объемы оросительной воды вследствие того, что каналы находятся преимущественно в земляном русле, а также из-за неисправности или отсутствия водораспределительного, водоизмерительного оборудования на оросительных системах (в особенности на внутрихозяйственных системах), частых перебоев с энергоснабжением, отрицательно влияющих на работу насосных агрегатов и водоподачу по каналам. Однако с 2020 г. наблюдается постепенная минимизация этих потерь в силу принимаемых мер, связанных с улучшением контроля водочета и водопользования.

Водопотребление в сельском хозяйстве республики в целом имеет тенденцию к увеличению, хотя по сравнению с 2010 г. площадь орошаемых земель увеличилась всего на 4,1 %, а потребление оросительной воды – на 38 % вследствие большой потери воды из-за устаревших распределительных внутрихозяйственных сетей, отсутствия надлежащей гидротехнической инфраструктуры, увеличения площадей посевов хлопчатника в засушливых районах, для которых характерны высокие нормы водопотребления. Если в 2010 г. площадь посевов данной культуры была 30 175 га, то в 2020-х гг. она достигла 100 295 га, поэтому расход воды на каждый орошаемый гектар увеличился с 3858 до 5101 м³ [8].

Расчеты показывают, что в районах, располагающихся в нижнем течении Куры, орошаемая площадь которых 248 тыс. га, потребность воды с апреля по сентябрь 2022 г. составила 2,1 млрд м³, из которой 1731 млн м³ использовались на орошение (на каждый гектар – 6980 м³), что свидетельствует о больших потерях воды при орошении [9].

По сравнению с 1990 г. объем сбросных сточных вод в 2021 г. увеличился на 4,2 %, причем вторично они не используются.

Около восьми лет назад правительство взяло курс на развитие и модернизацию сельского хозяйства, так как почти половина населения республики живет в сельской местно-

сти и сельхозпродукция является основным источником его дохода. Наряду с существующим мелким хозяйствованием организуются агропарки, где применяются более современные технологии поливов и выращивания. В результате ввода в сельскохозяйственный оборот новых земель увеличивается потребность в оросительной воде: площадь агропарков охватывает 240 тыс. га; из 80 тыс. га орошаемых земель в 43 агропарках 40 тыс. га орошаются дождеванием с применением машин кругового действия, 7 тыс. га – капельным, 2 тыс. га – спринклерным орошением и 31 тыс. га – традиционными способами (поливы по бороздам и полосам).

Наблюдаемые в последние годы климатические изменения в связи с повышением средней температуры воздуха привели в регионе к значительному сокращению водных потоков, прибывающих в основном из соседних стран. К примеру, если в 2016 г. среднегодовой расход воды, которая поступала в Мингечевирское водохранилище из Куры, составлял 344 м³/сек., то в 2020 г. он снизился до 192 м³/сек., и этот негативный процесс продолжается [5].

В 2020 г. Водная комиссия, созданная правительством Азербайджанской Республики, приняла неотложные меры по обеспечению водной безопасности. Так, рациональное использование водных ресурсов предусматривает деятельность по следующим направлениям:

- 1) оценка, защита и рациональное использование водных ресурсов;
- 2) электронизация водного хозяйства, совершенствование учета его данных и соответствующее информационное обеспечение;
- 3) обеспечение эффективного и экономного использования воды на орошение, аккумуляция водных ресурсов;
- 4) улучшение системы питьевого водоснабжения;
- 5) повышение эффективности водных инфраструктурных проектов;
- 6) информирование потребителей о принимаемых мерах в указанных направлениях;
- 7) улучшение мелиоративного состояния земель, борьба с деградацией и опустыниванием.

Меры по оценке водных ресурсов включают: создание информационной системы

«Электронное водное хозяйство»; установку современных измерительных приборов, учитывающих и контролирующих водные ресурсы; оценку технической безопасности основных гидроузлов; применение альтернативных водных источников (очищенных от отходов, коллекторно-дренажных вод, вод Каспийского моря, естественных водоемов и т. д.); совершенствование контроля при бурении и эксплуатации субартезианских и артезианских скважин. Специальные неотложные меры приняты по устранению бесконтрольного использования воды и объектов водного хозяйства, инвентаризации и улучшению качества водоучета. Предусмотрены как строительство 10 новых водохранилищ на внутренних горных реках, так и модернизация магистральных каналов и гидроузлов. В рамках деятельности Водной комиссии разработаны новые принципы и правила платного водопользования водных ресурсов, проект национальной стратегии по эффективному использованию последних, предложения по сотрудничеству в области охраны и устойчивого использования водных ресурсов в бассейне р. Куры совместно с Грузией.

С учетом использования сельским хозяйством 90 % общего объема воды расширяется применение современных технологий в орошении: увеличились площади с капельным орошением, дождеванием и другими водосберегающими способами поливов (если сейчас их 6,5 %, то к 2040 г. планируется орошать до 30 % площадей); актуализирован новый механизм льготного использования фермерами оросительной воды; структура посевов определяется за три месяца до начала вегетационного периода; графики орошения растений, необходимых для полива и обеспечения водой, составляются с учетом фаз развития.

Благодаря принятым мерам по планомерному, согласованному и оптимальному использованию водных ресурсов в части питьевого водоснабжения, орошения, энергетики в основных водохранилищах по состоянию

на 1 января 2023 г. объем воды составил 12,5 млрд м³, что на 2,3 млрд м³ больше, чем в 2020 г. [10]. Проводится также оценка последствий климатических изменений (засухи, паводков, качества воды и др.), разрабатываются водохозяйственные планы для засушливых зон Кура-Араксинской низменности, где потребность в питьевой воде обеспечивается за счет Куры; обсуждаются предложения по обеспечению населенных пунктов водой за счет альтернативных источников; регулярно отслеживается в режиме мониторинга функционирование модульных очистных сооружений, установленных в регионах.

Чрезвычайные меры приняты в районе нижнего течения Куры. В 2020 г., в связи с резким снижением стока в устье, в русло реки опять стала поступать морская вода, из-за чего в этом регионе возникли проблемы с питьевым водоснабжением и ирригацией. Для решения проблемы в устье были построены земельная дамба, чтобы предотвратить попадание морской воды в русло, а выше по течению Куры – новые трубопроводы, чтобы питьевая вода была доступна людям в пострадавших населенных пунктах.

В целях борьбы с деградацией почв (засолением, эрозией, заболачиванием и др.) участки орошаемых земель картографируются, чтобы выявить зоны риска, чувствительные к изменению климата и имеющие признаки опустынивания; запланировано как строительство мелиоративных и ирригационных систем, так и установление льгот, субсидирование посадок адаптируемых видов растений; усилен контроль за промывкой засоленных почв и землепользованием.

Население информируется о работе, связанной с рациональным использованием водных ресурсов; в образовательных учреждениях обсуждается правильное управление водными ресурсами; потребители обучаются экономному и эффективному использованию воды и соблюдению графиков поливов.

коустойчивых урожаев. Однако качественное управление орошением требует бесперебойного водоснабжения, наращивания внутренних водных ресурсов, недопущения потерь

Выводы

Основные задачи орошения в Азербайджанской Республике – бесперебойное и своевременное обеспечение сельскохозяйственных угодий водой для получения высо-

оросительной воды на фоне широкого применения современных инженерных решений по всей технологической цепочке орошения, надежного электроснабжения, повсеместной установки водомерных счетчиков, включительно до уровня фермерских хозяйств, создания точной системы учета водопотребления в орошении.

В этой связи целесообразно увеличивать целевые инвестиции для модернизации объектов, применять насосные станции, усовершенствовать подготовку высококвалифицированных кадров, обладающих компетенциями в сфере применения актуальных цифровых технологий в водохозяйственном секторе.

Библиографический список

1. Əhmədzaadə, Ə. C. Ensiklopediya. Meliorasiya və Su təsərrüfatı / Ə. C. Əhmədzaadə, A. C. Nəsimov ; el. red.: Ə. Ə. Verdiyev, C. M. İsmayilov. – Bakı : Radius, 2016. – 632 s.
2. Иманов, Ф. А. Водные ресурсы и их использование в трансграничном бассейне р. Куры / Ф. А. Иманов. – С.-Петербург : Свое издательство, 2016. – 164 с.
3. Иманов, Ф. А. Оценка влияния антропогенных факторов на годовой сток рек Азербайджана / Ф. А. Иманов, И. С. Алиева // Вод. хоз-во России. – 2019. – № 2. – С. 20–30.
4. Rzayev, M. A. Ağıllı kənd təsərrüfatı və innovasiya siyasətinin əsas istiqamətləri / M. A. Rzayev // Agricultural Economics. – 2020. – № 3 (33). – S. 27–40.
5. Результаты изыскательских работ, проведенных в марте 2022 г., текущее состояние воды в основных реках страны и прогноз ожидаемого стока в весенне-летний период : материалы Секретариата Водной комиссии ; письмо Минэкологии и природных ресурсов в Кабинет министров № 4/905-01-20 от 06.04.2022. – Баку : М-во окруж. среды и природ. ресурсов Азербайдж. Республики, 2022. – 5 с.
6. Изменение климата и безопасность на Южном Кавказе. Региональная оценка [Электронный ресурс] / ОБСЕ, 2016. – Режим доступа: <https://www.osce.org/files/f/documents/9/b/355556.pdf>. – Дата доступа: 12.06.2023.
7. Статистический комитет Азербайджанской Республики [Электронный ресурс] // Водные ресурсы Азербайджана, 2023. – Режим доступа: <https://www.stat.gov.az/source/environment>. – Дата доступа: 12.06.2023.
8. Статистический комитет Азербайджанской Республики [Электронный ресурс] // Сельское хозяйство Азербайджана, 2023. – Режим доступа: <https://www.stat.gov.az/source/agriculture/>. – Дата доступа: 12.06.2023.
9. Меры, связанные с обеспечением эффективного использования водных ресурсов от 15.04.2020 г. : материалы 18-го заседания Секретариата Водной комиссии, протокол № 14. – Баку, 2020. – 12 с.
10. Отчет о проделанной работе по реализации Плана действий за 2020–2022 гг. по обеспечению эффективного использования водных ресурсов [Электронная ссылка] // Официальный сайт Президента Азербайджана. Материалы Секретариата Водной комиссии от 06.03.2023. – Режим доступа: https://presidentaz.translate.goog/az/articles/view/40099?_x_tr_sl=az&_x_tr_tl=ru&_x_tr_hl=ru&_x_tr_pto=sc. – Дата доступа: 21.08.2023.

Поступила 30 октября 2023 г.

ВОДНЫЕ ИСТОЧНИКИ И ЗАПАСЫ ПРЕСНОЙ ВОДЫ АЗЕРБАЙДЖАНА

С. Т. Гасанов¹, доктор технических наук
Ш. В. Гудратзаде², ассистент

¹Научно-исследовательский институт мелиорации

²Азербайджанский университет архитектуры и строительства
г. Баку, Азербайджан

Аннотация

Систематизированы сведения о водных источниках Азербайджана, областях их использования, количестве водных источников и запасах пресной воды в стране. В зависимости от водности года, общий запас подземных и поверхностных пресных вод составляет 11,1 млрд м³ в экстремально засушливые годы и 46,3 млрд м³ во влажные периоды, а средний многолетний запас – 36,68 млрд м³. За последние годы из-за глобальных изменений климата водные ресурсы постепенно сокращаются, поэтому существует серьезная потребность в создании дополнительных водных запасов, а существующие водные ресурсы необходимо использовать более рационально и экономно.

Ключевые слова: водные источники, запас, ресурс, пресная вода, маловодие, изменение климата.

Abstract

S. T. Hasanov, S. V. Gudratzade

WATER SOURCES AND FRESH WATER RESERVES OF AZERBAIJAN

Information about water sources in Azerbaijan, areas of their use, the number of water sources and fresh water reserves is systematized. However, despite this, fresh water resources in the country are very limited. Depending on the water content of the year, the total reserve of groundwater and surface fresh water is 11.1 billion m³ in extremely dry years and 46.3 billion m³ in wet years, and the average long-term reserve is 36.68 billion m³. In recent years, due to global climate change, water resources have been gradually declining. Therefore, there is a serious need to create additional water reserves, and existing water resources need to be used more efficiently and economically.

Keywords: water sources, reserve, resource, fresh water, low water, climate change.

Введение

В результате изменения климата дефицит воды в Азербайджане стал серьезной проблемой: необходимо удовлетворить потребность населения и сельского хозяйства в воде, планировать сельскохозяйственные работы, эффективно и экономно использовать имеющиеся водные ресурсы. Анализ состояния водных ресурсов и запасов, их классификация, охрана, эффективное использование, создание новых запасов – все эти задачи имеют важное значение с точки зрения разработки профилактических и предварительных мероприятий по развитию экономики страны.

Водные источники, существующие на определенной природно-географической территории, можно разделить на две части – естественные и искусственные. К естественным источникам относятся реки, озера, моря, океаны, родники, гейзеры, артезианские бассей-

ны и т. д. Естественные источники распределены на Земле таким образом, что необходимы длительные и всесторонние научные исследования для понимания истинной сущности и смысла этого расположения. Вмешательство в естественные водные источники должно осуществляться исключительно на основе серьезных научных обоснований.

К искусственным источникам воды относятся водоемы, пруды, каналы, резервуары, бассейны, коллекторы, дренажи, кяризы, артезианские и субартезианские скважины и т. д.

Все проточные и непроточные водные источники по форме и размерам делятся на три группы: 1) плоские; 2) линейные; 3) точечные [1]. К плоским источникам воды относятся озера, моря, океаны, водохранилища и артезианские бассейны, к линейным – реки, судоходные и оросительные каналы, водоносные

горизонты, коллекторы и дрены; к точечным – бассейны, резервуары, родники, артезианские и субартезианские скважины.

В целом водные источники используются для различных целей, в том числе для сброса и приема сточных вод (канализационных, коллекторно-дренажных и т. п.), в сельском хозяйстве (орошении), водоснабжении (хозяйственно-питьевое), лесном хозяйстве, промышленности, строительстве и энергетике, транспорте (морском и грузовом), курортно-оздоровительном комплексе (туризме, отдыхе и спорте), рыболовном и охотничьем промысле, противопожарной защите, в военно-стратегических

целях. Поэтому так важны серьезные подходы к использованию водных источников Азербайджана и их охране, разработке специальных охранных норм и стандартов.

Все естественные или искусственные водные источники, независимо от их формы и размеров, конструкции и назначения, должны быть защищены от загрязнения (тяжелыми металлами, радиоактивными веществами, токсичными и различными химическими соединениями), заиливания и размыва, разливов и истощения. К вопросу охраны природных водных ресурсов относятся также охрана и восстановление их экологического баланса.

Результаты исследований и их обсуждение

В экономике Азербайджана одно из ведущих мест после нефтяного сектора занимает агропромышленный комплекс, причем в обеспечении его развития исключительную роль играют реки, а среди искусственных источников – водохранилища. Часть речной воды и атмосферных осадков аккумулируются в водохранилищах, поэтому водохранилища по своему стратегическому и экономическому значению занимают особое место среди искусственных источников воды. Поскольку водохранилища строятся в руслах рек и вне русла, их разделяют на два типа – русловые и внерусловые (наливные).

В целом водохранилища используются для комплексных целей, и в их функции входят следующие: 1) регулирование речного стока; 2) производство электроэнергии; 3) обеспечение оросительной водой сельских и лесных хозяйств; 4) снабжение пресной водой промышленности, городов, поселков и других населенных пунктов, пастбищ и фермерских хозяйств; 5) развитие рыболовства; 6) обеспечение судоходства и грузоперевозок; 7) развитие водного спорта и туризма; 8) расширение оздоровительных, санаторно-курортных и рекреационных зон и создание новых; 9) развитие охотничьего хозяйства и т. п.

Реки. Общее количество рек, протекающих по территории Азербайджанской Республики, составляет 8359. По географическому расположению и характеристикам они разделены на четыре группы [2–4]:

1) реки бассейна р. Куры включают в себя правые и левые притоки Куры, а также реки бассейна р. Аракс;

2) северо-восточные реки Большого Кавказа;

3) реки Талышских гор;

4) реки Апшерон-Гобустанского р-на.

В бассейн р. Аракс входят реки, протекающие по Нахичеванской автономной республике и территории Азербайджана до места впадения Аракса в р. Куру. Общее количество больших и малых рек в Нахичеванской республике достигает 400. Все реки, протекающие по территории страны, впадают в Каспийское море, поэтому все они делятся на три группы [2]:

1) реки, относящиеся к бассейну р. Куры (ее правый и левый рукава);

2) реки, относящиеся к бассейну р. Аракс (ее притоки);

3) реки, впадающие непосредственно в Каспийское море.

Из 8359 рек 8188 рек имеют длину менее 25 км; 107 рек – 26–50 км; 40 рек – 51–100 км; 22 реки – 101–500 км; 2 реки – более 500 км. Длину менее 10 км имеют 7900 рек; большинство из них пересыхает в летние месяцы. Длина 24 рек составляет более 100 км; они функционируют непрерывно в течение всего года.

По расчетам специалистов, общие среднегодовые ресурсы речных вод составляют 1024 м³/сек, среднегодовые запасы – 32,3 млрд м³ [5]. Примерно 70 % (или 22 млрд м³) запасов речных вод формируется на территориях сопредельных стран, а 30 % (или 10,3 млрд м³) – в пределах Азербайджана.

Общий запас речной воды в годы наибольшей влажности составляет 40,9 млрд м³, а в засушливые годы – 5,68 млрд м³ [6].

Переменчивость стока рек, постоянная угроза селей и паводков, а также возможность других вредных воздействий на реки сохраняют проблемы регулирования их стока через водохранилища и управления русловыми процессами с помощью соответствующих гидротехнических сооружений.

Озера. На территории Азербайджана зарегистрировано около 815 озер [7], большинство из них летом пересыхает. Число озер с постоянной водой доходит до 250. Однако их емкость и площадь весьма невысоки. Площадь 7 озер превышает 10 км². Общая площадь всех озер – 250 км². Общая площадь 4 озер, расположенных на Кура-Араксинской низменности, составляет 165 км². Специалисты делят озера на три группы по их расположению и гидрогеологическим характеристикам: 1) озера Кура-Араксинской низменности; 2) озера Апшеронского полуострова; 3) горные озера [7].

На Кура-Араксинской низменности расположены 4 озера, на Апшеронском полуострове их около 150, в горах Малого Кавказа – 20, в горах Большого Кавказа – около 70 небольших горных озер. В республике также есть 25 озер, имеющих важное народнохозяйственное и экономическое значение. Их площадь составляет более 1 км².

Озера отличаются друг от друга по своему происхождению и качеству воды. Большинство озер на Апшероне, Гобустане и в горах Малого Кавказа образовались в результате тектонических процессов [7]. Запасы озерных вод весьма невелики и составляют 0,314 млрд м³; они непригодны для целей водоснабжения и орошения, так как вода в этих озерах соленая [5].

По тем или иным причинам эти озера постепенно утратили свое естественное равновесие, подверглись загрязнению; в них сбрасываются отходы различного происхождения, а кусты, деревья и естественная растительность вокруг них деградировали.

Водохранилища. В Азербайджане построены и введены в эксплуатацию 170 водохранилищ для регулирования речных стоков, ирригации, промышленности, энергетики, туризма, рыболовства, водоснабже-

ния, спорта и др. [5]. Суммарная водоемкость 12 водохранилищ составляет более 19 млрд м³, водоемкость 15 водохранилищ изменяется от 10 до 100 млн м³, водоемкость 35 водохранилищ – 1–10 млн м³, водоемкость 108 водохранилищ – менее 1 млн м³. Объем остальных небольших водохранилищ регулируется ежедневно. Более половины водохранилищ объемом воды более 1 млн м³ и почти большинство водохранилищ объемом менее 1 млн м³ построены вне русла.

Общий объем водохранилищ составляет 20,0–22,5 млрд м³, что играет важную роль в обеспечении устойчивого развития агропромышленного комплекса нашей страны.

Подземные (артезианские) бассейны. В высокогорьях, предгорьях и крутых равнинах единственным источником воды считаются подземные воды, которые концентрируются в артезианских водоносных горизонтах.

По гидрогеологическому районированию территория Азербайджана делится на 11 артезианских бассейнов [8–10]. Пресные и слабоминерализованные подземные воды в республике сложились в трещиноватых материнских породах горных зон, пористых слоях четвертичных отложений предгорий и межгорных впадин. По сравнению с залежами подземных вод, расположенными в трещиноватых породах, запасы подземных вод, расположенных в пористых слоях, изучены довольно детально [8, 9].

Опробованные эксплуатационные запасы пресных (до 1 г/л) и слабоминерализованных (1–3 г/л) подземных вод в артезианских бассейнах Азербайджана составляют 14 131,2 тыс. м³/сут, или 5,16 км³/год.

По расчетам, выполненным в разные годы, прогнозные эксплуатационные запасы подземных вод республики составляют 23 764,28 тыс. м³/сут, или 8,67 км³/год, из них 12 079,40 тыс. м³/сут (или 4,41 км³/год) утверждены Государственной комиссией по водным запасам [5, 9].

В нашей стране имеется достаточно запасов подземных вод, однако они считаются непригодными для использования вследствие высокой степени их минерализации и химического состава.

Коллекторно-дренажная вода. Для регулирования уровня грунтовых вод на орошаемых территориях используются коллекторно-дренажные сети. Их вода сбрасывается через 7 коллекторов в Каспийское море, р. Куру и оз. Аггёль. Крупнейшими из этих коллекторов являются Главный Миль-Муганский и Главный Ширванский. Через первый коллектор сбрасывается в Каспийское море около 3,374 млрд м³ воды, а через второй – 1,387 млрд м³. Общий запас коллекторно-дренажных вод колеблется в пределах 3,7–5,8 млрд м³. Степень минерализации этих вод варьируется от 0,5 г/л до 100 г/л. Запасы коллекторно-дренажных вод с минерализацией до 3 г/л составляют 0,653 млрд м³ [5].

Каспийское море (озеро) является крупнейшим водным источником Азербайджана. Общая площадь Каспийского моря с учетом островов составляет 394 тыс. км², его длина – 1200 км, самая широкая часть – 554 км, длина береговой линии – 6380 км [11]. Длина береговой линии Каспийского моря в Азербайджане составляет около 955 км. Глубина его увеличивается с севера на юг. Его средняя глубина составляет 25 м в северной части, 790 м в средней части и 1025 м в южной части. Средний абсолютный уровень водной поверхности –28 м. На среднем абсолютном уровне

общий запас воды (объем) Каспийского моря составляет 78 трлн м³ (78 тыс. км³) [11]. При изменении уровня Каспийского моря на 2 м его динамический запас составляет 937,5 км³ [12]. Из-за высокой степени минерализации морской воды (13–14 г/л) она непригодна для использования.

Запасы пресной воды Азербайджанской Республики по водоисточникам показаны на рисунке.

Итак, несмотря на наличие большого количества водных источников на территории Азербайджана, запасы пресной воды в стране весьма малы. Общий объем запасов подземных и поверхностных пресных вод, за исключением запасов, имеющих в водохранилищах, колеблется от 11,1 до 46,3 млрд м³ в зависимости от водности года. За последние годы в результате глобальных изменений климата, повышения температуры и уменьшения количества осадков водные ресурсы страны сократились на 35–40 % [4]: ожидается, что к 2050 г. дефицит водных ресурсов в Азербайджане составит 9,5–11,5 млрд м³ в год. Поэтому эффективное и экономное использование существующих водных ресурсов, создание дополнительных запасов пресной воды продолжают оставаться актуальнейшими задачами, стоящими перед водным хозяйством Азербайджана.

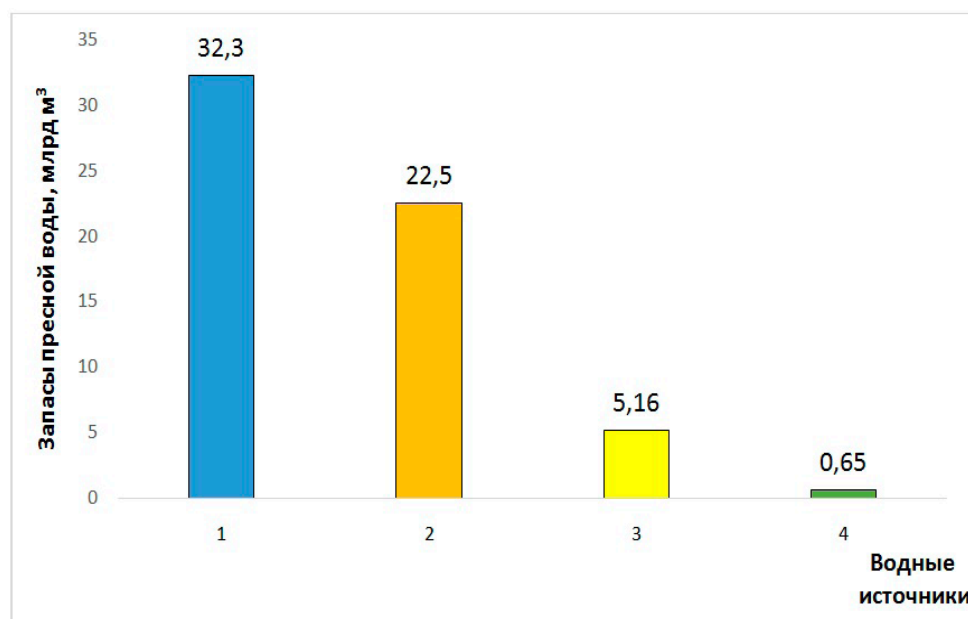


Рисунок. Среднегодовые запасы пресной воды Азербайджана по водоисточникам:
1 – реки; 2 – водохранилища; 3 – артезианские (подземные) бассейны;
4 – коллекторно-дренажные сети

Выводы

1. В Азербайджане имеется много различных источников воды, однако запасы пресной воды в стране весьма невелики. В экстремально засушливые годы общий объем естественных запасов пресной воды страны составляет 11,1 млрд м³; в многоводные – 46,3 млрд м³; средние многолетние запасы – 36,68 млрд м³.

2. Постепенное сокращение водных ресурсов в республике вследствие изменения мирового климата обуславливает необходимость создания дополнительных запасов пресной воды и разработку эффективных мероприятий по более рациональному и экономному их использованию.

Библиографический список

1. Həsənov, S. T. Su mənbələrinin təsnifatı və təyinatı haqqında / S. T. Həsənov, Q. N. Hacımetov, Ş. D. Danyalov // Qloballaşma şəraitində su ehtiyatlarından istifadə və integrasiya olunmuş idarəetmə : III Beynəlxalq konf. material. elmi-praktik konf. – Bakı : Qarağac, 2006. – S. 174–176.
2. Рустамов, С. Г. Водные ресурсы Азербайджанской ССР / С. Г. Рустамов. – Баку : Элм, 1989. – 181 с.
3. Məmmədov, M. A. Azərbaycanın hidroqrafiyası / M. A. Məmmədov. – Bakı : Timemedia, 2012. – 253 s.
4. Засуха. Оценка управления и смягчения эффектов для стран Центральной Азии и Кавказа [Электронный ресурс] : Отчёт Всемирного Банка № 31998-ECA, 11.03.2005. – Режим доступа: <https://documents1.worldbank.org/curated/en/642911468023643404/pdf/319980RUSSIAN01overOp0801481PUBLIC1.pdf>. – Дата доступа: 22.07.2023.
5. Həsənov, S. T. Azərbaycanın su resursları və ehtiyatlar / S. T. Həsənov, Ç. C. Gülməmmədov, V. N. Abbasov // AzHvəM EİB-nin Elmi əsərlər toplusu. – XXXVII cild. – Bakı, 2018. – S. 6–18.
6. Абдуллаев, И. Водные ресурсы Азербайджана: современное состояние и проблемы / И. Абдуллаев // Республика. – 2015. – 15 мая. – С. 13.
7. Ахмадзаде, А. Дж. Кадастр мелиоративных и водохозяйственных систем / А. Дж. Ахмадзаде, А. Дж. Гашимов. – Баку : Азернашр, 2006. – 272 с.
8. Гидрогеология СССР. Азербайджанская ССР / Н. В. Роговская [и др.] ; гл. ред.: акад. А. В. Сидоренко. – Москва : Недра, 1969. – Т. XII. – 408 с.
9. Алиев, Ф. Ш. Режим и баланс подземных вод / Ф. Ш. Алиев. – Баку : Чашиоглу, 1999. – 146 с.
10. Геология Азербайджана. Гидрогеология и инженерная геология / Нац. академия наук Азербайджана ; под ред. А. А. Али-заде. – Баку : Изд. «Нафта-Пресс», 2008. – Т. VIII. – 380 с.
11. Атлас Азербайджанской ССР : учеб.-справ. пособие / ред. кол.: Г. А. Алиев, Ш. Д. Алиев, Ш. К. Димиргаяев. – Москва : ГУГК, 1979. – 40 л.
12. Suvarmada qeyri-ənənəvi sudan istifadə prinsipləri / S. T. Həsənov [et al.]. – Bakı : Memar-Poliqrafiya MMS, 2006. – 99 s.

Поступила 4 декабря 2023 г.

• ЧТОБЫ ПОМНИЛИ •



ДМИТРИЙ АВРАМОВИЧ ЗАБЕЛЛО (к 120-летию)

Дмитрий Аврамович Забелло родился 7 ноября 1903 г. в д. Вороново Кричевского р-на Могилевской обл. В 1928 г. окончил агрономический факультет Белорусской сельскохозяйственной академии и получил специальность агронома-организатора.

В течение 1923–1928 гг. работал инструктором сельскохозяйственной кооперации Полоцкого окружного сельскохозяйственного союза, в 1929–1935 гг. – младшим и старшим научным сотрудником Турской сельскохозяйственной опытной станции Гомельской обл., в 1935–1941 гг. – старшим научным сотрудником Института биологии АН БССР.

Участник Великой Отечественной войны (1941–1945).

В 1945–1962 гг. работал старшим научным сотрудником, заведующим отделом, заместителем директора по научной работе Института социалистического сельского хозяйства (Минск). Затем трудился до 1976 г. в БелНИИ мелиорации и водного хозяйства в качестве старшего научного сотрудника, заведующего отделом луговодства.

В 1947 г. Д. А. Забелло защитил диссертацию на соискание ученой степени кандидата сельскохозяйственных наук. В научном наследии ученого – 77 научных публикаций, он автор и соавтор таких работ по вопросам луговодства и кормопроизводства, как «Агротехника многолетних трав в полевых и кормовых севооборотах» (1952), «Кормовые угодья БССР и их улучшение» (1956), «Создание и использование культурных пастбищ» (1958), «Создание и использование долголетних культурных пастбищ» (1961), «Улучшение естественных кормовых угодий и создание культурных пастбищ: рекомендации» (1963), «Методические рекомендации по орошению культурных пастбищ в условиях БССР» (1975).

Дмитрий Аврамович Забелло награжден орденом Отечественной войны II степени (1985), орденом «Знак Почета», 5 медалями СССР и Грамотами Верховного Совета БССР.



АЛИК ПАВЛОВИЧ РУСЕЦКИЙ (к 85-летию)

Алик Павлович Русецкий родился 30 ноября 1938 года в д. Плиса Смолевичского р-на Минской обл. Окончил Белорусскую сельскохозяйственную академию (гидромелиоративный факультет), где получил специальность инженера-гидротехника (1961).

Работал ассистентом, старшим преподавателем, доцентом академии (1961–1971), старшим преподавателем, доцентом Брестского инженерно-строительного института (1971), заведующим лабораторией гидротехнических мелиораций Полесского комплексного отдела БелНИИ мелиорации и водного хозяйства (1971–1975), доцентом, деканом инженерно-строительного факультета Вологодского политехнического института (1975–1977). В 1977 г. получил ученое звание доцента.

В 1977 г. вернулся в Беларусь и снова работал в Полесском комплексном отделе БелНИИМиЛ заведующим лабораторией польдерного осушения. В течение 2003–2012 гг. он ведущий научный сотрудник лаборатории эксплуатации мелиоративных систем Института мелиорации и луговодства НАН Беларуси, в 2012–2015 гг. – заведующий кафедрой ландшафтного проектирования в Полесском государственном университете.

В 1969 г. защитил диссертацию на соискание ученой степени кандидата технических наук по теме «Исследования дальности полета дождевальных импульсных струй», а в 2007 г. – диссертацию на соискание ученой степени доктора технических наук по теме «Конструкции, методы расчета и способы эксплуатации польдерных систем Белорусского Полесья».

Алик Павлович – автор 88 научных публикаций в области гидротехнических мелиораций, в том числе 5 руководств, рекомендаций, пособий (в том числе «Состояние мелиорированных земель и повышение эффективности их использования в хозяйствах Пинского района Брестской области», «Затапливаемые польдеры Белорусского Полесья»).

Аликом Павловичем Русецким разработаны методы расчетов основных элементов польдерных систем, насосных станций, магистральных каналов проводящей и регулирующей сети, дамб ограждения, наливных водоемов, а также конструкции, технико-экономическое обоснование, способы расчета систем, сочетающие самотечный и машинный отводы стока с мелиорированных земель. Новизна исследований подтверждена 8 авторскими свидетельствами на изобретения.

А. П. Русецкий был членом научного совета АН БССР по проблемам Полесья, технических советов Главполесьевогостроя и Союзгипромелиоводхоза. Награжден Почетными грамотами Минводхоза СССР, БелНИИМиВХ, золотой и серебряной медалями ВДНХ СССР.

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 (Н2, Н1) 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.