

ISSN 2070-4828

МЕЛИОРАЦИЯ

Научный журнал

№ 3(93)

Основан в 1951 году
Выходит 4 раза в год

Июль – сентябрь, 2020



Минск, 2020

СВИДЕТЕЛЬСТВО № 411

УЧРЕДИТЕЛЬ ЖУРНАЛА:

Республиканское научное дочернее унитарное предприятие «Институт мелиорации»

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР:

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

РЕДКОЛЛЕГИЯ:

д-р с.-х. наук, проф. **А. С. Мееровский** (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, доцент **В. И. Желязко**

д-р с.-х. наук **П. Ф. Тиво**

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

канд. техн. наук, доцент **Н. К. Вахонин**

канд. техн. наук **Э. Н. Шкутов**

Журнал рецензируется.

Журнал 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:

06.01.02 – мелиорация, рекультивация и охрана земель;

06.01.06 – луговое хозяйство и лекарственные эфирно-масличные культуры

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.

Журнал «МЕЛИОРАЦИЯ»

Подписной индекс: **74856** — для индивидуальных подписчиков

748562 — для предприятий и организаций

Подписку можно оформить во всех отделениях связи.

Редактор, корректор **Т. В. Мейшкане**

Компьютерная верстка **И. В. Скуратович**

Подписано к печати 18.09.2020 г. Формат 60x84 1/8.
Уч.-изд. л. 6,77. Усл. печ. л. 10,70. Заказ 340. Тираж 100 экз.

Адрес редакции: 220040, г. Минск, ул. Некрасова, 39-2
тел. (017) 331-49-03

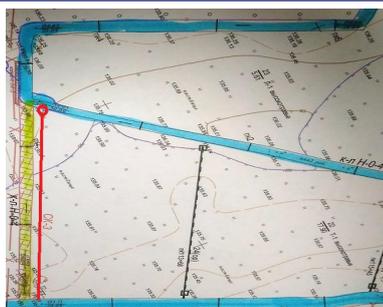
E-mail: info@niimel.by <http://niimel.by>

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

Содержание Contents

Мелиорация

Land improvement



*А. И. Митрахович, В. М. Макоед, С. М. Лавушев,
А. П. Сергеева*

Регулирующие устройства из полимерных труб большого диаметра на проводящей сети мелиоративных систем

*A. I. Mitrakhovich, V. M. Makoed, S. M. Lavushev,
A. P. Sergeenya*

Control devices on conducting network of reclamation systems made of polymer pipes of large diameter

5



А. С. Анженков, Э. Н. Шкутов, В. П. Иванов

Утилизация валов древесно-кустарниковой растительности на мелиоративных объектах

A. S. Anzhenkov, E. N. Shkutov, V. P. Ivanov

Recycling of trees and shrubs pile at the reclamation systems

15



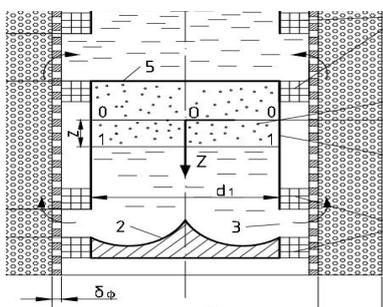
Н. Н. Линкевич

Эксплуатационный контроль за состоянием креплений откосов грунтовых сооружений и береговых склонов

N. N. Linkevich

Operational control of the damage following slopes protection of soil structures and shelves

23



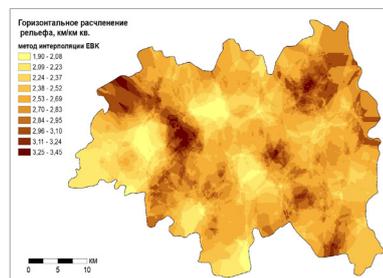
*В. В. Ивашечкин, В. В. Веремениук, А. Ю. Кочергин,
А. А. Левицкий*

Расчет параметров фильтрационного потока реагента в гравийной обсыпке при газоимпульсной обработке фильтров скважин

V. V. Ivashchkin, V. V. Veremenuk, A. Yu. Kochergin, A. A. Levitsky

The reagent filtration flow parameters calculation in gravel dusting during gas-pulse regeneration of wells filters

35



Ю. Н. Дуброва, Т. Н. Мыслыва, Т. Н. Ткачева

Комплексный морфометрический анализ территории Горьковского района с использованием данных дистанционного зондирования земли

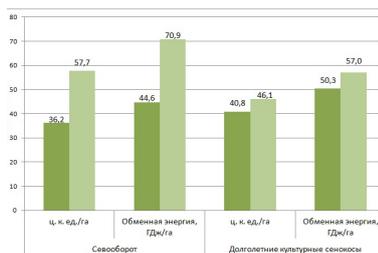
Yu. N. Dubrova, T. N. Myslyva, T. N. Tkacheva

Integrated morphometric analysis of the territory of Gorky district using remote sensing data

43

Земледелие и растениеводство

Agriculture and plant growing



П. Ф. Тиво, Л. А. Саскевич, Д. А. Постникова

Приемы повышения продуктивности осушенных земель Поозерья

P. Ph. Tivo, L. A. Saskevich, D. A. Postnikova

The methods of increasing the productivity of drained lands of poozerye region

55



Н. Н. Цыбулько, Е. Б. Евсеев, И. И. Жукова

Эффективность применения минеральных удобрений под многолетние злаковые травы на торфянисто-глеевой почве

N. N. Tsybulka, E. B. Evseev, I. I. Zhukova

Efficiency of application of mineral fertilizers for perennial grasses on peaty-gley soil

65

Рекультивация и использование земель

Recultivation and usage of lands



А. В. Ермоленко, Н. Н. Цыбулько, И. И. Жукова, Н. В. Тупицына

Радиоэкологическая оценка загрязненных ^{137}CS районов юго-востока Беларуси по степени пригодности земель к возделыванию голубики высокорослой

A. V. Yarmolenka, N. N. Tsybulka, I. I. Zhukova, N. V. Tupitsyna

Radioecological assessment of ^{137}CS -contaminated areas in the south-east of Belarus according to the degree of land suitability for the cultivation of tall blueberries

71

К 110-летию Института мелиорации

A centenary of the Institute for land reclamation



А. С. Мееровский, Р. Т. Пастушок, В. Н. Филиппов

Луговое кормопроизводство Беларуси

A. S. Meerovsky, R. T. Pastushok, V. N. Philipov

Meadow forage production in Belarus

78

Наши юбиляры

Our Jubilees

Синицын Николай Васильевич (85 лет)

88

Чтобы помнили

To be remembered

Александр Трофимович Кирсанов (к 140-летию)

89

Корцоха Юрий Михайлович (к 85-летию)

91

• МЕЛИОРАЦИЯ •

УДК 626.862.4

РЕГУЛИРУЮЩИЕ УСТРОЙСТВА ИЗ ПОЛИМЕРНЫХ ТРУБ БОЛЬШОГО ДИАМЕТРА НА ПРОВОДЯЩЕЙ СЕТИ МЕЛИОРАТИВНЫХ СИСТЕМ

А. И. Митрахович, кандидат технических наук, доцент

В.М. Макоед, ведущий научный сотрудник

С.М. Лавушев, младший научный сотрудник

А.П. Сергееня, инженер

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

Аннотация

Рассматриваются мероприятия, способствующие повышению эффективности действия мелиоративных систем по регулированию водного режима почв в различных природных условиях. Отмечается важность и актуальность сохранения водных запасов на мелиоративных объектах с учетом неустойчивых климатических условий. В современных условиях наиболее реальный способ сохранения местного стока на осушительно-увлажнительных системах – устройство надежных подпорных регулирующих сооружений, позволяющих аккумулировать местный поверхностный и грунтовый сток, предотвращая, таким образом, сброс полезных объемов воды с осушаемого объекта. Приводится конструкция новых экспериментальных колодцев-регуляторов, построенных на проводящей сети из труб большого диаметра на мелиоративном объекте в Октябрьском р-не Гомельской обл. и дается характеристика его природных условий. Описываются технология строительства колодцев с конструкциями сопрягающих устройств и оборудованные пункты наблюдения по исследованию эффективности их работы.

Ключевые слова: мелиоративная система, дренаж, подпорные сооружения, колодец-регулятор, водный режим, пропускная способность, напор, уровень.

Abstract

A. I. Mitrakhovich, V. M. Makoed, S. M. Lavushev, A. P. Sergeenya

CONTROL DEVICES ON CONDUCTING NETWORK OF RECLAMATION SYSTEMS MADE OF POLYMER PIPES OF LARGE DIAMETER

The article discusses activities that contribute to improving the effectiveness of reclamation systems to regulate the water regime of soils in various natural conditions. It is noted the importance and relevance of preserving water reserves at land reclamation facilities, taking into account unstable climatic conditions. In modern conditions, the most real way to preserve local runoff on drainage and humidification systems is to provide reliable retaining control structures that allow accumulating local surface and ground runoff, thus preventing the discharge of useful volumes of water from the drained object. The design of new experimental wells-regulators built on a conducting network of large-diameter pipes at a land reclamation facility in the Oktyabrsky district of the Gomel region is given and the characteristics of its natural conditions are given. The technology of construction of wells with structures of coupling devices is described and observation points for investigation of their operation efficiency.

Keywords: reclamation system, drainage, retaining structures, well-regulator, water regime, capacity, head, level meter.

Введение

Современное высокопродуктивное земледелие на значительной части сельхозугодий гумидной зоны невозможно без мелиоративных мероприятий, направленных на удаление

из почвенного слоя избыточных вод и увлажнительных мероприятий в засушливые периоды. В последние годы все чаще повторяются природные катаклизмы. По данным гидроме-

теостанции Б.С. «Полесская», расположенной на мелиоративной системе Полесской опытно-мелиоративной станции Лунинецкого р-на Брестской обл., за прошедшие 20 лет наблюдалось 7 засушливых, 11 влажных и 2 средних вегетационных периода [1]. Конструкции современных мелиоративных систем не всегда отвечают условиям бережного сохранения водных ресурсов и отводят с прилегающих земель в 1,5–2,5 раза больше грунтовых вод, чем предусмотрено проектом, что приводит к переосушению объекта [2].

Отсюда следует необходимость рационального использования и сохранения запасов грунтовых и подземных вод, учитывая, что для сельскохозяйственного производства продукции требуется огромное количество чистой природной воды. Так, для получения урожая пшеницы свыше 60 ц с гектара требуется 9 тыс. тонн воды на каждый гектар [3], поэтому необходимо совершенствовать принцип действия мелиоративных систем. Наиболее распространенный способ регулирования водного режима в современных условиях базируется на использовании воды местного стока с помощью осушительно-увлажнительных систем. Однако в засушливые перио-

ды вода в каналах осушительно-увлажнительных систем отсутствует, а многие водохранилища не заполнены.

Необходимо учитывать и то, что соотношение площади водосбора канала и площади увлажнения составляет 41/14 и 32/9 соответственно для супесчаных и песчаных почв в средние и засушливые годы.

Предупредительное шлюзование на торфяниках эффективно при превышении площади водосбора дренажного и поверхностного стоков над площадью увлажнения в 15–30 раз [4].

И все же в настоящее время наиболее доступный способ сохранения воды на мелиорированных землях – это устройство на осушительной сети в южных районах надежных подпорных регулирующих сооружений на каналах, позволяющих аккумулировать поверхностный и грунтовый стоки путем закрытия затворов и предотвращая таким образом сброс воды с осушаемого объекта. Второй, не менее важный способ – это устройство в замкнутых понижениях водоемов-копаней на землях как со слабопроницаемыми почвами, так и на торфяно-песчаных в регионе Полесья.

Результаты исследования и их обсуждение

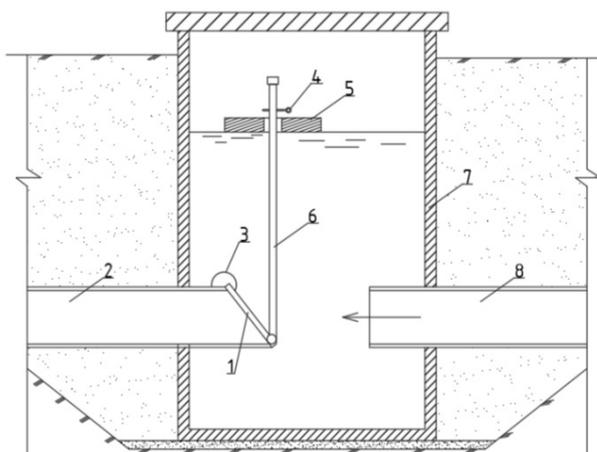
Практика эксплуатации подпорных сооружений показала, что некоторые из них малоэффективны, так как в большинстве случаев не обеспечивают устойчивого поддержания заданного уровня воды в каналах из-за плохой герметичности запорных устройств. Одним из мероприятий, позволяющих обеспечивать более стабильное регулирование уровня грунтовых вод (далее – УГВ), рекомендовалось использование гидроавтоматов с различной конструкцией запорных устройств, обеспечивающих автоматическое регулирование УГВ в пределах 35–140 см, которые начали испытываться на мелиоративных системах в 1990-х гг. [5]. Предлагались и апробировались автоматические регуляторы поплавковые с гибкими шлангами, дроссельные, с телескопическими трубами с шандорной стенкой и др. [6].

На рис. 1 показан поплавокый регулятор уровня воды с гибким клапаном, который устанавливается в железобетонном колодце. Уровень воды в нем задается установкой фиксатора на штоке регулятора. Вместе с подъемом уровня воды поднимается поплавок. Как только

он достигнет фиксатора, шток открывает гибкий клапан, установленный на отводящем коллекторе, и вода из колодца уходит в образовавшееся отверстие. По мере понижения уровня воды в колодце поплавков также перемещается вниз по штоку. Шток под своей тяжестью вновь закрывает коллектор, и цикл повторяется.

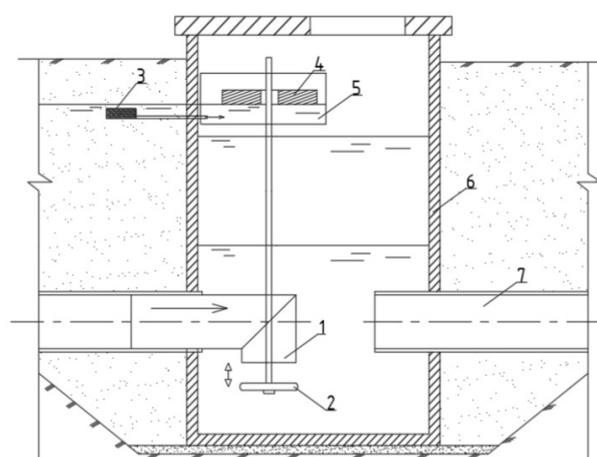
Предлагались технологичные схемы регулирования в дренажных коллекторах, основанные на модулях с раздельной и комбинированной регулирующей сетью, а также существующих осушительных системах [7].

На рис. 2 приведен регулятор уровня грунтовых вод, который состоит из корпуса 6, запорного клапана 2, фильтра 3, поплавкового датчика уровня грунтовых вод 4, поплавковой камеры 5, подводящего коллектора 1. Он поддерживает в автоматическом режиме заданный уровень грунтовых вод следующим образом. Через фильтр 3 грунтовая вода поступает в поплавковую камеру 5, за счет подъемной силы поплавок 4, соединенного через штангу с запорным элементом 2, регулируется пропускная способность регулятора.



- 1 – гибкий клапан;
- 2 – отводящий коллектор;
- 3 – шарнир;
- 4 – фиксатор;
- 5 – поплавок;
- 6 – шток;
- 7 – колодец;
- 8 – подводный коллектор

Рис. 1. Схема смотрового колодца с поплавковым регулятором уровня воды с гибким клапаном



- 1 – подводный коллектор;
- 2 – запорный клапан;
- 3 – фильтр;
- 4 – поплавковый датчик уровня грунтовых вод;
- 5 – поплавок;
- 6 – корпус;
- 7 – отводящий коллектор

Рис. 2. Схема смотрового колодца с регулятором уровня грунтовых вод

Рассмотренные конструкции регуляторов уровней воды, в том числе автоматические с гидравлическим принципом действия, в большинстве случаев испытывались как опытные образцы и практически в производственных условиях не применялись, особенно на закрытой дренажной сети.

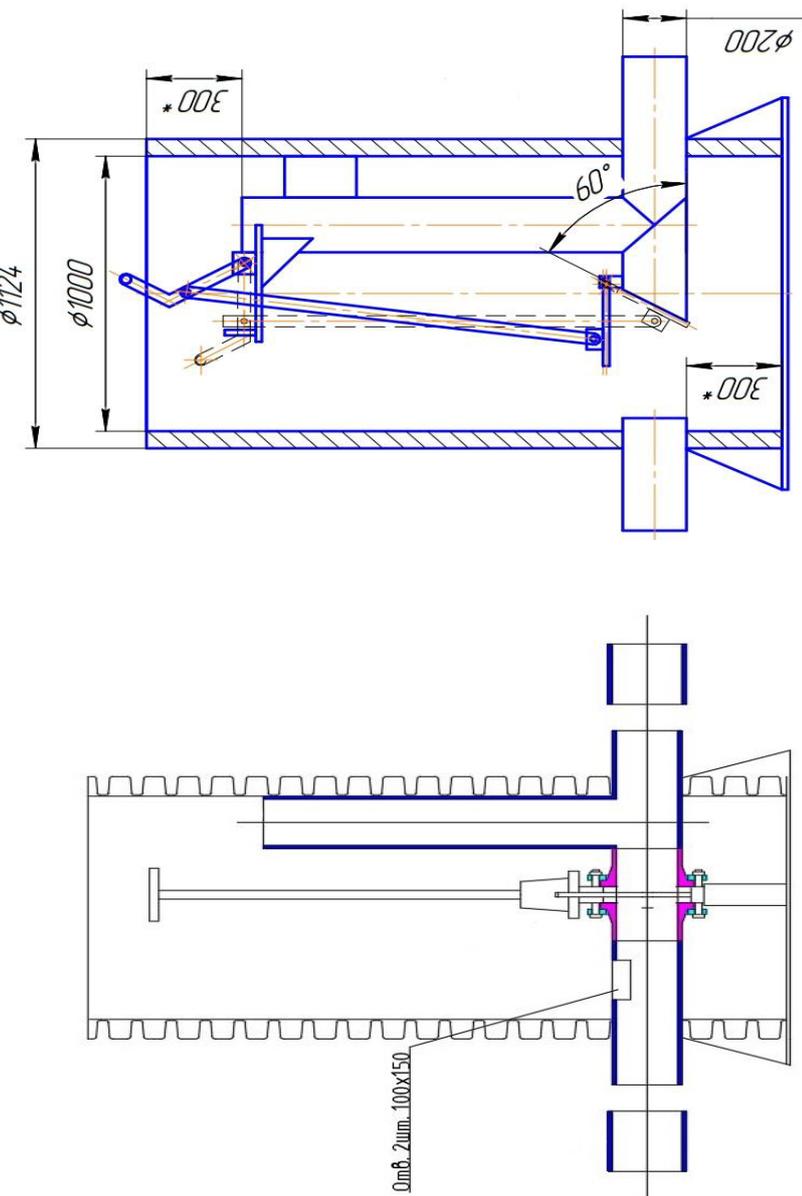
В современных условиях наиболее актуальным способом сохранения запасов грунтовых вод и местного стока на осушительно-увлажнительных системах является устройство надежных подпорных регулирующих сооружений на каналах, предотвращающих сброс воды с осушаемого объекта.

Исходя из вышеизложенного, для регулирования уровня воды в каналах на мелиоративных системах с проводящей сетью из труб большого диаметра в РУП «Институт мелиорации» разработаны и изготовлены колодцы-регуляторы из полимерных труб с запорными устройствами – с шибровой задвижкой и с клапаном. Конструктивные схемы приведены на рис. 3.

В лабораторных условиях проведены гидравлические испытания колодцев по определению их пропускной способности и герметичности. Опыты показали надежность данной конструкции.

Производственные испытания экспериментальных колодцев-регуляторов проводятся на мелиоративной системе «Нератовка» Октябрьского р-на Гомельской обл. на проводящей сети из труб большого диаметра.

Схема мелиоративного объекта «Нератовка» приведена на рис. 4. Объект расположен в пойме р. Нератовка. Рельеф в пределах объекта ровный, с выраженным микрорельефом в форме замкнутых западин и небольших повышений с превышением отметок до 3 м. Площадь объекта 325 га. Грунтовые воды на мелиоративном объекте находятся на глубине 0,8–3,6 м при средних значениях 1,0–2,5 м. Гидрографическая сеть на объекте представлена р. Нератовка и впадающими в нее каналами длиной от 500 до 1500 м.



б) с клапаном

а) с шиберной задвижкой

Рис. 3. Общий вид и схемы экспериментальных колодцев-регуляторов с запорными устройствами

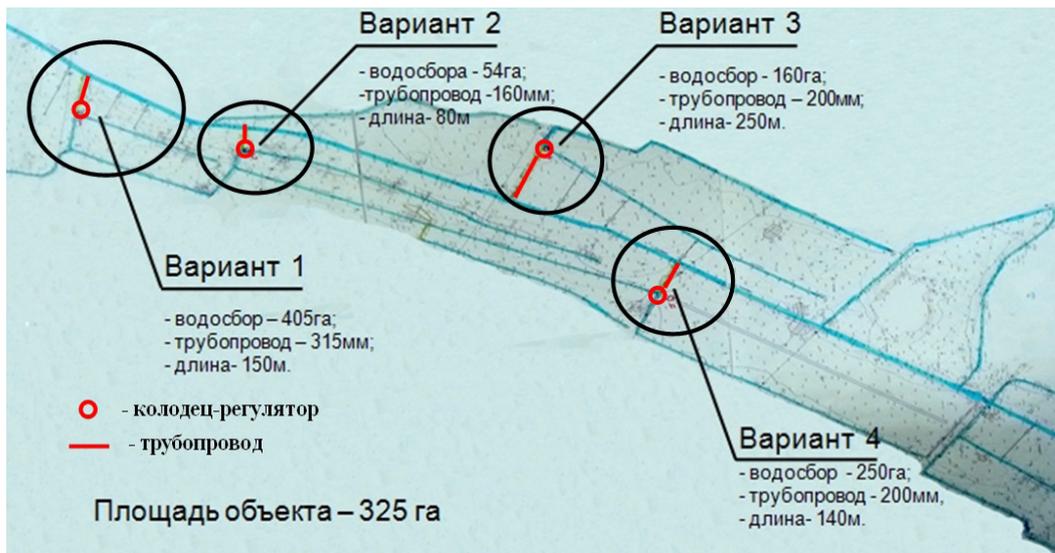


Рис. 4. Схема мелиоративного объекта «Реконструкция мелиоративной системы "Нератовка"»

Геологическое строение объекта представлено торфом с коэффициентом фильтрации $K_f = 0,5$ м/сут и заторфованными отложениями мощностью 0,3–2,2 м, песками пылеватыми $K_f = 1,9$ м/сут, мелкими $K_f = 7,6$ м/сут, средними мощностью 1,0–4,8 м, супесями мощностью 1,0–8,0 м, супесями с гравием мощностью 0,9–29,0 м. Геолого-литологический разрез приведен на рис. 5.

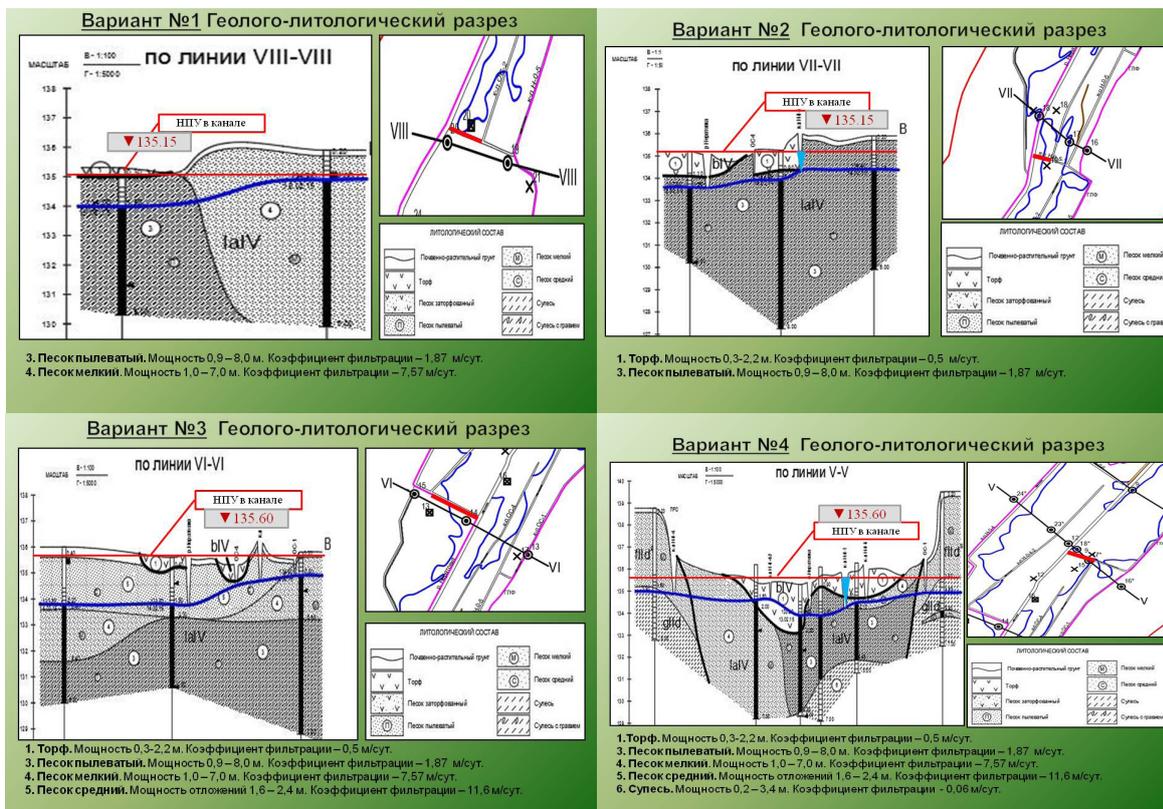


Рис. 5. Геолого-литологические разрезы на мелиоративном объекте «Нератовка»

В 2020 г. на проводящей сети мелиоративного объекта построено 4 экспериментальных варианта трубопроводов большого диаметра с экспериментальными колодцами-регуляторами вместо открытых каналов, которые ликвидировались путем засыпки грунтом с приканальной полосы. Параметры трубопроводов представлены в табл. 1. Проектная схема устройства трубопровода

большого диаметра с ликвидацией открытого канала на экспериментальном варианте 3 представлена на рис. 6. Фрагмент ликвидированного канала показан на рис. 7.

Таблица 1. Варианты устройства проводящей сети из полимерных труб большого диаметра на мелиоративном объекте «Нератовка»

№ варианта	Площадь водосбора, га	Диаметр трубопровода, мм	Длина трубопровода, м
1	405	315	150
2	54	160	80
3	160	200	250
4	250	200	140



Рис. 6. Схема устройства трубопровода большого диаметра с ликвидацией открытого канала Н-0-4 на экспериментальном варианте 3 мелиоративной системы «Нератовка»



Рис. 7. Фото ликвидированного открытого канала на варианте 3 мелиоративного объекта «Нератовка»

После анализа имеющихся материалов было установлено, что при уклонах каналов 0,0001–0,0002 НПУ распространяется более, чем на 500 м.

Рассчитанные расходы воды экспериментальных вариантов труб большого диаметра

приведены в табл. 2. По приведенным данным определены модули стока, по осредненным данным которых можно приблизительно определять расходы на других объектах в аналогичных условиях.

Таблица 2. Расчетные расходы воды экспериментальных вариантов труб большого диаметра

Экспериментальный вариант	Площадь водосбора, км ²	Расход воды обеспеченностью 10%, м ³ /с	Модуль стока, л/с·га
1	2,50	0,55	0,22
2	4,05	0,84	0,20
3	0,54	0,21	0,38
4	1,60	0,32	0,32

Внешний вид одного из экспериментальных колодцев-регуляторов, построенного на объекте «Нератовка», представлен на рис. 11.

Для проведения исследований по определению эффективности работы проводящей сети из полимерных труб большого диаметра с экспериментальными колодцами-регуляторами на объекте «Нератовка» оборудованы наблюдательные пункты, которые оснащены соответствующими приборами. На рис. 12 показан установленный поплавковый уров-

немер, разработанный в институте, фиксирующий положение уровня в водоеме или на канале.

Применение проводящей сети из труб большого диаметра с экспериментальными колодцами-регуляторами вместо открытых каналов на объекте «Нератовка» позволило увеличить площадь контуров полей в 4 раза, при увеличении длины гона в 3 раза, данные расчета приведены в табл. 3.

Таблица 3. Увеличение площади контуров полей при замене каналов проводящей сети трубопроводами на мелиоративном объекте «Нератовка»

Варианты контуров	Ед. изм.	1+2+4	3	1+2+4	3	Примечание
		до реконструкции		после реконструкции		
Расстояние между каналами	м	80-140	80-200	80-14	80-200	–
Длина гона	км	0,6+1,3+1,2+0,8	0,6+1,2	3,9	1,8	увеличилась в 3 раза
Площадь контура	га	7,7+10,4+13,0+40,0	12,0+9,6	71,1	21,6	увеличилась в 4 раза

Это позволяет обеспечивать нормальные условия для работы высокопроизводительной широкозахватной техники, существенно повысить коэффициент использования времени смены и уменьшить затраты на данные работы.

Проведенные и планируемые в полевых условиях мероприятия позволят оценить достоинства и недостатки предложенных новых конструктивных элементов мелиоративной системы по регулированию водного режима почв в различных климатических условиях.



Рис. 11. Фото установленного экспериментального колодца-регулятора на объекте «Нератовка»



Рис. 12. Фото установленного поплавкового уровнемера на объекте «Нератовка»

Выводы

1. Лабораторными исследованиями установлена надежность работы экспериментальных конструкций колодцев-регуляторов по поддержанию устойчивого уровня воды.

2. На проводящей сети мелиоративного объекта «Нератовка» в Октябрьском р-не Гомельской обл. построено 4 трубопровода большого диаметра с экспериментальными колодцами-регуляторами вместо ликвидированных (засыпкой) каналов.

3. Установлено, что применение на проводящей сети мелиоративного объекта «Нера-

товка» полимерных труб большого диаметра вместо открытых каналов позволило увеличить площадь контуров полей в 4 раза, а длину гона – в 3 раза.

4. На основании гидрологических расчетов расходов воды в каналах обеспеченностью 10 % определены модули стока, по которым можно ориентировочно определять расходы в каналах на других мелиоративных объектах в аналогичных природных условиях.

Библиографический список

1. Авраменко, Н. М. Многофункциональные водоемы-копани как конструктивные элементы регулирования водного режима на мелиоративных объектах Полесья с антропогенно-преобразованными торфяными почвами в условиях потепления климата. / Н. М. Авраменко, А. И. Митрахович // Актуальные научно-технические и экологические проблемы мелиораций земель : сб. материалов Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 100-летию мелиоративного образования; Горки, 14–15 марта 2019 г. / Горки : БГСХА, 2019. – С. 40–50.

2. Костюкович, П. Н. Гидрогеологическая мелиорация / П. Н. Костюкович // Пробл. охраны геологической среды : тез. докл. 1-й науч.-практ. конф., посвящ. 90-летию со дня рождения академика АН БССР Г. В. Богомоллова; 19–21 апреля 1995 г. ; Л. А. Демидович, В. П. Клементьев (отв. ред.). – Минск : БГУ, 1995. – С. 41–42.

3. Авраменко, Н. М. Обоснование размещения подпорных сооружений для управления уровнем воды с использованием местного стока в Белорусском Полесье / Н. М. Авраменко, Э. Н. Шкутов // Мелиорация. – 2015. – № 2. – С. 67–76.

4. Медведев, Н. Посевы просят влаги / Н. Медведев // Белорус. нива. – 2008. – 4 марта. – С. 5.

5. Тыщенко, А. И. Регулирование водного режима с помощью гидравлической автоматизации / А. И. Тыщенко, Р. И. Желех // Мелиорация и водное хозяйство. – 1989. – Вып. 9. – С. 3–12.

6. Лихацевич, А. П. Сельскохозяйственные мелиорации : учебник для студентов высших учебных заведений по специальности «Мелиорация и водное хозяйство» / А. П. Лихацевич, М. Г. Голченко, Г. И. Михайлов // Минск : ИВЦ Минфина, 2010. – 464 с.

7. Балюк, С. А. Мелиорация грунтов (систематика, перспективы, инновации) : коллект. моногр. / С. А. Балюк, И. М. Ромащенко, Р. С. Трускавецкий // Херсон : Гринь Д.С. – 2015. – 668 с.

Поступила 24 августа 2020 г.

УТИЛИЗАЦИЯ ВАЛОВ ДРЕВЕСНО-КУСТАРНИКОВОЙ РАСТИТЕЛЬНОСТИ НА МЕЛИОРАТИВНЫХ ОБЪЕКТАХ

А. С. Анженков, кандидат технических наук, доцент

Э. Н. Шкутов, кандидат технических наук

В. П. Иванов, кандидат технических наук

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

Аннотация

Определены экономические показатели основных методов утилизации валов древесно-кустарниковой растительности. Предложен новый метод утилизации путем биологического ускорения разложения валов препаратом «Флебиопин». Определены экономическая и технологическая эффективность предложенного метода.

Ключевые слова: древесно-кустарниковая растительность, культуртехника, биологическое разложение, экономическая эффективность.

Abstract

A. S. Anzhenkov, E. N. Shkutov, V. P. Ivanov

RECYCLING OF TREES AND SHRUBS PILE AT THE RECLAMATION SYSTEMS

Economic indicators of the main methods of utilization of tree and shrub vegetation shafts are determined. A new method of utilization by biological acceleration of shaft decomposition with the preparation «Phlebiopin» is proposed. The economic and technological efficiency of the proposed method is determined.

Keywords: reclamation system, drainage, retaining structures, well-trees and shrubs, culturtechnics, biodegradation, economic efficiency.

Введение

Стратегия мелиоративных работ в Беларуси совпадает со стратегией, принятой в развитых странах Западной Европы и Балтии, – новой мелиорации практически не ведется. Исследования сосредоточены на поддержании работоспособности уже созданных мелиоративных систем, основная часть которых построена в 1960–1970 гг. в соответствии с проектными нормами, однако часть сетей исчерпала срок службы до проведения реконструкции.

В связи с этим необходимы мероприятия по реконструкции и ремонту, реализация которых осуществляется в соответствии с подпрограммой 8 «Сохранение и использование мелиоративных земель» в рамках Государственной программы [1].

Сегодня в реконструкции нуждаются порядка 350 тыс. га. Значительная часть этих площадей, кроме нарушения работы гидротехнических сооружений, подвержены зарастанию древесно-кустарниковой растительностью (далее – ДКР) [2].

Результаты обследования объектов реконструкции

Согласно источникам [3–5], потеря площадей под валами древесно-кустарниковой растительности может достигать до 8 %. Проведенные нами обследования реконструиру-

емых мелиоративных объектов в Минской обл. показали меньшую величину потерь, в среднем равную 1,2 % (0,8 – 1,5%) (табл. 1).

Таблица 1. Площадь, занимаемая валами древесно-кустарниковой растительности

Районы	Мелиоративные системы	Площадь, га	Площадь, занимаемая ДКР, га	Площадь, занимаемая ДКР, %
Дзержинский	«Олёховка»	270	2,79	1,03
Узденский	«Олёховка»	649	6,1	0,9
Березинский	«Богушевичи-1», «Богушевичи-2»	340 350	5,4 5,6	1,5
Борисовский, (ПМК-16)	«Борки-Агро»	300	3,4	0,8
Любанский	«Гаврильчицы», «Дубинец»	297	2,5	0,8

В 2019 г. были обследованы мелиоративные системы в Лунинецком, Борисовском, Березинском, Дзержинском, Любанском р-нах. На этих объектах были проведены обмеры и подсчитано количество валов ДКР. Площадь, занимаемая ими, варьировалась от 2,5 до 6,1 га, количество валов на системах колебалось от 2 до 26 единиц, менялись и размеры валов по длине от 25 до 70 м и высотой в среднем 2,0–2,5 м. На рис. 1 представлены наиболее характерные представители валов ДКР, в состав которых входят кустарники, корчи, мелколосье листовенных пород. В общем объеме свободно лежащая

(непросыпанная) ДКР составляет до 20 % (80 % приходится на смесь почвы и погребенных кустов). Валы, пролежавшие больше года, начали давать молодую поросль и покрывались сорной растительностью (рис. 2).

По результатам наших обследований установлено, что площадь, занятая валами ДКР на планируемых площадях реконструкции, составит около 4230 га. С учетом затруднения обработки почвы механизмами возле валов ДКР потери возрастают до 8460 га. Кроме того, возникают потери посевных площадей, валы ДКР являются рассадником сорняков на реконструируемой площади.



Рис. 1. Вал ДКР на полях реконструкции

В связи с этим возникают следующие основные негативные факторы.

1. Снижение продуктивности реконструируемых площадей

Согласно результатам проведенных обследований реконструированных мелиоративных систем, в пяти районах Минской обл. площадь, занимаемая валами ДКР, составляет до 1,5 % от всей площади системы. С учетом необрабатываемой и прилегающей к валу территории площадь доходит до 1,5 % (табл.1), в среднем составляет 1,2 %. Величина занятой площади под ДКР может достигать до 8 % от всего объекта реконструкции [4].

После обследования и обмера валов ДКР было установлено, что средняя высота их составляет 2,5 м. При этом выделяются два горизонта: нижний горизонт, состоящий из почвы с частью нагребенной растительности, занимающий до 80 % общего объема ДКР, и верхний горизонт, состоящий из мелколесья, кустарников и листьев (до 20 % объема валов). Проведенные расчеты показали, что в среднем объем вала ДКР, подлежащий вывозу, составляет 300 м³ с одного га, или 3 см плодородной почвы. Это соответствует 10 % мощности пахотного горизонта для торфяных почв и 15 % – для минеральных. Полученные

данные свидетельствуют о значительных потерях плодородной почвы при вывозе валов ДКР за пределы реконструируемого объекта.

2. Загрязнение атмосферы

Негативное воздействие на экологию оказывают выхлопные газы механизмов, работающих на вывозе валов ДКР на полигоны временного складирования (табл. 2). Для вывоза 300 м³ вала ДКР требуются два трактора МТЗ-82 (8 м³), погрузчик АМКОДОР 332 и 12 часов рабочего времени. Тракторам требуется 38 рейсов:

$300 \text{ м}^3 / 8 \text{ м}^3 = 38 \text{ рейсов}$ (по 19 рейсов на один трактор).

Время, потраченное на погрузку-разгрузку и дорогу в оба конца, составляет 40 мин; с учетом количества рейсов необходимо затратить 12 часов на вывоз ДКР с 1 га. Работа двух тракторов составит 24 часа.

Для трактора МТЗ-82 расход дизтоплива за 12 часов составит: $11 \text{ л/ч} \times 12 \text{ ч} = 132 \text{ л}$ и 264 л для двоих тракторов соответственно.

Для погрузчика АМКОДОР 332 расчет топлива составит: $21,6 \text{ л/ч} \times 12 \text{ ч} = 259 \text{ л}$.

В итоге для вывоза 300 м³ ДКР на полигон временного хранения требуется 523 л (259 л + 264 л) дизтоплива, то есть происходит выброс выхлопных газов автомобилей (табл. 3).



Рис. 2. Молодая поросль кустарника на валу древесных остатков

Таблица 2. Химический состав выхлопных газов автомобилей

Компонент	Объемная доля в дизельном топливе, %	Токсичность
Азот N ₂	76–78	Нетоксичен
Кислород O ₂	2–18	Нетоксичен
Водяной пар H ₂ O	0,5–4	Нетоксичен
Двуокись углерода CO ₂	1–10	Нетоксичен
Окись углерода CO	0,01–5	Токсичен
Углеводороды C _x H _y	0,009–0,5	Токсичен
Альдегиды	0,001–0,009	Токсичен
Диоксид серы SO ₂	0–0,03	Токсичен
Сажа, г/м ³	0,1–1,1	Канцероген
Бензаперен, г/м ³	0–0,01	Канцероген

Методы утилизации валов ДКР

1. *Захоронение древесно-кустарниковой растительности в котлованы.* К положительным сторонам данного способа относятся малые затраты на транспортировку, но в то же время наблюдается возрастание объемов земляных работ при захоронении древесных остатков. Со временем на месте захоронений образуются западины, мешающие ведению сельскохозяйственного производства, снижается плодородие за счет внесения в почву неплодородного грунта при его разравнивании.

2. *Сжигание древесно-кустарниковой растительности* снижает транспортные расходы, но наносит вред экологии. Не всегда и не везде данный способ применим из-за угрозы возникновения пожаров на торфяниках, поэтому он ограниченно применяется на минеральных почвах.

3. *Вывоз ДКР* на полигоны требует больших расходов на погрузочные работы, транспортировку и дальнейшую утилизацию. Кроме того, при погрузке происходит частичный захват плодородной почвы, снижается плодородие мелиорированных земель.

4. *Использование дробилок древесных отходов* не всегда целесообразно в связи с их невысокой производительностью, надежностью и техническими возможностями. В основном имеющиеся технические устройства могут перерабатывать отходы сечением до 100 мм. Зарубежные образцы по ценам на порядок выше, что доступно не каждому предприятию.

5. *Складирование древесно-кустарниковой растительности в валах на 2–3 года* в целях дальнейшего перегнивания растительных остатков и их разравнивания по площади – это, на наш взгляд, наиболее оптимальный способ минимизации затрат на утилизацию. Однако за указанный срок крупные древесные остатки не успевают разложиться.

Эффективность применяемых методов утилизации валов ДКР оценивалась по двум критериям:

- 1) затраты на деструктуризацию древесины;
- 2) скорость деструктуризации древесины.

В табл. 3–6 приведены расчеты затрат на утилизацию валов ДКР с одного условного гектара с оценкой 30 баллов различными способами.

Таблица 3. Расчет затрат на вывоз валов ДКР с 1 га

Площадь	Прибыль, руб.	Расчет затрат на вывоз ДКР с 1 га
<p>Общая – 1 га</p> <p>Полезная 98,8 % (100 % – 1,2%) = 98,8 %</p> <p>98,8 % = 0,988 га</p> <p>Площадь валов ДКР 1,2 % (0,012 га)</p>	<p>Стоимость одного баллогектара – 24,84 руб.</p> <p>30 баллов × 24,84 руб. = = 745,2 руб./год</p> <p>Потери прибыли на 120 м² площади вала – 8,94 руб./год</p> <p>Прибыль: 745,2 – 8,94 = = 736,3 руб.</p> <p>Убыток от валов ДКР 0,012 га × 24,84 × 30 = = 8,94 руб./год</p>	<p>Объем вала ДКР на 1 га площадью 0,012 га высотой 2,5 м $120 \text{ м}^2 \times 2,5 \text{ м} = 300 \text{ м}^3$</p> <p>Стоимость одного часа работы трактора с прицепом – 35 руб./ч Погрузчик час работы – 50 руб. Объем прицепа – 8 м³ Расстояние в оба конца до полигона – 5 км $300 \text{ м}^3 : 8 \text{ м}^3 = 38 \text{ рейсов}$ $38 \text{ рейсов} \times 0,6 \text{ час} = 23 \text{ час}$ 23 часа – это 3 маш./смены</p> <p>Работа погрузчика: 12 час × 50 руб/ч = = 600 руб.</p> <p>Работа двух тракторов: 23 час × 35 руб. = 805 руб. $600 + 805 = 1405 \text{ (руб.)}$ вывоз ДКР с 1 га на полигон на расстоянии 2,5 км</p> <p>ИТОГО: вывоз вала ДКР составит 1405 руб./га</p>

К высокой стоимости вывоза ДКР на полигон временного хранения следует добавить отрицательное воздействие на экологию.

Основными факторами воздействия являются снижение плодородия почвы и загрязнение атмосферы. К отрицательному воздействию следует добавить уплотнение почвы от прохождения тяжелой техники.

Уменьшение прибыли от потери обрабатываемой площади под валами ДКР составит 11,2 руб./га в год.

Таблица 4. Расчет затрат на захоронение валов ДКР с 1 га

Объем и вид работ	Рабочие механизмы	Затраты
Котлован 300 м ³	экскаватор (ковш 0,8 м ³)	маш./смена 440 руб.
Захоронение ДКР 300 м ³	бульдозер (75 руб./час)	75 руб./час × 6 час = 450 руб.
Разравнивание отвала и засыпка котлована ДКР	бульдозер (75 руб./час)	75 руб./час × 6 час = 450 руб. ИТОГО: 1340 руб.

В сумму затрат не вошли стоимость транспортировки к объекту экскаватора и бульдозера. Не учтены потери плодородного слоя от разравнивания 300 м³ грунта слоем 10 см на площади 3000 м².

Таблица 5. Расчет затрат на дробление валов ДКР с 1 га (по данным УП «Минскзеленстрой» за 2019 г.)

Объем работ	Рабочие механизмы	Стоимость работ
$300 \text{ м}^3 \times 0,4 = 120 \text{ м}^3$ 40 % - содержание древесины; 60 % - содержание почвы; выход щепы из 1 м^3 ДКР – $0,5 \text{ м}^2$; $120 \text{ м}^3 \text{ ДКР} = 60 \text{ м}^3$	МРН-1 ДДО ($8 - 9 \text{ м}^3/\text{ч}$)	Стоимость перевода ДКР в щепу с 1 га: 1 м^3 щепы – 27 руб. затрат, $60 \text{ м}^3 \times 27 \text{ руб./ м}^3 = 1620 \text{ руб.}$

Для минимизации экономического и экологического ущерба нами разработан новый способ утилизации.

Новизна состоит в разработке и апробации методики применения биологических препаратов и усовершенствовании существующих способов утилизации валов ДКР

Способ основан на применении одного из наиболее перспективных антагонистов корневой губки – *Phlebiopsis gigantea* (Fr.) W. Julich. Колонизируя поверхности мертвой древесины, он способствует ее интенсивной деструкции, тем самым ограничивая пути распространения патогена на стоящие рядом непораженные деревья. Наиболее эффективно процесс колонизации проходит в том случае, если биообработка проводится непосредственно после рубки древостоя, то есть увеличивается конкурентоспособность гриба антагониста по отношению к патогену [6].

Обработка валов ДКР ускоряет деструкцию древесины и образует органический субстрат пригодный для разравнивания на участке реконструкции.

В РУП «Институт мелиорации» в 2019 г. заложен микрополевым опытом по ускорению деструкции древесины воздействием препарата «Флебиопин». Первые испытания, проведенные через три месяца показали изменение твердости обработанных образцов на 8–10 % по сравнению с образцами, не обработанными флелиопином (рис. 3).

Нами были проведены испытания четырех образцов (рис. 5). Два образца прошли обработку препаратом «Флебиопин», два образца контрольных – без обработки. Время после проведения обработки – 3 месяца. Образцы лиственных пород – № 1, 2 и хвойных – № 3, 4 (рис. 3).

Определение твердости древесины проводилось по методу Бринелля при влажности образцов 12 %. За три месяца после проведения обработки флелиопином отмечено снижение твердости в обработанных образцах. Так твердость березы снизилась с $2,9 \text{ кг/мм}^2$ до $2,62 \text{ кг/мм}^2$, сосны соответственно с $2,5 \text{ кг/мм}^2$ до $2,24 \text{ кг/мм}^2$ от естественного.

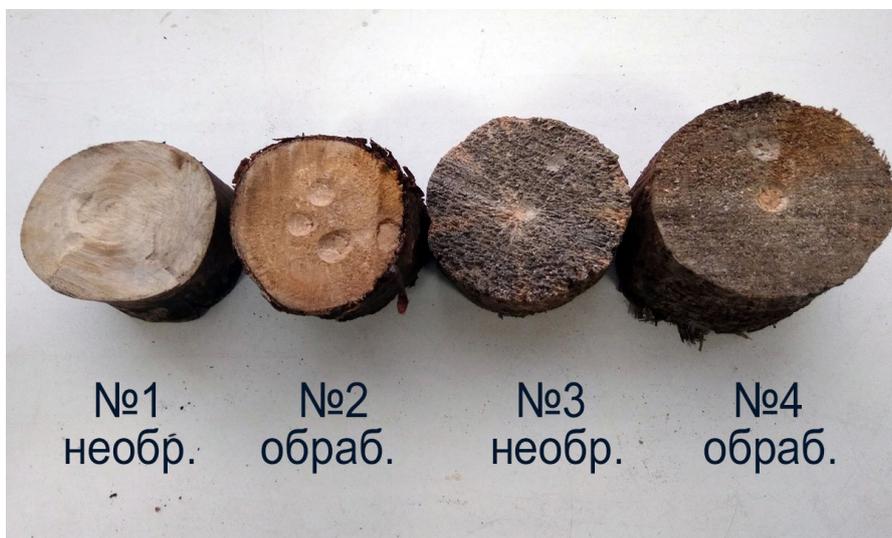


Рис. 3. Образцы после определения твердости по Бринеллю
 Образцы 1, 2 – береза, 3, 4 – сосна

Таблица 6. Затраты на утилизацию валов ДКР, обработанных препаратом «Флебиопин» с последующим разравниванием

Виды и объем работ	Рабочий механизм	Затраты
Обработка ДКР препаратом «Флебиопин» площади поверхности вала ДКР 270 м ² : 270 м ² / 7 м ² = 39 амп., где для обработки 7 м ² необходима 1 ампула препарата ВСЕГО: 39 ампул для обработки поверхности вала ДКР 270 м ²	Ранцевый распылитель	Стоимость одной ампулы флeбиопина – 3 руб. Стоимость препарата всего: 3 руб. × 39 амп. = 117 руб. Оплата за 4 часа работы – 15 руб. Потери прибыли от площади, занятой валами ДКР за 3 года – 34 руб. (согласно расчету, приведенному ниже) ВСЕГО: 117 + 15 + 34 = 166 руб.
Разравнивание вала ДКР 300 м ³ с перемещением грунта на 20 м	Бульдозер мощностью 59(80) кВт (л. с.)	Работа машиниста и механизмов 147 руб.
Обработка флeбиопином с последующим разравниванием	Ранцевый распылитель, бульдозер мощностью 59 (80) кВт (л. с.)	166 руб. + 147 руб. = 313 руб.

Расчет затрат на утилизацию валов ДКР, обработанных препаратом «Флебиопин»:

стоимость площади, занятых валами ДКР для перегнивания, на 1 га:

- средняя площадь валов ДКР на 1 га – 1,2 % (0,012 га);
- стоимость одного балло-гектара в год – 24,84 руб., 30 балло-гектаров × 24,84 руб. = 745,2 руб. в год.

В итоге потери прибыли от площади, занятой валами ДКР на 3 года для перегнивания, составят:

0,012 га × 745,2 руб. × 3 = 26,7 руб. (27 руб.).
Снижение расходов на утилизацию ДКР на 1 га по сравнению с их вывозом: 1405 руб. – (166 руб. + 147 руб.) = 1092 руб.

В расчет не включена прибыль от дополнительно образовавшейся органики после утилизации валов ДКР.

Из приведенных расчетов следует, что наиболее эффективным является метод утилизации ДКР с применением препарата «Флебиопин» с последующим разравниванием.

Таблица 7. Стоимость затрат на утилизацию ДКР с 1 га различными способами

Способ утилизации ДКР	Стоимость, руб./га
Вывоз на полигон	1405,0
Захоронение в котлован	1340,0
Дробление на щепу	1620,0
Обработка препаратом «Флебиопин» с последующим разравниванием	313

Заклучение

1. Наиболее затратными являются дробление ДКР, его применимость ограничена величиной диаметра перерабатываемых стволов и вывоз на полигоны ТБО.

2. При обработке флeбиопином разложение (деструкция) биологическим методом ускоряется до 11 % за три месяца и до 55 %

за одиннадцать месяцев по сравнению с естественной.

3. Наиболее предпочтительно с точки зрения экономики и экологии применение биологических методов для утилизации, при которых величина затрат составляет 313 руб./га.

Библиографический список

1. О государственной программе развития аграрного бизнеса в Республики Беларусь на 2016–2020 гг. : постановление Совета Министров Республики Беларусь от 16 марта 2016 г., № 315 // М-во сел. хоз-ва и продовольствия Респ. Беларусь. – Режим доступа: <https://www.mshp.gov.by/programms/a868489390de4373.html>. – Дата доступа: 22.06.2020.

2. Окультуривание связных почв на объектах реконструкции осушительных систем : рекомендации / М-во сел. хоз-ва и продовольствия Респ. Беларусь, Науч.-практ. центр НАН Беларуси по земледелию, Ин-т мелиорации ; сост.: П. Ф. Тиво [и др.]. – Минск : [б. и.], 2008. – 24 с.

3. Методики определения агрономической и экологической эффективности минеральных и органических удобрений / И. М. Богдевич [и др.]. – Минск : Ин-т почвоведения и агрохимии, 2010. – 24 с.

4. Дьяконов, Н. Н. Мелиоративная география : учебник / Н. Н. Дьяконов, В. С. Аношко. – М. : МГУ, 1995. – 252 с.

5. Савицкий, А. В. Направления биоутилизации порубочных остатков как мера повышения устойчивости хвойных насаждений к корневым гнилям / А. В. Савицкий, Волченкова Г. А. // Микробные биотехнологии: фундаментальные и прикладные аспекты : тезисы докл. X Междунар. конф., Минск, 5–9 июня 2017 г. / Ин-т микробиологии НАН Беларуси ; редкол. : Э. И. Коломиец (гл. ред.) [и др.]. – Минск, 2017. – С. 176–178.

6. Нормативы расхода ресурсов в натуральном выражении (НРР 8.03.101-2017, НРР 8.03.371-2017). – Сб. 21. – Минск : М-во архитектуры и строительства Респ. Беларусь, 2016.

Поступила 3 сентября 2020 г.

ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЙ КОНТРОЛЬ ЗА СОСТОЯНИЕМ КРЕПЛЕНИЙ ОТКОСОВ ГРУНТОВЫХ СООРУЖЕНИЙ И БЕРЕГОВЫХ СКЛОНОВ

Н. Н. Линкевич, кандидат технических наук, доцент

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

Аннотация

Для оценки повреждений грунтовых сооружений проведено обследование гидротехнических объектов Республики Беларусь. Выявлены основные типы повреждений креплений откосов грунтовых сооружений и береговых склонов. Приведены примеры разрушений креплений берегозащитных грунтовых сооружений на водохранилищах Беларуси. Рассмотрены виды контроля за состоянием креплений откосов грунтовых сооружений всех классов. Устанавливается организация наблюдения, периодичность проведения и состав осмотров, обследований и наблюдений. Даются предложения по обработке и обобщению данных измерений в натуре.

Ключевые слова: повреждение креплений, виды контроля, наблюдение, обследование креплений откосов, прочность, крепления откосов, волновое воздействие, разрушение креплений, эксплуатационный контроль.

Abstract

N. N. Linkevich

OPERATIONAL CONTROL OF THE DAMAGE FOLLOWING SLOPES PROTECTION OF SOIL STRUCTURES AND SHELVES

To assess the damage to soil structures, a survey of hydraulic structures of the Republic of Belarus was carried out. The main types of damage of slopes protection of soil structures and shelves have been identified. Examples of destruction of fastenings of coastal protection soil structures on reservoirs of Belarus are given. The types of control over the state of slopes protection of soil structures of all classes are considered. The organization, frequency and composition of examinations and observations is established. Suggestions are given for processing and generalizing.

Keywords: damage of protections, types of control, observation, inspection of slopes protection, strength, slopes protection, wave action, destruction of protections, operational control.

Введение

Надежность сооружения в значительной мере зависит от прочности и устойчивости крепления откосов грунтовых гидротехнических сооружений: плотин, дамб обвалования водохранилищ, ограждающих моллов судопропускных сооружений, береговых склонов и берегозащитных сооружений. Однако рекомендуемые методы расчетов прочности и устойчивости креплений [1, 2] не гарантируют безусловной надежности их работы:

- из-за невозможности точного, надежного прогнозирования расчетных параметров ветровых волн, характеристик ледового режима при периодических колебаниях уровня воды в водохранилище, стихийных явлений (землетрясения, катастрофические паводки, выбросы на откосы тяжелых плавающих тел и т. п.) ввиду вероятностного характера

изменения указанных факторов и недостаточного объема необходимых гидрологических и иных данных в районе размещения гидроузла;

- потери устойчивости грунтового основания под креплениями по истечении длительного периода их эксплуатации вследствие изменения геотехнических характеристик грунтов тела сооружения (вынос мелких фракций из слоя обратного фильтра, кольматация фильтра, разжижение мелкозернистых песков при динамическом воздействии волн и плавающих предметов на крепление откоса и т. п.);
- потери прочности материала крепления (бетона, асфальтобетона, камня) при продолжительной работе сооружения в условиях периодического изменения

уровня воды в водохранилище, замораживания и оттаивания воды в порах и трещинах материала, выветривания, выщелачивания, воздействия знакопеременной волновой нагрузки и др.

Учет вышеуказанных факторов при проектировании креплений весьма затруднен, а иногда и вообще невозможен. Это обстоятельство в ряде случаев становится причиной серьезных повреждений, а иногда и разруше-

ния креплений. Поэтому для обеспечения их надежности необходимо правильно рассчитывать и соответственно выполнять параметры креплений, своевременно осуществлять профилактические мероприятия по поддержанию их в работоспособном состоянии. Выбор этих мероприятий возможен на основе систематического эксплуатационного контроля креплений (визуальных осмотров, обследований и исследований) и диагностической оценки их состояния.

Виды контроля за состоянием креплений откосов грунтовых сооружений

Ознакомление с организацией натуральных наблюдений на действующих гидроузлах Республики Беларусь показало:

1) крепления откосов грунтовых сооружений не выделяются в самостоятельный объект контроля;

2) наблюдения в большинстве случаев проводятся не систематически, а начинаются лишь в тех случаях, когда повреждения и разрушения уже появились;

3) ввиду случайного характера наблюдений часто невозможно проанализировать развитие повреждений во времени и установить вызвавшие их причины;

4) результаты наблюдений не всегда увязаны с волновым и ледовым режимами и с изменениями уровня воды в водохранилище.

В связи с этим рекомендуется предусматривать следующие виды контроля:

- а) визуальные наблюдения;
- б) инструментальные обследования;
- в) исследование грунтов в зоне сооружения, прилегающей к креплению, колебания кривой депрессии при волновых воздействиях, волнового давления на верхнюю поверхность крепления и противодействия под креплением, вибрации плит и обусловленной ею потери устойчивости водонасыщенных грунтов в теле сооружения, изменения прочностных и деформационных характеристик материала крепления вследствие длительных динамических знакопеременных волновых воздействий, колебаний температуры и др.

Исследования проводят для определения характеристик прочности и устойчивости крепления и сопоставления их с проектными требованиями, а также в целях установления причин, вызвавших появление повреждений и разру-

шений. Исследования необходимо проводить в тесной увязке с данными наблюдений за волновым, ледовым и температурными режимами с учетом уровня режима водохранилища за длительный период времени, предшествовавший исследованиям.

Службу контроля за состоянием креплений откосов грунтовых сооружений и размывов берегов водохранилищ рекомендуется формировать в строительный период и передавать по завершении строительства руководству эксплуатируемого гидроузла. Как правило, эта служба входит в состав специализированного подразделения (цеха, участка, специалисты) эксплуатирующей организации (ГЭС, ТЭС). Ответственность за организацию и проведение контроля всех видов (осмотры, инструментальные обследования и исследования) возлагают на дирекцию эксплуатирующей организации (ГЭС, ТЭС).

Перед началом работ персонал группы визуальных наблюдений проходит подготовку (обучение, аттестацию и стажировку): он должен быть детально ознакомлен с проектом грунтового сооружения и с исполнительной документацией, отражающей отклонения от проектных решений в конструкции крепления и в технических характеристиках его элементов (материал плит, прочность камня, гранулометрический состав обратного фильтра, плотность фунта в теле сооружения, армирование плит и т. п.). В дополнение к исполнительной документации разрабатывают маршрутную схему обхода откосов сооружения и берегов водохранилища, которая обеспечивала бы их полный осмотр. Для этого весь фронт сооружения со стороны верхнего и нижнего бьефов разбивают на участки осмотра, которые маркируют и привязывают к геодезической сети.

Подразделение наблюдателей снабжают необходимым инвентарем и приборами: нивелиром и теодолитом с набором геодезических реек, фотоаппаратом, рулеткой, отвесом строительным, масштабными линейками, секундомером, чертежными принадлежностями, калькулятором, щупами, щелемерами гибкими, эхолотом, прибором для контроля прочности бетона.

Плановые (обязательные) осмотры креплений и береговых склонов должны проводиться ежегодно на откосах по всему фронту сооружения, независимо от сроков его эксплуатации, с периодичностью один раз в квартал и в период наибольшей сработки водохранилища; внеплановые — в экстремальных случаях (землетрясения, катастрофические паводки, выбросы на откосы тяжелых плавающих тел и т. п.). В состав визуальных наблюдений обязательно включают проведение осмотра креплений в подводной части откоса водолазами, прошедшими специальную подготовку.

При наблюдениях за состоянием облицовок и креплений особое внимание обращают на следующее [3]:

1) вынос и разрушение уплотняющих материалов из швов бетонных элементов крепления, вынос гравийно-песчаной подготовки из под крепления через швы и трещины;

2) образование промоин под облицовками, которые могут быть вызваны затеканием дождевых вод, движением грунтовых вод, появлением ходов, проложенных землеройными животными, а также строительными дефектами;

3) деформацию плит креплений;

4) смещение отдельных плит относительно друг друга;

5) состояние креплений плит между собой;

6) появление морозного пучения грунта, конвективного льдообразования и морозного выветривания каменной наброски;

7) развитие и характер растительности, а также поведение землеройных животных на плотине (дамбе).

При проведении визуальных наблюдений фиксируют следующие повреждения: поверхностные и сквозные трещины в бетоне; разрушение бетона в защитном слое и места обнажения арматуры, ржавление арматуры; разломы в уплотнениях стыков по контуру плит, ширина открытых стыков, длина участков раскрытия, сколы бетона на боковых гранях плит;

осадка плит, длина участков прогиба и стрела наибольшего прогиба; вертикальное смещение смежных плит относительно друг друга с образованием выступов; смещение плит вниз в плоскости откоса; размыв каменной наброски (размеры области размыва и отложения); смещение плит (поворот относительно нижнего ребра) в результате воздействия льда; размыв низового откоса ливневыми стоками воды, кольматаж дренажа и обусловленный им выпор грунта в зоне повышения выхода кривой депрессии на поверхность откоса; размыв берегового склона. Кроме того, необходимо фиксировать толщину и длину консоли ледяного припая, а также размеры зоны припая (примерзшего массива льда).

Трещины на поверхности крепления, разломы, сколы, места обнажения арматуры, каверны выщелачивания бетона, места нарушения герметичности стыков между плитами, разрушение боковых граней плит фиксируют путем зарисовки на заранее заготовленных схемах размещения плит на откосе с привязкой их к геодезической сети. При этом следует пользоваться едиными обозначениями каждого вида повреждений. Зарисовку повреждений при последующих осмотрах следует производить так, чтобы она являлась продолжением предыдущей. Для удобства сопоставления последовательных зарисовок их следует наносить на схемах разными обозначениями. Зафиксированные повреждения крепления должны быть окрашены тем же цветом, что и на схемах и чертежах.

Съемка участков размыва береговых склонов осуществляется обычными геодезическими приборами (нивелиром, теодолитом, тахеометром, мензулой), а в труднодоступных местах на крутых береговых обрывах — фото-теодолитом или цифровыми фотокамерами. Размеры оползневых массивов определяются по удалению оползневых трещин от края берегового уступа. Перспективно использование аэрофотосъемки беспилотными летательными аппаратами и данных космического зондирования с высоким разрешением для оценки состояния сооружений и их креплений.

Для примера на рис. 1–7 приведены фотографии, иллюстрирующие разрушение бетонных креплений берегозащитного грунтового сооружения на водохранилищах «Зельва», «Тетеринская ГЭС», «Заславское», судходной пло-

тине гидроузла № 12 «Стахово» и у шлюза-регулятора на р. Лань [4–7]. Причины разрушений: недостаточное уплотнение швов и грунта в подплитном слое; отклонение ширины стыков между плитами от ширины, предусмотренной в про-

екте; дефекты в устройстве обратных фильтров; некачественное выполнение бетонных работ и подготовки; размораживание бетона; физический износ; низкий уровень эксплуатации и др.



а

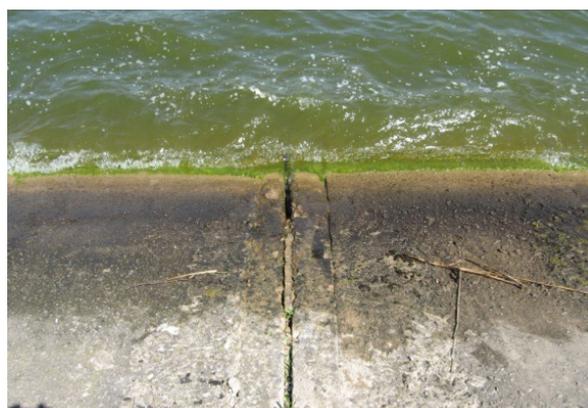


б

Рис. 1. Разрушение уплотнений швов сборных железобетонных плит крепления берегов в верхнем бьефе шлюза-регулятора на р. Лань (*а*) и водохранилища «Зельва» (*б*)



а



б

Рис. 2. Заращение (*а*) и разрушение (*б*) уплотнений температурно-осадочных швов сборных железобетонных плит крепления берегов в верхнем бьефе водохранилища «Тетеринская ГЭС»



а



б

Рис. 3. Разрушение крепления откоса камнем (*а*) и размыв правобережного откоса (*б*) судоходной плотины гидроузла № 12 «Стахово»



а



б

Рис. 4. Крепление монолитными бетонными плитами верхового откоса земляной плотины (а) и крепление крупным камнем отводящего канала паводкового водосброса (б) водохранилища «Заславское»

На монолитных бетонных плитах крепления верхового откоса правобережной плотины водохранилища «Заславское» имеются отдельные поверхностные разрушения и несквозные трещины, вызванные размораживанием бетона (рис. 5).



а



б

Рис. 5. Поверхностное разрушение монолитных бетонных плит крепления верхового откоса правобережной плотины (а) и несквозные трещины в монолитных бетонных плитах крепления левобережного конуса земляной плотины (б) водохранилища «Заславское»



а



б

Рис. 6. Трещина с оголением арматуры в парапете земляной плотины (а) и разрушенное уплотнение температурно-осадочных швов в плитах крепления откоса земляной плотины (б) водохранилища «Заславское»

Проверка прочности плит крепления верхового откоса земляной плотины водохранилища «Заславское» (рис. 7) с помощью электронного измерителя прочности бетона ИПС-МГ4.03 показала достаточную их прочность. Прочность бетона при всех измерениях изменялась в пределах от 17,3 МПа до 19,9 МПа, что в соответствии с СНБ 5.03.01-02 «Бетонные и железобетонные конструкции» превышает класс бетона С10/12,5.



Рис. 7. Определение прочности бетона плит крепления верхового откоса земляной плотины водохранилища «Заславское»

По результатам систематических осмотров в сочетании с данными о волновом и ледовом режимах составляется заключение о состоянии креплений (приблизительная оценка прочности и устойчивости креплений, ориентировочный прогноз развития зафиксированных повреждений) с отражением в нем – в случае необходимости – корректировок для последующих наблюдений, решения о целесообразности или необязательности проведения обследований и исследований, утверждаемого техническим руководством гидроузла. При необходимости к рассмотрению результатов осмотров и составлению заключения привлекаются специалисты проектных и научно-исследовательских организаций.

Инструментальные обследования крепления проводят на тех участках, где визуальными наблюдениями обнаружены признаки появления повреждений (трещины в плитах, смещение камня из слоя крепления, разрушение поверхности бетона, смещение плиты относительно смежной с ней в вертикальной плоскости, повреждения уплотнений стыков между плитами и т. п.). Они дают основание для выводов о возможности дальнейшего развития зафиксированных повреждений до стадии, угрожающей безопасности дальнейшей эксплуатации сооружения. Основной *целью обследований* является установление причин появления повреждений, прогноз дальнейшего их развития и оценка степени опасности для

надежности дальнейшей эксплуатации сооружения. Обследования должны проводиться с обязательным привлечением представителей проектной организации и специалистов-гидротехников из научно-исследовательских организаций. Их результаты позволяют получать численные характеристики повреждений (осадки, размыв грунта под креплением, раскрытие стыков между плитами, изменение гранулометрического состава обратного фильтра, разрушение бетона на поверхности крепления, повышение кривой депрессии на низовом откосе и т. п.).

Деформация крепления в вертикальной плоскости определяется путем нивелирования креплений, а смещение плит в плоскости откоса — теодолитной съемкой. Нивелирование производится по маркам, заделанным в плиты по четырем углам и в центре. Нивелирование поверхности каменной наброски производится по маркам, нанесенным красителем на отдельностях, имеющих диаметр $d > d_{70...80}$, определяемый по исходному гранулометрическому составу каменной наброски. В дополнение к зарисовкам следует производить фотографирование повреждений. Последующие фотосъемки должны производиться с одних и тех же позиций и ракурса. Размер пустот под креплением при осмотрах может быть определен лишь в доступных для измерения местах — вблизи стыков между плитами, например, масштабной линейкой или

трах волн) скорости волнового (колебательного) движения воды у поверхности откоса и на прибрежном подводном склоне с целью оценки размываемости каменного крепления и грунта берегового склона;

- определение размеров ледяного припая и прочностных характеристик льда с фиксацией средней, максимальной и минимальной температуры воздуха, продолжительности ледостава и уровня воды в водохранилище.

На основании результатов исследования делают выводы о возможности дальнейшей эксплуатации сооружений или необходимости проведения ремонтно-восстановительных работ или реконструкции крепления.

Регистрация характеристик волнения в водохранилище (направления, высоты, длины и периода волн) должна проводиться независимо от класса капитальности сооружения, сроков их эксплуатации и состояния креплений. Регистрации подлежат все случаи волнения с высотой волн 0,5 м и более. При этом обязательна фиксация продолжительности волнения. Для получения таких статистических характеристик волнения, как математическое ожидание (средние значения высоты, длины и периода волн), среднеквадратическое отклонение, вероятность превышения зафиксированных параметров, волнограмма должны содержать запись не менее 100 непрерывно следующих одна за другой волн [8].

Параметры волн измеряются непосредственно перед сооружением в створе АБ (рис. 8). Одновременно с регистрацией волны определяют: положение кривой депрессии (точка 7) и высоту наката волн на откос (положение точки 4).

Подъем кривой депрессии при волнении определяется путем фиксации уровня воды в пьезометрах. Высота наката определяется визуальными наблюдениями по линиям, нанесенным на поверхности крепления параллельно урезу воды с интервалом 10...20 см. На каждой линии должны быть указаны их геодезические отметки. Линии следует пронумеровать для удобства наблюдений. При нерегулярных волнах на подходе к сооружению накат их на откос является вероятностным, поэтому для численной оценки высоты наката следует

фиксировать положение точки 4 при накатывании не менее 100 последовательных волн. По результатам измерения определяются средняя и максимальная высота наката, а также высота нормативной обеспеченности [1, 2].

Разность отметок гребня сооружения и точки наката является нормируемым запасом его высоты, равным $0,1h_{расч}$ ($h_{расч}$ — высота расчетной волны в системе волн нерегулярного волнения). Уменьшение величины $H_{зап}$ по сравнению с ее значениями, принятыми в проекте, может быть следствием двух факторов: превышение высоты волны по сравнению с принятой в проекте и осадки сооружения.

На водохранилищах суточного регулирования необходимо производить измерения уровня воды с целью определения скорости сработки в пределах от НПУ до УМО (или иного наименьшего уровня сработки) с фиксацией уровней через интервалы времени $\Delta T = (0,2...0,25)T$ (T — продолжительность сработки). При этом одновременно проводят измерения положения уровня воды в подплитной области. По результатам измерения определяют подъемную силу, действующую на плиты крепления. При этом возможно несовпадение положения уровней воды над креплением и под ним. Наличие перепада уровней воды под плитой и в водохранилище Z свидетельствует об уменьшении коэффициента фильтрации грунта обратного фильтра вследствие его кольматажа. Наличие перепада Z может быть обнаружено визуально по фонтанированию воды из-под крепления в зоне наката-ската волны.

Допустимая величина перепада Z определяется двумя требованиями [8]:

1) соблюдением условия $Z \leq 4\delta$ (δ — толщина плиты);

2) градиент гидростатического давления в слое i толщиной $y = 1...1,5$ м не должен превышать критический градиент $i_{кр}$, при котором начинается суффозия в обратном фильтре и грунте тела сооружения (должно соблюдаться условие $i < i_{кр}$). Критический градиент определяется экспериментально или расчетным путем.

При значениях $Z > 4\delta$ необходимо провести обследование подплитной области: определить гранулометрический состав обратного фильтра и его фильтрационно-суффозионные характеристики.

При наличии волнения на промежуточных уровнях сработки подъемная сила гидростатического давления P суммируется с силой волнового противодействия.

Для измерения параметров волн (высоты, длины и периода) можно использовать первичные преобразователи (волнографы) и регистрирующую аппаратуру. В качестве первичных преобразователей применяют электродные и контактные волнографы, работающие на принципе изменения электропроводности или электрической емкости в зависимости от колебания уровня воды при волнении. Два волнографа следует устанавливать в одном створе непосредственно у сооружения по нормали к урезу воды с расстоянием между ними 4...5 м. Монтажные крепления волнографа позволяют демонтаж перед ледоставом.

Для сбора и обработки информации о волнении, волновом давлении, изменении уровня воды в водохранилище и положении кривой депрессии в подплитной области можно использовать автоматизированную систему обработки экспериментальных данных и метод стереофотограмметрической съемки, позволяющий получать характеристики поля волн без установки первичных преобразователей.

Для определения положения кривой депрессии под креплением и на низовом откосе устанавливают трубчатые пьезометры в шурфах на участке верхового откоса от гребня сооружения до наинизшего уровня сработки водохранилища, на низовом откосе — в полосе 2...3 м выше дренажа.

Для измерения волнового давления могут быть использованы индуктивные или тензометрические преобразователи механического воздействия на приемную мембрану в электрический сигнал (датчики давления). Для измерения волнового давления в зоне обрушения волны датчики давления монтируют с интервалом 10...15 см в передвижной кассете, перемещаемой на откосе соответственно изменению уровня воды в водохранилище. Вне зоны обрушения волны расстояние между датчиками Δx должно быть в 10 раз меньше средней длины волны λ , то есть $\Delta x < 0,1 \lambda$.

Результаты обработки данных натуральных измерений представляют в виде соответствующих графических зависимостей в координатах «измеренная величина — время». Обработка

данных о волновом режиме сводится к построению кривой обеспеченности высот волн при нерегулярном волнении, определению средней и максимальной высоты волны, средней длины и среднеквадратического отклонения. По волнограмме, записанной одиночным волнографом, могут быть получены два параметра: высота волн и период. Для определения длины волны необходимо иметь на одной ленте две волнограммы, записанные разными волнографами, расположенными на расстоянии l один от другого по направлению распространения волн.

Длина волны определяется по зависимости [8]

$$\lambda = \tau l / \Delta t,$$

где τ — период волны; l — расстояние между волнографами; Δt — интервалы времени, $\Delta t = 0,1\tau$.

Обработка данных измерения волнового давления на плиты и устойчивость каменного крепления и грунта берегового склона может проводиться по методике, приведенной в соответствующих нормах и требованиях [8].

Оценка устойчивости откоса производится из условия $a > a_{кр}$ (a — ускорение колебаний грунта; $a_{кр}$ — критическое значение ускорения колебаний, при котором начинается разжижение водонасыщенного грунта, определяемое по графику или путем экспериментальных исследований в лабораторных условиях).

Устойчивость каменного крепления и грунта берегового склона оцениваются на основании неравенства $v_{макс} < v_0$, в котором $v_{макс}$ — максимальная скорость колебательного движения воды, которая определяется по измеренным параметрам волн [8]; v_0 — скорость трогания частиц грунта.

Для расчета формы профиля динамического равновесия Э. И. Михневич предложил критерии устойчивости поперечного и продольного профилей берега водохранилища, подверженного волновой переработке. Для расчета параметров креплений откосов земляных плотин в условиях волнового воздействия на основе теории предельного равновесия сдвигающих и удерживающих сил на откосе разработаны формулы по определению диаметра камня наброски и толщины железобетонных плит, пригодные для водохранилищ различных размеров, в том числе малых во-

дохранилищ Беларуси. Формулы учитывают основные нагрузки, создаваемые волновым потоком, и физико-механические свойства материала крепления [9—11]. В. Е. Левкевичем рассмотрены наиболее часто применяемые в Беларуси основные типы берегозащиты и крепления берегов, а также представлены материалы исследований устойчивости креплений берегов и откосов [12—14]. Результаты исследований, проведенных Э. И. Михневичем и В. Е. Левкевичем, могут быть рекомендованы

к практическому применению в проектных организациях. Правильно рассчитанные и выполненные параметры креплений значительно повысят долговечность и надежность креплений и, следовательно, надежность грунтового гидротехнического сооружения в целом.

По совокупности диагностических признаков и количественной оценке их на основе данных измерений делается вывод о состоянии крепления и берегового склона по критериям надежности, приводимым в таблице.

Таблица. Критерии надежности крепления откоса и берегового склона [8]

Условия надежности работы	Диагностируемое состояние	Диагностические признаки, параметры	Критерии надежности
Запас высоты сооружения над отметкой НПУ	Накат волны на откос	Максимальная высота наката волн расчетной высоты в системе	Превышение гребня сооружения над отметкой НПУ не менее $0,1h_{рас}$
Допустимое повышение кривой депрессии при волнении	Положение кривой депрессии в подплитной области	Превышение кривой депрессии при волнении над кривой депрессии при отсутствии волн	Сила противодействия под креплением
Допустимая скорость сработки водохранилища	Положение кривой депрессии в подплитной области	Перепад Z уровней воды под плитой и в водохранилище	$Z < 4\delta$ (δ – толщина плиты)
Допустимый подъем кривой депрессии на низовом откосе	Превышение выхода кривой депрессии над верхом дренажа низового откоса	Средний выходной градиент давления	Критический градиент по условию недопущения суффозии для данного вида грунта
Устойчивость бетонного крепления	Деформация крепления	Осадки, прогибы, смещение плит в плоскости откоса. Экстремальное значение силы волнового противодействия	Осадка плит $\delta < 0, 2 \delta$; прогиб $\delta_2 < \delta$
Устойчивость каменно-набросного крепления	Размыв откоса: нарушение скелета наброски	Смещение камня вниз по откосу, максимальная скорость колебательного движения воды у поверхности откоса v_{max}	Глубина области размыва $< d_{расч}$ ($d_{расч}$ – расчетный диаметр камня, принимаемый равным $d_{70\%}$ по кривой грансоства. $v_{max} < v_0$ (v_0 – неразмывающая скорость)
Прочность бетона	Напряженное состояние	Экстремальная сила волнового давления на верхнюю поверхность крепления	Предельное допустимое значение напряжений сжатия и растяжения
Динамическая устойчивость грунта тела сооружения	Ускорение a колебаний грунта	Критическое значение ускорения колебаний водонасыщенного грунта $a_{кр}$	$a < a_{кр}$

Продолжение таблицы

Гашение энергии волн на прибрежном подводном склоне	Уклон и ширина подводного склона	Максимальная скорость колебательного движения воды у поверхности подводного склона v_{\max}	$v_{\max} < v_0$ (v_0 – неразрывная скорость)
Устойчивость берегового склона и прибрежной подводной отмели	Начало оползня, обвала и размыва прибрежной отмели	Оползневые трещины, уклон и ширина прибрежной отмели	Стабильность профиля прибрежного подводного склона (отмели) и условие: накат расчетной волны $\nabla_{\text{нак}} \leq \nabla_{\text{уст}}$ $\nabla_{\text{нак}}$ – наивысшая отметка наката волны; $\nabla_{\text{уст}}$ – отметка основания берегового уступа

Первичные материалы, сгруппированные по видам контроля, и результаты их обработки регистрируют в журнале учета и хранят в установленном на ГЭС (ТЭС) порядке, а на гидроузлах неэнергетического назначения — в подразделениях в соответствии со структурой их технического руководства. Схемы размещения контрольно-измерительной аппара-

туры наносят на соответствующие чертежи сооружения с высотной и плановой привязкой к геодезической сети. По результатам контрольных наблюдений и измерений ежегодно составляют технический отчет с приложением к нему заключения о состоянии креплений и выводов о необходимых ремонтно-восстановительных мероприятиях.

Заключение

Проведено обследование гидротехнических объектов Беларуси. Выявлены основные типы повреждений креплений откосов грунтовых сооружений и береговых склонов, приведены примеры повреждений грунтовых сооружений, рассмотрены виды контроля за со-

стоянием креплений откосов грунтовых сооружений всех классов. Устанавливается организация наблюдения, периодичность проведения и состав осмотров, обследований и наблюдений. Даются предложения по обработке и обобщению данных измерений в натуре

Библиографический список

1. Гидротехнические сооружения. Правила определения нагрузок и воздействий (волновых, ледовых и от судов) : ТКП 45-3.04-170-2009 (02250). – Введ. 01.07.2010. – Минск : М-во архитектуры и стр-ва Респ. Беларусь, 2011. – 80 с.
2. Плотины из грунтовых материалов. Строительные нормы проектирования : ТКП 45-3.04-150-2009 (02250). – Введ. 01.03.2010. – Минск : М-во архитектуры и стр-ва и Респ. Беларусь, 2010. – 64 с.
3. Линкевич, Н. Н. Эксплуатация гидротехнических сооружений: учебное пособие / Н. Н. Линкевич, М. В. Нестеров. – Минск : ИВЦ Минфина, 2019. — 520 с.
4. Обследовать состояние и дать экспертную оценку риска аварий подпорных гидротехнических сооружений потенциально опасных водохранилищ Республики Беларусь при пропуске половодий и паводков [Электронный ресурс] : отчет о НИР (заключ.) : ГБ 16-29 / Белорус. нац. техн. ун-т ; науч. рук. В. В. Ивашкин ; исполн.: Г. Г. Круглов [и др.]. – Электрон. дан. – Минск : [б. и.], 2018. – 1 электрон. опт. диск (CD-R). – № ГР 20162259.
5. Исследование технического состояния сооружений гидроузла на водохранилище «Заславское» : отчет о НИР (заключ.) / Белорус. нац. техн. ун-т ; рук. Г. Г. Круглов ; исполн. Н. Н. Линкевич [и др.]. – Минск, 2013. – 76 с.

6. Исследование технического состояния судоходной плотины гидроузла №12 «Стахово» Лунинецкого района Брестской области : отчет о НИР (заключ.) / Белорус. нац. техн. ун-т ; рук. Г. Г. Круглов ; исполн. Н. Н. Линкевич [и др.]. – Минск, 2015. – 35 с.

7. Исследование технического состояния шлюза-регулятора на реке Морочь и шлюза-регулятора на реке Лань : отчёт о НИР (заключ.) / Белорус. нац. техн. ун-т ; рук. Г. Г. Круглов ; исполн. Н. Н. Линкевич [и др.]. – Минск, 2018. – 32 с.

8. Гидротехнические сооружения ГЭС и ГАЭС. Организация эксплуатации и технического обслуживания. Нормы и требования : СТО 70238424.27.140.003-2010. – Введ. 2010-09-30. – М. : НП «ИНВЭЛ», 2010. – 222 с.

9. Михневич, Э. И. Устойчивость берегов водохранилищ при формировании профиля динамического равновесия в несвязных грунтах / Э. И. Михневич, В. Е. Левкевич // Мелиорация. – 2016. – № 4 (78). – С. 18–23.

10. Михневич, Э. И. Устойчивость русл открытых водотоков / Э. И. Михневич. – Минск : Ураджай, 1988. – 240 с.

11. Михневич, Э. И. Методика расчета устойчивости креплений откосов земляных плотин в условиях волнового воздействия / Э. И. Михневич // Наука и техника. – 2018. – Т. 17. – № 2. – С. 100–105.

12. Левкевич, В. Е. Крепление берегов и верховых откосов подпорных сооружений гидроузлов Беларуси / В. Е. Левкевич. – Минск : БНТУ, 2019. – 172 с.

13. Левкевич, В. Е. Динамика береговых процессов русловых, наливных и озерных водохранилищ Беларуси / В. Е. Левкевич. – Минск : Право и экономика, 2015. – 201 с.

14. Левкевич, В. Е. Динамическая устойчивость берегов водохранилищ Беларуси / В. Е. Левкевич. – Минск : Право и экономика, 2015. – 306 с.

Поступила 5 августа 2020 г.

РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ ФИЛЬТРАЦИОННОГО ПОТОКА РЕАГЕНТА В ГРАВИЙНОЙ ОБСЫПКЕ ПРИ ГАЗОИМПУЛЬСНОЙ ОБРАБОТКЕ ФИЛЬТРОВ СКВАЖИН

В. В. Ивашечкин, доктор технических наук

В. В. Веременик, кандидат физико-математических наук

А. Ю. Кочергин, аспирант

А. А. Левицкий, студент

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

Аннотация

Предложена методика расчета параметров фильтрационного потока реагента в гравийной обсыпке фильтра водозаборной скважины при газоимпульсно-реагентной обработке. Для определения кинематических параметров потока реагента, возникающего при пульсациях парогазового пузыря, получено дифференциальное уравнение движения реагента в системе «взрывная камера – гравийная обсыпка – воздушный колпак». Полученное уравнение решено методом Рунге – Кутты. С учетом ряда допущений получено аналитическое выражение для расчета максимальной скорости реагента во взрывной камере и гравийной обсыпке.

Ключевые слова: *кольматант, водозаборная скважина, реагент, фильтрационный поток, газовый пузырь, газоимпульсно-реагентная обработка.*

Abstract

V. V. Ivashchkin, V. V. Veremenuk, A. Yu. Kochergin, A. A. Levitsky

THE REAGENT FILTRATION FLOW PARAMETERS CALCULATION IN GRAVEL DUSTING DURING GAS-PULSE REGENERATION OF WELLS FILTERS

The article proposes a method for calculating the parameters of the filtration flow of the reagent in the gravel dusting of the filter of a water intake well during gas-pulse reagent treatment. To determine the kinematic parameters of the reagent flow that occurs during pulsations of a vapor – gas bubble, a differential equation of the reagent movement in the explosive chamber – gravel dusting-air cap system is obtained. The resulting equation was solved by the Runge – Kutta method. Taking into account a number of assumptions, an analytical expression was obtained for calculating the maximum speed of the reagent in the blast chamber and gravel dusting.

Keywords: *colmatant, water intake well, reagent, filtration flow, gas bubble, gas-pulse-reagent treatment.*

Введение

Опыт эксплуатации водозаборных скважин показывает, что их производительность и дренажная способность существенно снижаются во времени вследствие зарастания фильтров и прифильтровых зон скважин различными химическими соединениями. Более высокая степень очистки фильтра и прифильтровой зоны водозаборных скважин достигается при использовании комбинированных методов, сочетающих гидравлическое, импульсное или вибрационное

воздействие с последующей или одновременной реагентной обработкой. Известны методы высоковольтных разрядов и пневмоимпульсов в реагенте.

Вопросами интенсификации кинетики массообмена и растворения кольматирующих отложений занимались Г. А. Аксельруд, Н. Н. Веригин, В. С. Алексеев, Г. М. Коммунар, А. Д. Молчанов, А. Е. Орадовская, А. М. Тугай, О. Я. Олейник и др. [1–9].

Процессы растворения кольматанта можно рассматривать как химические гетерогенные реакции, протекающие в несколько стадий [1, 2, 6]: перенос реагента (растворителя) к поверхности, на которой происходит реакция; собственно химическая реакция; отвод продуктов реакции от поверхности, то есть суммарная скорость процесса зависит от скоростей отдельных стадий и определяющей обычно является стадия, протекающая медленнее остальных.

Результаты теоретических исследований растворения кольматирующих осадков показывают, что растворение солей происходит в диффузионной области [2, 6]. При этом скорость растворения пропорциональна недостатку насыщения растворителя солями данного состава, величине удельной поверхности, на которой происходит химическая реакция растворения, температуре, типу реагента, факторам, определяющим гидродинамические условия.

Применительно к технологии обработки скважин по методу циклического задавливания реагента за контур фильтра предложена следующая зависимость для коэффициента массопереноса β , полученная из критериального уравнения [2]:

$$\beta = A_1 \sqrt{\frac{v}{dn}}, \quad (1)$$

где A_1 – коэффициент, определяемый из формулы $A_1 = (0,76 - 0,97) \left(\frac{D^4}{v} \right)^{\frac{1}{6}}$;

соответственно D – коэффициент молекулярной диффузии, v – коэффициент кинематической вязкости;

v – скорость движения реагента;

d – диаметр зерен [м];

n – пористость закольматированных пород.

Для электрогидравлического разряда в реагенте предложена формула расчета коэффициента массопереноса [2]:

$$\beta = A_3 \sqrt{\frac{\bar{v}}{d}}, \quad (2)$$

где $A_3 = \left(\frac{D^2}{v} \right)^{\frac{1}{2}}$, \bar{v} – средняя скорость

движения реагента, завязанная от энергии разряда E [м/с], радиуса каверны r [м], глубины H [м] и числа разрядов N_p в секунду, $\bar{v} = EN_p / (H / \rho) r^2$.

Анализ формул (1) – (2) показывает, что коэффициент массопереноса возрастает с увеличением скорости движения реагента в степени 0,5. При этом скорость реагента при электроразрядах прямо пропорциональна энергии в импульсе, частоте следования разрядов и радиусу каверны в квадрате, поэтому для обеспечения высокой скорости движения реагента необходимо очень мощное оборудование. Для дискретных импульсных методов, не обладающих эффектом вибрации, обеспечение высокой частоты следования мощных импульсов по этой причине проблематично. Разрядник предлагается размещать в герметичной камере в виде отрезка полиэтиленовой трубы с толщиной стенки 6–8 мм, заполненной водой [2, 3]. В зоне разряда величина давления достигает 100 МПа, что может вызвать разгерметизацию камеры разрядника и стекание разряда в раствор. Разряд кратковременный, время между импульсами составляет десятки секунд, то есть не создается необходимый вибрационный эффект при растворении отложений. Существенно снижает эффективность растворения то, что радиус каверны при электроразряде небольшой (всего 2–3 см), отсюда скорость движения реагента также небольшая и пульсации каверны практически не создает знакопеременных фильтрационных потоков в грунте, что не обеспечивает промывки отложений раствором реагента.

При проведении пневмовзрывов в реагенте герметизированную скважину заполняют реагентом и осуществляют поинтервальную пневмоимпульсную обработку [3, 5]. Недостатки этого метода: пневмоснаряд по техническим условиям не предназначен для работы в реагентах; эффективность применяемого реагента – дитионита натрия – снижается за счет его окисления кислородом воздуха; при пневмовзрыве кислород воздуха проникает в прифилтрованную зону и усиливает процессы химического кольматажа [9].

В этом плане обработка фильтров газовым взрывом в реагенте более эффективна, так как размеры газового пузыря при подводном

газовом взрыве водорода многократно превышают размеры каверны электроразряда, в грунте возникают пульсирующие знакопеременные фильтрационные потоки реагента. Поэтому одним из путей повышения эффективности реагентных обработок является проведение одновременных газоимпульсно-реагентных обработок скважин. Для увеличения скорострельности газоимпульсной установки на основе водородно-кислородной газовой смеси предложено оснащать ее не погружным малопроизводительным электролизером, опускаемым в скважину в зону фильтра, а выносным высокопроизводительным газогенератором, размещаемым у оголовка скважины.

Цель настоящей работы – разработка методики расчета параметров фильтрационного потока реагента в гравийной обсыпке фильтра скважины при газоимпульсно-реагентной обработке.

На рис. 1 представлена расчетная схема по определению параметров фильтрационного потока реагента в гравийной обсыпке.

Над взрывной камерой закреплен воздушный колпак, а в кольцевых зазорах взрывной камеры и воздушного колпака установлены пакеры. Комбинация «пакер – колпак» призвана направить поток реагента при взрыве не в вышележащий ствол скважины, а в сторону газового колпака, что позволит снизить инерционные потери, разогнать реагент

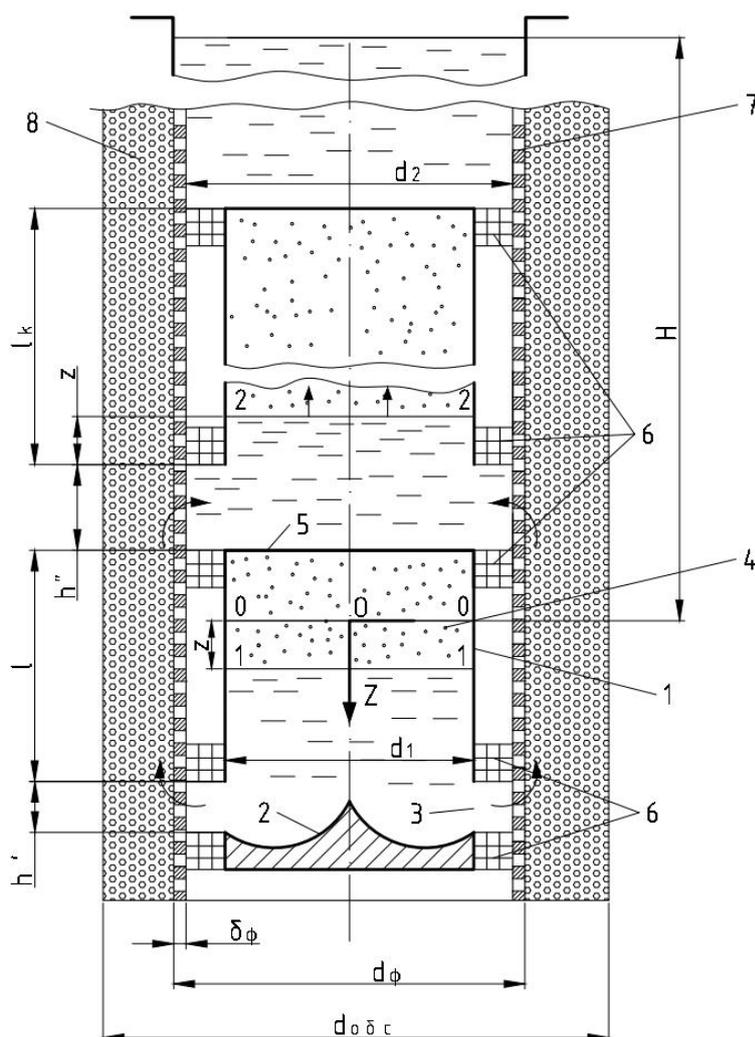


Рис. 1. Расчетная схема
 1 – взрывная камера; 2 – отражатель; 3 – цилиндрическое отверстие;
 4 – парогазовый пузырь; 5 – верхняя крышка взрывной камеры;
 6 – пакеры; 7 – фильтр; 8 – гравийная обсыпка

во взрывной камере до высоких скоростей и интенсифицировать растворение кольматирующих отложений за счет создания прямого фильтрационного потока реагента в гравийной обсыпке. В связи с тем, что продуктами сгорания водородно-кислородной смеси являются перегретые водяные пары, паровой пузырь будет на первой стадии своего движения расширяться, а на второй стадии схлопываться за счет конденсации паров. Поэтому фильтрационный поток в гравийной обсыпке на первой стадии будет направлен в сторону воздушного колпака, а на второй – от воздушного колпака в сторону взрывной камеры, то есть будет знакопеременным.

С учетом высокой скорости распространения взрыва для взрывного горения давление перед расширением p_1 принимаем равным давлению в замкнутом объеме после взрыва. Начальное давление продуктов взрыва перед расширением определяем по формуле

$$p_{взр} = mp_0, \quad (3)$$

где m – степень повышения давления во взрывной камере; p_0 – давление на глубине взрыва H в скважине [Па], $p_0 = p_{атм} + \rho gH$; $p_{атм}$ – атмосферное давление.

Предполагаем, что при дальнейшем расширении полости с продуктами взрыва изменение их состояния происходит по политропе со средним значением показателя n :

$$p = p_{взр} \left(\frac{V_1}{V} \right)^n, \quad (4)$$

где $p_{взр}$, V_1 – начальное давление и исходный объем продуктов взрыва [Па]; p – текущее давление [Па] и V – объем [м³].

За некоторый «разгонный» интервал времени скорость жидкости во взрывной камере возрастает от 0 до v_{1max} в сечении 1–1 и некоторое время сохраняет свое максимальное значение ($v_{1max} = \text{const}$), затем из-за падения давления в продуктах сгорания и роста давления воздуха в воздушном колпаке (сечение 2–2) убывает до нуля.

Неизвестные z_1 и v_{1max} можно определить из уравнения неустановившегося движения для этапа разгона жидкости в системе «рабочая камера – воздушный колпак» при допущениях: жидкость несжимаема, стенки фильтра скважины проницаемы, фильтрационный по-

ток движется в гравийной обсыпке, утечек реагента в пласт не происходит.

Уравнение движения имеет вид

$$\sum_{i=1}^3 m_i \frac{d^2 z}{dt^2} = P_{п.к.} - P_{в.к.} - \sum R, \quad (5)$$

где $\sum_{i=1}^3 m_i \frac{d^2 z}{dt^2}$ – сумма сил инерции жидкости, то есть

$$m_1 \frac{d^2 z}{dt^2} = \rho \omega_1 [l + h' - (h + z)] \frac{d^2 z}{dt^2} - \text{сила}$$

инерции в рабочей камере;

$$m_2 \frac{d^2 z}{dt^2} = \rho \omega_1 (z + h'') \frac{d^2 z}{dt^2} - \text{сила инерции}$$

в воздушном колпаке;

$$P_{п.к.} = p_{взр} \left(\frac{h}{h + z} \right)^n \omega_1 - \text{сила давления}$$

в рабочей камере в сечении 1–1 [Н],

где ω_1 – площадь поперечного сечения рабочей камеры [м²], $\omega_1 = \pi d_1^2/4$;

$$P_{в.к.} = p_k \left(\frac{l_k}{l_k - z} \right)^{n_1} \omega_1 - \text{сила давления}$$

со стороны воздушного колпака

с начальным давлением воздуха p_k [Па] ($p_k \approx p_0$), приведенная к сечению 1–1 (n_1 – коэффициент адиабаты воздуха) [Н].

Равнодействующая сил сопротивления $\sum R$ может быть определена через сумму гидравлических потерь напора в системе «взрывная камера – гравийная обсыпка – воздушный колпак»:

$$\sum R = \rho g \omega_1 (h_{n1} + h_{n2} + h_{n3}), \quad (6)$$

где h_{n1} – потери напора на прохождение через фильтр при входе в гравийную обсыпку [м]; h_{n2} – потери напора в гравийной обсыпке [м]; h_{n3} – потери напора на прохождение через фильтр при выходе из гравийной обсыпки [м].

Потери напора h_{n1} обусловлены затратами энергии на прохождение через водопроницаемую поверхность фильтра. При турбулентном движении h_{n1} можно приближенно определить из формулы Дарси:

$$v_\phi = k_\phi \cdot I_\phi = k_\phi \cdot \frac{h_{i1}}{\delta_\phi}, \quad (7)$$

где v_ϕ – средняя мгновенная скорость движения реагента при прохождении при прохождении через фильтр [м/с],

$$v_\phi = \left(\frac{\omega_1}{\omega_2} \right) \frac{dz}{dt}; \quad \omega_2 - \text{площадь боковой}$$

поверхности участка фильтра, через который проходит реагент [м²], $\omega_2 = \pi d_2 h'$; h' – величина выхлопного зазора взрывной камеры; I_ϕ – гидравлический уклон фильтрационного потока при прохождении через фильтр; δ_ϕ – толщина фильтра [м], $\delta_\phi = 20\text{--}30$ мм; k_ϕ – коэффициент фильтрации каркасно-проволочного фильтра [м/с], с учетом его кольматации принимаем по данным табл. 37 [2].

Следовательно,

$$h_{n1} = \frac{v_\phi \cdot \delta_\phi}{k_\phi}; \quad (8)$$

Окончательно потери напора h_{n1} равны

$$h_{n1} = \frac{\delta_\phi}{k_\phi} \frac{\omega_1}{\omega_2} \frac{dz}{dt}. \quad (9)$$

Скорость фильтрационного потока в гравийной обсыпке $v_{обс}$ для случая ламинарной фильтрации равна, согласно [10],

$$v_{обс} = k_{обс} \cdot I_{обс} = k_{обс} \cdot \frac{h_{n2}}{l}, \quad (10)$$

где $I_{обс}$ – гидравлический уклон фильтрационного потока в гравийной обсыпке; $k_{обс}$ –

Тогда равнодействующая сил сопротивления ΣR на участках 1–2 после подстановки (9), (13), (14) в (6)

$$\Sigma R = \rho g \omega_1 \left\{ \frac{\delta_\phi}{k_\phi} \left[\left(\frac{\omega_1}{\omega_2} \right) + \left(\frac{\omega_1}{\omega_3} \right) \right] + \frac{l}{k_{обс}} \left(\frac{\omega_1}{\omega_{обс}} \right) \right\} \frac{dz}{dt}. \quad (15)$$

После подстановки (15) в (3) получим:

$$\rho \omega_1 (l - h + h' + h'') \frac{d^2 z}{dt^2} = p_{взр} \left(\frac{h}{h+z} \right)^n \omega_1 - p_k \left(\frac{l_k}{l_k - z} \right)^{n_1} \omega_1 - \rho g \omega_1 \left\{ \frac{\delta_\phi}{k_\phi} \left[\left(\frac{\omega_1}{\omega_2} \right) + \left(\frac{\omega_1}{\omega_3} \right) \right] + \frac{l}{k_{обс}} \left(\frac{\omega_1}{\omega_{обс}} \right) \right\} \frac{dz}{dt}. \quad (16)$$

После группирования получаем дифференциальное уравнение

$$\frac{d^2 z}{dt^2} + a \left(\frac{dz}{dt} \right) + b(h+z)^{-n} + c(l_k - z)^{-n_1} = 0, \quad (17)$$

где $a = A/L$; $b = B/L$; $c = C/L$;

коэффициент ламинарной фильтрации материала гравийной обсыпки [м/с]; $h_{обс}$ – потери напора в гравийной обсыпке [м]; l – длина пути фильтрации, равная длине взрывной камеры [м].

Тогда потери напора в гравийной обсыпке равны

$$h_{n2} = \frac{v_{обс} \cdot l}{k_{обс}}. \quad (11)$$

Выразив скорость в гравийной обсыпке через скорость реагента в сечении 1–1, получим

$$v_{обс} = \frac{\omega_1}{\omega_{обс}} \frac{dz}{dt}. \quad (12)$$

Окончательно потери напора h_{n2} равны

$$h_{n2} = \frac{l}{k_{обс}} \frac{\omega_1}{\omega_{обс}} \frac{dz}{dt}, \quad (13)$$

где $\omega_{обс}$ – поперечное сечение гравийной обсыпки [м²] с наружным диаметром $d_{обс}$,

$\omega_{обс} = \frac{\pi}{4} (d_{обс}^2 - d_\phi^2)$, а d_ϕ – внешний диаметр фильтра [м].

Потери напора на прохождении через фильтр при выходе из гравийной обсыпки h_{n3} в ствол скважины определяем аналогично потерям напора h_{n1} :

$$h_{n3} = \frac{\delta_\phi}{k_\phi} \frac{\omega_1}{\omega_3} \frac{dz}{dt}, \quad (14)$$

где $\omega_3 = \pi d_\phi h''$; h'' – величина расстояния от низа воздушного колпака до верха взрывной камеры [м].

$$L = l - h + h' + h''; \quad A = g \left\{ \frac{\delta_\phi}{k_\phi} \left[\left(\frac{\omega_1}{\omega_2} \right) + \left(\frac{\omega_1}{\omega_3} \right) \right] + \frac{l}{k_{\text{обс}}} \left(\frac{\omega_1}{\omega_{\text{обс}}} \right) \right\}; \quad B = -p_{\text{взр}} h^n / \rho; \quad C = p_{\text{к}} l_{\text{к}}^{n_1} / \rho.$$

Начальные условия $t = 0; z = 0; dz / dt = 0$.

Уравнение решено численным методом (Рунге – Кутта), составлена программа на ЭВМ. Решение получено в виде кривых во взрывной камере $v = f(t)$, фильтре $v_\phi = f(t)$, и гравийной обсыпке $v_{\text{обс}} = f(t)$.

Определим значения $v_{1\text{max}}$ и z_1 аналитически при следующих допущениях: 1) потери напора рассчитываем по скорости v_y , полученной из уравнения Д. Бернулли на случай установившегося движения на данном перемещении z .

Тогда уравнение (16) примет вид

$$\frac{d^2 z}{dt^2} = \frac{p_{\text{взр}}}{\rho L} \left(\frac{h}{h+z} \right)^n - \frac{p_{\text{к}}}{\rho L} \left(\frac{l_{\text{к}}}{l_{\text{к}}-z} \right)^{n_1} - \frac{g}{L} \left\{ \frac{\delta_\phi}{k_\phi} \left[\left(\frac{\omega_1}{\omega_2} \right) + \left(\frac{\omega_1}{\omega_3} \right) \right] + \frac{l}{k_{\text{обс}}} \left(\frac{\omega_1}{\omega_{\text{обс}}} \right) \right\} v_{1y}. \quad (18)$$

Учитывая, что $v = \frac{dz}{dt}$; $\frac{d^2 z}{dt^2} = \frac{dv}{dt} = v \frac{dv}{dz}$, проинтегрируем (18) и получим

$$\begin{aligned} \frac{1}{2} v_1^2 &= \frac{p_{\text{взр}} h^n}{\rho L (h+z)^{n-1} (1-n)} - \frac{p_{\text{к}} l_{\text{к}}^{n_1}}{\rho L (n_1-1) (l_{\text{к}}-z)^{n_1-1}} - \\ &- \frac{g}{L} \left\{ \frac{\delta_\phi}{k_\phi} \left[\left(\frac{\omega_1}{\omega_2} \right) + \left(\frac{\omega_1}{\omega_3} \right) \right] + \frac{l}{k_{\text{обс}}} \left(\frac{\omega_1}{\omega_{\text{обс}}} \right) \right\} z v_{1y} + C. \end{aligned} \quad (19)$$

Постоянную интегрирования C найдем из начальных условий: при $z = 0; v_1 = 0$.

$$C = -\frac{p_{\text{взр}} h^n}{\rho L h^{n-1} (1-n)} + \frac{p_{\text{к}} l_{\text{к}}^{n_1}}{\rho L (n_1-1) l_{\text{к}}^{n_1-1}}. \quad (20)$$

Получим выражение для скорости неустановившегося движения v_1 во взрывной камере при заданном z на стадии разгона:

$$v_1 = \sqrt{\frac{2}{L} \left\{ \frac{p_{\text{взр}} h}{\rho(n-1)} \left[1 - \left(\frac{h}{h+z} \right)^{n-1} \right] - \frac{p_{\text{к}} l_{\text{к}}}{\rho(n_1-1)} \left[\left(\frac{l_{\text{к}}}{l_{\text{к}}-z} \right)^{n_1-1} - 1 \right] - \right.} \\ \left. - g \left\{ \frac{\delta_\phi}{k_\phi} \left[\left(\frac{\omega_1}{\omega_2} \right) + \left(\frac{\omega_1}{\omega_3} \right) \right] + \frac{l}{k_{\text{обс}}} \left(\frac{\omega_1}{\omega_{\text{обс}}} \right) \right\} v_{1y} z \right\}}. \quad (21)$$

При $z = z_1$ получаем формулу для расчета $v_{1\text{max}}$.

$$v_{1\text{max}} = \sqrt{\frac{2}{L} \left\{ \frac{p_{\text{взр}} h}{\rho(n-1)} \left[1 - \left(\frac{h}{h+z_1} \right)^{n-1} \right] - \frac{p_{\text{к}} l_{\text{к}}}{\rho(n_1-1)} \left[\left(\frac{l_{\text{к}}}{l_{\text{к}}-z_1} \right)^{n_1-1} - 1 \right] - \right.} \\ \left. - g \left\{ \frac{\delta_\phi}{k_\phi} \left[\left(\frac{\omega_1}{\omega_2} \right) + \left(\frac{\omega_1}{\omega_3} \right) \right] + \frac{l}{k_{\text{обс}}} \left(\frac{\omega_1}{\omega_{\text{обс}}} \right) \right\} v_{1\text{max}} z_1 \right\}}. \quad (22)$$

При подстановке условий, соответствующих окончанию этапа разгона: $z = z_1$; $v_{1y} = v_{1max}$; $\frac{d^2z}{dt^2} = 0$ в выражение (18), и, выразив v_{1max} , получим:

$$v_{1max} = \frac{p_{взр} \left(\frac{h}{h+z_1} \right)^n - p_{к} \left(\frac{l_{к}}{l_{к}-z_1} \right)^{n_1}}{\rho g \left\{ \frac{\delta_{\phi}}{k_{\phi}} \left[\left(\frac{\omega_1}{\omega_2} \right) + \left(\frac{\omega_1}{\omega_3} \right) \right] + \frac{l}{k_{обс}} \left(\frac{\omega_1}{\omega_{обс}} \right) \right\}} . \quad (23)$$

Этап разгона жидкости заканчивается достижением максимальной скорости в камере $v = v_{1max}$ при $z = z_1$, которую можно найти из системы уравнений (22) и (23).

Этап квазиустановившегося движения ($v_{1max} = const$) характеризуется максимальным динамическим воздействием потока реагента на стенку фильтра, максимальной скоростью фильтрационного потока в гравийной обсыпке и наибольшей интенсификацией растворения кольматирующих отложений.

На рис. 2 представлены результаты расчетов скорости реагента $v = f(t)$ во взрывной камере с воздушным колпаком, полностью заполненным воздухом.

Из рис. 2 следует, что на участке «взрывная камера – гравийная обсыпка – воздушный колпак» поток реагента разгоняется примерно за 2,5 миллисекунды с достижением максимальной

скорости $v = v_{1max}$ и примерно через 1,6 миллисекунды его скорость убывает до нуля. Количественные значения скоростей гидропотока в гравийной обсыпке и фильтре определяются площадями соответствующих сечений, так как в представленной постановке задачи утечек реагента в пласт не происходит.

Анализ уравнения движения (5) показывает, что с ростом количества водородно-кислородной смеси и объема воздуха в воздушном колпаке увеличивается время воздействия гидропотока на фильтр и продолжительность фильтрационного потока. Увеличение заряда во взрывной камере также приводит к возрастанию времени и эффективности динамического воздействия на отложения, приводящего к их диспергированию, расширению площади поверхности и интенсификации растворения.

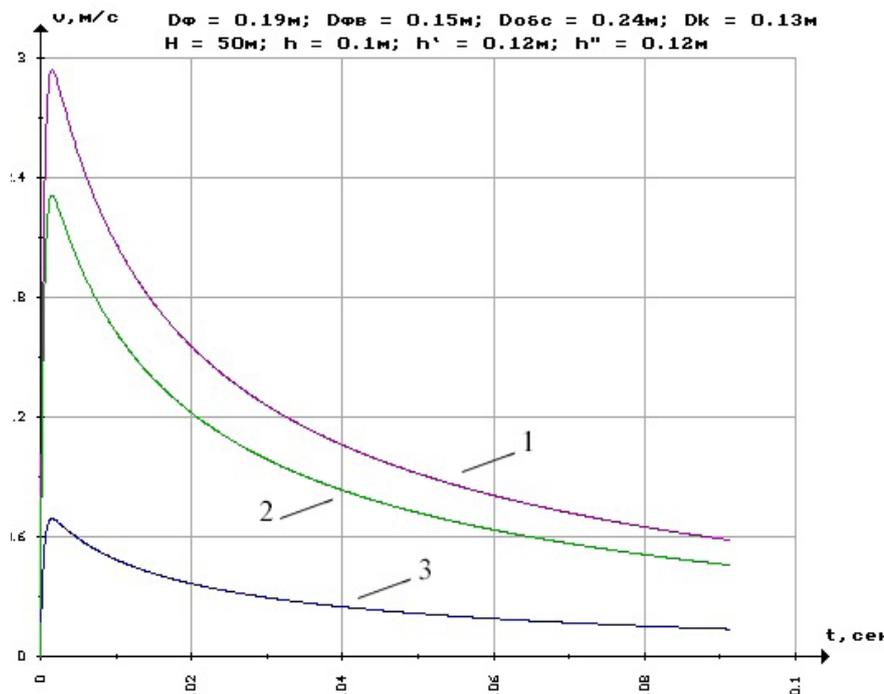


Рис. 2. Изменение скорости v реагента от времени t на этапе расширения продуктов взрыва водорода: 1 – во взрывной камере, $v_{\phi} = f(t)$; 2 – при прохождении фильтра $v_{обс} = f(t)$; 3 – в гравийной обсыпке $v = f(t)$ при следующих данных: $m = 10$; $H = 50$ м; $d_1 = 0,13$ м; $d_2 = 0,15$ м; $d_{обс} = 0,24$ м; $d_{\phi} = 0,19$ м; $\delta_{\phi} = 0,02$ м; $k_{\phi} = 0,005$ м/с; $k_{обс} = 0,0023$ м/с; $h = 0,10$ м; $h' = 0,12$ м; $h'' = 0,12$ м; $l = 0,5$ м; $l_{к} = 0,8$ м; $n = 1,17$; $n_1 = 1,4$.

Выводы

1. Проанализированы формулы для определения коэффициента массопереноса β при комбинированных обработках скважин на воду методом циклического задавливания реагента за контур фильтра и электроразряда в реагенте. Анализ формул показал, что коэффициент массопереноса возрастает с увеличением скорости движения реагента в степени 0,5, причем скорость реагента, например, при электроразрядах, прямо пропорциональна энергии в импульсе, частоте следования разрядов и радиусу каверны в квадрате. Учитывая, что при электроразрядах размеры каверны незначительны, для реализации комбинированного импульсно-реагентного воздействия предложено использовать взрыв водорода в реагенте, который сопровождается образованием парогазового пузыря значительных размеров. Для увеличения частоты следования подводных взрывов предложено подавать водородно-кислородную смесь в фильтр от отдельного электролизера, установленного у оголовка скважины.

2. Для определения кинематических параметров потока реагента, возникающего при пульсациях парогазового пузыря, получено дифференциальное уравнение движения реагента в системе «взрывная камера – гравийная обсыпка – воздушный колпак» при подводном газовом взрыве в открытой снизу взрывной камере, находящейся в фильтре скважины. Уравнение решено численным методом (Рунге – Кутты), составлена программа на ЭВМ. Решение получено в виде кривых изменения скорости в функции времени: во взрывной камере $v = f(t)$, фильтре $v = f(t)$ и гравийной обсыпке $v_{\phi} = f(t)$, и гравийной обсыпке $v_{\text{обс}} = f(t)$. Рассмотрен пример расчета.

3. С учетом ряда допущений получено аналитическое выражение для расчета максимальной скорости $v_{1\text{max}}$ реагента во взрывной камере и гравийной обсыпке при различных параметрах взрыва и геометрических размерах скважины и скважинного устройства.

Библиографический список

1. Аксельруд, Г. А. Растворение твердых веществ / Г. А. Аксельруд, А. Д. Молчанов. – М. : Химия, 1977. – 272 с.
2. Гаврилко, В. М. Фильтры буровых скважин / В. М. Гаврилко, В. С. Алексеев. – 3-е изд., перераб. и доп. – М. : Недра, 1985. – 334 с.
3. Рекомендации по импульсно - реагентному восстановлению производительности скважин / В. С. Алексеев [и др.]; под общ. ред. В. С. Алексеева. – М. : ВНИИ «ВОДГЕО», 1982. – 92 с.
4. Алексеев, В. С. Восстановление дебита водозаборных скважин / В. С. Алексеев, В. Т. Гребенников. – М. : Агропромиздат, 1987. – 239 с.
5. Андреев, К. Н. Пневмореагентная регенерация скважин на воду : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.23.04 / К. Н. Андреев. – Москва, 1990. – 23 с.
6. Тугай, А. М. Продуктивність водозабірних свердловин в умовах кольматажу / А. М. Тугай, О. Я. Олейник, Я. А. Тугай : моногр. – Харків: ХНАМГ, 2004. – 240 с.
7. Гуринович А. Д. Питьевое водоснабжение из подземных источников: проблемы и решения / А. Д. Гуринович. – Минск : Технопринт, 2001. – 302 с.
8. Башкатов, Д. Н. Специальные работы при бурении и оборудовании скважин на воду : справ. / Д. Н. Башкатов [и др.] – М. : Недра, 1988. – 268 с.
9. Щеголев, Е. Ю. Регенерация водозаборных скважин импульсными методами : дис. ... канд. техн. наук : 05.23.04 / Е. Ю. Щеголев. – М. : 1987. – 140 л.
10. Веригин, Н. Н. О кинетике растворения солей при фильтрации воды в грунтах / Н. Н. Веригин // Растворение и выщелачивание горных пород : тр. Первого совещ. по вопр. выщелачивания водорастворимых горн. пород / М. П. Семенов [и др.]. – М. : Госстройиздат, 1957. – С. 84–113.

КОМПЛЕКСНЫЙ МОРФОМЕТРИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ТЕРРИТОРИИ ГОРЕЦКОГО РАЙОНА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ

Ю. Н. Дуброва, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент

Т. Н. Мыслыва, доктор сельскохозяйственных наук, доцент

Т. Н. Ткачева, старший преподаватель

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

Аннотация

Впервые для территории Горецкого р-на Могилевской обл. по данным гидрологически корректной цифровой модели рельефа выполнен комплекс картометрических и морфометрических расчетов, а также построены карты эрозионной сети из элементов 1-4 порядков и густоты горизонтального расчленения рельефа. В качестве исходных использовались данные радарной топографической съемки SRTM (*Shuttle Radar Topographic Mission*) с пространственным разрешением 1 угловая секунда (30 м). Комплексный морфометрический анализ цифровой модели рельефа выполнялся с использованием функциональных возможностей набора инструментов «Пространственный анализ» и «Гидрология» *ArcGIS* версии 10.3. Были идентифицированы тальвеги четырех порядков с общей длиной 508,21 км; при этом на тальвеги 1-го порядка приходится 54,2 % суммарной длины, а на суммарную длину тальвегов 1–2 порядков – 79 % общей длины. Средняя длина тальвегов колеблется в пределах от 0,59 до 1,91 км, а распределение длин разнопорядковых тальвегов подчиняется обратному экспоненциальному закону. Соотношение длин тальвегов колеблется от 0,17 до 0,73, достигая максимального значения для водотоков 2-го порядка, а преобладание среди идентифицированных водотоков тальвегов 1–2 порядков свидетельствует о развитии водноэрозионных процессов в пределах исследуемой территории. По результатам выполнения кросс-валидации наиболее пригодным для целей прогнозирования пространственного распределения степени горизонтального расчленения рельефа оказался метод эмпирического байесовского кригинга, в результате применения которого была получена поверхность, минимальная величина горизонтального расчленения рельефа которой составляет 1,89 км/км², а максимальная – 3,45 км/км². Модель автоматизации процесса выполнения морфометрического анализа рельефа с использованием функциональных возможностей приложения *ModelBuilder ArcGIS* может быть использована для оптимизации процесса межхозяйственного землеустройства территории и планирования мелиоративных мероприятий.

Ключевые слова: SRTM, рельеф, эрозия, анализ, моделирование.

Abstract

Yu. N. Dubrova, T. N. Myslyva, T. N. Tkacheva

INTEGRATED MORPHOMETRIC ANALYSIS OF THE TERRITORY OF GORKY DISTRICT USING REMOTE SENSING DATA

For the first time, for the territory of the Gorky district of the Mogilev region, according to the hydrologically correct digital elevation model, a complex of cartometric and morphometric calculations was performed, as well as maps of the erosion network from elements of 1-4 orders and the density of horizontal dissection of the relief were constructed. Shuttle Radar Topographic Mission (SRTM) data with a spatial resolution of 1 arc second (30 m) were used as the source data. Comprehensive morphometric analysis of the digital elevation model was performed using the functionality of spatial analysis and hydrology toolkit the *ArcGIS* version 10.3. The streams of four orders with a total length of 508.21 km were identified during the analysis. At the same time, 54.2% of the total length falls on the first order streams, and 79 % – on the total length of the streams of 1-2 orders. The average length of the streams ranges from 0.59 to 1.91 km, and the distribution of the lengths of different-order streams obeys the inverse exponential law. The ratio of the lengths of the streams ranges from 0.17 to 0.73, reaching a maximum value for second order watercourses. The predominance the streams of 1–2 orders of magnitude indicates the development of water erosion processes within the study area. According to the results of cross-validation, the method of empirical Bayesian kriging turned out to be the most suitable for the purposes of predicting the spatial distribution of the degree of horizontal dissection of the relief. As a result of the application of this method, a surface was obtained with a minimum horizontal fragmentation of the relief of 1.89 km/km² and a maximum of 3.45 km/km². The automation model for the process of morphometric analysis of the relief using the functionality of the *ModelBuilder ArcGIS* application can be used to optimize the process of inter-farm land management and planning of land reclamation measures.

Keywords: SRTM, relief, erosion, analysis, modeling.

Введение

Для повышения эффективности использования земельных ресурсов и выполнения землеустроительных и мелиоративных работ целесообразно применять функциональные возможности современных геоинформационных систем. В частности, используя информацию о результатах дистанционного зондирования Земли, находящуюся в свободном доступе в открытых источниках, и выполнив ее преобразование в ГИС-среде, можно получить объективные и актуальные данные о состоянии той или иной территории, не прибегая к выполнению дорогостоящих наземных изысканий [1, 2]. К такой информации относятся, в частности, цифровые модели рельефа, полученные по данным радарной топографической съемки.

Более того, рельеф является одним из ведущих факторов формирования ландшафтов и важнейшей составляющей почвообразования, оказывая наибольшее влияние на локальное разнообразие почвенного покрова, а изучение его структурно-геоморфологических особенностей – неотъемлемая часть региональных исследований при агроэкологической оценке земель [3]. Одной из основ изучения рельефа любой территории считается морфометрический анализ, обеспечивающий более объективную и комплексную его оценку: он исключительно важен при комплексном изучении и картографировании эрозионных процессов, почвенного покрова, растительно-

сти, прогнозировании и ландшафтном планировании [4, 5].

Количественный анализ поверхности и морфометрических особенностей рельефа территории Беларуси в целом и Горецкого р-на в частности выполнялись преимущественно консервативными методами. Более прогрессивный и информативный метод исследования рельефа – совместное использование функциональных возможностей ГИС по гидрологическому моделированию и построению корректных топографических поверхностей, учитывающих морфометрические особенности изучаемой территории, и данных дистанционного зондирования Земли. Однако, поскольку такие функции ГИС работают с растровым типом данных, методика построения и интерпретация полученных морфометрических показателей, а также их визуализация принципиально отличаются от традиционной, на что, в частности, указывается и в работе [6], а следовательно, требуют более детального изучения.

Цель исследований: 1) определение основных морфометрических характеристик рельефа и выполнение комплексного морфометрического анализа территории Горецкого р-на Могилевской обл.; 2) создание модели для автоматизации процесса определения морфометрического анализа рельефа с использованием функциональных возможностей приложения *Model Builder ArcGIS*.

Основная часть

Для построения производных цифровой модели рельефа (далее – ЦМР) использовалась 4-я версия (2018 г.) данных *Shuttle Radar Topographic Mission (SRTM)* – радарной топографической съемки поверхности земного шара, произведенной в феврале 2000 г. с помощью специальной радарной системы методом радарной интерферометрии с борта американского челнока *Shuttle* [6]. Математической основой данных является референц-эллипсоид WGS84 и проекция GCS_WGS_1984, а их пространственное разрешение составляет 1 угловую секунду (30 м). Данные SRTM имеют вид квадрата 1×1 градус, что при максимальном доступном разрешении и обрезке

по векторной маске представляет собой матрицу 2201×1599 элементов. Один дополнительный нижний ряд и одна правая колонка растра являются дублирующими и повторяются на соседней матрице. Снимок представлен простым 16-битным растром, где атрибут пиксела соответствует высоте над уровнем моря в данной точке. Абсолютная ошибка геолокации 90 %-ной обеспеченности составляет 8,8 м, абсолютная погрешность определения высоты – 6,2 м, относительная ошибка высоты – 2,6 м. Морфометрический анализ ЦМР выполнялся с использованием функциональных возможностей набора инструментов «Пространственный анализ» и «Гидрология»

ArcGIS версии 10.3. Геоинформационная модель для автоматизации морфометрического анализа, извлечения системы водотоков и определения величины горизонтального расчленения рельефа была построена с использованием модуля *Model Builder*. Поскольку на используемой цифровой модели рельефа территории имеются водотоки и понижения, выполнялось заполнение локальных понижений в растре поверхности и удаление всех небольших ошибок и неточностей, присущих исходным данным. На рис. 1 а представлена цифровая модель рельефа территории Горьковского р-на после выполнения корректирования. Отметим, что на врезке рис. 1 а показан фрагмент с разбивкой на учетные квадраты со стороной 1 км.

Для моделирования эрозионной сети, определения порядка тальвегов по методике Стралера – Философова [6] и построения соответствующего картографического изображения входной грид рельефа обрабатывался с применением функционала набора инструментов «Гидрология» гидрологическими функциями «Заполнение», «Направление стока», «Суммарный сток», «Идентификация водотоков», «Порядок водотоков» (рис. 1 б). По данным SRTM была построена гипсографическая кривая территории Горьковского р-на, согласно данным которой, средняя высота территории равна 196,16 м, а среднее квадратическое отклонение – 12,96 м (рис. 1 в). Морфометрические характеристики территории были рассчитаны с учетом трех аспектов: линейного, площадного и рельефного (табл. 1).

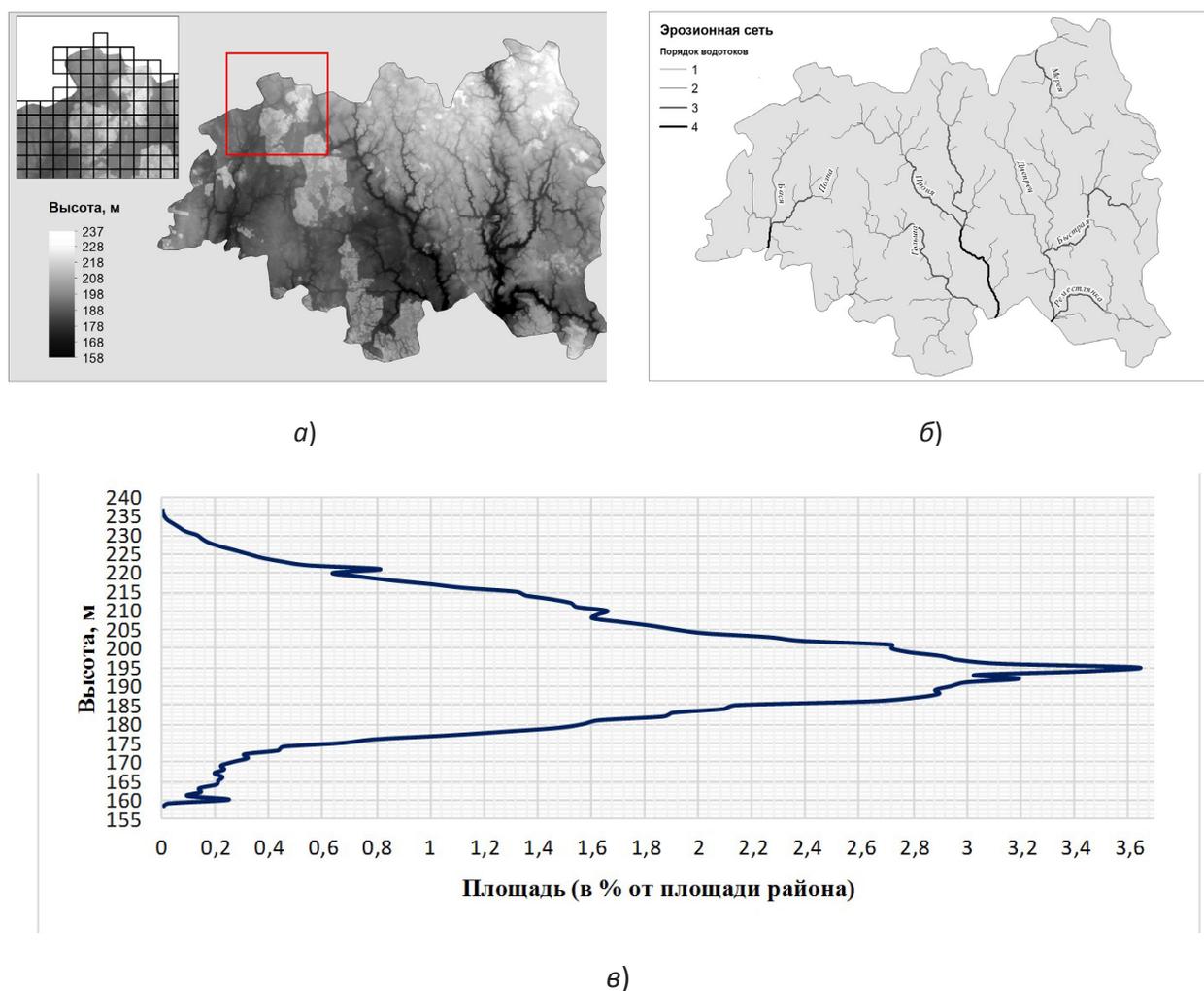


Рис. 1. Цифровая модель рельефа (ЦМР) - а; эрозионная сеть - б; гипсографическая кривая территории Горьковского р-на, полученная по данным ЦМР, - в.

Таблица 1. Результаты расчета морфометрических параметров рельефа территории Горьковского р-на

Название параметра	Символ	Формула расчета параметра	Рассчитанное значение параметра	Источник информации расчетных зависимостей
Линейные аспекты				
Площадь территории, км ²	A	Общая площадь территории	1289,69	[2, 7, 8]
Длина бассейна, км	L_b	$L_b = 1,312 \cdot A^{0,568}$, где A – площадь территории, км ²	76,68	[2, 7, 9]
Периметр бассейна, км	P	Внешняя граница территории	219,29	[2, 7, 9]
Порядок тальвегов	U	Иерархический ранг	4	[7, 8, 10]
Длина тальвегов, км	L_u	Длина тальвегов каждого порядка	1 – 275,54; 2 – 125,87; 3 – 91,49; 4 – 15,31	[2, 7, 11]
Количество тальвегов, шт	N_u	Количество тальвегов каждого порядка	1 – 270; 2 – 188; 3 – 156; 4 – 8	[2, 7, 12]
Средняя длина тальвегов каждого порядка, км	L_{sm}	$L_{sm} = L_u / N_u$	1 – 1,02; 2 – 0,67; 3 – 0,59; 4 – 1,91	[2, 8, 10]
Соотношение длин тальвегов	R_l	$R_l = L_u / L_{u-1}$, где L_{u-1} – общая длина тальвегов следующего низшего порядка	1 – 0,46; 2 – 0,73; 3 – 0,17	[2, 10, 11]
Коэффициент бифуркации	R_b	$R_b = N_u / N_{u-1}$, где N_{u-1} – общее количество тальвегов следующего высшего порядка	1/2 – 1,44; 2/3 – 1,21; 3/4 – 19,5	[2, 8, 10]
Средний коэффициент бифуркации	R_{bm}	Средний уровень бифуркации тальвегов всех порядков	7,383	[2, 8, 10]
Площадные аспекты				
Плотность водосборной сети, км/км ²	D_d	$D_d = L_u / A$, где L_u – общая длина тальвегов	0,39	[8, 10, 13]
Текстура водосборной сети, шт/км	R_t	$R_t = N_u / P$, где N_u – общее количество тальвегов	2,84	[2, 10]
Частота водосборной сети, шт/км ²	F_s	$F_s = N_u / A$	0,48	[2, 10, 11]
Коэффициент удлинения	R_e	$R_e = 2 \cdot \sqrt{(A/\pi)} / L_b$	0,53	[2, 9, 10]

Продолжение Таблицы 1.

Коэффициент округлости	R_c	$R_c = (4 \cdot \pi \cdot A)/P^2$	0,34	[2, 10, 14]
Коэффициент формы водосбора	R_f	$R_f = A/L_b^2$	0,22	[2, 10, 11]
Коэффициент вытянутости водосбора	B_s	$B_s = L_b^2/A$	4,56	[2, 10, 11]
Коэффициент компактности	C_c	$C_c = 0,2821 \cdot P/A^{0,5}$	1,72	[10, 11]
Длина водотоков на поверхности	L_g	$L_g = \frac{1}{2} D_d$	0,20	[10, 11]
Коэффициент инфильтрации	I_f	$I_f = D_d \cdot F_c$	0,19	[2, 10]
Аспекты рельефа				
Амплитуда колебаний высот, м	B_h	Вертикальное расстояние между самой высокой и самой низкой точкой	79	[2, 9, 10]
Коэффициент рельефа	R_h	$R_h = B_h/L_b$	0,0103	[2, 9, 10]
Коэффициент устойчивости рельефа	R_n	$R_n = B_h/D_d$	0,20	[2, 8, 10]

В качестве параметров линейного аспекта были определены порядок тальвегов (U), количество тальвегов (N_u), длина тальвегов каждого порядка (L_u), средняя длина тальвегов каждого порядка (L_{sm}), соотношение длин тальвегов (R_l) и коэффициент бифуркации (R_b). В пределах исследуемой территории были идентифицированы тальвеги четырех порядков с общей длиной 508,21 км; при этом на тальвеги 1-го порядка приходится 54,2 % суммарной длины, а на суммарную длину тальвегов 1–2 порядков – 79 % общей длины. Средняя длина тальвегов колеблется в пределах от 0,59 км до 1,91 км, а распределение длин разнопорядковых тальвегов подчиняется обратному экспоненциальному закону. Соотношение длин тальвегов колеблется от 0,17 до 0,73, достигая максимального значения для водотоков 2-го порядка. Преобладание среди идентифицированных водотоков тальвегов 1–2-го порядков свидетельствует о развитии водноэрозионных процессов в пределах исследуемой территории. Коэффициент бифуркации определяется как отношение количества сегментов водотока заданного порядка к

числу сегментов водотока следующего, более высокого порядка [2, 9]. Он характеризует степень близости структуры водотоков к древовидной [15, 16]. Низкие значения величины R_b характерны для структурно менее нарушенных бассейнов без каких-либо искажений в системе водотоков и для территории Горецкого р-на приурочены к водотокам 2-го порядка.

В качестве параметров ареального аспекта были рассмотрены такие показатели, как плотность и текстура водосборной сети, частота потока, коэффициент инфильтрации, коэффициенты формы, удлинения, округлости и компактности водосбора, длина потоков на поверхности. Плотность водосборной сети (D_d) является одной из доминирующих характеристик, описывающих степень расчленения рельефа и потенциал стока и зависящих от климата, типа горных пород, рельефа, емкости инфильтрации, типа растительного покрова и коэффициента шероховатости подстилающей поверхности. Низкое значение данного показателя свидетельствует о том, что поверхность исследуемой территории представлена водопроницаемыми породами и покрыта густым растительным покровом, а рельеф

имеет равнинный характер. О достаточной водопроницаемости подстилающих пород свидетельствует и величина коэффициента инфильтрации (I_f), равная 1,19 и характеризующая умеренный сток с поверхности. Текстура водосборной сети (R_t) обратно пропорционально зависит от ее плотности и подразделяется на пять классов [2]: <2 – очень грубая; 2–4 – грубая; 4–6 – умеренная; 6–8 – нормальная; >8 – тонкая текстура. Чем больше значение текстуры водосборной сети, тем больше степень расчленения рельефа. Текстура исследуемой территории составляет 2,84 и, согласно приведенной классификации, относится к грубой. Частота водосборной сети (F_s) имеет положительную корреляцию с ее плотностью, а ее высокие значения связаны с наличием слабопроницаемой подстилающей поверхности, редкой растительности, высотного рельефа и низкой инфильтрационной способности [17].

Для территории Горещкого р-на значение данного показателя составляет 0,48. Коэффициент удлинения (R_e) связан с наличием высоких форм рельефа и крутых наземных склонов: чем ближе значения R_e к 1, тем ниже формы рельефа и крутизна склонов. Величина данного показателя подразделяется на три класса [8]: >0,9 – круглые; 0,8–0,9 – овальные; <0,7 – удлиненные формы рельефа. Значение R_e для исследуемой территории составляет 0,54, что соответствует наличию в ее пределах преимущественно вытянутых форм рельефа. Коэффициент округлости рельефа (R_c) связан с длиной и частотой водотоков, геологическими структурами, характером землепользования, климатом, рельефом и уклоном поверхности [18]. Величина данного показателя для Горещкого р-на составляет 0,34, что соответствует вытянутой форме территории. На удлиненную форму исследуемой территории указывают также величина коэффициента формы водосбора (R_f), равная 0,22, и величина коэффициента вытянутости водосбора (B_s), значительно превышающая единицу и равная 4,56. Коэффициент компактности (C_c) прямо пропорционален величине риска проявления эрозии: более низкие его значения свидетельствуют о меньшей эрозионной уязвимости территории, в то время как более высокие значения свидетельствуют о

высокой эрозионной опасности и необходимости осуществления неотложных противоэрозионных мероприятий [10]. Для исследуемой территории данный показатель составляет 1,72. Длина водотоков на поверхности (L_g) характеризует степень уязвимости поверхности в случае возникновения неблагоприятных метеорологических явлений. Величина данного показателя 0,20 показывает, что территория Горещкого р-на может быть уязвима к внезапным наводнениям во время экстремальных метеорологических явлений.

Рельефные аспекты анализа территории имеют непосредственную связь с изучением ее площади, объема и высоты, используемых для анализа различных гидрогеологических характеристик. Среди параметров, относящихся к аспектам рельефа, определялись амплитуда колебаний высот, коэффициент рельефа и коэффициент устойчивости территории. Рельеф бассейна (R_h) и коэффициент его устойчивости (R_n) – важные параметры, необходимые для понимания геоморфологических процессов и общей характеристики рельефа. Высокие значения данных коэффициентов указывают на наличие крутых склонов и повышенных элементов рельефа. Для Горещкого р-на значения R_h и R_n являются низкими и составляют 0,0103 и 0,20 соответственно, свидетельствуя об относительно низких объемах поверхностного стока с территории и отсутствии очень крутых склонов в ее пределах.

Следует отметить, что крутизна склона – угол между горизонтальной и тангенциальной плоскостями в определяемой точке земной поверхности – одна из важнейших морфометрических характеристик, непосредственно влияющих как на состояние, так и на характер использования территории [3]. Результатом вычислений уклона является грид-модель, определяющая скорость максимального изменения значений высоты для каждой ячейки поверхности растра. Гриды представляют собой поверхность по регулярно распределенным точкам, а их структура полностью соответствует структуре непрерывных растровых данных. Крутизна склона определяет скорость потоков, перемещающихся вдоль земной поверхности под действием гравитации. Согласно классификации Н. И. Николаева, все склоны делят на очень

крутые ($>35^\circ$), крутые ($15-35^\circ$), склоны средней крутизны ($8-15^\circ$), пологие ($4-8^\circ$), очень пологие ($2-4^\circ$). При углах наклона менее 2° поверхности не относятся к склонам [19]. Наименее пересяченной является западная часть территории Горецкого р-на, тогда как остальная территория района характеризуется наличием склонов кру-

тизной от 3–6 до 15 и более градусов. Вычисление площадей склонов различной крутизны позволило определить площадь эрозионно-опасных земель с крутизной склона выше 3° , которая составила $565,57 \text{ км}^2$, или 43,85 % от общей площади территории района (табл. 2).

Таблица 2. Распределение территории Горецкого р-на по показателю крутизны склонов

Крутизна склонов, град	Площадь территории, км ²	% от общей площади района	Характер склонов
0–3	724,12	56,15	очень пологие
3–6	419,60	32,53	пологие
6–9	144,92	11,24	средней крутизны
9–12	0,10	0,008	
12–15	0,80	0,062	
15–18	0,14	0,011	крутые
18–21	0,01	0,001	

Следует отметить, что поскольку общая площадь эродированных земель в пределах Горецкого р-на превышает 20 %, его территорию можно отнести к сильно эродированной. Главной причиной возникновения эрозии является почвенно-антропогенный фактор, чему способствует характер преобладающих почвообразующих пород. В пределах пахотных земель почвы, сформированные на лессовых и лессовидных породах, занимают более 50 %, а высокое потенциальное плодородие этих почв обусловило их интенсивное сельскохозяйственное освоение, что играет ведущую роль при формировании водно-эрозионных процессов. Кроме того, лессовидные почвообразующие породы имеют низкую противоэрозионную устойчивость (в 1,4–1,7 раза меньше, чем у моренных суглинков).

Густота горизонтального расчленения рельефа территории Горецкого р-на оценивалась по показателю длины тальвегов (водотоков) эрозионных форм на единицу площади, км/км² [20]. Для выполнения автоматизированного расчета величины горизонтального расчленения рельефа, а также определения других его морфометрических характеристик была разработана геоинформационная модель, в которой реализован функционал наборов инструментов «Анализ», «Инструменты пространственного анализа» и «Управление данными». Исходны-

ми данными в модели выступали SRTM, шейп-файл с административной границей Горецкого р-на, а также векторный полигональный слой, представляющий собой сеть квадратов размером $1 \times 1 \text{ км}$ и покрывающий всю территорию исследований (всего 1412 квадратов).

Созданная модель структурно состоит из 3 исходных параметров, 21 процесса и 23 результирующих растровых слоев, векторных слоев и таблиц (рис. 2). Использование модели позволяет ускорить процесс анализа более чем в 30 раз по сравнению с процессом анализа, выполняемого посредством последовательного применения отдельных инструментов.

Полученный в результате применения геоинформационной модели точечный слой пространственных объектов преобразовывался в грид-модель посредством интерполяции с применением детерминированных и геостатистических методов. Среди детерминированных методов, использующих для прогноза абсолютные значения данных, применялся метод обратных взвешенных расстояний (IDW) и метод радиальных базисных функций (RBF). Среди геостатистических методов, использующих для прогноза значений статистические характеристики показателей, рассматривались простой кригинг (SK) и эмпирический байесовский кригинг (ЕВК) (рис. 3).

При применении интерполяции по методу обратных взвешенных расстояний получена поверхность, редуцированная на 10 классов, минимальная величина горизонтального расчленения рельефа которой составляет 1,0 км/км², а максимальная – 3,99 км/км² (табл. 2). Метод интерполяции IDW целесообразнее всего применять при наличии достаточно плотного набора данных, отобранных по регулярной сети, что не выполнено в нашем случае, поскольку точечный слой со значениями густоты расчленения рельефа создавался

по значениям точек пересечения водотоков с векторной сеткой квадратов. Несмотря на то что в отдельных работах интерполяцию по методу обратных взвешенных расстояний предлагается использовать для выполнения пространственного моделирования густоты горизонтального расчленения рельефа [20, 21], мы не рекомендуем применять данный метод для подобной цели, что подтверждают и результаты кросс-валидации грид-моделей (табл. 3).

Таблица 3. Статистические параметры и результаты кросс-валидации грид-моделей интенсивности горизонтального расчленения рельефа на территории Горецкого р-на, км/км²

Статистическая характеристика	Метод интерполяции			
	IDW	RBF	SK	EBK
минимальное значение	1,00	1,03	2,02	1,89
максимальное значение	3,99	4,00	2,43	3,45
среднее значение	2,58	2,58	2,23	2,58
среднеквадратическое отклонение	0,40	0,32	4,93	0,28
средняя ошибка интерполяции, ME	- 0,04108	- 0,00748	- 0,02148	0,00413
среднеквадратическая ошибка интерполяции, RMSE	0,976	0,973	0,925	0,935

Использование интерполяции по методу радиальных базисных функций позволило получить поверхность с колебанием величины горизонтального расчленения от 1,03 до 4,0 км/км². Интерполяция по методу RBF приближается к построению поверхности по измеренным значениям, минимизируя ее общую кривизну; она неэффективна, когда происходит резкое изменение значений на коротких расстояниях [22]. Кроме того, несмотря на то что данный метод, как и IDW, является жестким интерполятором, с его помощью возможно прогнозировать значения выше максимальных и ниже минимальных измеренных значений, на что указывают и сведения, приведенные в табл. 3. В связи с этим, хотя метод RBF и демонстрирует относительно низкую

ошибку интерполяции, его использование для прогнозирования пространственного распределения густоты горизонтального расчленения рельефа территории нецелесообразно, поскольку в этом случае низкие фактические значения будут занижены, а высокие завышены. Простой кригинг оказался абсолютно непригодным для целей прогнозирования, поскольку в результате его применения была смоделирована поверхность с колебанием густоты расчленения рельефа 0,01 км/км², что не соответствует действительности.

По результатам выполнения кросс-валидации наиболее пригодным для целей прогнозирования оказался метод эмпирического байесовского кригинга, в результате применения которого была получена поверхность,

минимальная величина горизонтального расчленения рельефа которой составляет $1,89 \text{ км/км}^2$, а максимальная – $3,45 \text{ км/км}^2$. Особо следует отметить возможность выполнения с помощью ЕВК точной интерполяции умеренно нестационарных данных, что имеет место в нашем случае и чего не позволяют сделать другие виды кригинга.

Установлено, что наибольшую повторяемость в пределах исследуемой территории имеет горизонтальное расчленение рельефа в интервале $2,53\text{--}2,69 \text{ км/км}^2$ (для поверхности, полученной интерполяцией по методу ЕВК), суммарно занимая $25,3 \%$ площади Горецкого р-на. Участки как с высоким горизонтальным расчленением ($3,1\text{--}3,5 \text{ км/км}^2$), так и с низким уровнем указанного показателя (менее $2,0 \text{ км/км}^2$) занимают соответственно $3,51 \%$ и $4,45 \%$ территории.

Следует особо отметить тот факт, что специалистами Государственного предприятия «Белгеодезия» аналитическим способом было проведено сравнение высот облака точек, полученных из матрицы SRTM, с имеющимися в наличии Госкартгеоцентра ЦМР, извлеченными из топографических карт формата

SXF масштабов $1:10\ 000$ и $1:50\ 000$ и представленными в виде горизонталей.

Сравнение высот двух моделей было осуществлено следующим методами: 1) соотношением конкретной точки матрицы SRTM с двумя горизонталями, между которыми она находится, с определением высоты точки по горизонталям по равномерному закону распределения; 2) соотношением горизонталей топографических карт с горизонталями, полученными на основе SRTM. Установлено, что использование модели SRTM, генерализированной с разрешением 30 угловых секунд без введения поправок, имеющих закономерный характер, для картографирования в масштабах $1:50\ 000$ и крупнее не является возможным, однако для отображения рельефа, его основных структурных сегментов (ложбины, хребты, возвышенности, низменности) без вычленения отметок высот данная модель подходит наилучшим образом. Исходя из этого, данные матрицы высот SRTM с пространственным разрешением в 1 угловую секунду пригодны для картографирования в масштабе $1:50\ 000$ с точностью 5 м , на что указывается и в работах [2, 10].

Заключение

Результаты выполненных исследований дают основания утверждать, что совместное использование данных дистанционного зондирования и функциональных возможностей ГИС является эффективным инструментом для выполнения комплексного анализа морфометрических параметров рельефа территории Горецкого р-на.

С помощью данного инструмента были рассчитаны 23 морфометрических параметра, относящихся к линейному, площадному и рельефному аспектам и позволяющих оценить такие характеристики, как способность, топография, литология и гидрологические свойства территории без выполнения дорогостоящих наземных исследований.

Методы геоинформационного анализа можно прогнозировать и оценить степень горизонтального расчленения рельефа, являющуюся одной из важнейших характеристик, ограничивающих ведение сельского хозяйства в пределах территории землепользования.

Знание ее особенностей позволяет наиболее правильно подойти к выделению водоохраных и санитарно-защитных зон с учетом конкретных условий территории, а также произвести определение зон с особым режимом природопользования.

Комплексный морфометрический анализ с помощью ГИС, на основе данных радарной интерферометрической топографической съемки SRTM, может быть использован при проведении оперативной и эффективной оценки критических свойств рельефа для целей прогнозирования использования земель и функционального зонирования территории, а также для межхозяйственного землеустройства.

Дальнейшие исследования следует сосредоточить в направлении использования данных дистанционного зондирования для идентификации и комплексного морфометрического анализа отдельных водосборных бассейнов в пределах территории Горецкого р-на.

Библиографический список

1. Кесель, Э. А. Морфометрический анализ цифровой модели рельефа Смолевичского района Минской области для целей землеустройства / Э. А. Кесель, Е. С. Губаревич, А. В. Мороз // Инновационные достижения науки и техники АПК : сб. науч. ст. по материалам Междунар. науч.-практ. конф. молодых ученых, аспирантов, студентов. – Кинель : РИО СГСХА, 2018. – С. 111–114.
2. Arulbalaji, P. Geospatial tool-based morphometric analysis using SRTM data in Sarabanga Watershed, Cauvery River, Salem district, Tamil Nadu, India / P. Arulbalaji, B. Gurugnanam // Applied Water Science. – 2017. – Vol. 7. – P. 3875–3883. DOI: 10.1007/s13201-017-0539-z.
3. Дамшевич, А. Возможности использования цифровой модели рельефа для изучения влияния морфометрических показателей на влажность почв / А. Дамшевич // Земля Беларуси. – 2017. – № 1. – С. 42–45.
4. Михайлов, В. А. Комплексный морфометрический анализ Тарханкутского полуострова с помощью ГИС [Электронный ресурс] / В. А. Михайлов // Совр. науч. исслед. и инновации. – 2015. – № 2. – Ч. 4. – Режим доступа: <http://web.snauka.ru/issues/2015/02/46640>. – Дата доступа: 28.06.2020.
5. Kumar, A. Morphometric analysis of six sub-watersheds in the central zone of Narmada River / A. Kumar, S. K. Samuel, V. Vyas // Arabian Journ. of Geosciences. – 2015. – Vol. 8. – P. 5685–5712. DOI:10.1007/s12517-014-1655-9.
6. Погорелов, А. В. Морфометрия рельефа бассейна реки Кубани: некоторые результаты цифрового моделирования / А. В. Погорелов, Ж. А. Думит // Географ. исслед. Краснодар. края. – Вып. 2. – 2007. – С. 7–23.
7. Sreedevi, P. D. The significance of morphometric analysis for obtaining groundwater potential zones in a structurally controlled terrain / P. D. Sreedevi, K. Subrahmanyam, A. Shakeel // Environmental Geology. – 2005. – Vol. 47(3). – P. 412–420. DOI: 10.1007/s00254-004-1166-1.
8. Strahler, A. N. Quantitative geomorphology of drainage basins and channel networks / A. N. Strahler / Handbook of Applied Hydrology. – New York : McGraw Hill Book Company, 1964. – Section 4–11. – P. 439–476.
9. Schumm, S. A. Evolution of drainage systems and slopes in Badlands at Perth Amboy, New Jersey / S. A. Schumm // Bulletin Geological Society of America. – 1956. – Vol. 67 (5). – P. 597–646. DOI:10.1130/0016-7606(1956)67[597:EODSAS]2.0.CO;2.
10. Manjare, B. Prioritization of sub-watersheds of Chandrabhaga river from Purna river basin, Maharashtra using geospatial techniques / B. Manjare, S. Paunikar, J. Shrivatra // Journ. of Geosciences Research. – 2019. – № 2. – P. 111–120.
11. Horton, R. E. Erosional development of streams and their drainage basins: Hydrological approach to quantitative morphology / R. E. Horton // Bulletin Geological Society of American. – 1945. – Vol. 56. – P. 275–370. DOI:10.1177/030913339501900406.
12. Drainage morphometry and its influence on hydrology in a semi-arid region: using SRTM data and GIS / Sreedevi P. D [at al.] // Environmental Earth Sciences. – 2013. – Vol. 70 (2). – P. 839–848. – DOI: 10.1007/S12665-012-2172-3
13. Horton, R. E. Drainage basin characteristics / R. E. Horton // Transactions of the American Geophysical Union. – 1932. – Vol. 13. – P. 350–361. DOI: 10.1029/TR013i001p00350.
14. Strahler, A. N. Quantitative slope analysis / A. N. Strahler // Bulletin Geological Society of American. – 1956. – Vol. 67. – P. 571–596. DOI:10.1130/0016-7606(1956)67[571:qsa]2.0.co;2.
15. Симонов, Ю. Г., Симонова Т. Ю. / Речной бассейн и бассейновая организация географической оболочки / Ю. Г. Симонов // Эрозия почв и русловые процессы. – М. : Изд-во Моск. ун-та, 2003. – Вып. 14. – С. 7–32.

16. Шарапов, С. В. Морфологический анализ рельефа при экологических изысканиях на объектах подземного хранения газа / С. В. Шарапов // Вестн. Моск. ун-та. – 2010. – № 1. – Сер. 5. География. – С. 28–34.
17. Waikar, M. L. Morphometric analysis of a drainage basin using geographical information system: a case study / M. L. Waikar, A. P. Nilawar // International Journ. of Multidisciplinary and Current Research. – 2014. – Vol. 2. – P. 179–184.
18. Analysis of drainage morphometry and watershed prioritization in Bandu Watershed, Purulia, West Bengal through remote sensing and GIS technology: a case study / Das A. [at al.] // International Journ. of Geomatics and Geosciences. – 2012. – Vol. 2 (4). – P. 995–1013.
19. Полякова, Е. В. Морфометрический анализ рельефа острова Вайгач по данным дистанционного зондирования Земли / Е. В. Полякова, М. Ю. Гофаров // Совр. пробл. дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2014. – Т. 11. – № 1. – С. 226–234.
20. Курлович, Д. М. Морфометрический ГИС-анализ рельефа Беларуси / Д. М. Курлович // Земля Беларуси. – 2013. – № 4. – С. 42–48.
21. Позаченюк, Е. А. ГИС-анализ морфометрических показателей рельефа Центрального Предгорья главной гряды Крымских гор для целей ландшафтного планирования / Е. А. Позаченюк, Е. А. Петлюкова // Уч. зап. Крым. федерал. ун-та им. В. И. Вернадского. – География. Геология. – Том 2 (68). – 2016. – С. 96–113.
22. Мыслыва, Т. Н. Сравнение эффективности методов интерполяции на основе ГИС для оценки пространственного распределения гумуса в почве / Т. Н. Мыслыва, О. А. Куцаева, А. А. Подлесный // Вестн. БГСХА. – 2017. – № 4. – С. 146–152.

Поступила 30 июня 2020 г.

ЗЕМЛЕДЕЛИЕ И РАСТЕНИЕВОДСТВО

УДК 631.613

ПРИЕМЫ ПОВЫШЕНИЯ ПРОДУКТИВНОСТИ ОСУШЕННЫХ ЗЕМЕЛЬ ПООЗЕРЬЯ

П. Ф. Тиво, доктор сельскохозяйственных наук

Л. А. Саскевич, старший научный сотрудник

Д. А. Постникова, младший научный сотрудник

РУП «Институт мелиорации»,
г. Минск, Беларусь

Аннотация

Установлена зависимость продуктивности зерновых культур от гидротермических условий на тяжелых суглинистых почвах Поозерья. Показано, что при величине ГТК 2,0–2,5 формируется минимальный урожай. Предложено изменить здесь структуру посевных площадей в сторону повышения доли многолетних бобовых трав. На основании 37-летних исследований выявлена высокая эффективность осушительной мелиорации на дерново-глеевой почве. Доказана целесообразность применения повышенных доз калийных удобрений на старовозрастных травостоях с участием люцерны. Отличается ухудшение ботанического состава травостоя в варианте без удобрения за счет снижения доли бобового компонента. Приводятся данные об уменьшении содержания карбонатов кальция и магния в пахотном слое в результате длительного использования осушенных почв легкого гранулометрического состава по сравнению с недренированным участком.

Ключевые слова: адаптация культур, Поозерье, микроландшафты, гидротермический коэффициент, люцерна посевная, клевер луговой, планировка поверхности, удобрения.

Abstract

P. Ph. Tivo, L. A. Saskevich, D. A. Postnikova
THE METHODS OF INCREASING THE PRODUCTIVITY OF DRAINED LANDS OF POOZERIE REGION

The dependence of the productivity of grain crops on the hydrothermal conditions on heavy loamy soils of Poozerie has been established. It is shown that with the greatness of the HTC 2,0–2,5, the minimum yield is formed. It is proposed to change here the structure of sown areas towards an increase in the share of perennial legumes. Based on 37 years of research, a high efficiency of drainage reclamation on sod-gley soils has been revealed. The expediency of using increased doses of potash fertilizers on old-growth herbage with the participation of alfalfa has been proven. The deterioration of the botanical composition of the herbage in the variant without fertilization is distinguished by a decrease in the proportion of the legume component. Data on the decrease in the content of calcium and magnesium carbonates in the arable layer as a result of long-term use of drained soils of light granulometric composition in comparison with the undrained area are presented.

Keywords: crop adaptation, Poozerie, microlandscapes, hydrothermal coefficient, alfalfa, meadow clover, surface planning, fertilization

Введение

В Поозерье включают всю территорию Витебской области, а также Крупский и Мядельский р-ны Минской области и Островецкий – Гродненской. Этот регион республики отличается как почвенным покровом, так и особенностями климата. Здесь зимой и летом наблюдается более низкая температура воздуха, а средняя сумма

атмосферных осадков, наоборот, выше, чем в других регионах.

В Витебской обл. господствующими почвообразующими породами являются суглинки различного гранулометрического состава, что определяет специфику водного режима почв, проявляющуюся почти повсеместно их переувлажнении в течение вегетационного периода,

или его части – особенно весной. Это неблагоприятно сказывается на продуктивности возделываемых культур.

Кроме того, пересеченность рельефа и наличие склоновых земель способствуют развитию здесь эрозионных процессов. Большие площади эродированных, завалуненных пахотных земель и их мелкоконтурность являются осложняющими факторами сельскохозяйственного производства. Балл плодородия почвы на пашне заметно ниже, чем в других регионах республики.

В этих сложных условиях комплексная мелиорация почв приобретает для Витебской области особое значение не только для интенсификации земледелия, но и для развития всего сельскохозяйственного производства.

Осушенные сельскохозяйственные земли в Поозерье составляют свыше 560 тыс. га, при-

чем на долю пашни приходится 71 %, а в отдельных районах – 80 %. Они отличаются сложным почвенным покровом и рельефом, неоднородностью водного режима (верх склонов характеризуется дефицитом влаги, а низ – ее избытком). Преимущественно это дерново-подзолистые глеевые, глееватые, слабоглеенные и автоморфные почвы с неустойчивым водным режимом и низким естественным плодородием. Для превращения таких земель в высокопродуктивные сельскохозяйственные угодья необходимо провести ряд гидротехнических, агро-мелиоративных и агротехнических мероприятий, направленных на создание необходимых условий для нормального роста и развития растений, применение адаптивной системы земледелия.

Результаты исследований и их обсуждение

Создание требуемого водного режима на переувлажненных минеральных землях достигается проведением мелиоративного устройства территории. Исследованиями, выполненными на Витебской опытно-мелиоративной станции (далее – ВОМС) Сенненского р-на, установлено, что осушение дерновых заболоченных земель, их окультуривание и рациональное использование в системе севооборота обеспечили получение в среднем за 37 лет 57,7 ц/га к. ед. растениеводческой продукции, что на 63 % выше, чем на недренированных полях (рис. 1). Последнее во многом обусловлено неблагоприятным пищевым режимом переувлажненных почв, а также

невозможностью проведения здесь полевых работ в оптимальные сроки. Так, задержка с севом на неосушенных землях нередко достигает 1,5–2 недели [1]. И только в последнее время эти различия уменьшились. Затраты на осушение таких почв окупаются прибавкой урожая за 8–10 лет, хотя при отсутствии приемов окультуривания этот срок увеличивается в 3–4 раза.

Что касается длительных культурных сенокосов, сформированных преимущественно многолетними злаковыми травами, то на их продуктивность осушение оказало слабое влияние. Здесь дополнительно получено лишь 5,3 ц/га к. ед., или 12 % к контролю (без осушения).

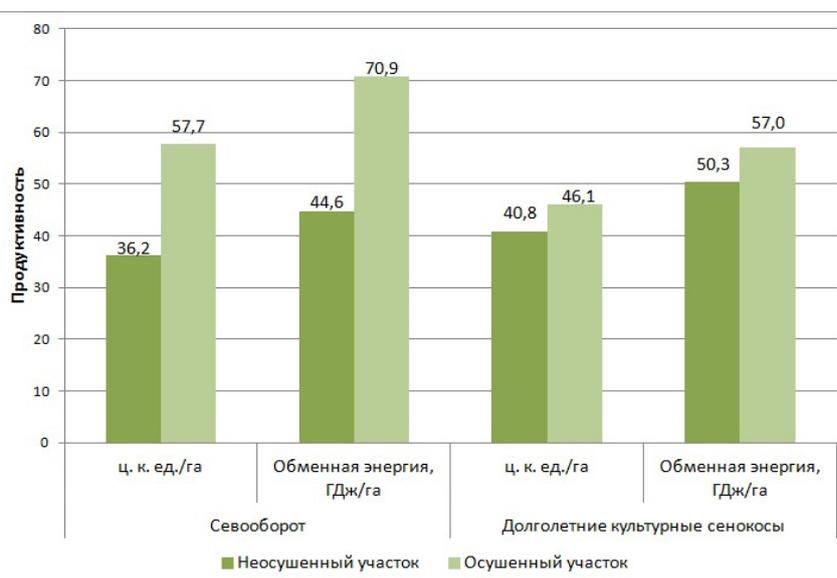


Рис. 1. Продуктивность сельскохозяйственных культур на осушенной дерново-глеевой почве (ВОМС, среднее за 1983–2019 гг.)

Для достижения высокой продуктивности осушенных минеральных земель гидромелиоративные приемы должны дополняться комплексом мероприятий по повышению плодородия почвы, включающих увеличение мощности пахотного слоя, улучшение водно-физических и агрохимических свойств почв, особенно азотного и фосфорного питания растений.

С этой целью проводится рыхление и щелевание осушенных глинистых и суглинистых дерново-подзолистых разной степени оглеения, известкование кислых почв, внесение органических и минеральных удобрений, использование сидератов. В нейтрализации избыточной кислотности прежде всего нуждаются осушенные минеральные почвы более легкого гранулометрического состава, что

обусловлено повышенной потерей карбонатов кальция и магния в результате вымывания и выноса с урожаем [2]. Имеет место и некоторое снижение величины pH_{KCl} пахотного слоя мелиорированных почв на 0,4–0,6 единицы относительно недренированного участка. Такую закономерность в отношении интенсивного вымывания оснований из осушенных почв отмечают и другие авторы [3, 4].

Требует особого внимания проблема органических удобрений, особенно если учесть, что на 1 га пашни в Витебской обл. приходится меньше навоза, чем в других регионах республики. Между тем использование различных видов органических удобрений, особенно компостов, обеспечивает значительные прибавки урожайности (табл. 1) [5].

Таблица 1. Влияние органических удобрений и компостов на продуктивность сельскохозяйственных культур при окультуривании дерново-подзолистых супесчаных почв (ц/га, ВОМС)

Варианты опыта	Полевые культуры					Мн. травы, сух. вещ. (в ср. за 2 года)	Среднее за 5 лет	
	вико-овес, сух. вещ.	оз. тритикале, зерно	ячмень, зерно	в среднем			к. ед.	%
				к. ед.	%			
Контроль (последствие удобрений)	35,1	30,2	29,6	37,6	100	42,8	32,0	100
НРК-фон	50,0	33,1	33,6	44,2	117,6	68,2	41,6	130,0
Фон + подстилочный навоз – 50 т/га	70,9	40,1	36,0	53,5	142,3	74,6	48,5	151,6
Фон + сапропель – 50 т/га	52,3	38,8	36,1	49,2	130,8	71,6	45,3	141,6
Фон + бесподстилочный навоз – 100 т/га	49,4	37,7	36,6	48,3	128,4	66,0	43,5	135,9
Фон + сапропелево-навозно-соломенный компост – 50 т/га	61,7	41,2	40,1	54,9	146,0	72,1	48,8	152,5
Фон + сапропелево-навозно-люпиновый компост – 50 т/га	65,1	43,3	40,0	56,6	150,5	71,0	49,6	155,0
Фон + сапропелево-навозно-льнокостровый компост – 50 т/га	62,6	41,0	41,0	55,6	148,1	72,8	49,4	154,4
НСР _{0,95}	1,9	1,8	2,4	–	–	–	–	–

При этом должна быть изжита порочная практика внесения органических удобрений ранней весной при повышенной влажности почвы: из-за переуплотнения это существенно ухудшает работу дренажа и не лучшим образом сказывается на продуктивности возделываемых культур.

Об эффективности агро-мелиоративных мероприятий можно судить по следующим данным. Так, применение щелевания на землях со сложным рельефом позволяет повысить в 1,5–2 раза осушительную способность закрытого дренажа на равнинно-западных участках, увеличить на 15–25 мм запасы влаги в корнеобитаемом слое почв на верхних частях склонов, что в конечном итоге обеспечивает прибавку урожайности возделываемых культур на 15–20 % [6].

Таким образом, напрашивается вывод, что комплексность мелиорации, то есть гармоничное сочетание гидротехнических, агро-мелиоративных и агротехнических мероприятий, является в Поозерье основополагающим требованием. Как показывает практика, невыполнение любой части этого комплекса резко снижает эффективность производства.

Особую роль в повышении продуктивности осушенных минеральных земель со сложным почвенным покровом, неоднородным водным режимом и плодородием играет адаптивное земледелие.

Под пашню необходимо отводить наиболее плодородные земли с устойчивым водно-воздушным режимом и использовать их в системе севооборотов с интенсивной технологией возделывания культур с учетом характера почвенного покрова, состояния водного режима, рельефа местности и хозяйственной целесообразности производства определенного вида сельскохозяйственной продукции, а также типа микроландшафта (табл. 2) [7].

Исследования показывают, что многолетние и однолетние бобово-злаковые травы целесообразно возделывать на нижних элементах склонов, которые лучше обеспечены влагой на протяжении всего вегетационного периода. Зерновые же культуры, особенно озимые, здесь часто страдают от переувлажнения и резко снижают свою продуктивность. На эрозионно-опасных землях с уклоном 5°

и более недопустимо возделывание пропашных культур. Там предпочтительна люцерна, которая может произрастать без перезалужения до 10 и более лет, чего нельзя сказать, например, о клевере луговом. Последний уступает ей и по засухоустойчивости, что особенно проявляется в годы с дефицитом атмосферных осадков.

Интерес к возделыванию многолетних бобовых трав вызван их благоприятным влиянием на свойства почв, прежде всего на содержание гумуса в пахотном слое. Так, в условиях полевого опыта на ВОМС количество гумуса при 7-летнем возделывании люцерно-кострецовой травосмеси увеличилось на 0,28 %. Не менее важно и то, что при этом рацион животных обогащается белком, а почва – еще и азотом [8].

Особенность обработки почвы осушаемых минеральных земель в системе адаптивной интенсификации земледелия заключается в узкозагонной вспашке, профилировании, гребневании, глубоком рыхлении. При этом на холмистых землях должна применяться противоэрозионная система обработки в зависимости от характера строения склонов.

Обязательная технологическая операция – выравнивание верхнего слоя почвы. При несоблюдении этого снижается урожай многолетних трав и других культур (рис. 2).

Однако при планировке выравнивания поверхности нельзя допускать излишних срезов пахотного слоя. В противном случае возрастут затраты на окультуривание таких участков из-за обеднения их гумусом. Возможно и резкое ухудшение и других агрохимических показателей почвы (табл. 3).

Чтобы снизить затраты, в частности, при возделывании многолетних бобовых трав, необходимо экономить на применении минеральных удобрений. Прежде всего это касается калия, причем его дозы должны быть увязаны с наличием обменного K_2O в почве. Тем более, что при избыточном внесении калия ухудшается минеральный состав травяных кормов: снижается содержание кальция, магния и натрия при возрастании калия выше допустимых пределов. При потреблении таких кормов не исключаются различные заболевания животных и снижение их продуктивности [10].

Таблица 2. Схема сельскохозяйственного использования мелиорируемых основных агромикрорландшафтов Поозерья

Типы микроландшафтов	Рельеф местности	Характеристика почвы по заболоченности	Основной тип почвы	Технологическая группа по эрозии	Содержание гумуса, %	Способ мелиорации	Наблюдаемая влажность активного слоя почвы, % от ПВ	Возделываемые культуры
Элювиальный	Вершина и верхняя часть склонов	Автоморфные	Дерново-подзолистые суглинистые и супесчаные	1	1–2	Агромелиоративные мероприятия по аккумуляции поверхност. вод	50–70	Яровые зерновые и зернобобовые, пропашные, клевер, однолетние травы, лен, яр. рапс
Элювиально-аккумулятивный	Плоские формы повышенных элементов	Автоморфные, слабogleеватые	Тот же	1–2	2–3	Агромелиоративные мероприятия по влагонакоплению и распределению стока	50–70	Оз. и яр. зерновые и зернобобовые травы, пропашные, лен, клевер, люцерна, однолетние травы, рапс
Транзитный	Склоны	Слабogleеватые, глееватые	Дерново-подзолистые заболоченные суглинистые и супесчаные	2–3	1–2	Выборочный дренаж + конструкции по перехвату поверхностных вод	50–65	Оз. и яровые зерновые и зернобобовые, рапс, люцерна, однолетние травы
Транзитно-аккумулятивный	Подножье склонов	Глееватые, глеевые	Дерново-подзолистые и дерновые заболоченные суглинистые и супесчаные, песчаные	2	2–4	Дренаж с комплексом мероприятий по отводу поверхностных вод	55–75	Яр. зерновые и зернобобовые, пропашные, лен, бобово-злаковые мн. и однолетние травы
Аккумулятивный	Замкнутые бессточные понижения	Глеевые	Дерновые заболоченные с элементами оторфованя, суглинистые, супесчаные, песчаные	1–2	>4	Дренаж с приемами по отводу застойных вод в закрытую сеть	60–80	Яр. зерновые, зернобобовые, многолетние злаковые смеси, однолетние травы



Рис. 2. Снижение урожая сельскохозяйственных культур в зависимости от глубины микропонижений

Таблица 3. Влияние частичной срезки пахотного слоя на агрохимические свойства осушенной легкосуглинистой почвы [9]

Вариант срезки пахотного слоя	Гумус, %	NO ₃ , мг/кг	P ₂ O ₅ , мг/кг	K ₂ O, мг/кг
Без срезки, контроль	2,4	80	244	72
Срезка 4 см	2,2	51	219	58
Срезка 8 см	1,6	37	190	46
Срезка 12 см	1,0	30	157	40

Таблица 4. Урожайность зерновых культур в производственных посевах ВООС

Наименование культур	Урожайность по годам, ц/га				
	2014	2015	2016	2017	2018
Зерновые и зернобобовые (всего)	46,6	48,7	41,4	52,1	41,8
Яровые зерновые и зернобобовые:					
ячмень	53,7	44,5	43,8	49,0	43,6
пшеница	44,7	47,8	38,9	51,8	37,7
овес	54,9	53,7	50,8	51,6	42,2
зернобобовые	42,9	23,4	21,2	20,7	–
Озимые зерновые:					
рожь	41,3	49,9	38,5	51,3	41,1
пшеница	38,4	49,7	41,3	58,7	44,4
тритикале	51,4	50,2	41,0	49,5	41,9

Нуждается в совершенствовании и структура посевных площадей. По мере утяжеления гранулометрического состава почв должна возрастать в севообороте доля многолетних трав и уменьшаться – зерновых. Удельный вес последних даже на легкосуглинистых и супесчаных почвах, подстилаемых мореной, следует ограничивать в случае неблагоприятного там водного режима.

Но при соблюдении в полном объеме технологии возделывания, включая внесение оптимальных доз NPK, средств защиты растений от сорняков, вредителей и болезней, качественную обработку почвы и посев элитными семенами, можно получить урожайность даже яровых зерновых свыше 40 ц/га (табл. 4).

Однако при чрезмерном насыщении севооборотов зерновыми часть их приходится высевать по неблагоприятным предшественникам. В итоге не исключается ухудшение фитосанитарного состояния посевов, особенно при недостаточном применении средств защиты растений. На ВОМС ячмень и пшеница возделываются после клевера или рапса.

Наиболее сложная ситуация в отношении зерновых складывается в Шарковщинском р-не. В отличие от других районов Витебской области здесь преобладают малоуклонные тяжелые земли, имеющие очень низкий коэффициент фильтрации, что в значительной степени осложняет работу мелиоративных систем в отношении своевременного отведения с полей избыточной влаги.

Анализ урожайности зерновых культур за 17 лет на таких землях показал, что она во многом зависит от гидротермических условий. Если ве-

личина ГТК составляла 1–1,5, то формировался более высокий урожай, чем при его значении 2,0–2,5 (рис. 3). Из этого можно заключить, что природные условия названного района мало подходят для стабильного производства зерна. Здесь напрашивается корректировка посевных площадей, прежде всего в пользу многолетних бобовых трав. При этом сократятся затраты хозяйств на приобретение азотных удобрений, повысится содержание гумуса в почве и улучшится кормовая база крупного рогатого скота.

Уместно заметить, что на склоновых землях возрастает роль не только многолетних трав, но и пожнивных культур. От их возделывания выиграет и экономика, и экология, поскольку минимизируется водная эрозия, получившая распространение в этом регионе.

Наши исследования также показали, что по мере старения травостоя повышается эффективность калийных удобрений. Так, на участке с люцерной 8–9-летнего пользования (дерново-подзолистая легкосуглинистая почва) прибавка урожайности сухой массы от дополнительного внесения 60 кг K_2O составила 15,1 ц/га, в то время как на относительно молодых травостоях она была недостоверной. Подобная закономерность наблюдалась и на клевере первого года пользования [6].

Нельзя не отметить и положительное влияние фосфорно-калийных удобрений на повышение содержания бобового компонента в травостое. Наоборот, в варианте без РК (контроль) возросла засоренность люцерны при снижении ее участия в агроценозе. Причем максимальный урожай она обеспечивает на

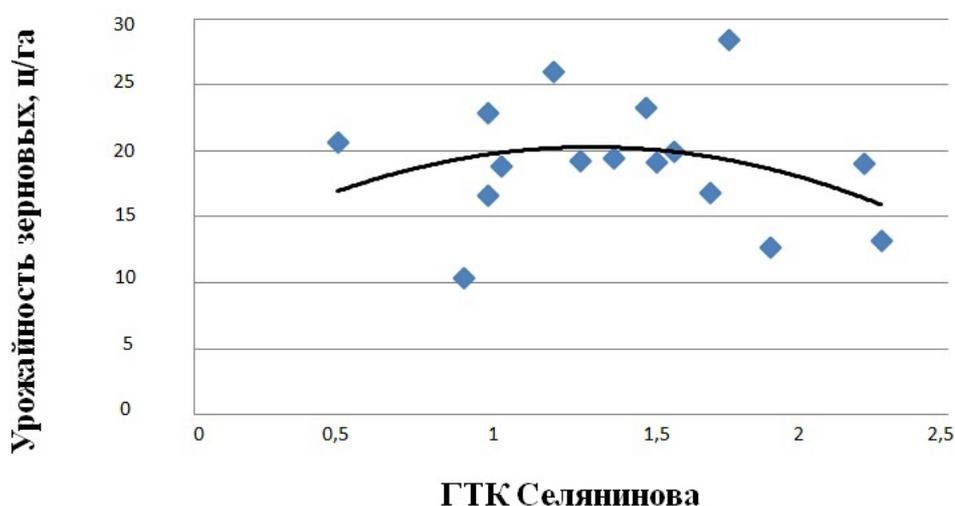


Рис. 3. Влияние гидротермических условий на урожайность зерновых культур в Шарковщинском р-не

3–4 годы жизни [8], что отмечается и другими авторами [11].

Для того чтобы иметь в сухом веществе 10 МДж обменной энергии, траву следует убирать при содержании в ней клетчатки не более 25–26 %. Этим параметрам соответствует фаза начала колошения злаковых трав, начала бутонизации бобовых (клевер, люцерна). Задержка уборки трав приводит к снижению энергетической питательности ежедневно на 1 %. При этом средние потери протеина за день составляют 0,25 %, а содержание сырой клетчатки увеличивается на 0,33 %, что ухудшает качество изготавливаемых травянистых кормов [6].

По содержанию сырого протеина преимущество имеют люцерна и клевер. Полученные нами данные о наличии фосфора соответствуют зоотехническим требованиям в Украине, Англии, Франции и США, но не Беларуси, где норма этого элемента более высокая [12, 13]. Поэтому без подкормки животных фосфатами не обой-

тись [14]. По содержанию калия благоприятнее «выглядит» люцерна 7-го года пользования, чем молодой травостой клевера. Предельная концентрация калия в травостоях, как известно, составляет 3 % на сухую массу, в то время как животным достаточно его в несколько раз меньше [15, 16].

При оценке различных видов трав нельзя исходить только по питательности зеленой массы, упуская из вида зимние рационы животных: ведь в процессе заготовки кормов при подсушивании (проявливании) зеленой массы теряется много листьев – самой ценной части урожая. Как правило, люцерна менее склонна к этому, чем клевер. Но и из нее также трудно заготовить сенаж или провяленный силос. Поэтому рекомендуется использовать здесь консерванты [17]. Меньше проблем с приготовлением такого корма из люцернозлаковой травосмеси, поскольку, например, костреч безостый содержит больше сахаров, чем бобовый компонент (табл. 5).

Таблица 5. Биохимический состав многолетних бобовых и злаковых трав, % на сухое вещество (ВОМС, 2019 г.)

Культура	Вариант	СП	К	Р	Са	Mg	Кл	З	Сах	Ж
Клевер луговой 1 г. п.	P ₀ K ₀	20,8	2,94	0,41	1,40	0,40	22,5	7,1	6,2	4,2
	P ₆₀ K ₁₂₀	20,8	3,36	0,45	1,30	0,39	21,1	8,4	6,3	4,0
	P ₆₀ K ₁₈₀	21,5	3,39	0,43	1,12	0,35	21,7	7,4	6,4	3,6
Осушенный участок, клевер 1 г. п.	P ₀ K ₀	21,5	2,83	0,45	2,09	0,51	21,7	8,0	5,8	4,2
	P ₆₀ K ₁₂₀	20,5	3,39	0,49	1,98	0,39	21,4	8,1	5,4	4,9
	P ₆₀ K ₁₈₀	22,5	3,46	0,48	1,65	0,37	22,1	8,2	6,5	4,4
Неосушенный участок, клевер 1 г. п.	P ₀ K ₀	18,1	2,50	0,39	1,45	0,45	21,8	8,1	5,8	3,6
	P ₆₀ K ₁₂₀	19,0	2,85	0,45	1,41	0,42	20,0	7,8	5,3	3,9
	P ₆₀ K ₁₈₀	20,6	3,26	0,43	1,06	0,38	21,4	8,6	6,8	4,1
Кострец безостый 7 г. п.	P ₀ K ₀	16,1	3,22	0,37	0,69	0,23	22,4	7,9	10,0	4,9
	P ₆₀ K ₁₂₀	15,9	3,46	0,38	0,66	0,21	22,2	8,3	7,3	4,4
	P ₆₀ K ₁₈₀	16,3	3,88	0,40	0,57	0,18	22,4	7,8	8,2	4,5
Тимофеевка луговая 3 г. п.	P ₀ K ₀	14,5	1,55	0,36	0,47	0,21	21,6	8,2	8,8	4,4
	P ₆₀ K ₁₂₀	15,2	1,97	0,38	0,50	0,20	22,4	8,0	9,6	4,5
	P ₆₀ K ₁₈₀	14,5	2,23	0,36	0,45	0,19	22,5	8,0	7,8	4,3
Люцерна посевная 7 г.п.	P ₀ K ₀	20,6	1,72	0,36	1,72	0,46	24,7	8,6	5,5	4,6
	P ₆₀ K ₁₂₀	20,5	2,10	0,38	2,25	0,53	25,9	8,9	5,7	4,4
	P ₆₀ K ₁₈₀	22,0	2,13	0,40	2,13	0,49	26,0	9,0	6,1	4,6

П р и м. г. п. – год пользования, СП – сырой протеин, К – калий, Р – фосфор, Са – кальций, Mg – магний, Кл – сырая клетчатка, З – сырая зола, Сах – сахар, Ж – сырой жир.

Чтобы исключить избыточное накопление калия растениями, одного его дробного внесения недостаточно. По нашему мнению, нужно вообще отказаться от применения калийных удобрений в первый год пользования многолетними травами, если содержание обменного K_2O в пахотном слое (0–20 см) составляет около 200 мг/кг. В первую очередь это касается клевера лугового, способного поглощать фиксированный почвой калий. По-видимому, это характерно и для других видов трав. Поэтому польские ученые не рекомендуют вносить калий, если растения содержат его более 2,15 %, (или 2,6 K_2O) [18].

Заключение

На основании 37-летних исследований в условиях Белорусского Поозерья установлено, что высокая эффективность осушения дерново-глеевой почвы при возделывании различных сельскохозяйственных культур. В данном случае продуктивность севооборота увеличилась на 21,5 ц/га кормовых единиц, или на 63 % по сравнению с недренированным участком. Слабее отзывались на осушение культурные сенокосы, представленные преимущественно злаковыми травами.

Выявлена важная роль адаптации различных сельскохозяйственных культур к условиям Поозерья, особенно на осушенных тяжелых землях Шарковщинского р-на, где переувлажнение наиболее неблагоприятно сказывается на урожайности зерновых культур. Поэтому здесь необходима корректировка посевных площадей в пользу многолетних бобово-злаковых трав.

В Поозерье большое значение имеет окультуривание почв наряду с осушением

Согласно немецкому исследователю Н. Кнауэру [19], при содержании в травах протеина на 15–20 %, клетчатки 21–25 % почва считается высокообеспеченной калием, когда растения накапливают более 2,5 % K_2O . Если в растениях имеется протеина 20–25 %, а клетчатки – 18–21%, то почва является высокообеспеченной K_2O при его наличии в травах свыше 2,6 %. На основании этих данных можно также сделать вывод о том, что клевер луговой 1-го года пользования (табл. 5) не нуждается во внесении калийных удобрений

и агроулучшающими мероприятиями по улучшению водного режима.

Нуждается в оптимизации питания растений калием, так как многолетние травы первых лет жизни отличаются избыточным содержанием этого элемента.

В процессе планировки и выравнивания поверхности мелиорируемых земель недопустима чрезмерная срезка верхнего плодородного слоя почвы, особенно если эти мероприятия проводятся без последующего окультуривания таких участков путем внесения повышенных доз органических и минеральных удобрений.

Нуждается в дополнительном исследовании проблема известкования мелиорированных земель, поскольку после осушения возрастают потери карбонатов кальция и магния и наблюдается более ускоренное подкисление гумусового горизонта почв легкого гранулометрического состава по сравнению с контрольным вариантом (без осушения).

Библиографический список

1. Сроки сева и продуктивность яровых зерновых культур на переувлажненных минеральных землях в Поозерье / П. Ф. Тиво [и др.] // Мелиорация. – 2009. – № 1. – С. 172–177.
2. Тиво, П. Ф. Изменение агрохимических свойств осушенных связных минеральных почв во времени / П. Ф. Тиво, С. М. Крутько, Л. А. Саскевич // Мелиорация. – 2012. – № 2. – С. 121–131.
3. Потери питательных элементов растений : моногр. / И. А. Шильников, В. Г. Сычев, А. Х. Шеуджен [и др.]. – Saarbrücken : Lambert Academic Publishing, 2015. – 502 с.
4. Некрасов Р. В. Агроэкологические основы химической мелиорации почв / Р. В. Некрасов, М. М. Овчаренко, Н. И. Аканова // Земледелие. – 2019. – № 4. – С. 3–7.

5. Леуто, И. Э. Приемы и оценка эффективности окультуривания осушенных минеральных земель / И. Э. Леуто, П. Ф. Тиво // Мелиорация и рациональное использование переувлажненных земель Нечерноземья России и Беларуси : моногр. / под общ. ред. А. П. Лихацевича, Н. Г. Ковалева, Б. М. Кизяева. – Рязань : ГНУ ВНИИГиМ Россельхозакадемии, 2009. – С. 425–447.
6. Тиво, П. Ф. Особенности адаптивного земледелия на осушенных землях Поозерья / П. Ф. Тиво, Л. А. Саскевич // Мелиорация. Современные методики, инновации и опыт практического применения : материалы Междунар. науч.-практ. конф. (Минск, 19–20 октября 2017 г.) / НАН Беларуси, Ин-т мелиорации ; редкол. : Н. К. Вахонин [и др.]. – Минск : Беларус. навука. – 2017. – С. 138–144.
7. Основные принципы использования мелиорированных земель в Поозерье / П. Ф. Тиво [и др.] // Мелиорация. – 2010. – № 1. – С. 120–127.
8. Tiwo, P. Эффективность возделывания многолетних трав в Беларуси / P. Tiwo, S. Krutsko // Obszary wiejskie w Europie problemu rozwoju lokalnego i regionalnego : materialy XVII Miedzynar. konf. nauk., 13–18 maja 2014 r. – Szczecin, 2014. – S. 402–407.
9. Крутько, С. М. Агромелиоративные мероприятия – важный резерв повышения продуктивности осушенных почв Поозерья / С. М. Крутько, П. Ф. Тиво, К. М. Саквенков // Земледелие и защита растений. – 2013. – № 3. – С. 12–16.
10. Архипов, А. В. Что мы знаем о родильном парезе у коров / А. В. Архипов // Зоотехния. – 2015. – № 6. – С. 22–24.
11. Лукашук, В. П. Повышение продуктивности осушаемых минеральных почв путем биомелиорации : автореф. дис. ... канд. с.-х. наук : 06.01.02 / В. П. Лукашук ; Ин-т водных проблем и мелиорации НААН Украины. – Киев, 2017. – 20 с.
12. Нормы кормления крупного рогатого скота: справочник / Н. А. Попков [и др.]. – Жодино : РУП «Научно-практический центр НАН Беларуси по животноводству», 2011. – 260 с.
13. Эббинге, Б. Передовые технологии в кормлении жвачных животных / Б. Эббинге // Главный зоотехник. – 2007. – № 5. – С. 25–27.
14. Кормовые добавки : справочник / А. М. Венедиктов [и др.]. – 2-е изд., перераб и доп. / А. М. Венедиктов [и др.]. – М. : Агропромиздат, 1992. – 192 с.
15. Переднев, В. Об основах кормления высокопродуктивных коров / В. Переднев // Белорус. сельское хоз-во. – 2018. – № 3. – С. 44–47.
16. Кутузова, А. А. Экологические проблемы луговодства / А. А. Кутузова // Кормо-производство. – 1991. – № 5. – С. 25–28.
17. Абраскова, С. В. Регуляция микробиоценоза консервируемых растительных кормов : моногр. / С. В. Абраскова ; Нац. академия наук Беларуси, Науч.-практ. центр НАН Беларуси по земледелию. – Минск : ИВЦ Минфина, 2011. – 174 с.
18. Эффективные системы производства кормов на пастбищах и сенокосах России и Польши : моногр. / под науч. ред. В. М. Косолапова и Е. Барщевски. – М. : Угрешская типография, 2015. – 348 с.
19. Минина, И. П. Луговые травосмеси / И. П. Минина. – М. : Колос, 1972. – 288 с.

Поступила 18 августа 2020 г.

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ ПОД МНОГОЛЕТНИЕ ЗЛАКОВЫЕ ТРАВЫ НА ТОРФЯНИСТО-ГЛЕЕВОЙ ПОЧВЕ

Н. Н. Цыбулько¹, доктор сельскохозяйственных наук

Е. Б. Евсеев², соискатель лаборатории агроэкологии

И. И. Жукова³, кандидат сельскохозяйственных наук

¹РУП «Институт почвоведения и агрохимии», г. Минск, Беларусь

²ГНУ «Институт радиобиологии», г. Гомель, Беларусь

³Белорусский государственный педагогический университет имени М. Танка,
г. Минск, Беларусь

Аннотация

Установлено, что на торфянисто-глеевой почве с оптимальными параметрами обеспеченности ее подвижными формами фосфора и калия наиболее эффективным под многолетние злаковые травы является внесение минеральных удобрений в дозах $N_{140}P_{90}K_{180}$, включая $N_{80}P_{90}K_{120}$ – под первый укос и $N_{60}K_{60}$ – под второй укос. Данная система удобрения обеспечивает продуктивность трав на уровне 110 ц/га сена (56,5 ц/га к. ед.) и прибыль 99,0 руб./га (41,52 долл. США), при уровне рентабельности 18,9 %.

Ключевые слова: торфянисто-глеевая почва, минеральные удобрения, дозы, многолетние травы, продуктивность, эффективность.

Abstract

N. N. Tsybulka, E. B. Evseev, I. I. Zhukova

EFFICIENCY OF APPLICATION OF MINERAL FERTILIZERS FOR PERENNIAL GRASSES ON PEATY-GLEY SOIL

It was found that on peaty-gley soil with optimal parameters of its availability of mobile forms of phosphorus and potassium, the most effective application for perennial grasses is the application of mineral fertilizers in rates of $N_{140}P_{90}K_{180}$, including $N_{80}P_{90}K_{120}$ – for the first mowing and $N_{60}K_{60}$ – for the second mowing. This fertilizer system provides grass productivity at the level of 110 C/ha of hay (56.5 C/ha of grain units) and a profit of 99.0 rubles/ha (41.52 USA dollars), with a profit margin of 18.9 %.

Keywords: peaty-gley soil, mineral fertilizers, rates, perennial grasses, productivity, efficiency.

Введение

В настоящее время в Беларуси 690,0 тыс. га осушенных торфяных почв используются в качестве сельскохозяйственных земель; из них 201,7 тыс. га (29 %) с мощностью торфяного слоя менее 0,5 м (торфянисто-глеевые и торфяно-глеевые почвы) [1].

Бобово-злаковые и злаковые травы длительного пользования рекомендуется возделывать на торфяных почвах с мощностью торфяной залежи менее 1 м [2]. Предпочтение отдается злаковым травам, которые длительный период сохраняются в травостое, не тре-

буют частого перезалужения и наиболее полно используют минерализующийся азот [3].

Главным фактором, определяющим уровень продуктивности многолетних трав при благоприятном водном режиме, являются условия минерального питания. Вынос элементов питания с 1 т сена многолетних злаковых трав составляет: азот – 14,9 кг, фосфор – 4,5 кг, калий – 24,1 кг [4].

Важная задача в области использования минеральных удобрений – повышение эффективности их применения, в частности обе-

спечение окупаемости 1 кг NPK не менее 8 кг зерна, а всеми культурами на пашне – 10–12 к. ед. В республике среднее значение норматива окупаемости минеральных удобрений прибавкой урожая многолетних злаковых трав составляет 16,3 кг сена [4].

Материалы и методы исследований

Исследования проводились в 2016–2019 гг. в стационарных полевых опытах на территории землепользования СПК «Новое Полесье» Лунинецкого р-на Брестской обл. Объектом исследования являлась торфянисто-глеевая низинная осушенная почва, развивающаяся на тростниково-осоковых торфах, подстилаемых с глубины 0,26 м связными древнеаллювиальными песками. Агрохимические показатели почвы (Ап) следующие (средние значения): органическое вещество – 60,4 %; $N_{\text{общ}}$ – 1,74 %; pH_{KCl} – 5,37; подвижные формы (в 0,2 М HCl) P_2O_5 – 876 и K_2O – 818 мг/кг почвы.

Возделывали многолетнюю среднеспелую злаковую травосмесь, включающую тимофеевку луговую 2 кг/га, овсяницу луговую 5 кг/га, кострец безостый 6 кг/га.

Результаты исследования и их обсуждение

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

В среднем за 4 года исследований продуктивность многолетних трав составила на контрольном варианте 48,6 ц/га сена, или 24,8 ц/га к. ед. В результате применения фосфорных и калийных удобрений продуктивность возросла до 58,3–67,9 ц/га сена, или 29,7–34,6 ц/га к. ед. При внесении $P_{90}K_{120}$ (P_{90} – под первый укос и K_{30} – под второй укос) в среднем за 4 года получена урожайность 58,3 ц/га сена, прибавка к контролю – 9,7 ц/га, или 4,9 ц/га к. ед. При увеличении дозы калия до 150 кг/га (во вторую подкормку – 60 кг/га) урожайность возросла до 62,5 ц/га, прибавка – 13,6 ц/га сена, или 7,1 ц/га к. ед. Повышение дозы калийного удобрения до 180 кг/га (K_{120} – под первый укос и K_{30} – под

Цель настоящей работы – изучить эффективность применения разных доз азотных и калийных удобрений под многолетние злаковые травы на торфянисто-глеевой почве.

Размещение делянок в опыте рандомизированное. Повторность вариантов в опыте четырехкратная. Общая площадь делянки составляла 20 м², учетная площадь – 12 м².

Агрохимические показатели почв определяли по методикам: органическое вещество – по Тюрину в модификации ЦИНАО по ГОСТ 26212–91 [5]; pH_{KCl} – потенциометрическим методом по ГОСТ 26483–85 [6]; подвижные формы фосфора и калия – по ГОСТ 26207–91 [7]; общий азот – по ГОСТ 26107–84 [8]. Полученные данные обрабатывали методами дисперсионного анализа [9] с использованием компьютерного программного обеспечения (*Excel 7.0, Statistic 7.0*).

второй) способствовало росту урожайности: прибавка к контролю составила 19,3 ц/га сена (9,8 ц/га к. ед.) и к варианту $P_{90}K_{150}$ – 5,4 ц/га сена (табл. 1).

Азотные удобрения применяли под первый и второй укосы трав в общих дозах 100, 120 и 140 кг/га действующего вещества на двух фосфорно-калийных фонах – $P_{90}K_{150}$ и $P_{90}K_{180}$. В среднем за 4 года исследований в вариантах с применением азотных удобрений в дозе N_{100} (N_{60} – под первый укос и N_{40} – под второй укос) продуктивность многолетних трав составила на фоне $P_{90}K_{150}$ 92,9 ц/га сена (47,4 ц/га к. ед.) и на фоне $P_{90}K_{180}$ – 97,0 ц/га сена (49,5 ц/га к. ед.). Прибавки урожайности составили соответственно к контролю 44,3 и 48,4 ц/га сена, или 23,9 и 25,7 ц/га к. ед., к фосфорно-калийным фонам – 30,4 и 29,1 ц/га сена. Внесение под два укоса трав общей дозы азотных удобрений 120 кг/га (N_{80} – под первый укос и N_{40} – под второй укос) обеспечило достоверное повышение урожайности по отношению к фосфорно-калийным фонам. Прибавки сена составили соответственно

40,6 и 39,7 ц/га, которые были существенными и к варианту N_{100} . Увеличение дозы азота до N_{140} (N_{80} – под первый укос и N_{80} – под второй укос) не способствовало существенному увеличению урожайности сена по отношению к варианту N_{120} как на фоне $P_{90}K_{150}$, так и на фоне $P_{90}K_{180}$.

В первых двух вариантах с минеральными удобрениями – $N_{120}P_{90}K_{150}$ и $N_{140}P_{90}K_{150}$ – применяли также медьсодержащие удобрения в дозе 80 г/га меди (Cu_{80}). Некорневая подкормка многолетних злаковых трав в начале фазы выхода в трубку медьсодержащим удобрением обеспечила достоверные прибавки сена, которые составили по отношению к варианту $N_{120}P_{90}K_{150}$ 6,9 ц/га, к варианту $N_{140}P_{90}K_{150}$ – 8,2 ц/га.

Максимальная продуктивность многолетних злаковых трав в среднем за 4 года исследований получена в варианте 3 – при $N_{140}P_{90}K_{150} + Cu_{80}$; она составила 114,1 ц/га сена, или 58,2 ц/га к. ед.

По результатам полевого опыта на торфянисто-глеевой почве проведена оценка окупаемости минеральных удобрений прибавкой сена многолетних злаковых трав. При высоком содержании в почве P_2O_5 (876 мг/кг почвы) и повышенном содержании K_2O (818 мг/кг почвы) окупаемость 1 кг фосфорных и калийных удобрений, внесенных за два укоса трав в дозах $P_{90}K_{150}$ и $P_{90}K_{180}$, составила соответственно 4,6 и 5,8 кг сена. При увеличении дозы калийных удобрений до 180 кг/га (вариант 4) этот показатель возрос до 7,1 кг сена, или 3,8 к. ед.

Таблица 1. Продуктивность многолетних злаковых трав и окупаемость минеральных удобрений при внесении их в разных дозах

Варианты опыта		Урожайность в среднем за 4 года, ц/га	Прибавка, ц/га		Окупаемость удобрений прибавкой, кг		
			к контролю	к РК	РК	N	НPK
Сено							
1.	Контроль	48,6	–	–	–	–	–
2.	$P_{90}K_{120}$	58,3	9,7	–	4,6	–	–
3.	$P_{90}K_{150}$	62,5	13,9	–	5,8	–	–
4.	$P_{90}K_{180}$	67,9	19,3	–	7,1	–	–
5.	$N_{100}P_{90}K_{150}$	92,9	44,3	30,4	–	30,4	13,0
6.	$N_{120}P_{90}K_{150}$	103,1	54,5	40,6	–	33,8	15,1
7.	$N_{140}P_{90}K_{150}$	105,9	57,3	43,4	–	31,0	15,1
8.	$N_{100}P_{90}K_{180}$	97,0	48,4	29,1	–	29,1	13,1
9.	$N_{120}P_{90}K_{180}$	107,6	59,0	39,7	–	33,1	15,1
10.	$N_{140}P_{90}K_{180}$	110,7	62,1	42,8	–	30,6	15,1
11.	$N_{120}P_{90}K_{150} + Cu_{80}$	110,0	61,4	47,5	–	–	17,0
12.	$N_{140}P_{90}K_{150} + Cu_{80}$	114,1	65,5	51,6	–	–	17,2
	$HCP_{0,5}$	4,72	–	–	–	–	–
Кормовые единицы							
1.	Контроль	24,8	–	–	–	–	–
2.	$P_{90}K_{120}$	29,7	5,3	–	2,5	–	–
3.	$P_{90}K_{150}$	31,9	7,4	–	3,1	–	–
4.	$P_{90}K_{180}$	34,6	10,2	–	3,8	–	–
5.	$N_{100}P_{90}K_{150}$	92,9	44,3	30,4	–	30,4	13,0
6.	$N_{120}P_{90}K_{150}$	103,1	54,5	40,6	–	33,8	15,1
7.	$N_{140}P_{90}K_{150}$	105,9	57,3	43,4	–	31,0	15,1

8.	$N_{100}P_{90}K_{180}$	49,5	24,7	14,9	–	14,9	6,7
9.	$N_{120}P_{90}K_{180}$	54,9	30,1	20,3	–	16,9	7,7
10.	$N_{140}P_{90}K_{180}$	56,5	31,7	21,9	–	15,6	7,7
11.	$N_{120}P_{90}K_{150} + Cu_{80}$	56,1	31,3	24,2	–	–	8,7
12.	$N_{140}P_{90}K_{150} + Cu_{80}$	58,2	33,4	23,6	–	–	8,8
	$HCP_{0,5}$	2,40	–	–	–	–	–

Наиболее высокая оплата прибавкой урожая азотных удобрений получена в вариантах, где вносили их в дозах 120 кг/га. На фоне $P_{90}K_{150}$ она составила 33,8 кг сена, или 17,3 к. ед., на фоне $P_{90}K_{180}$ – 33,1 кг сена, или 16,9 к. ед.

Максимальная окупаемость минеральных удобрений (NPK) прибавкой растениеводческой продукции получена в вариантах, где их применяли совместно с медьсодержащим удобрением. В вариантах $N_{120}P_{90}K_{150} + Cu_{80}$ и $N_{140}P_{90}K_{150} + Cu_{80}$ она составила соответственно 17,0 и 17,2 кг сена, или 8,7 и 8,8 к. ед.

Основным принципом оценки экономической эффективности удобрений является сопоставление показателей прироста урожая с дополнительными затратами на его получение. Исходя из данных стоимости прибав-

ки урожая, действующих закупочных цен на продукцию, производственных затрат на возделывание многолетних злаковых трав, проведены расчеты экономической эффективности применения минеральных удобрений под злаковые травы [10].

При возделывании многолетних злаковых трав производственные затраты, включающие эксплуатационные затраты, стоимость семян, удобрений, затраты на уборку, транспортировку и доработку дополнительной продукции (сена двух укосов) колебались по вариантам опыта в зависимости от доз применения минеральных удобрений от 217,35 до 560,18 руб. на 1 га, или от 91,17 до 234,98 долл. США (курс доллара США в Национальном банке на 29.06. 2020 г. – 2,3839 руб.) (табл. 2).

Таблица 2. Средние значения производственных затрат на возделывание многолетних трав в период исследований 2016–2019 гг.

	Варианты опыта	Производственные затраты всего, руб. на 1 га	Затраты (руб. на 1 га), в том числе:	
			на приобретение и внесение удобрений	на уборку и доработку дополнительной продукции
1.	$P_{90}K_{120}$	217,35	195,15	22,20
2.	$P_{90}K_{150}$	233,51	201,65	31,86
3.	$P_{90}K_{180}$	252,60	208,15	44,45
4.	$N_{100}P_{90}K_{150}$	427,63	325,68	101,95
5.	$N_{120}P_{90}K_{150}$	475,72	350,48	125,24
6.	$N_{140}P_{90}K_{150}$	507,14	375,29	131,85
7.	$N_{100}P_{90}K_{180}$	443,50	332,18	111,32
8.	$N_{120}P_{90}K_{180}$	492,57	356,98	135,59
9.	$N_{140}P_{90}K_{180}$	524,51	381,79	142,72
10.	$N_{120}P_{90}K_{150} + Cu_{80}$	526,06	384,78	141,28
11.	$N_{140}P_{90}K_{150} + Cu_{80}$	560,18	409,59	150,59

Затраты на приобретение и внесение минеральных удобрений колебались в зависимости от их доз от 195,15 до 409,59 руб./га (от 81,86 до 171,81 долл. США/га). Удельный вес затрат на удобрения в производственных затратах составлял 73,1–89,8 %.

Выполненные расчеты показали, что экономическая эффективность минеральных

удобрений на многолетних злаковых травах существенно зависит от доз их внесения. Применение только фосфорных и калийных удобрений было неэффективным. Убытки составляли в зависимости их доз от –115,3 руб./га (–48,36 долл. США/га) в варианте $P_{90}K_{120}$ до –54,7 руб./га (–22,94 долл. США/га) – в варианте $P_{90}K_{180}$ (табл. 3).

Таблица 3. Экономическая эффективность возделывания многолетних злаковых трав в зависимости от доз внесения минеральных удобрений

	Вариант	Стоимость продукции	Производственные затраты	Прибыль (убыток)	Рентабельность (убыточность) производства, %
		руб. на 1 га			
1.	$P_{90}K_{120}$	102,1	217,35	–115,3	–53,0
2.	$P_{90}K_{150}$	143,2	233,51	–90,3	–38,7
3.	$P_{90}K_{180}$	197,9	252,60	–54,7	–21,6
4.	$N_{100}P_{90}K_{150}$	462,5	427,63	34,9	8,2
5.	$N_{120}P_{90}K_{150}$	565,6	475,72	89,8	18,9
6.	$N_{140}P_{90}K_{150}$	545,6	507,14	38,4	7,6
7.	$N_{100}P_{90}K_{180}$	495,7	443,50	52,2	11,8
8.	$N_{120}P_{90}K_{180}$	561,0	492,57	68,5	13,9
9.	$N_{140}P_{90}K_{180}$	623,5	524,51	99,0	18,9
10.	$N_{120}P_{90}K_{150} + Cu_{80}$	617,2	526,06	91,2	17,3
11.	$N_{140}P_{90}K_{150} + Cu_{80}$	645,3	560,18	85,1	15,2

Применение на фосфорно-калийных фонах азотных удобрений в дозах от 100 до 140 кг/га способствовало существенному повышению эффективности возделывания многолетних злаковых трав. Так, в варианте $N_{100}P_{90}K_{150}$ прибыль составила 34,9 руб./га (14,64 долл. США/га) и рентабельность производства – 8,2 %. Внесение на этом же фоне 120 кг/га азота (80 кг/га под первый укос и 40 кг/га под второй укос) обеспечило повышение прибыли до 89,8 руб./га (37,67 долл. США) и уровня рентабельности до 18,9 %. Применение более высокой дозы азота (N_{140}) приводило к снижению эффективности удобрений, а рентабельность производства уменьшилась до 7,6 %.

На фоне более высокой дозой фосфорных удобрений ($P_{90}K_{180}$) эффективность ми-

неральных удобрений возрастала. В варианте $N_{100}P_{90}K_{180}$ прибыль составила 52,2 руб./га (21,89 долл. США/га) и рентабельность производства 11,8 %. Внесение на этом же фоне 140 кг/га азота (80 кг/га под первый укос и 60 кг/га под второй) обеспечило наиболее высокую в опыте прибыль, которая составила 99,0 руб./га (41,52 долл. США) при уровне рентабельности 18,9 %.

Применение медьсодержащего удобрения в дозе 80 г/га в виде некорневой обработки трав в начале фазы выхода в трубку в вариантах с $N_{120}P_{90}K_{150}$ и $N_{140}P_{90}K_{150}$ было эффективным приемом. Прибыль составила соответственно 91,2 и 85,1 руб./га (38,25 и 35,79 долл. США/га) с уровнями рентабельности 17,3 и 15,2 %.

Выводы

1. На торфянисто-глеевой почве с оптимальными параметрами обеспеченности ее подвижными формами фосфора и калия наиболее высокую продуктивность многолетних злаковых трав обеспечивают применение $P_{90}K_{180}$ ($P_{90}K_{120}$ – под первый укос и K_{60} – под второй укос), которая составляет 67,9 ц/га сена, или 34,6 ц/га к. ед., и окупаемость удобрений до 7,1 кг сена.

2. Применение азотных удобрений в дозах от 100 до 140 кг/га увеличивает продуктивность многолетних злаковых трав на фоне $P_{90}K_{150}$ от 92,9 до 105,9 ц/га сена, или от 47,4 до 54,0 ц/га к. ед., на фоне $P_{90}K_{180}$ – от 97,0 до

110,7 ц/га сена, или от 49,5 до 56,5 ц/га к. ед. Наиболее высокая окупаемость азотных удобрений прибавкой урожая формируется при внесении их в дозах 120 кг/га. На фоне $P_{90}K_{150}$ она составила 33,8 кг сена, или 17,3 к. ед., на фоне $P_{90}K_{180}$ – 33,1 кг сена, или 16,9 к. ед.

3. Наиболее эффективно под многолетние злаковые травы внесение минеральных удобрений в дозах $N_{140}P_{90}K_{180}$, включая $N_{80}P_{90}K_{120}$ – под первый укос и $N_{60}K_{60}$ – под второй укос. Данная система удобрения обеспечивает продуктивность трав на уровне 110 ц/га сена (56,5 ц/га к. ед.) и прибыль 99,0 руб./га (41,52 долл. США) при уровне рентабельности 18,9 %.

Библиографический список

1. Осушенные торфяные и дерготорфяные почвы в составе сельскохозяйственных земель Республики Беларусь : практ. пособие / В. В. Лапа [и др.] ; под общ. ред. В. В. Лапа ; Ин-т почвоведения и агрохимии. – Минск : ИВЦ Минфина, 2018. – 215 с.
2. Мееровский, А. С. Проблемы использования и сохранения торфяных почв / А. С. Мееровский, В. П. Трибис // Новости науки и технологий. – 2012. – № 4 (23). – С. 3–9.
3. Эколого-экономическое обоснование мелиорации торфяно-болотных комплексов и технологии их рационального использования / Ковалев Н. Г. [и др.] ; под общ. ред. проф. Ю. А. Мажайского. – Рязань : ФГБОУ ВПО РГТУ, 2012. – 302 с.
4. Справочник нормативных материалов для агрохимического окультуривания почв и эффективного использования удобрений / В. В. Лапа [и др.]. – Минск : Ин-т почвоведения и агрохимии, 2017. – 60 с.
5. Почвы. Определение органического вещества в модификации ЦИНАО : ГОСТ 26213–91. – Введ. 07.01.1993. – Минск : Изд-во стандартов, 1992. – 6 с.
6. Почвы. Приготовление солевой вытяжки и определение ее рН по методу ЦИНАО : ГОСТ 26483–85. – Введ. 07.01.1986. – Минск : Белорус. гос. ин-т стандартизации и сертификации, 1987. – 4 с.
7. Почвы. Определение подвижных соединений фосфора и калия по методу Кирсанова в модификации ЦИНАО : ГОСТ 26207–91. – Введ. 07.01.1993. – Минск : Белорус. гос. ин-т стандартизации и сертификации, 1992. – 6 с.
8. Почвы. Методы определения общего азота : ГОСТ 26107-84. – Введ. 01.01.1985. – Минск : Белорус. гос. ин-т стандартизации и сертификации, 1985. – 6 с.
9. Доспехов, Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований) / Б. А. Доспехов. – М. : Агропромиздат, 1985. – 351 с.
10. Методика определения агрономической и экономической эффективности минеральных и органических удобрений / И. М. Богдевич [и др.] / РУП «Ин-т почвоведения и агрохимии». – Минск, 2010. – 24 с.

Поступила 28 июня 2020 г.

Рекультивация и использование земель

УДК 634.737+539.1.04+631.153

РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ЗАГРЯЗНЕННЫХ ^{137}Cs РАЙОНОВ ЮГО-ВОСТОКА БЕЛАРУСИ ПО СТЕПЕНИ ПРИГОДНОСТИ ЗЕМЕЛЬ К ВОЗДЕЛЫВАНИЮ ГОЛУБИКИ ВЫСОКОРОСЛОЙ

А. В. Ермоленко¹, кандидат сельскохозяйственных наук

Н. Н. Цыбулько², доктор сельскохозяйственных наук

И. И. Жукова³, кандидат сельскохозяйственных наук

Н. Б. Тупицына¹, старший преподаватель

¹ МГУ имени А.А. Кулешова, г. Могилев, Беларусь,

² РУП «Институт почвоведения и агрохимии», г. Минск, Беларусь,

БГПУ имени М. Танка, г. Минск, Беларусь

Аннотация

На основе анализа радиологического и почвенного факторов произведена оценка радиоэкологической пригодности сельскохозяйственных земель районов юго-восточной части Беларуси, загрязненных ^{137}Cs , к возделыванию голубики высокорослой. Выделено четыре группы районов: с высокой, средней, низкой и очень низкой пригодностью земель. Результаты работы могут быть использованы при планировании размещения плантаций голубики высокорослой в регионах, пострадавших от аварии на ЧАЭС.

Ключевые слова: высокорослая, ^{137}Cs , пригодность земель, группировка районов.

Abstract

**A. V. Yarmolenka, N. N. Tsybulka, I. I. Zhukova,
N. B. Tupitsyna**

RADIOECOLOGICAL ASSESSMENT OF ^{137}Cs -CONTAMINATED AREAS IN THE SOUTH- EAST OF BELARUS ACCORDING TO THE DEGREE OF LAND SUITABILITY FOR CULTIVA- TION OF TALL BLUEBERRIES

Based on the analysis of radiological and soil factors, an assessment was made of the radioecological suitability of agricultural lands in the southeastern part of Belarus contaminated with ^{137}Cs for cultivation of tall blueberries. Four groups of regions were identified: with high, medium, low and very low suitability of lands. The results of the work can be used in planning the placement of tall blueberry plantations in the regions affected by the Chernobyl accident.

Keywords: tall blueberry, ^{137}Cs , land suitability, grouping of districts.

Введение

Природные почвенно-экологические условия являются одним из основных факторов, влияющих на характер развития растениеводства в регионе. В ряде случаев при возделывании растений необходимо учитывать и

дополнительные факторы, одним из которых является загрязнение почв, произошедшее в ходе хозяйственной деятельности человека или в результате техногенных катастроф. На особенности распределения культур по тер-

ритории Беларуси, помимо природных условий, влияет загрязнение почв радионуклидами чернобыльского происхождения, прежде всего ^{137}Cs и ^{90}Sr . Наиболее масштабно сельскохозяйственные угодья загрязнены ^{137}Cs . Основные площади загрязнения радионуклидом сосредоточены на юго-востоке страны. На начало 2020 г. в наиболее пострадавших от аварии на Чернобыльской АЭС Могилевской и Гомельской обл. насчитывалось свыше 88 % (756,4 тыс. га) загрязненных ^{137}Cs сельскохозяйственных земель [1].

Основным препятствием к возделыванию сельскохозяйственных культур на загрязненной территории является риск сверхнормативного накопления радионуклидов в растениях. К настоящему времени радиоэкологические особенности основных сельскохозяйственных культур изучены. В неполной мере исследованной осталась радиоэкология растений, малораспространенных в республике, и растений, появившихся на полях нашей страны относительно недавно.

К условно новому для Беларуси растению можно отнести голубику высокорослую (*Vaccinium × covellianum* But. et Pl.), входящую в ботаническое семейство *Ericaceae* Juss. (вересковые) [2]. Ягоды этой культуры являются ценным диетическим продуктом, а их производство отличается высокой рентабельностью. По этой причине в мире наблюдается значительный рост производства и потребления плодов голубики [3], в том числе и в нашей стране. Установлено, что в Беларуси культура может давать более 10 т ягод с гектара [4, 5]. За последние годы появились и первые плантации голубики высокорослой в районах, имеющих радиационно загрязненные земли. С учетом высокой рентабельности производства и перспективность ягод голубики высокорослой как экспортного продукта развитие голубиководства в районах республики, пострадавших от аварии на ЧАЭС, может способствовать устойчивому развитию региона. Вместе с тем отсутствие анализа радиоэкологической пригодности земель к возделыванию культуры не позволяет оценить возможность и масштабность организации производства плодов голубики в указанных районах.

Под голубику высокорослую пригодны участки с разными типами почв, общим требо-

ванием к которым является их хорошая аэрируемость [6], поэтому при закладке плантаций культуры следует особое внимание уделять почвенным разновидностям, способным обеспечить благоприятный воздушный режим. Известно, что в загрязненной радионуклидами части страны преобладают дерново-подзолистые почвы легкого гранулометрического состава, которые в своем большинстве по физическим свойствам пригодны для голубики. В этом случае детерминировать возможность получения нормативно чистых по содержанию радионуклидов плодов культуры будет, прежде всего, степень радиационного загрязнения почв, определенное влияние окажут их агрохимические свойства и водный режим. В силу своих биологических особенностей голубика высокорослая весьма чувствительна как к недостатку, так и избытку влаги в почве. В условиях радиационного загрязнения особенно важно поддержание оптимального уровня увлажнения корнеобитаемого слоя, так как это способствует минимизации накопления радионуклидов растениями [7]. Поэтому в плане обеспечения необходимой влагообеспеченности культуры перспективно ее размещение на мелиорированных землях, где имеется возможность регулирования уровня грунтовых вод, а в случае необходимости и организация орошения. Высокая степень пригодности мелиорированных участков болот верхового и переходного типов для выращивания голубики высокорослой показана в некоторых исследованиях [8]. В целом удельный вес мелиорированных земель в составе всех сельскохозяйственных земель Могилевской обл. составляет более 25 %, Гомельской – более 40 % [1].

Данная научно-исследовательская работа направлена на анализ радиоэкологической пригодности сельскохозяйственных угодий районов Беларуси, загрязненных ^{137}Cs , к возделыванию голубики высокорослой. Подобные исследования с данной культурой на территории страны до настоящего времени не проводились.

Цель исследования – провести оценку почвенно-радиоэкологических условий и группировку загрязненных ^{137}Cs районов Могилевской и Гомельской обл. по степени радиоэкологической пригодности земель к возделыванию голубики высокорослой.

Основная часть

Исследования проводили в 2019-2020 гг. в рамках выполнения подпрограммы ГПНИ РБ по теме «Выполнить радиоэкологическую оценку голубики высокорослой (*Vaccinium corymbosum* L.) при возделывании на загрязненных ^{137}Cs почвах». Экспериментальная работа основывалась на данных о параметрах поступления ^{137}Cs из почвы в плоды голубики высокорослой, методологических подходах к оценке загрязненных радионуклидами земель, а также на материалах, изложенных в ранее опубликованных работах авторов [9–13]. Объектом исследования являлись радиоэкологические особенности голубики высокорослой, количественные и качественные характеристики сельскохозяйственных земель и составляющих их почв, загрязненных ^{137}Cs районов Могилевской и Гомельской обл. В работе оценивали радиоэкологическую пригодность земель к возделыванию голубики высокорослой. Под радиоэкологической пригодностью земель понимали потенциальную способность территории (с учетом плотности и площадей загрязнения ^{137}Cs , почвенных разновидностей) обеспечить биологические потребности голубики высокорослой в росте и содержание ^{137}Cs в плодах ниже РДУ-99 (для садовых ягод 70 Бк/кг). Единицей оценки служила совокупность сельскохозяйственных земель каждого административного района, входящего в зону загрязнения ^{137}Cs . Загрязнение почв ^{90}Sr в работе не учитывали по причинам отсутствия нормирования содержания радионуклида в плодах ягодных культур на территории страны, нахождения загрязненных земель в пределах зон, загрязненных ^{137}Cs , и значительно меньших масштабов загрязнения по сравнению с последним. В исследовании использовали картографический, абстрактно-логический методы и метод экспертной оценки. Картографическая интерпретация результатов производилась с использованием программного обеспечения ArcGIS 10.8, ArcGIS Pro 2.5 Esri Inc. (лицензия ESU 650136265, Conservation Grant Sold-To/End-user customer, N 493588).

Оценка земель и группировка районов основана на анализе территориальных сочетаний радиоэкологического и почвенного факторов, характере и интенсивности их проявления, обуславливающих потенциальные риски

(вероятности) производства плодовой продукции голубики высокорослой с содержанием ^{137}Cs , превышающим допустимый норматив. Радиологический фактор был определен как ведущий, так как именно наличие в почве биологически доступного ^{137}Cs в совокупности с радиоэкологическими особенностями голубики высокорослой определяют уровень накопления радионуклида в ягодной продукции. Почвенный фактор представлен в связке с радиологическим; они оба оказывают влияние на величину накопления радионуклида в растениях и обеспечивают требования растений к росту и развитию.

Среди дерново-подзолистых почв, преобладающих в зоне радиационного загрязнения республики, наиболее радиоэкологически пригодными для возделывания голубики можно считать супесчаные, так как они, обладая достаточной для культуры аэрируемостью, характеризуются меньшим переходом радионуклида в растения по сравнению с песчаными и особенно торфяными почвами [13]. Глинистые и суглинистые почвы непригодны для голубики по физическим свойствам. Величины предельно допустимой плотности загрязнения ^{137}Cs , обеспечивающие получение ягод с содержанием радионуклида в пределах РДУ-99 для дерново-подзолистых супесчаных почв, находятся на уровне 10,6–12,2 Ки/км² [9]. Эти данные указывают на то, что в зоне загрязнения ^{137}Cs от 1 до 5 Ки/км² на супесчаных почвах при соблюдении технологии выращивания накопление в ягодах радионуклида сверх допустимых норм маловероятно. Загрязненные земли с такими почвами радиоэкологически наиболее пригодны для культуры. В зоне загрязнения 5–15 Ки/км² на супесчаных почвах может происходить сверхнормативное накопление ^{137}Cs в плодах. Предельная плотность загрязнения почвы, обеспечивающая допустимое содержание ^{137}Cs в ягодах, будет варьироваться в зависимости от сорта культуры, вносимых удобрений и агрохимических особенностей почвы, урожайности культуры или метеорологических условий вегетационного периода. В этих условиях под насаждения голубики требуется тщательный подбор участков с проведением измерений уровня загрязнения почв, соблюдение специальных

рекомендаций по агротехнике возделывания. Поэтому земли в зоне загрязнения 5–15 Ки/км² для голубики можно считать ограниченно пригодными. При загрязнении почв сверх 15 Ки/км² возделывание голубики высокорослой нецелесообразно из-за высокого накопления ¹³⁷Cs в плодовой продукции.

Районы, входящие в зону загрязнения ¹³⁷Cs, различаются площадью сельскохозяйственных угодий, степенью загрязнения земель радионуклидом, компонентным составом почв разного генезиса, их радиоэкологическими свойствами и, соответственно, возможностью развития на их землях голубиководства. При сравнении земель исследуемых районов наличие минеральных почв легкого гранулометрического состава рассматривается в нашем исследовании как положительный, с точки зрения биологии культуры, фактор, а больший удельный вес в их составе песчаных почв – как фактор, повышающий риск сверхнормативного накопления радионуклида в ягодах голубики. Отрицательным фактором для возделывания культуры считали торфяные почвы (из-за высокой биологической доступности в них радионуклида), а глинистые и суглинистые – из-за непригодности их физических свойств. Такие почвенные характеристики, как степень увлажнения и агрохимические свойства, при оценке земель нами не учитывались, так как они, в отличие от степени загрязнения радионуклидами и гранулометрического состава, в значительной степени поддаются корректировке.

Для оценки степени радиоэкологической пригодности земель к возделыванию голубики высокорослой нами определены критерии, выраженные в виде показателей, базирующихся на данных существующей статистической, мониторинговой и кадастровой информации по каждому району. К показателям, определяющим пригодность сельскохозяйственных земель, относятся следующие.

Радиологический фактор:

- удельный вес в составе землепользования района земель с плотностью загрязнения ¹³⁷Cs 1–40 Ки/км², %;
- удельный вес земель с плотностью загрязнения ¹³⁷Cs 5–15 Ки/км² в составе всех загрязненных земель, %;

- удельный вес земель с плотностью загрязнения ¹³⁷Cs 15–40 Ки/км² в составе всех загрязненных земель, %;

почвенный фактор (при загрязнении менее 5 % от площади всех сельскохозяйственных земель не учитывался):

- удельный вес в составе сельскохозяйственных земель земель с непригодными по гранулометрическому составу и торфяными почвами, %;
- удельный вес земель с песчаными почвами в составе сельскохозяйственных земель с легкими по гранулометрическому составу почвами, %.

Для ранжирования и группировки районов на основе критериев радиологического и почвенного факторов применена балльная шкала, которая изменялась от 0 до 4. Балл «0» присваивался при отсутствии или минимальном наличии земель в соответствии с принятыми критериями, балл «4» – при максимальном диапазоне значений показателя. Итоговая сумма баллов по району характеризует пригодность почвенно-радиоэкологических условий сельскохозяйственных земель, включающую потенциальный риск получения продукции голубики высокорослой с превышением содержания ¹³⁷Cs норм РДУ-99.

В исследовании интегральный балл (сумма баллов показателей радиологического и почвенного факторов) по районам колеблется от 0 до 17. Районы с наименьшей суммой баллов характеризовались максимальной радиоэкологической пригодностью земель к возделыванию голубики высокорослой, с наибольшей – минимальной. На основе полученных результатов выделено 4 группы районов. Первую группу представляют районы с суммарным баллом от 0 до 4, вторую – от 5 до 9 баллов, третью – от 10 до 14 баллов, четвертую – районы с баллом 15 и выше.

Первая группа (далее – I) характеризуется высокой радиоэкологической пригодностью земель к возделыванию голубики высокорослой. Сюда вошли районы с наиболее благоприятными радиоэкологическими условиями для культуры. Это Бобруйский, Кировский, Мстиславский, Кличевский р-ны Могилевской обл., Петриковский и Житковичский – Гомельской. Удельный вес всех загрязненных ¹³⁷Cs земель в структуре совокупности сельскохозяй-

Третья группа (III) – низкая радиоэкологическая пригодность земель – объединяет 9 районов, удельный вес загрязненных земель в которых в среднем составляет 63,4 %. Все районы в структуре загрязненных земель имеют площади с загрязнением 5–15 Ки/км² (от 0,5 до 44,2 %). Большинство районов также имеют участки с загрязнением более 15 Ки/км² (в зависимости от района от 0,5 до 10,1 %). Во всех районах преобладают легкие почвы (63,6–92,7 %), однако в таких районах, как Лельчицкий, Лоевский и Ельский, в составе легких почв большинство представляют песчаные почвы, что повышает риск сверхнормативного накопления ¹³⁷Cs в ягодах. Характер загрязнения и почвенного покрова земель этих районов затрудняет выбор площадок под голубику по сравнению с районами второй группы. Вместе с тем наличие 36,6 % незагрязненных земель и загрязненных с плотностью до 5 Ки/км² при тщательном подборе участков с измерением

Заключение

Почвенно-радиоэкологический анализ пригодности сельскохозяйственных земель к возделыванию голубики высокорослой в разрезе загрязненных ¹³⁷Cs районов юго-востока Беларуси показал, что в данном регионе культура имеет значительный потенциал к промышленному возделыванию. Ограничения к выращиванию определяются характером загрязнения земель, особенностями почвенного покрова и, соответственно, потенциальным риском превышения содержания ¹³⁷Cs в ягодах культуры сверх допустимых норм. Различия по площади и плотности загрязнения сельскохозяйственных земель районов в сочетании с комбинациями почвенных характеристик позволяют ранжировать районы по потенциальной радиологической пригодности земель к возделыванию культуры. На основе радиологического и почвенного факторов районы разделены на четыре группы. В I группе объ-

радиоактивности почв позволяет найти площади для производства плодовой продукции голубики.

В четвертую группу (IV) – очень низкая радиоэкологическая пригодность – входят 6 районов Гомельской обл. Для группы характерно масштабное загрязнение ¹³⁷Cs, удельный вес которых в составе сельскохозяйственных земель районов составляет в среднем 76,4 %. Так же присутствуют от 17,0 до 73,1 % земель с загрязнением 5–15 Ки/км² и от 1,5 до 14,8 % с загрязнением 15–40 Ки/км². Как и в большинстве районов, из I–III групп здесь преобладают земли легкого гранулометрического состава (от 74,8 до 88,9 %), но среди них высок процент песчаных почв (37,6–66,0 %). Производство нормативно чистых по содержанию ¹³⁷Cs ягод голубики высокорослой на территории этих районов не исключается, однако организовать их масштабное производство будет проблематично.

единены районы с наиболее благоприятными среди загрязненных районов почвенно-радиоэкологическими условиями к возделыванию голубики высокорослой и минимальным риском превышения допустимого уровня содержания ¹³⁷Cs в ягодах; II и III группы по пригодности земель и риску превышения ¹³⁷Cs в ягодах занимают промежуточное положение; в IV группе – районы с наименьшей радиоэкологической пригодностью и соответственно с максимальным риском.

Результаты работы могут быть использованы при планировании размещения плантаций голубики высокорослой в районах республики, пострадавших от аварии на ЧАЭС. Методологические подходы в оценке и группировке сельскохозяйственных земель по радиоэкологической пригодности к возделыванию голубики высокорослой универсальны и применимы при оценке других регионов.

Библиографический список

1. Охрана окружающей среды в Республике Беларусь : стат. сб. / Нац. стат. комитет Респ. Беларусь ; редкол.: И. В. Медведева (предс. ред. кол.) [и др.]. – Минск, 2020. – 203 с.
2. Павловский, Н. Б. Систематическое положение и классификация сортов голубики секции *Suaposoccus* / Н. Б. Павловский // Плодоводство. – 2013. – Т. 25. – С. 533–543.

3. В Европе быстро увеличиваются площади под голубикой [Электронный ресурс] // EastFruit. Информация о рынках овощей и фруктов на восток от Евросоюза. – Режим доступа: <https://east-fruit.com/article/v-evrope-bystro-uvlechivayutsya-ploshchadi-pod-golubikoy>. – Дата доступа : 08.05.2020.

4. Курлович, Т. В. Габитус и урожайность зрелых растений сортовой голубики в репродуктивной фазе онтогенеза / Т. В. Курлович // Опыт и перспективы возделывания голубики на территории Беларуси и сопредельных стран : материалы Междунар. науч. конф. (Минск, 17–18 июля 2014 г.). – Минск : Конфидо, 2014. – С. 49–56.

5. Ермоленко, А. В. Сортовые особенности сроков созревания и урожайности ягод голубики высокорослой (*Vaccinium corymbosum* L.) в условиях восточной части Беларуси / А. В. Ермоленко, А. Д. Сивцова, Н. В. Костина // Вестн. БГСХА. – 2017. – № 2. – С. 25–29.

6. Параметры накопления ^{137}Cs голубикой высокорослой (*Vaccinium corymbosum* L.) / А. В. Ермоленко [и др.] // Мелиорация. – 2018. – № 3 (85). – С. 63–69.

7. Драганская, М. Г. Агроэкологическое обоснование применения органических удобрений на радиоактивно загрязненных дерново-подзолистых песчаных почвах юго-запада России : автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук : 06.01.04 / М. Г. Драганская; Брянск. ГСХА. – Брянск, 2008. – 55 с.

8. Рупасова, Ж. А. Фиторекультивация выбывших из промышленной эксплуатации торфяных месторождений севера Беларуси на основе возделывания ягодных растений семейства Ericaceae / Ж. А. Рупасова, А. П. Яковлев ; под общ. ред. В. Н. Решетникова ; Нац. акад. наук Беларуси, Центр. ботан. сад. – Минск : Беларус. навука, 2011. – 279 с.

9. Параметры накопления ^{137}Cs голубикой высокорослой (*Vaccinium corymbosum* L.) / А. В. Ермоленко [и др.] // Мелиорация. – 2018. – № 3 (85). – С. 63–69.

10. Изучить сортовые различия и влияние показателей почвенного плодородия на накопление ^{137}Cs голубикой высокорослой (*Vaccinium corymbosum*) : отчет о НИР (заключ.) / МГУ имени А. А. Кулешова; рук. темы Н. Н. Цыбулько. – Могилев, 2018 г. – 41 с. – № ГР20161338.

11. Ермоленко, А. В. Методические аспекты почвенно-радиоэкологической оценки пригодности земель к возделыванию голубики высокорослой / А. В. Ермоленко, Н. Н. Цыбулько, И. И. Жукова // Аграрные ландшафты, их устойчивость и особенности развития : сб. науч. тр. Междунар. науч. экол. конф. / под ред. И. С. Белюченко. – Краснодар : КубГАУ, 2020. – С. 247–250.

12. Цыбулько, Н. Н. Оптимизация использования загрязненных радионуклидами сельскохозяйственных земель и агрохимических защитных мероприятий в отдаленный период Чернобыльской аварии: дис. ... д-ра с.-х. наук : 06.01.03 / Н. Н. Цыбулько. – Минск, 2017. – 392 л.

13. Рекомендации по ведению сельскохозяйственного производства в условиях радиоактивного загрязнения земель Республики Беларусь на 2012-2016 годы / Департамент по ликвидации последствий катастрофы на Чернобыльской АЭС МЧС РБ, М-во с.-х. и прод. РБ. – Минск, 2012. – 122 с.

Поступила 22 августа 2020 г.

К 110-летию Института мелиорации

УДК 633.2/.3 (476)

ЛУГОВОЕ КОРМОПРОИЗВОДСТВО БЕЛАРУСИ

А. С. Мееровский, доктор сельскохозяйственных наук, профессор

Р. Т. Пастушок, кандидат сельскохозяйственных наук

В. Н. Филиппов, кандидат сельскохозяйственных наук

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

Аннотация

В статье изложена характеристика луговых земель республики, показан их агробиологический потенциал. Рассмотрена роль научных исследований РУП «Институт мелиорации» в развитии травосеяния и луговодства в Беларуси

Ключевые слова: луговые земли, сельскохозяйственное использование, продуктивность, научные исследования.

Abstract

A. S. Meerovsky, R. T. Pastushok, V. N. Philipov

MEADOW FORAGE PRODUCTION IN BELARUS

The article describes the characteristics of the Belarus meadow lands, their agrobiological potential is shown. The role of scientific research of the Institute of land reclamation in the development of grass and meadow farming in Belarus is considered.

Keywords: meadow land, agricultural usage, productivity, scientific research.

Введение

В современных условиях насущной необходимостью эффективного развития отечественного агропромышленного комплекса является создание условий для инновационного функционирования всех его отраслей с использованием новейших научных достижений и технологий [1].

Сельское хозяйство Беларуси обеспечивает прежде всего продовольственную независимость и безопасность, ориентируется на всемерное увеличение экспорта производимых продуктов. В его специализации приоритетно животноводство, дающее в последние

годы основную часть экспорта продовольствия. Экономическая эффективность животноводства во многом определяется уровнем и состоянием кормовой базы, в себестоимости его продуктов не менее 50 % приходится на корма. В структуре кормовых рационов крупного рогатого скота в Беларуси преобладают травяные корма, они производятся на пахотных и луговых землях.

Цель данной работы – актуализировать роль и значение лугового кормопроизводства, показать его потенциальные возможности. Учитывая, что производство травяных кормов

в Беларуси в последние десятилетия концентрируется на осушенных землях, важно его постоянное научное обеспечение, разработка и

совершенствование агротехнологий с учетом трансформации климата, почв, других урожаеобразующих факторов.

Основная часть

Почвенно-климатические условия республики способствовали формированию и распространению естественных (природных) лугов, площадь которых на протяжении длительного времени устойчиво держалась на уровне 3,5 млн га (около 17 % территории в современных границах). Сложилась в принципе адаптивная система луговых травостоев, характеризующаяся относительной устойчивостью и биологическим разнообразием. Их продуктивность колебалась в диапазоне 1,5–3,5 т/га сена разного качества, что достигалось, по существу, без вложения средств. Неслучайно, что эти земли именовались природными кормовыми угодьями.

Вторая половина XX в. ассоциируется для Беларуси с активным мелиоративным преобразованием болот и заболоченных земель, в результате чего для сельскохозяйственных целей осушено 2,9 млн га, из которых 1,4 млн га – луговые земли. На 1 января 2020 г. общая площадь сельскохозяйственных земель в сельхозорганизациях составляла 7,4 млн га (35,6 % территории), в том числе 5,0 млн га (24,0 % территории) пахотных и 2,3 млн га (11,1 % территории) луговых земель (табл. 1).

Особенность нашей республики – высокий удельный вес (72,3 %) улучшенных лугов. Их распределение по территории страны существенно различается. Если в Брестской обл. в среднем на один район приходится 23,9 тыс. га улучшенных лугов, то в Гомельском – 12,0, а в Могилевском – 8,2 тыс. га. Общая площадь луговых земель уменьшается. Во всех категориях землепользователей Беларуси только за 2019 г. она сократилась на 62,1 тыс. га (2,4 %), а в сельскохозяйственных организациях – на 37,4 тыс. га (1,6 %). С 2014 по 2020 гг. общая площадь лугов уменьшилась на 465,1 тыс. га, или на 15,3 %. Особенно интенсивным этот процесс был в Гомельской обл.: уменьшение составило 145,1 тыс. га (28 %), Минской – 102,6 тыс. га (18,2 %) и Могилевской обл. – 94 тыс. га (20,3 %).

В естественном состоянии находятся 650,6 тыс. га лугов (2020 г.). Наибольшие площади

природных лугов – в Витебской (144,0 тыс. га) и Могилевской (146,8 тыс. га) обл. В среднем на район она составляет 5,5 тыс. га в диапазоне от 7,0 тыс. га в Могилевской обл. до 3,9 тыс. га в Гродненской. Более половины естественных луговых земель представлена мелкими контурами, расположенными, как правило, в замкнутых понижениях. Коренное улучшение таких земель на данном этапе экономически нецелесообразно. Остальные естественные луга расположены в поймах средних и крупных рек. Пойменные луга наиболее продуктивны, урожайность их зависит от продолжительности весенних паводков и погодных условий. При весеннем затоплении до 45 суток формируется хороший первый укос, своевременная уборка которого способствует росту отавы и получению за 2 укоса до 3,5 т/га сена. В среднем по влагообеспеченности год для сенокосения пригодны 120–150 тыс. га. Наибольшие площади пойменных лугов сосредоточены в Гомельской и Могилевской обл.

В связи с отсутствием ухода и прекращением ручного скашивания культуртехническое состояние естественных лугов ухудшается. Повсеместно наблюдается интенсивное зарастание их кустарником. По данным ГНУ «Институт экспериментальной ботаники НАН Беларуси», в Припятском Полесье (Столинском, Пинском, Лунинецком, Житковичском, Мозырском, Петриковском, Наровлянском районах) закустаривание пойменных лугов прослеживается на 45,3 % их площади.

На значительной части луговых фитоценозов развиваются процессы обеднения видового состава травостоев и ухудшения их кормового достоинства, появления мозаик ядовитых и вредных видов, не поедаемых скотом.

Серьезной экологической проблемой, особенно пойменных лугов, является проникновение инвазивных видов растений. Основные популяции инвазивных видов сосредотачиваются в переходных зонах между затапливаемой поймой и водораздельными участками. В последние годы существенно увеличилась чис-

Таблица 1. Наличие земель в сельскохозяйственных организациях (тыс. га)

Области	Всего сельскохозяйственных земель	В том числе									
		пахотных	%	луговых	%	из них улучшенных	% от всех луговых	естественных луговых	всего	улучшенных	приходится на 1 район
Брестская	1189,9	720,6	60,6	465,4	39,1	382,8	82,3	82,6	29,1	23,9	5,2
Витебская	1241,8	786,5	63,3	450,1	36,2	306,1	68,0	144,0	21,4	14,6	6,8
Гомельская	1200,9	834,4	69,5	360,3	30,0	251,2	63,7	109,6	17,2	12,0	5,2
Гродненская	1075,1	731,3	68,0	340,3	31,7	273,1	80,3	67,2	20,0	16,1	3,9
Минская	1592,2	1174,8	73,8	411,1	25,8	310,2	75,5	100,9	18,7	14,1	4,6
Могилевская	1076,0	750,9	69,8	319,1	29,7	172,3	54,0	146,8	15,2	8,2	7,0
Итого по Республике Беларусь	7375,9	4998,5	67,8	2346,3	31,8	1695,7	72,3	650,6	19,9	14,4	5,5

ленность эхиноцистиса лопастного, золотарника канадского, колючеплодника шиповатого и др. Необходимо проведение комплекса мер по борьбе с этими чужеродными видами, чтобы избежать резкого ухудшения сенокосных травостоев.

Таким образом, основным источником травяных кормов в Беларуси являются улучшенные луговые земли и укосные площади многолетних трав на пашне. В связи с тем, что почти 83 % улучшенных лугов расположено на осушенных землях, состояние их и мелиоративных систем во многом определяют возможности реализации других факторов продуктивности. Старение мелиоративных систем вызывает уменьшение этих возможностей и увеличение производственного риска.

Интенсификация луговодства уже в настоящее время лимитируется водным режимом, в перспективе роль этого фактора несомненно возрастет.

Луговые экосистемы выполняют три важнейшие функции [2]:

- производства травяных кормов для животноводства;
- экологическую функцию, обеспечивающую устойчивость агроландшафтов к изменениям климата и другим воздействиям;
- системообразующую, связывающую в единое целое растениеводство и животноводство, природопользование и охрану окружающей среды.

Производство травяных кормов всегда было и продолжает оставаться в настоящее время основной задачей функционирования лугов. По хозяйственному назначению они подразделяются на сенокосы и пастбища. В условиях Беларуси это деление в значительной мере является условным, так как даже на специально созданных пастбищных травостоях нельзя обойтись без скашивания их части на сено, сенаж или силос. Перспектива видится в создании долголетних многокомпонентных луговых систем комбинированного использования с учетом происходящих изменений в содержании и кормлении крупного рогатого скота.

Анализ динамики кормопроизводства за последние десятилетия свидетельствует, что корма практически постоянно лимитировали интенсификацию животноводства. При дефиците и низком качестве кормов вся их энергия расхо-

довалась на поддержание жизненных функций скота, а на получение продукции животноводства ничего не оставалось. В 2006–2010 гг. объемы производства травяных кормов несколько возросли, главным образом, за счет кукурузного силоса. Но их качественные показатели продолжают оставаться неудовлетворительными, прежде всего по содержанию кормового белка, обеспеченность которым составляет 80–85 % к потребности.

В какой степени луговые земли Беларуси могут обеспечить необходимое количество травяных кормов?

Оценка агроклиматических ресурсов республики для роста и развития луговых травостоев проведена Н. В. Синицыным [3, 4].

На основании анализа многолетних данных о температурах периода активной вегетации (выше 10 °С) и количестве атмосферных осадков за это время с учетом возможного поступления влаги из грунтовых вод рассчитаны величины продуктивности наиболее распространенных групп лугов. При этом принимался во внимание зональный фактор. Все материалы дифференцированы для северной прохладной климатической зоны, центральной умеренно-теплой и южной повышено-теплой. Диапазон колебаний средних значений сумм температур за период выше или равной 10 °С составляет 511°, что весьма существенно. Расчетная потенциальная продуктивность по всем группам лугов во влажные годы составляет 9,9 т/га сухого вещества, умеренно влажные – 8,8, в сухие – 7,9 т/га. Влияние зональных показателей тепла и влаги оказалось небольшим, не более 6–7 %. В разрезе почв максимальная продуктивность возможна на торфяных почвах – в среднем 12,6 т/га сухого вещества с колебаниями по зонам от 13,7 до 11,6 тонн.

Агроресурсный потенциал луговодства в условиях Беларуси включает:

- земельный ресурс, который обеспечивает непрерывное поступление фотосинтетически активной радиации на всю площадь лугов;
- почвенный потенциал, обеспечивающий оптимальное размещение травостоев, их снабжение CO₂ и элементами минерального питания;
- гидрологический ресурс, обеспечивающий водопотребление луговых травостоев, их адаптацию к изменяющимся

условиям увлажнения (естественным и искусственным);

- биологический ресурс, включающий видовое и сортовое разнообразие многолетних трав, обеспечивающий их продуктивное долголетие и качество получаемых травяных кормов;
- материальные ресурсы отрасли кормопроизводства современного сельского хозяйства (техническая оснащенность, семена, удобрения, средства защиты растений и т. д.);
- трудовые ресурсы, кадры высшей и средней квалификации, постоянное повышение профессионального уровня во всех звеньях.

В ближайшие годы общая потребность республики в зеленой массе трав для производства кормов составит не более 90–100 млн тонн. Потребность в кормах для молочно-товарных ферм и комплексов приведена в табл. 2 и дифференцирована для разной молочной продуктивности от 5000 до 10 000 кг молока от коровы. Для получения такого количества зеленой массы осуществляется комплекс мероприятий по формированию луговых травостоев и поддержанию их продуктивного долголетия. В Беларуси была принята пятилетняя периодичность обновления луговых травостоев. Применительно к настоящему времени это означает ежегодное перезалужение 340 тыс. га. Стоимость этого мероприятия (в текущих ценах) при условии выполнения принятых технологических регламентов составляет порядка 250 млн рублей. Большинство хозяйств не могут изыскать для этого собственные средства. В результате, во-первых, двадцатипроцентные объемы перезалужения выполняются не более чем наполовину, во-вторых, качество работ продолжает оставаться низким. Следствием этого является крайне слабая эффективность луговых земель. Опыт европейских стран, активно использующих сеяные травостои, убедительно свидетельствует, что при грамотной эксплуатации они могут обеспечить высокую продуктивность в течение нескольких десятилетий. Этому способствует использование хорошо изученных и проверенных приемов омолаживания травостоев, подсева трав в дернину. Технология подсева

трав в дернину прошла апробацию в различных почвенных условиях республики с разными видами многолетних бобовых и злаковых трав. Эффективность подсева клевера лугового сохраняется в течение 2 лет, клевера ползучего – 3–4 года, люцерны рогатого и многолетних злаковых трав – до 5 лет. При этом экономия ресурсов составляет 60–70 долларов на гектар.

Особая роль в достижении высокой и устойчивой продуктивности луговых земель принадлежит питанию растений. Уровень минерального питания луговых травостоев во многом определяет не только их продуктивное долголетие, но и способность противостоять стрессовым ситуациям. Эффективность минеральных удобрений доказана многочисленными опытами на разных почвах и травостоях. Она ни в коей мере не ниже, чем на полевых культурах. При эксплуатации многокомпонентных бобово-злаковых пастбищ подкормки минеральными удобрениями окупались приростом молочной продуктивности в течение 2 недель. Тем не менее луговые агросистемы Беларуси получают минеральные удобрения по остаточному принципу в существенно меньших количествах по сравнению с однолетними полевыми культурами. Имеющаяся в хозяйствах информация о почвах, их агрохимическом состоянии позволяет рационально, а главное, эффективно их применять.

С 1965 г. в стране проводится крупномасштабное агрохимическое обследование почв улучшенных луговых земель с периодичностью раз в четыре года. Определяются следующие показатели: рН в KCl, содержание гумуса, подвижные фосфор и калий, обменные кальций и магний, содержание подвижных форм микроэлементов – бора, меди, цинка, содержание радионуклидов ^{137}Cs и ^{90}Sr . Последнее обследование выполнено в 2013–2016 гг. Получена достаточно полная характеристика агрохимического состояния почв улучшенных луговых земель на площади 2054,1 тыс. га. [5]. Приведем наиболее существенные ее результаты. Средневзвешенная величина рН в луговых почвах республики – 5,87. По сравнению с предыдущим туром (2009–2012 гг.) она уменьшилась на 0,05. Подкисление почв лугов отмечалось

в 79 районах. Доля сильно- и среднекислых луговых почв ($pH < 5,0$) повысилась с 6,0 до

7,3 %. Наибольшие их площади – в Могилевской обл. – 10,8 %.

Таблица 2. Годовая потребность в кормах на 1 голову в зависимости от удоя молока

Годовой удой, кг	Показатели потребности кормов	Всего	в том числе		
			травяных	силоса из кукурузы	концентрированных
5000	сухого вещества, тонн	5,68	3,11	1,20	1,47
	кормовых единиц	5500	2580	990	1930
	обменной энергии, ГДж	58,58	29,46	11,77	17,35
	сырого протеина, тонн	0,86	0,47	0,12	0,27
6000	сухого вещества, тонн	6,37	3,29	1,26	1,82
	кормовых единиц	6300	2890	1080	2330
	обменной энергии, ГДж	67,64	32,02	13,40	22,22
	сырого протеина, тонн	1,01	0,52	0,14	0,35
7000	сухого вещества, тонн	6,81	3,16	1,46	2,19
	кормовых единиц	6650	2930	1130	2590
	обменной энергии, ГДж	74,93	33,50	15,85	27,58
	сырого протеина, тонн	1,11	0,51	0,16	0,44
8000	сухого вещества, тонн	7,17	2,96	1,61	2,60
	кормовых единиц	7200	3030	1220	2950
	обменной энергии, ГДж	80,77	29,77	17,47	33,53
	сырого протеина, тонн	1,22	0,50	0,17	0,55
9000	сухого вещества, тонн	7,39	2,66	1,65	3,08
	кормовых единиц	7650	22,20	2060	3370
	обменной энергии, ГДж	85,55	26,91	18,32	40,32
	сырого протеина, тонн	1,33	0,46	0,18	0,69
10 000	сухого вещества, тонн	7,71	2,57	1,72	3,42
	кормовых единиц	8000	2240	2160	3600
	обменной энергии, ГДж	90,09	26,29	19,0	44,80
	сырого протеина, тонн	1,41	0,46	0,18	0,77

На улучшенных лугах фосфорные удобрения не вносятся уже продолжительное время, содержание подвижных фосфатов в луговых почвах находится в равновесном состоянии на уровне 108–120 мг P_2O_5 на килограмм почвы. Более 50 % луговых почв слабо обеспечены подвижным фосфором. В Брестской обл. таких земель – 56,5, Минской – 66,2 %.

Средневзвешенное содержание подвижного калия в луговых почвах составляет 157 мг K_2O на кг почвы. Свыше половины площади улучшенных лугов недостаточно обеспечены калием. Особенно много таких земель в Гродненской – 72 %, Брестской и

Могилевской обл. – 54,1 %. В целом по республике, начиная с 1984 г., наблюдается устойчивый рост содержания подвижного калия в почвах улучшенных лугов. Это свидетельствует, что применяемые на этих землях дозы калийных удобрений были достаточны для травостоев. Следует отметить, что обеспеченность почв калием оказывает регулирующее действие на ее микробиологический и биохимический статусы. Повышение концентрации подвижного калия до оптимального уровня увеличивает биогенность почв, ускоряет аммонификацию азотсодержащих соединений.

Использование всей площади луговых земель с возделыванием широкого набора травостоев в системе технологических конвейеров дает возможности значительно укрепить кормовую базу животноводства. В их структуре следует отдавать предпочтение многолетним бобово-злаковым травам, максимально приспособленным к почвенным и гидрологическим условиям. В Беларуси осуществляется коренная перестройка условий содержания и кормления крупного рогатого скота, перевод их на промышленные технологии. Этому должно соответствовать кормопроизводство, в том числе луговое.

Основные элементы новой системы кормопроизводства:

- отказ от традиционных принципов формирования зеленого конвейера с учетом непрерывной заготовки кормов в течение всего теплого периода;
- создание циклической системы кормовых посевов с выделением трех циклов: главный цикл – весенне-летний (первый укос), летний (вторые укосы многолетних травостоев и первые однолетних культур), осенний (третьи укосы и пожнивные культуры);
- заготовка основной части кормов из провяленных трав не в летний, а в весенне-летний (главный) и осенний циклы;
- расширение ассортимента культур – источников вегетативной массы;
- полная или частичная замена заготовки сена на технологию заготовки сенажа в пленочной оболочке.

В настоящее время при заготовке кормов из трав применяются четыре основные технологии:

заготовка сена в прессованном виде (рулонах, тюках);

заготовка провяленных трав с хранением в траншеях;

заготовка провяленных трав с хранением в крупногабаритных полимерных рукавах;

заготовка провяленных трав (сенажа) в полимерную упаковку (стретч-пленку).

Их всех существующих технологий следует отдавать предпочтение приготовлению

корма из провяленных трав, содержащего 35–40 % сухого вещества, в полимерную упаковку. Корма такого вида должно быть не менее трети общей потребности в сенаже.

Формирование и развитие научного направления по луговодству и луговому кормопроизводству в Беларуси тесно связано с мелиорацией болот и заболоченных земель. К осуществлению мелиоративных мероприятий привлекались ученые разных специальностей: инженеры-гидротехники, почвоведы, ботаники, климатологи и др. Их участие не только обеспечивало уровень разрабатываемых проектов и их реализацию, но и давало толчок, ускорение новым научным направлениям в природопользовании. Ярким примером этого была Западная экспедиция по осушению болот (1872–1902 гг.), в которой в различном качестве принимали участие А. И. Воейков, К. С. Веселовский, В. В. Докучаев, А. Ф. Миддендорф, Г. И. Танфильев, Э. И. Эйхвальд и др. В 1895 г. Г. И. Танфильев опубликовал работу «Болота и торфяники Полесья», в которой описаны болота, особенности их образования и дана очень подробная характеристика растительности. В период функционирования Западной экспедиции организуются культуртехнические бюро, впервые проводятся обследования лугов, требующих улучшения, и разрабатываются мероприятия по заказам землевладельцев.

Когда в 1910 г. принимается решение о создании Минской опытной болотной станции, травосеяние было приоритетным направлением ее работы. Первым директором станции был А. Ф. Флеров, известный ботаник, ученик К. А. Тимирязева. Развиваются исследования (А. М. Артюхов, Г. И. Лашкевич, Н. Ф. Лебедевич) по созданию культурных лугов на осушенных торфяных почвах [6–9].

В 1930 г. в Минске, на базе отдела мелиорации и культуры болот Белорусского института сельского и лесного хозяйства и Минской болотной опытной станции, создан Всесоюзный научно-исследовательский институт болотного хозяйства (в настоящее время – РУП «Институт мелиорации» НАН Беларуси). Перед ним была поставлена за-

дача систематического изучения болот и лугов Советского Союза «со стороны их природы, культуры, экономики и использования». В структуре института работает отдел луговодства, возглавляемый Н. Ф. Лебедевичем, а позднее – З. Г. Толчинским. К концу 1940 г. АН БССР подготовила технико-экономический доклад по нескольким вариантам решения проблемы Полесья: 15-летний план предусматривал освоение в Беларуси 4 млн га болот и заболоченных земель. Первостепенной задачей было полное обеспечение животноводства республики травяными кормами. Великая Отечественная война 1941–1945 гг. помешала реализации этого плана. В послевоенный период, особенно в 1960–80-ых гг. – времени наиболее активного проведения мелиоративных работ, ввода в эксплуатацию обширных площадей осушенных земель, луговое кормопроизводство в Беларуси в значительной мере перемещается на мелиорированные земли.

Выдающаяся роль и значение в развитии научных исследований по луговодству и травосеянию, реализации разработок в практике принадлежат С. Г. Скоропанову [10–12].

В 1962 г. научные исследования по луговодству передаются из Белорусского НИИ земледелия в Белорусский НИИ мелиорации и водного хозяйства.

Укрепляется отдел луговодства, в котором работают Д. А. Забелло, Е. В. Руденко, Н. В. Сеницын. В соответствии с запросами производства осуществляются разработки по организации лугового кормопроизводства в зоне животноводческих комплексов, использованию пойменных лугов, ведению семеноводства многолетних трав на осушенных почвах [4, 13–16].

К началу 1990-х гг. площадь мелиорированных сельскохозяйственных земель в Беларуси приблизилась к 3 млн га, из которых более половины составляли луговые. С учетом многолетних трав в полевых севооборотах травяное поле на осушенных землях превышало 2 млн га и, по существу, определяло уровень производства травяных кормов в стране. Последнее нуждалось в соответствующих научных разработках, и Академия аграрных наук Беларуси в 1992 г.

преобразовывает Институт мелиорации и водного хозяйства, находящийся ранее в ведении Минводхоза СССР, в Белорусский НИИ мелиорации и луговодства. В развитие этого решения в г. Пинске, на базе Полесского комплексного отдела, формируется отдел пойменного луговодства, Полесская опытно-мелиоративная станция преобразуется в Полесскую опытную станцию мелиоративного земледелия и луговодства. В 1995 г. в структуре Белорусского НИИ мелиорации и луговодства функционирует отдел луговодства (зав. отделом – А. С. Мееровский) с лабораторией сенокосов и пастбищ (зав. лабораторией – Н. Ф. Башлаков, с 2002 г. – А. Л. Бирюкович, с 2018 г. – Р. Т. Пастушок) и сектором селекции и семеноводства трав, с 2001 г. преобразованным в лабораторию селекции и семеноводства многолетних трав (зав. лабораторией – А. С. Мееровский).

В течение ряда лет исследования по данному направлению осуществлялись в рамках государственных научно-технических программ (разд. «Луговодство»). В них участвовали 10–12 научных учреждений и высших учебных сельскохозяйственных заведений Беларуси. Результаты выполненных работ изложены в серии опубликованных нормативных документов (рекомендации, регламенты, методические указания), монографиях и научных статьях, учебных пособиях и учебниках [17–19].

В настоящее время исследования по луговодству осуществляют РУП «Институт мелиорации», РУП «НПЦ НАН Беларуси по земледелию», РУП «Институт почвоведения и агрохимии», РУП «Гродненский зональный институт растениеводства», ГНУ «Полесский аграрно-экологический институт», УО «Белорусская государственная сельскохозяйственная академия», УО «Гродненский государственный аграрный университет».

Проблема оптимизации кормопроизводства в Беларуси остается актуальной. В последние годы в связи с изменением условий содержания и кормления большей части поголовья крупного рогатого скота и коров она еще более обострилась, так как при этом требуется существенное увеличение объема и повышение качества травяных кормов.

Основные научные проблемы:

- формирование высокопродуктивных агроландшафтов с высоким уровнем биоразнообразия и адаптивности;
- создание и эксплуатация луговых травостоев, устойчивых к экстремальным погодным, почвенным и гидрологическим условиям;
- повышение продуктивного долголетия луговых травостоев с различными бобовыми травами;
- формирование эффективных луговых травостоев и получение нормативно чистых травяных кормов на территориях радиоактивного загрязнения;
- исследование методологии восстановления природных луговых сообществ;
- создание системы новых сортов многолетних трав, обеспечивающих получение высококачественных травяных кормов в условиях изменяющегося климата.

Библиографический список

1. Научные системы ведения сельского хозяйства Республики Беларусь / В. Г. Гусаков [и др.] ; редкол.: В. Г. Гусаков (гл. ред.) [и др.] / Нац. Акад. наук Беларуси, М-во сел. хоз-ва и продовольствия Респ. Беларусь. – Минск : Беларус. навука, 2020. – 688 с.
2. Косолапов, В. М. Проблемы и перспективы развития кормопроизводства / В. М. Косолапов, И. Н. Трофимов // Кормопроизводство. – 2011. – № 2. – С. 4–7.
3. Агроклиматические ресурсы БССР и возможные урожаи многолетних трав / Н. В. Сеницын [и др.] // Мелиорация переувлажненных земель : сб. науч. тр. БелНИИ мелиорации и вод. хоз-ва. – 1985. – Вып. 33. – С. 103–113.
4. Луговое кормопроизводство в Нечерноземной зоне / Н. В. Сеницын [и др.] ; под ред. Н. В. Сеницына. – Смоленск : Смядынь, 2003. – 264 с.
5. Агрохимическая характеристика почв сельскохозяйственных земель Республики Беларусь (2013–2016 гг.) / И. М. Богдевич [и др.] ; под общ. ред. И. М. Богдевича / Ин-т почвоведения и агрохимии. – Минск : ИВЦ Минфина, 2017. – 275 с.
6. Кирсанов, А. Т. Организация опытного дела по луговодству и болотоведению / А. Т. Кирсанов // Вестн. сел. хоз-ва. – 1918. – С. 45–49.
7. Лебядзевіч, М. Ф. Культурныя пашы на асушаных балотах (для саўгасаў і калгасаў) / М. Ф. Лебядзевіч. – Минск : Дзяржвыдавецтва, 1931. – 70 с.
8. Лебедевич, Н. Ф. Уход за искусственными лугами и пастбищами на болотных почвах / Н. Ф. Лебедевич, Г. И. Лашкевич. – Минск : Белгосиздат, 1939. – 72 с.
9. Лашкевич, Г. И. Устройство, использование пастбищ на осушенных болотах и уход за ними / Г. И. Лашкевич / Науч. исслед. ин-т мелиор. и водн. хоз-ва. – Минск : Госиздат, 1947. – 134 с.
10. Скоропанов, С. Г. Кормовые угодья БССР и их улучшение / С. Г. Скоропанов [и др.]. – Минск : Госиздат БССР, 1956. – 404 с.
11. Скоропанов, С. Г. Освоение и использование торфяно-болотных почв / С. Г. Скоропанов. – Минск : Изд-во Акад. с.-х. наук БССР, 1961. – 250 с.
12. Скоропанов, С. Г. Мелиорация земель и охрана окружающей среды / С. Г. Скоропанов, В. Ф. Карловский, В. С. Брезгунов. – Минск : Ураджай, 1982. – 167 с.
13. Забелло, Д. А. Зеленый конвейер / Д. А. Забелло, Б. М. Розенблюм. – Минск : Гос. изд-во БССР, 1952. – 84 с.
14. Руденко, Е. В. Повышение продуктивности культурных пастбищ / Е. В. Руденко. – Минск : Ураджай, 1977. – 208 с.

15. Руденко, Е. В. Организация лугового кормопроизводства в зоне животноводческих комплексов / Е. В. Руденко, Н. Ф. Башлаков. – Минск : Ураджай, 1983. – 159 с.
16. Сеницын, Н. В. Пойменные луга и их улучшение / Н. В. Сеницын. – Минск : Ураджай, 1973. – 192 с.
17. Создание и использование высокопродуктивных бобово-злаковых пастбищ : (рекомендации) / В. К. Павловский [и др.] ; РУП «Научно-практический центр НАН Беларуси по животноводству», РУП «Научно-практический центр Беларуси по земледелию», РУП «Институт мелиорации», УО «Витебская государственная академия ветеринарной медицины». – Минск, 2007. – 66 с.
18. Мееровский, А. С. Оптимизация травостоев сенокосов и пастбищ / А. С. Мееровский, А. Л. Бирюкович. – Минск : Беларус. навука. – 2009. – 229 с.
19. Кормопроизводство : учебник для студентов высших учеб. заведений по агроном. специальностям / А. А. Шелюто [и др.]; под. ред. А. А. Шелюто. – Минск : ИВЦ Минфина, 2009. – 472 с.

Поступила 16 сентября 2020 г.

• НАШИ ЮБИЛЯРЫ •



СИНИЦЫН НИКОЛАЙ ВАСИЛЬЕВИЧ (85 лет)

Николай Васильевич Сеницын родился 13 августа 1935 г. в дер. Туфково Ермолинского р-на Ярославской обл. В 1959 г. окончил Московскую сельскохозяйственную академию им. К. А. Тимирязева (агронимический факультет) и получил специальность ученого агронома.

Трудовую деятельность начал главным агрономом колхоза им. XXI партсъезда Глубокинского р-на Ростовской обл. (1959–1962 гг.). Затем обучался в аспирантуре Московской сельскохозяйственной академии (1962–1965), после окончания которой работал на кафедре растениеводства Ивановского сельскохозяйственного института (1965–1966). В 1966 г. избран по конкурсу старшим научным сотрудником отдела луговодства Белорусского НИИ мелиорации и водного хозяйства, где проработал до 1988 г., а в 1976–1988 гг. – заведующим отдела. В 1988–1990 гг. работал заместителем председателя Западного отделения ВАСХНИЛ, в 1990–2000 гг. ректором Смоленского сельскохозяйственного института, с 2000 г. – там же профессором-консультантом.

Кандидат (1966), доктор сельскохозяйственных наук (1984), профессор (1987), заслуженный деятель науки России (1995).

За время работы в Белорусском НИИ мелиорации и водного хозяйства опубликовал 92 научных трудов, в том числе 3 монографии, 8 пособий, рекомендаций и методических указаний по вопросам улучшения луговых земель, повышения продуктивности пойменных лугов, создания и использования культурных пастбищ, подготовил 5 кандидатов наук.

Наиболее известны такие работы Н. В. Сеницына, как «Пойменные луга и их улучшение» (Минск, 1972), «Продуктивность пойменных лугов (Минск, 1987; в соавторстве), «Луговое кормопроизводство в Нечерноземной зоне» (Смоленск, 2003; в соавторстве.).

*А. С. Мееровский,
доктор сельскохозяйственных наук, профессор*

• ЧТОБЫ ПОМНИЛИ •



АЛЕКСАНДР ТРОФИМОВИЧ КИРСАНОВ

(к 140-летию)

Выдающийся русский ученый Александр Трофимович Кирсанов внес большой вклад в изучение болот Беларуси, разработку методов их мелиоративного преобразования и использования.

Он родился 28 августа 1880 г. в с. Старое Чирково Хвольнского уезда Саратовской губ. в бедной крестьянской семье. В 1896 г. поступил в Вольскую учительскую семинарию и после ее окончания в 1899 г. работал учителем начальной школы. Во время учительства самостоятельно подготовился к аттестату зрелости и поступил в Ново-Александровский институт сельского хозяйства. Прочился в нем два года, но был исключен за участие в студенческих беспорядках, после чего уехал за границу и поступил в Берлинскую высшую сельскохозяйственную школу. После ее окончания в 1907 г. был допущен к сдаче государственных экзаменов в Ново-Александровском сельскохозяйственном институте. Получив диплом ученого агронома 1-го разряда, работал помощником заведующего опытной фермой того же института, а в 1909 г. избран по конкурсу профессором, заведующим кафедрой опытного дела и сельскохозяйственной практики на Каменноостровских высших сельскохозяйственных курсах.

С 1913 г. по 1925 г. А. Т. Кирсанов руководил Минской опытной болотной станцией (МОБС). В 1918 г. приглашен на должность профессора Иваново-Вознесенского политехнического института, в котором три года проработал деканом сельскохозяйственного факультета, а в 1922 г. стал проректором по учебной части. При этом он не терял связи с МОБС, по-прежнему работая на должности ее директора до 1920 г., а в период 1921–1925 гг. – научного руководителя. Одновременно в 1922 г. А. Т. Кирсанов как организатор Белорусского института сельского и лесного хозяйства стал его ректором, проработав на этой должности до 1925 г.

Под научным руководством А. Т. Кирсанова в течение 1922–1925 гг. издано 12 томов, в состав которых вошли работы, посвященные изучению природы и сельского хозяйства в Белорусской ССР. По заданию Совнаркома БССР в 1925–1927 гг. он находился в двухгодичной заграничной командировке (по Западной Европе и США) для усовершенствования в области агрохимии и культуры болот.

С марта 1927 г. работал в Ленинградском сельскохозяйственном институте заведующим отдела земледелия, профессором агрохимии и опытного дела, ректором (1928–1929 гг.), в 1931–1941 гг. – руководителем лаборатории агрохимии Почвенного института им. В. В. Докучаева АН СССР.

Нам особенно интересен период научной деятельности А. Т. Кирсанова в Беларуси. Будучи директором и научным руководителем Минской опытной болотной станции, он инициировал мелиоративное освоение Комаровского болота, расположенного недалеко от тогдашней окраины Минска. В течение короткого времени здесь организуется проведение широкого спектра исследований по регулированию водного режима и агротехнике возделывания сельскохозяйственных культур на торфяных почвах, внедряются методы вегетационных и лизиметрических опытов, осваиваются новые методы анализов почв, растений, воды.

На станции регулярно проводились семинары и совещания специалистов по культуре болот и луговодству. Велось обучение на постоянно действующих курсах по возделыванию сельскохозяйственных растений на осушенных болотах, повышения квалификации работников сельского хозяйства. Кроме проведения исследований на самой станции, под руководством ее специалистов начали создаваться опытные участки в ряде совхозов и показательные поля на землях мелиоративных товариществ.

С 1912 по 1917 гг. станция издавала журнал «Болотоведение» (А. Т. Кирсанов – главный редактор с 1913 г.) и труды Минской болотной опытной станции. На их страницах публиковались работы виднейших ученых того времени: самого А. Т. Кирсанова, А. Н. Костякова, А. Д. Дубаха, В. С. Доктуровского, В. Н. Сукачева, Н. А. Тюленева и др.

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

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

Хотел бы особенно отметить исследования ученого в области математического выражения действия факторов роста растений. В Западной Европе М. Э. А. Мичерлих, а в СССР А. Т. Кирсанов впервые актуализировали проблему математического определения и выражения напряженности факторов внешней среды произрастания растений. Еще в 30-х годах 20 в. ученый писал о больших перспективах применения математики в биологии, в частности для расчетов урожая в зависимости от обуславливающих их факторов.

Заслуживают высокой оценки его общефилософские исследования таких проблем земледелия, как, например, роль сельского хозяйства в преобразовании природы, активность человека в земледелии, земледелие и животноводство, специфика сельского хозяйства по сравнению с другими видами жизнедеятельности.

А. Т. Кирсанов разработал получивший широкое распространение метод определения подвижного фосфора в почвах, который используется до настоящего времени.

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

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

А. С. Мееровский,
доктор сельскохозяйственных наук, профессор



**КОРЧОХА
ЮРИЙ МИХАЙЛОВИЧ**
(к 90-летию)

Юрий Михайлович родился 1 августа 1930 г. в с. Майдановка Звенигородского р-на Черкасской обл. В 1950 г. окончил Московский гидрометеорологический техникум, а в 1959 г. – Ленинградский государственный гидрометеорологический институт (ЛГИ), получил специальность инженера-гидролога. На протяжении 1950-1972 гг. работал старшим техником, инженером, начальником русловой станции, заведующим сектором русловых процессов Валдайской научно-исследовательской лаборатории ЛГИ. С 1968 г. - кандидат технических наук.

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

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

Юрий Михайлович. был участником ликвидации последствий аварии на ЧАЭС.

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

ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ

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

2. Статья должна быть направлена в редакцию журнала «Мелиорация» в соответствии с **Порядком предоставления рукописей статей**, представленном на сайте РУП «Институт мелиорации». Режим доступа: <https://niimel.by>, «журнал «Мелиорация».

3. Статья должна быть написана на русском языке и включать блок информации на английском языке.

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, библиографию.

5. Представляемые материалы должны включать следующие элементы: индекс по Универсальной десятичной классификации (УДК); ключевые слова на русском и английском языках; аннотацию на русском и английском языках (500 знаков); введение; основную часть, включающую графики и рисунки; заключение, завершаемое четко сформулированными выводами; список цитированных источников, согласно Постановлению ВАК Беларуси от 28.02.2014 № 3 (гл. 5. Структура и оформление научных публикаций по теме диссертации).

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

7. Основная часть статьи должна содержать описание методики, объектов исследования и подробно освещать содержание исследований, проведенных автором (авторами). 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 25.06.2014 № 159, располагается в конце текста, источники нумеруются согласно порядку цитирования в тексте и заключаются в квадратные скобки (например: [1], [2]). Обязательно указывается общее количество страниц в книге или номера страниц от начала до окончания статьи. Ссылки на неопубликованные работы не допускаются.

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

11. Тексты статей набираются кеглем 11, шрифт – Arial Narrow, междустрочный интервал – 1,2, отступ – 1. Обязательно прилагаются распечатанные на бумажных листах 2 экземпляра статьи, подписанные авторами.

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

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

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

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

Уважаемые читатели!

В 2019 году распоряжением Министерства образования и науки Российской Федерации от 12 февраля 2019 года №21-р наш журнал включен в Перечень научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук.

Приглашаем научных работников Беларуси и ближнего и дальнего зарубежья присылать статьи для размещения в журнале «Мелиорация».

Адрес электронной почты: info@niimel.by.