

ISSN 2070–4828

# МЕЛИОРАЦИЯ

Научный журнал

## № 4 (110)

Основан в 1951 году  
Выходит 4 раза в год

Октябрь – декабрь 2024



Минск  
2024

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

**УЧРЕДИТЕЛЬ ЖУРНАЛА:**

Республиканское научное дочернее унитарное предприятие «Институт мелиорации»

**ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР:**

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

**РЕДКОЛЛЕГИЯ:**

д-р с.-х. наук **П. Ф. Тиво** (зам. гл. редактора)  
акад. РАН, д-р с.-х. наук, проф. **Н. Н. Дубенок**  
д-р с.-х. наук, проф. **Ю. А. Мажайский**  
д-р техн. наук, проф. **Э. И. Михневич**  
д-р с.-х. наук, проф. **Н. Н. Цыбулько**  
д-р с.-х. наук, проф. **В. И. Желязко**  
канд. техн. наук, доцент **А. С. Анженков**  
канд. с.-х. наук, доцент **А. Л. Бирюкович**  
канд. техн. наук **Э. Н. Шкутов**

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

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

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

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

Редакция не несет ответственности за возможные неточности по вине авторов.

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

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

Подписные индексы: **74856** — для индивидуальных подписчиков, цена – **22,80 руб.;**

**748562** — для предприятий и организаций, цена – **26,40 руб.**

Подписку можно оформить во всех отделениях связи.

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

Компьютерная верстка **И. В. Скуратович**

---

Подписано к печати 03.12.2024 г. Формат 60 x 84 1/8.  
Уч.-изд. л. 4,90. Усл. печ. л. 6,51. Заказ 593. Тираж 50 экз.

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

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

# Содержание

# Contents

## Мелиорация

## Land improvement

- А. С. Анженков, В. П. Закржевский, П. И. Кирвель, М. И. Мартынович*  
**Параметры радиосигнала для маркирования подземных элементов мелиоративных систем** **5**
- A. S. Anzhenkov, V. P. Zakrzhevsky, P. I. Kirvel, M. I. Martynovich*  
**Radio signal parameters for marking underground elements of land improvement systems**

- А. И. Митрахович*  
**Оценка работоспособности вертикального дренажа на мелиоративной системе Полесской опытно-мелиоративной станции** **11**
- A. I. Mitrakhovich*  
**Evaluation of the performance of vertical drainage on the land improvement system of the Polesie experimental station of land improvement**

- О. В. Немеровец, В. А. Евдокимов, В. В. Ивашечкин*  
**Исследование процесса разрушения грунтовых плотин на физических моделях** **19**
- O. V. Nemerovets, V. A. Evdokimov, V. V. Ivashechkin*  
**Study of the process of the destruction of earth dams using physical models**

## Кормопроизводство

## Forage production

- А. Л. Бирюкович, В. Н. Филиппов, А. А. Рыбченко*  
**Эффективность применения макро- и микроудобрений на зерновых культурах в условиях антропогенно-преобразованных торфяных почв** **29**
- A. L. Biryukovich, V. N. Filippov, A. A. Rybchenko*  
**Efficiency of application of macro- and microfertilizers on grain crops on anthropogenically transformed peat soils**

- А. Л. Бирюкович, О. В. Пташец, Т. Г. Свиридович, В. Н. Филиппов, А. А. Рыбченко*  
**Полосные посевы люцерны и злаковых трав на антропогенно-преобразованных торфяных почвах** **37**
- A. L. Biryukovich, O. V. Ptashets, T. G. Sviridovich, V. N. Filippov, A. A. Rybchenko*  
**Strip crops of alfalfa and cereal grasses on anthropogenically transformed peat soils**

*А. А. Кравцова, О. С. Михайлова*

**Влияние микроудобрений на семенную продуктивность клевера гибридного**

**45**

*A. A. Krautsova, O. S. Mikhailova*

**Influence of microfertilizers on seed productivity of hybrid clover**

**Чтобы помнили**



**To be remembered**

**Памяти Петра Филипповича Тиво (1941–2024)**

**50**

**Григорий Иосифович Лашкевич (к 120-летию)**

**52**

# МЕЛИОРАЦИЯ

УДК 631.6: 631.421.1

## ПАРАМЕТРЫ РАДИОСИГНАЛА ДЛЯ МАРКИРОВАНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ МЕЛИОРАТИВНЫХ СИСТЕМ

**А. С. Анженков**, кандидат технических наук  
**В. П. Закржевский**, старший научный сотрудник  
**П. И. Кирвель**, кандидат географических наук  
**М. И. Мартынович**, аспирант

РУП «Институт мелиорации», г. Минск, Беларусь

### Аннотация

Проведен основной этап полевых исследований параметров прохождения радиосигнала через почвогрунты для маркирования подземных элементов мелиоративных систем. Определена оптимальная частота, которая допустима к использованию в рамках законодательства Республики Беларусь при маркировании данных элементов. Получены зависимости уровня наведенного сигнала в метке от частоты подводимого сигнала к передающей антенне.

**Ключевые слова:** уровень наведенного сигнала, затухание сигнала, электронные маркеры, элементы мелиоративных систем.

### Abstract

**A. S. Anzhenkov, V. P. Zakrzhevsky, P. I. Kirvel, M. I. Martynovich**

### RADIO SIGNAL PARAMETERS FOR MARKING UNDERGROUND ELEMENTS OF LAND IMPROVEMENT SYSTEMS

A main stage of field studies of parameters of radio signal passage through soil for marking of underground elements of land reclamation systems has been carried out. The optimum frequency, which is acceptable to use within the framework of the legislation of the Republic of Belarus for marking of these elements, was been determined. Dependences of the level of the induced signal in the mark on the frequency of the signal supplied to the transmitting antenna were obtained.

**Keywords:** induced signal level, signal attenuation, electronic markers, elements of reclamation systems.

### Введение

В настоящее время в мировой практике для обозначения скрытых объектов применяется электронное маркирование. Наибольшую надежность, точность и оперативность дает использование электронных маркеров. Их преимущество заключается в отсутствии помех землепользованию, в точности позиционирования, надежности определения и долговечности, а недостатки связаны с необходимостью маркирования объектов в процессе строительства и (или) эксплуатации, влиянием типа и состояния почвогрунтов на эффективность обнаружения маркера [1].

Системы электронного маркирования позволяют определять местоположение объек-

тов с точностью до нескольких сантиметров. Поскольку сегодня системы электронного маркирования представлены на рынке Беларуси в основном продукцией зарубежных производителей, целесообразно разработать отечественную аналогичную систему, адаптированную для маркирования подземных элементов мелиоративных сооружений.

Принцип действия системы электронных маркеров основан на резонансном отражении радиосигнала маркероискателя маркером. Внутри маркера находится пассивный колебательный контур, настроенный на частоту излучения маркероискателя. Сигнал от прибора за счет эффекта электромагнитной индукции

вызывает колебания определенной резонансной частоты во внутреннем контуре маркера. Прибор улавливает эти ответные колебания и таким образом локализует местоположение

### Основная часть

Маркеры размещаются над ключевыми точками сооружений (дренажными устьями, поворотами трасс дренажных коллекторов, узлами соединения дрен с коллектором и другими элементами дренажной сети), которые впоследствии легко отыскиваются ремонтными бригадами.

В мировой практике для маркирования объектов обычно используется три частотных диапазона: низкочастотный – LF (*Low Frequency*, 30–300 кГц), высокочастотный и радиочастотный – HF/RF (*High frequency/Radio frequency* 3–30 МГц), диапазон сверхвысоких частот – UHF (*Ultra High Frequency*, 300–3000 МГц), а также диапазон миллиметровых волн (свыше 3ГГц) [3, 4].

По дальности считывания системы электронных маркеров могут быть ближнего действия (до 20 см); средней дальности (от 20 см до 5 м); дальнего действия (от 5 м до 100 м).

Современные зарубежные системы маркирования подземных коммуникаций предназначены преимущественно для городских условий: они имеют недостаточный радиус обнаружения (1–2 м); высокую стоимость (до 30 у. е. за маркер); защищены патентами; могут быть включены в очередной санкционный список; рабочие частоты не всегда свободны для использования в Беларуси [5–7]. Кроме этого, данные системы решают задачи уточнения местоположения (например, относительно капитальных строений) и считывания цифровой сигнатуры маркера.

Существует классификация по способам передачи данных в направлении от передающего устройства (транспондера) к считываю-

маркера. При приеме отраженного сигнала маркероискатель подает звуковой и визуальный сигналы оператору [2].

Щему устройству. Здесь выделяют три группы: *первая* использует отражение или рассеяние (частота отраженного или рассеянного сигнала при этом равна частоте, на которой ведет передачу считывающее устройство; соотношение частот 1 : 1); *вторая* – модуляцию нагрузкой (транспондер воздействует на поле, которое излучает считывающее устройство, соотношение частот 1 : 1), *третья* функционирует с использованием транспондером субгармоник (соотношение частот –  $1/N$ ) или поверхностных волн ( $N$  раз) [8, 9].

Электронные маркеры классифицируются на пассивные и активные.

Пассивные маркеры не содержат встроенного источника питания (батарею) и вместо этого для своего питания и передачи данных используют энергию, излучаемую передатчиком (далее – ридером).

Затухание радиосигнала при прохождении через почвогрунты мелиорированных земель имеет прямую зависимость от температуры, влажности, гранулометрического состава и обратную зависимость от частоты. Так, затухание радиосигнала уменьшается на низких частотах и возрастает на высоких, при этом с увеличением расстояния между антеннами эта зависимость возрастает.

Наиболее важным условием при выборе рабочей частоты маркера является оценка затухания радиосигнала на трассе его распространения, проходящей через почвогрунты. Рабочая частота маркера должна обеспечивать достаточный уровень отраженного или рассеиваемого сигнала для его уверенной регистрации считывающим устройством.

### Результаты исследований и их обсуждение

Первичные полевые исследования по определению оптимальных параметров радиосигнала для маркирования электронными маркерами подземных элементов закрытых мелиоративных систем в различных комбинациях видов грунтов мелиорированных почв, при разных влажностях и температурах, различного

грансостава осуществлялись на основании анализа результатов исследований, представленных в отечественных и зарубежных источниках научной информации по изменению затухания радиосигнала маркера с расстоянием, углами, ориентацией, поляризацией в зависимости от диаграммы направленности [1, 2].

В исследовании параметров радиосигнала при прохождении через почвогрунты применялся генератор сигналов высокочастотного Г4-222/1 и анализатора спектра АК ИП-4205 в диапазоне частот 169,8 кГц – 6,780 МГц. Гранулометрический состав почвогрунтов определялся ситовым методом, влажность – термостатно-весовым, а температуру среды измеряли ртутным термометром с ценой деления 0,2 °С.

Исследования проводились на мелиоративных системах (далее – МС) Вилейского р-на Минской обл. «Кобылянка» (в сельскохозяйственном производственном филиале «ЮНИК-АГРО» республиканского дочернего производственно-торгового унитарного предприятия «Молочный гостинец»), «Косуца – Комары» (в СУП «Восточный Агро» подразделения ОАО «Вилейский комбикормовый завод») и «Ментынь» (в ОАО «Вилейский райагросервис»).

В ходе исследований установлено, при каком условии наблюдается максимальная дальность обнаружения метки при мощности слоя почвогрунта в экспериментах до 1 м и протяженностью слоя почвогрунта до 3 м до места установки метки при различных почвогрунтах их влажности и температуры. Рассто-

яние между передающей антенной до метки в 3 м было определено экспериментально по гарантированному приему передающего сигнала анализатором спектра в исследуемом диапазоне (рис. 1). Мощность слоя обуславливалась в экспериментах верхним пределом грунтовых вод и составила 1 м. Данные отбора образцов влажности и гранулометрического состава исследуемых почв в шурфах исследуемых почв определялись при температуре воздуха 9–10 °С (табл. 1–2).

Полученные данные показывают, что затухания радиосигналов зависят не только от мощности торфяного слоя (чем больше мощность, тем больше затухания), но и от подстилающего слоя (его гранулометрического состава и влажности), через который также проходит радиосигнал. Так, чем крупнее частицы почвогрунта, тем больше влаги они могут содержать в своем составе, уменьшая, таким образом, радиопрозрачность и увеличивая затухание проходящего радиосигнала. Постторфяные почвы отличаются меньшим уровнем затухания при невысокой влажности. Это согласуется с выводами лабораторных и полевых исследований, выполненных ранее [10, 11].



а



б

Рис. 1. Определение дальности обнаружения радиомаркера в различных условиях в диапазоне частот 169,8 кГц, 2,0 МГц, 6,780 МГц:  
а – ход выполнения исследований на МС «Ментынь»;  
б – размещение радиомаркера в шурфе на МС «Кобылянка»

Таблица 1. Образцы влажности почв в шурфах на МС «Кобылянка», «Косу́та – Комары» и «Ментынь»

Почва	Характеристика слоя почвы	Глубина отбора образца, см	Влажность почвы, %
Постторфяная дерново-подзолистая почва, подстилаемая суглинками	Дернина	20	24,53
	Сработанный торф низинный	40	59,23
	Суглинок	100	16,01
Торф низинный, подстилаемый мелкозернистым оглееным песком	Дернина	20	84,95
	Торф низинный	60	371,54
	Оглеенный песок	100	20,46
Торф низинный, подстилаемый песком	Торф низинный	20	169,64
	Песок	50	22,01
	Переувлажненный песок	100	27,13

Таблица 2. Гранулометрический состав образцов почв в шурфах на МС «Кобылянка», «Косу́та – Комары» и «Ментынь»

«Кобылянка»			«Косу́та – Комары»			«Ментынь»		
Характеристика и глубина слоя, см	Диаметр частиц, мм	Весовые доли частиц, %	Характеристика и глубина слоя, см	Диаметр частиц, мм	Весовые доли частиц, %	Характеристика и глубина слоя, см	Диаметр частиц, мм	Весовые доли частиц, %
Суглинок, 100 см	2,0	4	Мелкозернистый оглеенный песок, 100 см	2,0	2	Песок, 100 см	2,0	13
	1,0	6		1,0	3		1,0	33
	0,7	12		0,7	5		0,7	16
	0,5	13		0,5	6		0,5	10
	0,25	23		0,25	47		0,25	14
	0,1	29		0,1	32		0,1	10
	< 0,1	13		< 0,1	4		< 0,1	4

При выборе рабочей частоты для системы радиочастотной идентификации с индуктивной связью необходимо учитывать характеристики всех частотных диапазонов, имеющих в распоряжении. Решающее значение для выбора параметров имеет требуемый уровень напряженности поля в зоне действия планируемой системы. Измерение дальности действия для RFID-систем с индуктивной связью при одинаковом значении  $H$  и при различных

рабочих частотах показывает, что в диапазоне около 2 МГц имеется максимум дальности действия (рис. 2). Причина заключается в пропорциональной зависимости  $U_{ind} \sim \omega$ . Таким образом, при указанной выше частоте коэффициент передачи мощности электромагнитным излучением значительно выше, чем на частотах ниже 169,8 кГц. На частотах выше 2 МГц сказывается неблагоприятное соотношение  $L/C$  для колебательного контура транс-

пандера, и дальность действия вновь начинает уменьшаться с увеличением частоты.

В ходе исследования также измерялось напряжение, которое создается в транспондере, при этом площадь антенны и напряженность магнитного поля, которое излучалось антенной считывающего устройства, оставались постоянными. По результатам полевых исследований, при одинаковом уровне подводимого сигнала к передающей антенне на частотах диапазона 169,8 кГц – 6,780 МГц на расстоянии 3 м от передающей антенны получены зависимости уровня наведенного сигнала в метке от частоты подводимого сигнала к передающей антенне (рис. 2).

Из полученных данных следует, что на дальность обнаружения радиомаркера на разных глубинах в различных почвенных условиях при прохождении радиосигнала через почвогрунты влияние в диапазоне 169,8 кГц – 6,780 МГц в основном оказывает используемая радиочастота. Этой оптимальной частотой,

как показали в данном случае практические исследования, является частота 2 МГц.

Согласно анализу полученных данных (рис. 2) пиковые значения наведенного электромагнитного поля в метке соответствует частоте 2 МГц, что оптимально для условий исследования подземных элементов закрытой мелиоративной сети и гидротехнических сооружений на исследованных мелиоративных системах.

В соответствии с нормативно-правовой документацией [3–5] названная частота входит в диапазон 1950–2000 кГц, который является полосой радиочастот совместного пользования радиоэлектронными средствами всех назначений и позволяет использовать ее для нужд мелиоративной отрасли Беларуси при маркировании элементов закрытых мелиоративных систем, однако она ограничивает излучаемую мощность передающего устройства в 50 Вт, что не препятствует разрабатываемому изделию по обнаружению радиомаркера.

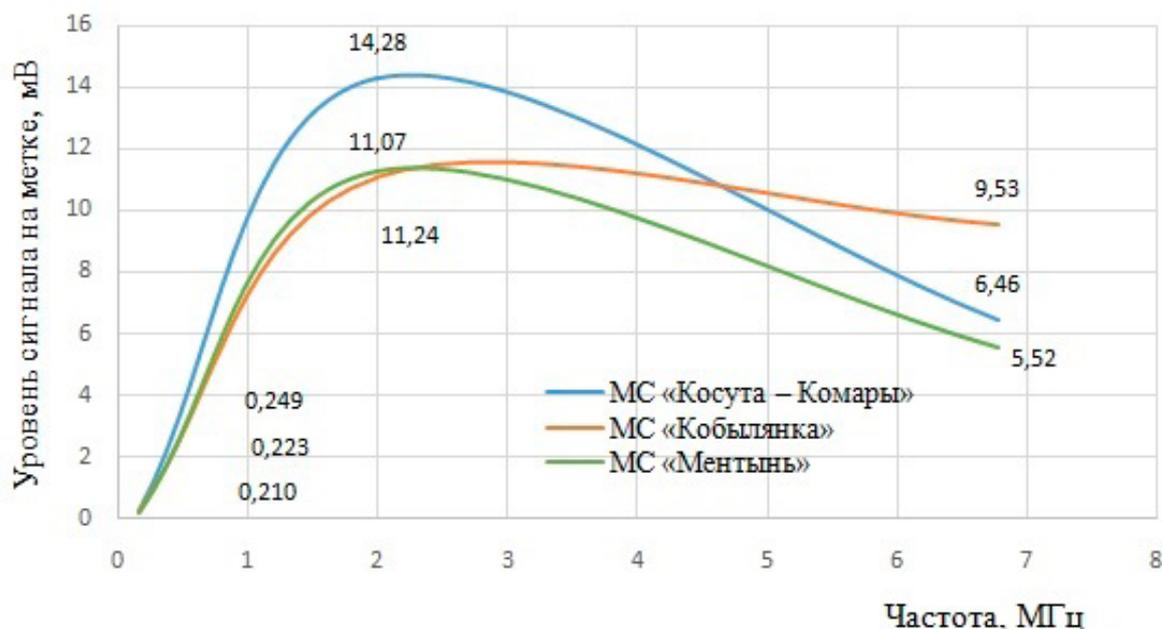


Рис. 2. Распределение уровня сигнала в метке в зависимости от частоты при одинаковом уровне подводимого сигнала в 20 В к передающей антенне в диапазоне частот 169,8 кГц – 6,780 МГц

### Выводы

1. Радиомаркирование – это эффективный метод обозначения и последующего обнаружения подземных элементов закрытой мелиоративной сети и гидротехнических сооружений на сельскохозяйственных мелиорированных землях Беларуси.

2. Практические измерения на трех мелиоративных объектах Вилейского р-на Минской обл. в различных комбинациях видов грунтов мелиорированных почв показали прямую зависимость затухания радиосигналов от подстилающего слоя (его гранулометрического

состава и влажности), через который также проходит радиосигнал.

3. Максимальная эффективность маркирования достигается при частотах в 2 МГц.

4. Законодательные ограничения радиочастот на территории Республики Беларусь, предназначенных для применения в высокочастотных устройствах в промышленных и научных целях без оформления решений на выделение полос радиочастот на вторичной основе, позволяют использовать частоту в 2 МГц для маркирования элементов гидротехнических сооружений на мелиоративных системах в научно-прикладных и эксплуатационных целях.

### Библиографический список

1. Лахири, С. RFID. Руководство по внедрению / С. Лахири ; пер. с англ. А. Казакова. – Москва : КУДИС-ПРЕСС, 2007. – 312 с.

2. Стариковский, А. В. Современные RFID-технологии : учеб. пособие / А. В. Стариковский, Д. М. Михайлов. – Москва : НИЯУ МИФИ, 2014. – 172 с.

3. Расчет ослабления в свободном пространстве : рекомендация МСЭ-R P.525-2 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://www.itu.int/dms\\_pubrec/itu-r/rec/p/R-REC-P.525-2-199408-S!!PDF-R.pdf](https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/p/R-REC-P.525-2-199408-S!!PDF-R.pdf). – Дата доступа: 11.10.2024.

4. Электрические характеристики земной поверхности : рекомендация МСЭ-R P.527-4 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://www.itu.int/dms\\_pubrec/itu-r/rec/p/R-REC-P.527-4-201706-I!!PDF-R.pdf](https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/p/R-REC-P.527-4-201706-I!!PDF-R.pdf). – Дата доступа: 22.10.2024.

5. Об электросвязи [Электронный ресурс] : Закон Респ. Беларусь от 19 июля 2005 г. № 45-З с изм. и доп. от 28 дек. 2023 г. № 324-З // Нац. правовой Интернет-портал Респ. Беларусь. – Режим доступа: <https://pravo.by/document/?guid=3871&p0=H10500045>. – Дата доступа: 15.11.2024.

6. О выделении, использовании радиочастотного спектра [Электронный ресурс] : Указ Президента Респ. Беларусь от 15.04.2013 г. № 192 с изм. и доп. от 22 июня 2023 г. № 178 // Нац. правовой Интернет-портал Респ. Беларусь. – Режим доступа: <https://pravo.by/document/?guid=12551&p0=P31300192>. – Дата доступа: 15.11.2024.

7. Таблица распределения полос радиочастот между радиослужбами Республики Беларусь [Электронный ресурс] : постановление Совета Министров Респ. Беларусь от 9 авг. 2016 г. № 620 с изм. и доп. от 6 февр. 2024 г. № 88 // Нац. правовой Интернет-портал Респ. Беларусь. – Режим доступа: <https://pravo.by/document/?guid=12551&p0=C21600620>. – Дата доступа: 15.11.2024.

8. Справочник по распространению земных волн [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://www.itu.int/dms\\_pub/itu-r/opb/hdb/R-HDB-59-2014-PDF-R.pdf](https://www.itu.int/dms_pub/itu-r/opb/hdb/R-HDB-59-2014-PDF-R.pdf). – Дата доступа: 23.10.2024.

9. Данные о распространении радиоволн для проектирования наземных линий связи пункта с пунктом : справочник [Электронный ресурс] / Междунар. союз электросвязи. – Режим доступа: [https://www.itu.int/dms\\_pub/itu-r/opb/hdb/R-HDB-54-2009-OAS-PDF-R.pdf](https://www.itu.int/dms_pub/itu-r/opb/hdb/R-HDB-54-2009-OAS-PDF-R.pdf). – Дата доступа: 02.11.2024.

10. Анженков, А. С. Радиопроницаемость мелиоративных земель на примере торфяных почв, подстилаемых песком / А. С. Анженков, В. П. Закржевский, И. О. Мосенз // Мелиорация. – 2021. – № 4 (98). – С. 14–17.

11. Анженков, А. С. Особенности определения параметров радиосигнала при прохождении через различные почвогрунты на мелиоративных системах / А. С. Анженков, В. П. Закржевский, П. И. Кирвель // Мелиорация. – 2023. – № 4 (106). – С. 5–13.

Поступила 26 ноября 2024 г.

## ОЦЕНКА РАБОТОСПОСОБНОСТИ ВЕРТИКАЛЬНОГО ДРЕНАЖА НА МЕЛИОРАТИВНОЙ СИСТЕМЕ ПОЛЕССКОЙ ОПЫТНО-МЕЛИОРАТИВНОЙ СТАНЦИИ

*А. И. Митрахович, кандидат технических наук  
РУП «Институт мелиорации», г. Минск, Беларусь*

### Аннотация

В статье рассмотрены результаты исследований по регулированию водного режима почв мелиоративной осушительно-оросительной системой вертикального дренажа на опытно-производственном участке Полесской опытно-мелиоративной станции Лунинецкого р-на Брестской обл. Приводятся природные условия участка, технические и конструктивные решения системы вертикального дренажа. Освещаются основные показатели, характеризующие эффективность работы дренажа в режиме осушения и увлажнения (орошения), отмечается его высокая осушительная способность. Подчеркивается целесообразность применения вертикального дренажа в определенных условиях при проектировании реконструкции мелиоративных систем, особенно в регионе Полесья.

**Ключевые слова:** вертикальный дренаж, подземные воды, гидрогеологические условия, скважины, коэффициент фильтрации, дебит скважин, осушительно-оросительная система.

### Abstract

**A. I. Mitrakhovich**  
**EVALUATION OF THE PERFORMANCE OF VERTICAL DRAINAGE ON THE LAND IMPROVEMENT SYSTEM OF THE POLESIE EXPERIMENTAL STATION OF LAND IMPROVEMENT**

The article presents the results of studies on the regulation of the water regime of soils by the meliorative drainage and irrigation system of vertical drainage at the experimental production site of the Polesie experimental meliorative station of the Luninets district Brest region. The natural conditions of the site, technical and design solutions of the vertical drainage system are given. The main indicators characterizing the efficiency of drainage in the drainage and moistening (irrigation) mode are highlighted, its high drainage capacity is noted. The expediency of using vertical drainage in certain conditions when designing the reconstruction of meliorative systems, especially in the Polesie region is emphasized.

**Keywords:** vertical drainage, groundwater, hydrogeological conditions, wells, filtration coefficient, well flow rate, debit and irrigation system.

### Введение

Высокоэффективное земледелие на значительной площади сельхозугодий гумидной зоны практически малоэффективно без проведения мелиоративных мероприятий, которые должны обеспечивать удаление избыточных вод из почвы и восполнять дефицит влаги в отдельные периоды вегетации растений. Поэтому регулирование водного режима корнеобитаемого слоя почвы в оптимальных пределах – основное назначение мелиоративных систем. Кроме того, на современном этапе и особенно в перспективе должны выполняться требования (условия) рационального использования водных ресурсов.

В настоящее время регулирование водного режима осуществляется осушительно-увлажнительными мелиоративными системами, которые основаны на применении открытых каналов и горизонтального дренажа. Подпочвенное увлажнение и орошение (дождевание) осуществляется за счет использования поверх-

ностных вод из естественных или искусственных водотоков (озер, водохранилищ и т. д.). Существенным недостатком таких систем является отсутствие воды в зарегулированных каналах, работающих на местном стоке с прилегающих водосборов, площадь которых должна быть в 30–40 раз больше площади увлажнения.

Для устранения недостатков осушительно-увлажнительных систем потребовалась разработка конструкций мелиоративных систем с универсальными возможностями регулирования водного режима почв.

В 1980–90 гг. довольно широко разрабатывались и апробировались всевозможные конструкции технически совершенных автоматизированных осушительно-увлажнительных систем. В этой связи представляется целесообразным оценить их эффективность и возможность применения в современных условиях с учетом научно-технического прогресса в области мелиорации.

**Основные результаты исследований и их обсуждение**

В определенных гидрогеологических условиях одним из перспективных способов мелиорации земель в гумидной зоне является вертикальный дренаж. Его эффективность и работоспособность апробировались на опытно-производственном участке общей площадью 1070 га. На землях Полесской опытно-мелиоративной станции (далее – ПОМС) под руководством академика А. И. Мурашко была построена первая в СССР осушительно-оросительная система вертикального дренажа (рис. 1). В благоприятных природных условиях осушительно-оросительные системы на базе вертикального дренажа при соответствующих режимах эксплуатации надежно обеспечивают требуемый водный режим для основных сельскохозяйственных культур, о чем свидетельствует более чем двадцатилетний опыт эксплуатации такой системы на Полесской опытно-мелиоративной станции (в период с 1974 по 1996 гг.) [1, 2].

Система строилась в два этапа.

На первом этапе, в 1971–1975 гг., была создана осушительно-оросительная система вертикального дренажа на площади 400 га. Она состояла из четырех основных дренажных (водозаборных) скважин, расположенных по углам квадрата с расстоянием 1 км. В центре участка была предусмотрена резервная сква-

жина. В исследовательских целях построены четыре скважины по углам квадрата со стороной 500 м. Глубина скважин 32–40 м, диаметр 300–350 мм.

Скважины оборудованы погружными насосами ЭЦВ 16-120-60 и ЭЦВ 12-255-30. Дебит скважин – 170–250 м<sup>3</sup>/ч. Подвод электроэнергии осуществлялся по подземным кабелям от трансформаторной подстанции (мощность 400 кВт), расположенной в центре участка. Сброс воды из скважин в открытые каналы производился по подземным чугунным трубопроводам диаметром 200 мм. Устья дренажных скважин размещались в подземных колодцах; распределительная арматура и измерительные приборы также находились в подземных железобетонных колодцах.

Станции управления насосами располагались в павильонах и полузаглубленных колодцах, чтобы не препятствовать движению дождевальных машин (далее – ДМ). В центральной части участка находились бассейн суточного регулирования и подогрева воды объемом свыше 6 000 м<sup>3</sup> и стационарная оросительная насосная станция. В здании насосной станции – центробежные насосы 6 НДВ, которые забирали воду из бассейна и подавали ее к дождевальным агрегатам.

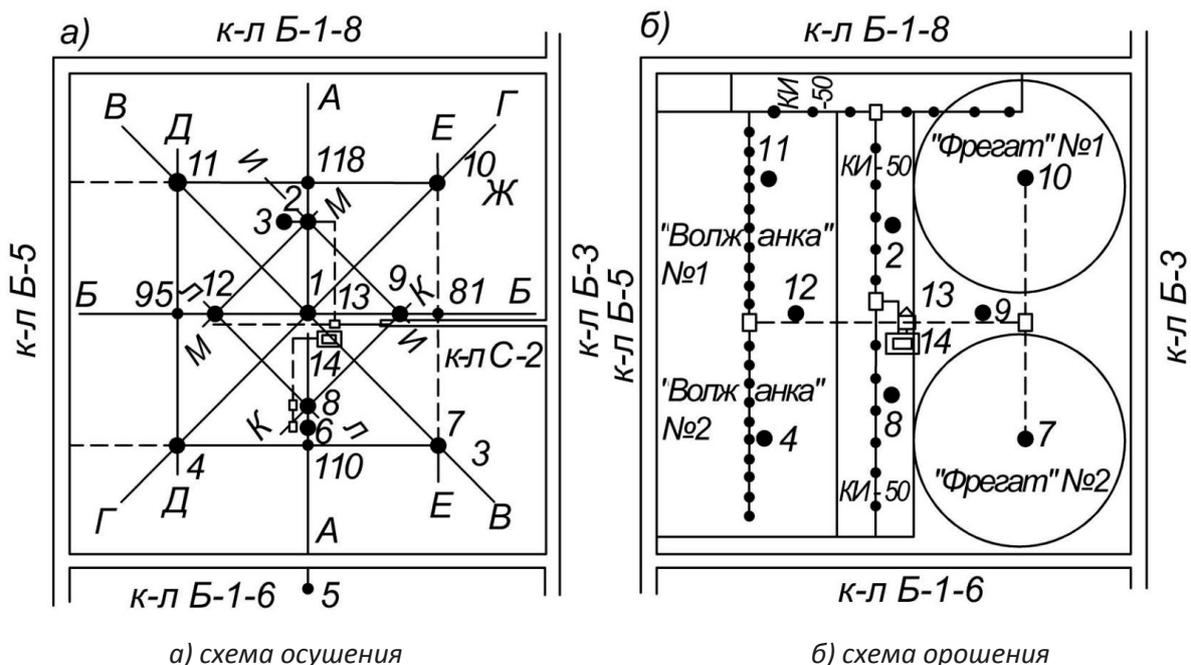


Рис. 1. Опытно-производственный участок вертикального дренажа на ПОМС (1-я очередь): 1–12 – дренажные скважины; 13 – насосная станция; 14 – бассейн; А-А-М-М – створы наблюдательных скважин; 81, 95, 110, 118 – наблюдательные скважины

Орошение участка производилось следующими оросительными установками: двумя «Волжанками» ДКШ-54, двумя «Фрегатами» ДМ-424-90 и одной дождевальнoй установкой КИ-50 «Радуга». Вода к ним подавалась оросительной насосной станцией из бассейна по подземным трубопроводам, а также в исследовательских целях непосредственно из скважин.

Здание насосной станции совмещалось с диспетчерским пультом управления, который частично обеспечивал управление насосами и автоматическую работу погружных насосов в режиме осушения по уровню воды в наблюдательных скважинах. Непосредственно с пульта управления можно было производить пуск и остановку погружных и центробежных насосов. Принятое оборудование позволяло также осуществлять местное управление насосами.

Вторая очередь вертикального дренажа построена в 1985–1989 гг. на площади 670 га (рис. 2). Она имела ряд новых конструктивных решений, которые приняты с учетом опыта эксплуатации 1-й очереди системы [2].

Система включала 19 дренажных скважин, расположенных относительно равномерно по площади, причем пять из них расположены в линию с расстоянием между ними 700 м. Они были оборудованы погружными насосами ЭЦВ 12-250-30, к ним подсоединены с помощью сифонных трубопроводов остальные скважины.

Следует отметить, что на этой системе впервые в СССР были применены вакуумные системы такой конструкции. Длина сифонов достигала 1050 м; они выполнялись из полиэтиленовых труб диаметром 150–200 мм. Их зарядка осуществлялась эжектирующим устройством, что исключало необходимость использования вакуумных насосов [3]. Часть площади участка (320 га) предназначалась для орошения ДМ «Кубань», которая обеспечивалась водой из скважин, подававших ее в лоток. Для повышения интенсивности осушения понижений с глубоким торфяником в них были заложены локальные системы горизонтального дренажа с отводом воды в сифонные скважины.

Приемные скважины на сифонных водосборах имели различный диаметр эксплуатационной колонны. В верхнюю часть (длина до 16 м, диаметр 630 мм) были опущены нисходящие колонны сифонов; диаметр нижней части (фильтр) – 430 мм. Фильтр выполнен с

продольными отверстиями и проволочной обмоткой с шагом 3–10 мм, поверх которой укладывалась волокнисто-пористая полиэтиленовая оболочка. Диаметр сифонных скважин 250–300 мм, глубина 16–18 м. Удельный дебит сифонных скважин 6–10 м<sup>3</sup>/ч·м, приемных – 30–40 м<sup>3</sup>/ч·м (350–400 м<sup>3</sup>/ч).

Принцип действия этой системы заключается в регулировании уровня грунтовых вод путем изменения режима откачек из скважин и использования подземных вод на орошение в требуемый период.

*Режим осушения.* При работе системы в данном режиме в весенний период, а также после затяжных дождей необходимая норма осушения достигалась путем откачки грунтовых вод дренажными скважинами. Откачиваемая вода сбрасывалась в каналы или аккумуляровалась в бассейне.

*Режим орошения.* В засушливый период влажность корнеобитаемого слоя регулировалась орошением подземными водами. Вода подавалась к дождевальным установкам из бассейна или непосредственно из скважин погружными насосами. ДМ «Кубань» забирала воду из лотка.

Были проведены специальные исследования по установлению эффективности орошения луговых трав на мелкозалежных торфяниках низкотемпературной (8,0–8,5 °С) подземной водой при подаче ее в дождевальные установки через аккумулярующий бассейн и непосредственно из скважин. По химическому составу вода из скважин является гидрокарбонатно-натриевой с общим количеством растворенных солей около 0,5 г/л, без агрессивных кислот; она пригодна для орошения сельскохозяйственных культур без ограничений.

Дождевание осуществлялось установкой КИ-50 «Радуга». Поливы проводились исходя из условий поддержания влажности почвы в оптимальных пределах (от 70 % НВ до НВ). Норма полива обычно составляла 400–450 м<sup>3</sup>/га, а в неустойчивую погоду после стравливания снижалась до 200–250 м<sup>3</sup>/га.

При заборе воды из аккумулярующего бассейна ее температура на выходе из сопла дождевального аппарата «Роса-3» составляла 15–23 °С, а непосредственно из скважины – 8–10 °С.

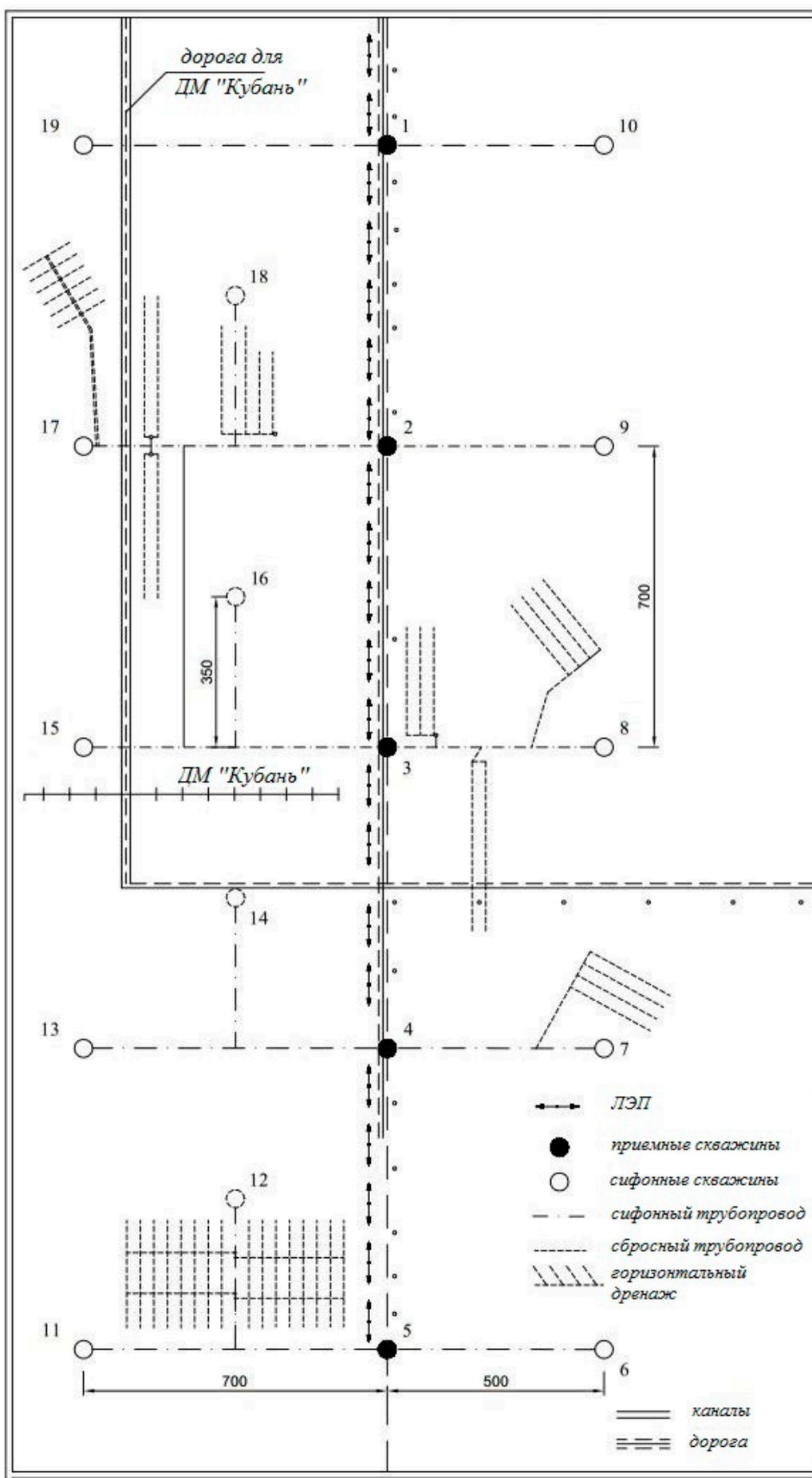


Рис. 2. Схема системы вертикального дренажа на ПОМС (2-я очередь)

Наблюдения показали, что если температура воздуха ниже, чем температура воды на выходе из сопла дождевального аппарата, то капли воды в процессе дождевания охлаждаются; когда же температура воздуха выше, чем температура воды на выходе из сопла, то падающие капли нагреваются. В дневное время температура дождевальной воды, падающей на растения, составляет 14–22 °С при заборе ее из бассейна и 12–16 °С – из скважин, ночью соответственно 9–16 °С и 5–11 °С. Максимальное повышение температуры капель во время их полета в воздухе (полив из скважины днем) составило 8 °С, а понижение (полив ночью из бассейна) – 8,6 °С.

Непосредственно после поливов водой из бассейна наблюдалось увеличение температуры пахотного слоя на 0,5–2,5 °С, а из скважины – снижение на 0,5–3,5 °С в сравнении с неорошаемым вариантом. Через 1–3 суток температура почвы по всем вариантам полива выравнивалась. В среднем за летний период она была примерно одинаковой.

Поливы холодной водой не сказались на снижении продуктивности пастбища. Дождевание подогретой подземной водой из аккумулирующего бассейна и холодной водой непосредственно из скважин обеспечивало практически одинаковую прибавку урожая: 25,2–27,8 ц сухой массы бобово-злаковой травосмеси и 19,2–20,5 ц злаковой с гектара.

Данные исследований доказывают возможность орошения многолетних трав подземной водой путем подачи ее из скважин непосредственно к дождевальным установкам и машинам. Целесообразность устройства бассейна должна устанавливаться исходя из условий рационального использования дебита скважин и насосного оборудования системы [4].

Дебит скважин на Полесье часто достигает 50–80 л/с. Две такие скважины (а иногда даже одна) при их соответствующем насосно-силовом оборудовании могут обеспечить нормальную работу ДМ «Фрегат» или «Волжанка» без аккумулирующего бассейна и насосной станции второго подъема при нем. Кроме того, при подаче воды в дождевальные системы непосредственно из скважинных насосов облегчаются условия автоматизации полива, снижается или отпадает потребность в магистральных трубопроводах, уменьшаются затраты электроэнергии.

Результаты более чем 20-летних исследований на данной системе и опыта ее эксплуатации позволили сделать ряд выводов об эффективности и работоспособности вертикального дренажа.

Вертикальный дренаж может обеспечивать высокую интенсивность осушения. В первые трое суток работы скважин скорость понижения УГВ составляет 8–40 см в сутки в зависимости от дебита скважин и расстояния от них. Например, при откачке из одиночной скважины с дебитом 150 м<sup>3</sup>/ч понижение УГВ на расстоянии 500 м от скважины за сутки – 12 см, а на расстоянии 200 м – 40 см. В период откачек понижение УГВ до 3–5 м наблюдается в радиусе 5–10 м от скважины. В зависимости от интенсивности и длительности откачек влияние одиночной скважины может распространяться в радиусе 0,5–1,0 км.

Площадь осушения одной скважиной – при ее работе в течение 4–7 суток – составляет 35–45 га, а может достигать и 75 га. При работе в течение 5 суток системы скважин (например, четырех), расположенных по квадрату с расстоянием между скважинами 1 км с общим дебитом 560 м<sup>3</sup>/ч, среднее понижение по площади участка – 45–55 см.

Практика показала, что эксплуатационный режим обуславливается в основном конкретной мелиоративной обстановкой и назначается по одному из следующих вариантов:

а) осушение всеми скважинами системы одновременно при необходимости значительного понижения уровня грунтовых вод по всей площади;

б) осушение локальных, наиболее переувлажненных участков отдельными скважинами.

Максимальная продолжительность работы системы в режиме осушения составляла 25 суток в год, а в среднем не превышала 12 суток. Объем сброшенной воды колебался от 54 до 450 тыс. м<sup>3</sup>, или от 0,05 до 0,5 л/с с гектара. В засушливый период система работала в режиме орошения, скважины при этом каптировали значительный объем воды. Так, в 1979 г. на орошение было подано 273, в 1984 г. – 125, в 1987 г. – 132 тыс. м<sup>3</sup> воды.

Часть оросительной техники («Фрегат»; «Волжанка») снабжалась водой непосредственно из скважин. В скважине, которая обеспечивала работу «Волжанки», был установлен насос ЭЦВ-12-210-55, а на «Фрегате» – насос ЭЦВ-12-16-65.

Было установлено, что периодическая работа скважин на орошение незначительно сказывается на понижении УГВ в радиусе ее действия; сработка уровня грунтовых вод за один полив не превышала 10–15 см в радиусе 100–150 м от скважины, и через 1–2 суток происходило почти полное его восстановление. Работа дождевальных машин непосредственно от скважин значительно уменьшала расход электроэнергии. Так, на один полив «Фрегатом» из скважины было израсходовано 3600 кВт. ч. электроэнергии, а на полив «Фрегатом» от стационарной оросительной насосной станции с учетом подачи воды из скважин в бассейн – 9800 кВт. ч. За оросительный период (5 поливов) экономия электроэнергии при работе одного «Фрегата» составила свыше 30 тыс. кВт. ч.

Работа системы вертикального дренажа весной в основном не приводит к истощению водных ресурсов мелиорируемой территории; на данной площади ежегодно происходит восстановление уровней грунтовых вод.

Сравнивая осушительные действия вертикального дренажа с другими конструкциями – открытую сеть, горизонтальным дренажем, можно отметить, что по режиму формирования УГВ и его величине он практически аналогичен горизонтальному дренажу с расстоянием между дренами 50 м.

Система оказалась эффективной при организации противопожарных мероприятий и тушении пожаров на торфяниках, так как обладает гарантированным водоисточником подземных вод, что подтверждено при ликвидации пожара на торфяниках ПОМС [5].

Оценивая надежность систем вертикального дренажа, можно констатировать, что она зависит в первую очередь от надежной работы скважин. Строить мелиоративные системы вертикального дренажа с использованием подземных вод на орошение можно только в определенных благоприятных гидрогеологических и почвенных условиях осушаемых земель. Под вертикальный дренаж подходят объекты, на которых торфяники, легкие минеральные почвы подстилаются мощной водоносной толщей (не менее 15 м) песчаных отложений с коэффициентом фильтрации более 8 м/сут. и водопроницаемостью не менее 100 м<sup>2</sup>/сут. К таким регионам относятся

Припятское Полесье, Деснинское и Окско-Мещерское Полесье, балтийские страны, болота Западной Сибири [6].

Для предотвращения изменения сложившейся структуры подземных вод и их сохранения на территориях Белорусского Полесья, осушаемых вертикальным дренажем, необходимо регулировать сброс дренажных вод и аккумулировать их для использования на орошение.

По данным Н. И. Плотникова [7], естественные ресурсы подземных вод всей Полесской низменности в 20-е годы XX в. в 20 раз превышали их потребление в народном хозяйстве. В сельскохозяйственном производстве подземные воды на орошение практически не используются.

Суммарное водопотребление сельскохозяйственных культур в средние по водности и в засушливые годы значительно превышает количество осадков. Дефицит влаги составляет 80–150 мм. Всё это указывает на то, что мелиорация земель в регионе Полесья должна осуществляться на основе осушительно-увлажнительных и осушительно-оросительных систем, в том числе и на базе вертикального дренажа с учетом орошения за счет использования подземных вод. По результатам проведенных натурных исследований на опытно-производственных участках вертикального дренажа в регионе Полесья определены условия его применения.

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

- геоморфологическое положение и рельеф поверхности;
- геологический разрез и однородность его строения (литологический состав);
- фильтрационные свойства водовмещающих пород до водоупора;
- гидравлическая связь грунтовых вод с нижележащими водоносными горизонтами;
- тип водного питания и химический состав воды.

На основании анализа гидрогеологических, геоморфологических и литологических условий, а также теоретических расчетов и опыта эксплуатации систем вертикального дренажа разработаны карта районирования Припятского Полесья по условиям его применения и классификация условий по возможно-

сти использования осушительно-оросительных систем вертикального дренажа [8].

По геологическим и гидрогеологическим условиям выделяются следующие группы районов.

1. **Весьма благоприятные.** В геологическом разрезе преобладают песчаные породы, общая мощность которых изменяется от 20–40 м на западе Припятского Полесья до 60–100 м в его восточных районах. Средний коэффициент фильтрации водоносной толщи составляет 8–12 м/сут., проводимость – более 600 м<sup>2</sup>/сут. Дебит скважины может находиться в пределах 200–300 м<sup>3</sup>/ч и более.

2. **Благоприятные районы.** Геологические разрезы представлены торфами, заторфованными супесями и песками мощностью 0,5–2,0 м. Они подстилаются разнозернистыми и крупнозернистыми песками, мощность которых изменяется от 25–35 до 70–100 м. Глубина залегания водоупора – 30–90 м. Коэффициент фильтрации водовмещающих пород изменяется от 6–8 до 12–15 м/сут. и более. Средний коэффициент водопроницаемости – около 500 м<sup>2</sup>/сут. Питание болотного массива происходит преимущественно атмосферными и грунтово-напорными водами.

3. **Удовлетворительные районы.** В геологическом строении присутствуют слабо- или

водонепроницаемые прослойки суглинков и глин (до 40 %). На поверхности залегают торф и легкие минеральные грунты мощностью до 2 м, подстилаемые песками разнозернистыми. Мощность песчаных отложений достигает 20–30 м, их средний коэффициент фильтрации не превышает 10 м/сут. Их водопроницаемость свыше 150 м<sup>2</sup>/сут., глубина залегания водоупора – 25–30 м. Существует гидравлическая связь между грунтовыми и подземными водами. Источник водного питания мелиоративных объектов – атмосферные осадки и подземные воды (25 % водного баланса).

4. **Допустимые районы** характеризуются пылеватými супесями и легкими суглинками до 1,5 м, подстилаются разнозернистыми водоносными песками мощностью 15–30 м. Средний коэффициент фильтрации – 5–8 м/сут., глубина залегания водоупора – 15–30 м. Пески чередуются с прослоями суглинков и глин проводимостью более 50 м<sup>2</sup>/сут.

Учитывая, что вертикальный дренаж – система многофункциональная, она может выполнять осушение, орошение, водоснабжение пастбищ, обеспечивать противопожарные мероприятия, поэтому в отдельных случаях ей следует отдавать предпочтение перед другими конструкциями.

### Основные выводы

1. Обобщены результаты исследований работоспособности вертикального дренажа в различных гидрогеологических условиях на первых в СССР опытно-производственных участках, расположенных в гумидной зоне.

2. Установлена высокая осушительная эффективность вертикального дренажа при работе дренажных скважин, обеспечивающих интенсивное понижение уровней грунтовых вод.

3. Дебит дренажных скважин может достигать 500 м<sup>3</sup>/ч, что позволяет обеспечивать подземной водой практически любую оросительную технику при подаче воды непосредственно из скважин.

4. Работа скважин вертикального дренажа в режиме осушения и орошения не приводит к истощению водных запасов в зоне их действия.

5. Площадь осушения одной скважины составляет 35–50 га и может достигать 80 га.

6. Целесообразно рассматривать вертикальный дренаж в качестве одного из вариантов реконструкции мелиоративных систем, учитывая его многофункциональность (способность выполнять осушение, орошение, водоснабжение пастбищ, обеспечивать противопожарные мероприятия торфяников).

### Библиографический список

1. Осушение земель вертикальным дренажем / А. И. Мурашко [и др.]. – Минск : Ураджай, 1980. – 248 с.
2. Мурашко, А. И. Сельскохозяйственный дренаж в гумидной зоне / А. И. Мурашко. – Москва : Колос, 1982. – 249 с.

3. Митрахович, А. И. Сифоны на системах вертикального дренажа / А. И. Митрахович, В. Н. Немиро // Мелиорация и вод. хоз-во. Сер. 2. Экспресс-информация. Эксплуатация мелиоративных систем. – Москва : ЦБНТИ Минводхоза СССР, 1977. – Вып. 3. – С. 6–12.

4. Авраменко, Н. М. Орошение культурных пастбищ подземными водами на торфяно-глеевых почвах Полесья : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 06.01.02 / Николай Михайлович Авраменко ; БелНИИ мелиорации и луговодства. – Минск, 1992. – 24 с.

5. Лихацевич, А. П. Противопожарные мероприятия на торфяниках с использованием подземных вод / А. П. Лихацевич, В. Т. Климков, А. И. Митрахович // Чрезвычайные ситуации: предупреждение и ликвидация : тез. докл. II-й Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 150-летию пожарной службы Респ. Беларусь, 23–25 июля 2003 г., Минск / Науч.-исслед. ин-т пожар. безопасности и проблем чрезвычайных ситуаций МЧС Респ. Беларусь ; науч. ред. А. Н. Кудряшов. – Минск : Издательский центр БГУ, 2003. – С. 39–41.

6. Костюкович, П. Н. Гидрогеологические основы вертикального дренажа / П. Н. Костюкович. – Минск : Наука и техника, 1979. – 284 с.

7. Плотников, Н. И. Подземные воды – наше богатство / Н. И. Плотников. – Москва : Недра, 1982. – 272 с.

8. Козлов, М. Ф. Гидрогеология Припятского Полесья : в 2 т. / М. Ф. Козлов. – Минск : Наука и техника, 1976. – Т. 1. – 152 с.

Поступила 22 ноября 2024 г.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА РАЗРУШЕНИЯ ГРУНТОВЫХ ПЛОТИН НА ФИЗИЧЕСКИХ МОДЕЛЯХ

*О. В. Немеровец, ассистент*

*В. А. Евдокимов, старший преподаватель*

*В. В. Ивашечкин, доктор технических наук*

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

### Аннотация

Разрушения грунтовых плотин, в результате которых происходит прорывной паводок, относятся к опасным гидрологическим явлениям, влекущим за собой материальный ущерб и человеческие жертвы. Ввиду внезапности и быстротечности процесса разрушения плотин данные об этих явлениях обрывочны и малочисленны, поэтому при изучении размыва грунтовых насыпей необходимо использовать методы физического и математического моделирования. В данной статье рассмотрен процесс разрушения грунтовой плотины, причиной образования которого является перелив воды через гребень в результате переполнения водохранилища. Новизна проведенного исследования заключается в том, что на основе исследований была подтверждена методика, предложенная ранее для определения параметров волны прорыва и построения гидрографа сбросных расходов.

**Ключевые слова:** *расход, водохранилище, напор, уравнение баланса воды, гидрограф расхода, размыв, авария.*

### Abstract

*O. V. Nemerovets, V. A. Evdokimov, V. V. Ivashchkin*  
**STUDY OF THE PROCESS OF THE DESTRUCTION  
OF EARTH DAMS USING PHYSICAL MODELS**

The destruction of groundwater dams, as a result of which a breakthrough flood occurs, refers to dangerous hydrological phenomena as material damage and human casualties. Due to the suddenness and transience of the dam destruction process, data on these phenomena are fragmentary and few in number, therefore it is necessary during of their study to use methods of physical and mathematical modeling. In this article, the process of destruction of an underground dam is considered, the cause of which is the overflow of water over the ridge, as a result of overflow of the reservoir. The originality of research lies in the fact that, based on the research, the methodology proposed for determining the parameters of the breakthrough wave, as well as constructing a hydrograph of discharge costs, was confirmed.

**Keywords:** *discharge, water reservoir, pressure, water balance equation, flow hydrograph, washout, accident.*

### Введение

Во всем мире вопросам надежности гидроузлов придается большое значение потому, что аварии на гидроузлах, особенно на плотинных, приводят к серьезнейшим последствиям. Главной проблемой в вопросах надежности гидроузлов – например, в период паводка – являются природные факторы, прежде всего гидрологические. Современные подходы к оценке феномена паводка и, соответственно, обеспечение главных водосбросных сооружений подчас могут расходиться с условиями реального паводка; даже один конкретный паводок может разрушить плотину. Риск перелива существует всегда, и вся-

кий плотинный гидроузел представляет собой потенциальную опасность. Чем ниже класс сооружений гидроузла, тем больше возможность превышения расчетного паводкового расхода и, следовательно, больше риск перелива, поэтому на небольших гидроузлах он происходит чаще, чем на крупных.

При разработке проектной документации как для новостроящихся плотин, так и для подлежащих реконструкции проводят прогнозные расчеты параметров волны прорыва и зон вероятного затопления, а также оценку воздействия на окружающую среду для объектов, к которым относятся искусственные

водоемы с площадью водной поверхности более 50 гектаров, плотины высотой 2 метра и более<sup>1</sup>. Прогнозирование развития и масштабов возможных гидродинамических аварий на водоподпорных гидротехнических сооружениях (ГТС) включает в себя расчет степени их разрушения, параметров волны прорыва, поставарийного состояния русла и поймы в возможной зоне затопления, а также последствий аварий для населения и территорий<sup>2</sup>. Точность прогнозных расчетов зависит от математических моделей размыва плотины и модели движения волны прорыва.

Цель данной статьи – подтвердить существующий метод расчета характеристик про-

### Основная часть

Для разработки методики определения сбросных расходов в створе размываемого сооружения использовался метод физического моделирования, которой позволяет более полно и детально описать процесс разрушения грунтовых плотин, выявить факторы, влияющие на него в естественных условиях, получить необходимые параметры для математической модели. В связи с этим были проведены натурные физические эксперименты по размыву грунтовой плотины.

Цель экспериментов заключалась в описании процесса разрушения грунтовой плотины, получении результатов для математического моделирования. Эксперименты по разрушению плотины проведены на территории 27-й лаборатории Белорусского национального технического университета.

Конструкция для проведения физического моделирования представляет собой рамное основание, выполненное из металлического профиля, покрашенного краской. На рамном основании смонтирована гидравлическая си-

стема, состоящая из гидравлического лотка и вспомогательных элементов. Гидравлический лоток выполнен из металла и стекла. В стенде используются трубопроводы, подключенные к системе водоснабжения и водоотведения лаборатории.

В рамках данной цели определены следующие задачи:

- рассчитать морфометрические характеристики прорыва и максимальные расходы прорывной волны по методике, предложенной в [1];
- сравнить экспериментальные и теоретические данные по разрушению грунтовой плотины в результате перелива через гребень;
- описать физические принципы процесса размыва;
- получить гидрограф сбросных расходов в створе размываемого сооружения.

Для изучения процесса размыва грунтовых плотин при переливе воды были проведены опыты 1 и 2 на моделях в лотке шириной 0,32 м (рис. 1); высота моделей составляла 0,4 м. На стенку лотка нанесена координатная сетка с шагом 5 см. Для мониторинга уровней и скоростей в лотке при прохождении волны использовался многоканальный измерительный комплекс (рис. 2).

Многоканальный измерительный комплекс состоит из кондуктометрических уровнемеров (рис. 3), расположенных в верхнем и нижнем бьефах, а также измерительных игл, персонального компьютера, программного обеспечения, средства для передачи сигналов от измерительной аппаратуры на компьютер.

<sup>1</sup> О государственной экологической экспертизе, стратегической экологической оценке и оценке воздействия на окружающую среду [Электронный ресурс]: Закон Респ. Беларусь от 8 июля 2016 г. № 399-3. Нац. правовой Интернет-портал Респ. Беларусь. URL: <https://pravo.by/document/?guid=12551&p0=H11600399> (дата обращения: 01.08.2024); Пособие по проведению оценки воздействия на окружающую среду водохранилищных ГЭС. Минск, 2005. 68 с.

<sup>2</sup> Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Мониторинг состояния водоподпорных гидротехнических сооружений (плотин) и прогнозирование возможных последствий гидродинамических аварий на них. Общие требования: ГОСТ Р 22.1.11-2002. Электронный Фонд нормативно-технической и нормативно-прав. информ. консорциума «Кодекс». URL: <https://docs.cntd.ru/> (дата обращения 12.07.2024).



Рис. 1. Лоток с размещенной моделью плотины

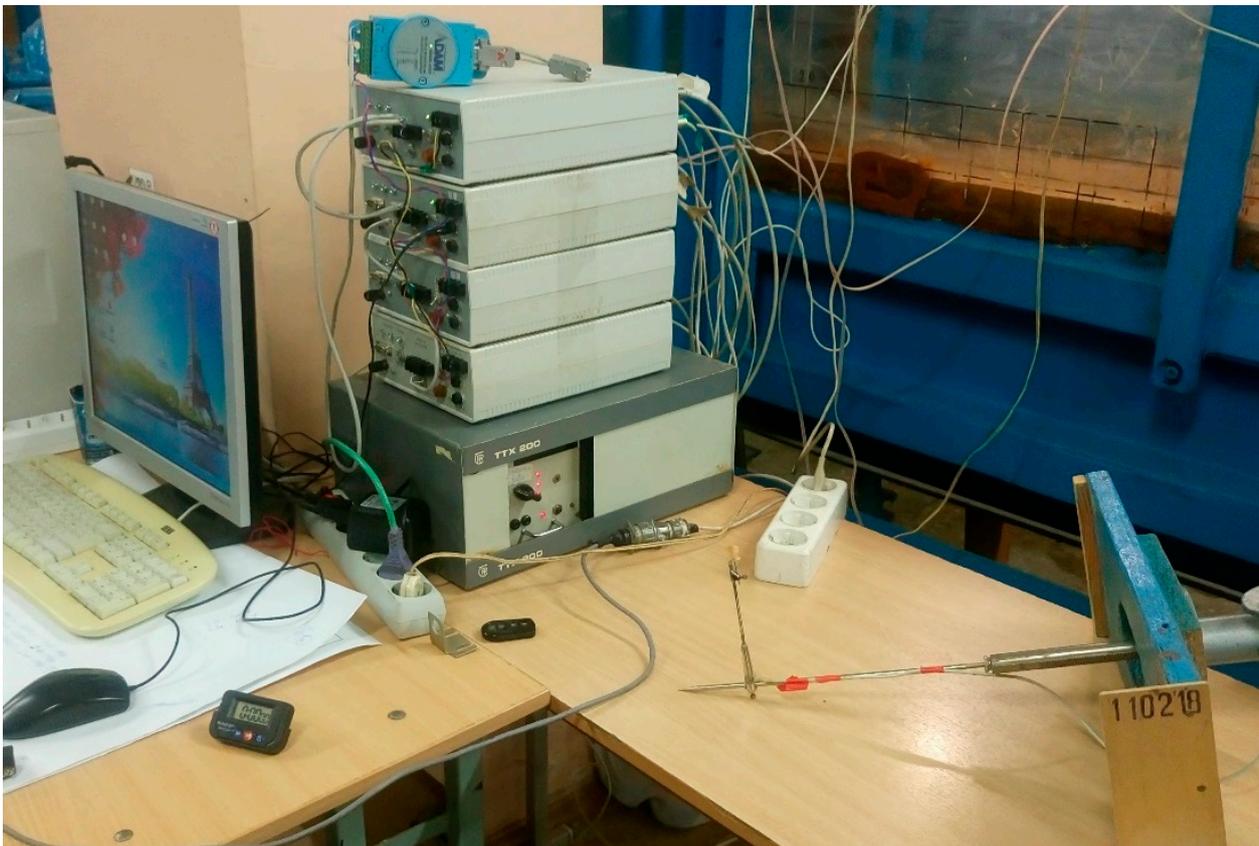


Рис. 2. Многоканальный измерительный комплекс для измерения уровней и скоростей в лотке при прохождении волны



Рис. 3. Кондуктометрический уровнемер

Опыты проводились на песчаных моделях из среднезернистых песков со следующими размерами: высота – 0,4 м, ширина по гребню – 0,3 м, заложение верхового и низового откосов – 1 : 2,0. Расход воды, поступающей в верхний бьеф (приточность), составлял в опыте 1 – 8,6 л/с, в опыте 2 – 12,0 л/с. Вода поступала в лоток из прямоугольного питательного бака, на входе в него размещался мерный водослив Томпсона, по которому контролировался расход воды  $Q_0$ , подаваемой центробежным насосом из водооборотного бассейна.

При исследовании процесса размыва главную роль играют силы тяжести, поэтому главным критерием при моделировании является критерий Фруда  $Fr$  [8–10]. Должно соблюдаться следующее условие:

$$Fr_m = Fr_n = v^2 / gh = idem,$$

где  $Fr_m$  – критерий Фруда модели;  $Fr_n$  – критерий Фруда натурального объекта;  $v$  – скорость течения (или скорость движущегося тела);  $g$  – ускорение силы тяжести,  $h$  – характерный размер потока или тела.

Модели были отсыпаны из грунта со следующими физико-механическими характеристиками: диаметр частиц  $d = 0,05–0,50$  мм; сред-

ний диаметр  $d_{50} = 0,25$  мм; средневзвешенная гидравлическая крупность  $w = 0,041$  м/с; плотность  $\rho_0 = 1,69$  г/см<sup>3</sup>; коэффициент неоднородности  $d_{60}/d_{10} = 1,6$ .

Определение гранулометрического состава производилось путем рассева песка на наборе сит<sup>1</sup>.

Из песка, прошедшего через сито с отверстиями диаметром 5 мм, отбиралась навеска 1000 г. Эта масса песка просеивалась через набор сит с различными диаметрами отверстий. Остатки на каждом сите и поддоне взвешивают и вычисляют:

а) частный остаток  $a_i$ , % на каждом сите и поддоне:

$$= \frac{m_i}{m} \cdot 100,$$

где  $m_i$  – масса остатка на данном сите, г;

$m$  – масса пробы песка, г;

б) полный остаток на каждом сите ( $A_i$ ) в процентах:

$$A_i = a_{2,5} + a_{1,25} + \dots + a_i,$$

где  $a_{2,5}$ ,  $a_{1,25}$  – частные остатки на ситах с большим диаметром отверстий (вышележащих);  $a_i$  – частный остаток на данном сите;

<sup>1</sup> Грунты. Методы лабораторного определения гранулометрического (зернового) и микроагрегатного состава. ГОСТ 12536-79. Москва: Стандартинформ, 2015. 22 с.

в) модуль крупности песка ( $M_k$ )

$$M_k = \frac{A_{2,5} + A_{1,25} + A_{0,63} + A_{0,315} + A_{0,14}}{100}$$

где  $A_{2,5} + A_{1,25} + A_{0,63} + A_{0,315} + A_{0,14}$  – полные остатки на ситах.

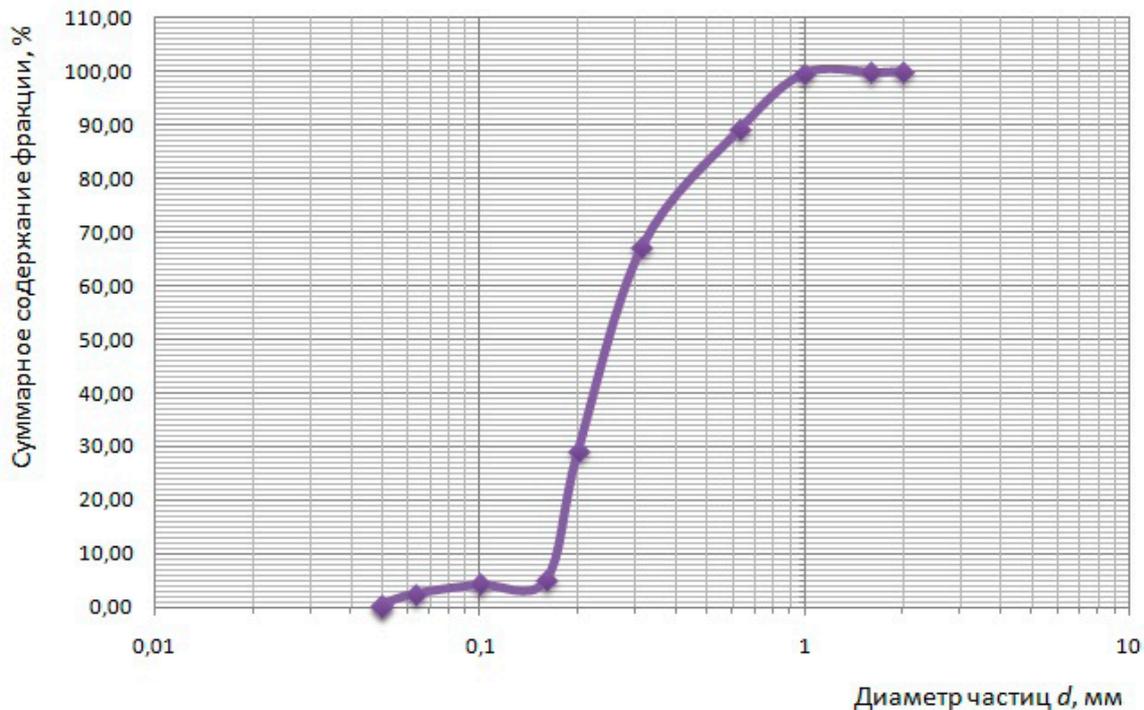


Рис. 4. Кривая гранулометрического состава грунта

Для сопоставления опытных и теоретических данных необходимо построить графики изменения расхода воды в створе размываемой модели. Расход воды  $Q$  через модель плотины при ее размыве определяли опытным путем по изменению объема воды в верхнем бьефе:

$$\frac{\Delta W}{\Delta t} = Q,$$

где  $\Delta W$  – изменение объема воды в верхнем бьефе модели плотины;  $\Delta t$  – промежуток времени;  $Q$  – расход воды через размываемую плотину.

Изменение объема  $\Delta W$  определяли по формуле

$$\Delta W = \Delta h \cdot \Omega,$$

где  $\Delta h$  – изменение уровня воды в верхнем бьефе модели плотины за промежуток времени  $\Delta t$ ;  $\Omega$  – площадь зеркала воды верхнего бьефа модели плотины.

По данным экспериментальных исследований и результатов программных комплек-

По результатам зернового состава грунта построена кривая его гранулометрического состава (рис. 4) и определены все физико-механические характеристики.

На рис. 5 представлен процесс размыва в виде мгновенных профилей при расходе  $Q_0 = 8,6$  л/с.

сов были построены графики для определения расходов в створе размываемой модели от времени размыва. В их основе – следующие уравнения, приведенные в [1]:

1) уравнение для отметки  $y(t)$  гребня водослива в пределах прорана:

$$\frac{dy}{dt} = -\frac{B \cdot \varepsilon}{\rho g} \cdot (\sigma_r \cdot m)^{0,407} \cdot (z - y)^{0,61}, \quad (1)$$

где  $\varepsilon = 2g \cdot \frac{1 - 1,26\sqrt{m_2^2}}{\beta}$ ;  $m$  – коэффициент расхода водослива;  $\beta$  – постоянная, зависящая от гранулометрического состава размываемого грунта; параметр  $B$  находится по формуле:

$$B = 2,224 \cdot (1 + \varphi) \cdot d \cdot \left( \frac{5,64n_2\sqrt{2g}}{\varphi \cdot w} \right)^{3,33} \cdot g^{2,165} \alpha^{-1,962},$$

где  $n_2$  – коэффициент шероховатости поверхности прорана;  $\alpha$  – коэффициент Кориолиса;  $\varphi$  – параметр турбулентности;  $w$  – гидравлическая крупность частиц размываемого грунта, м/с;

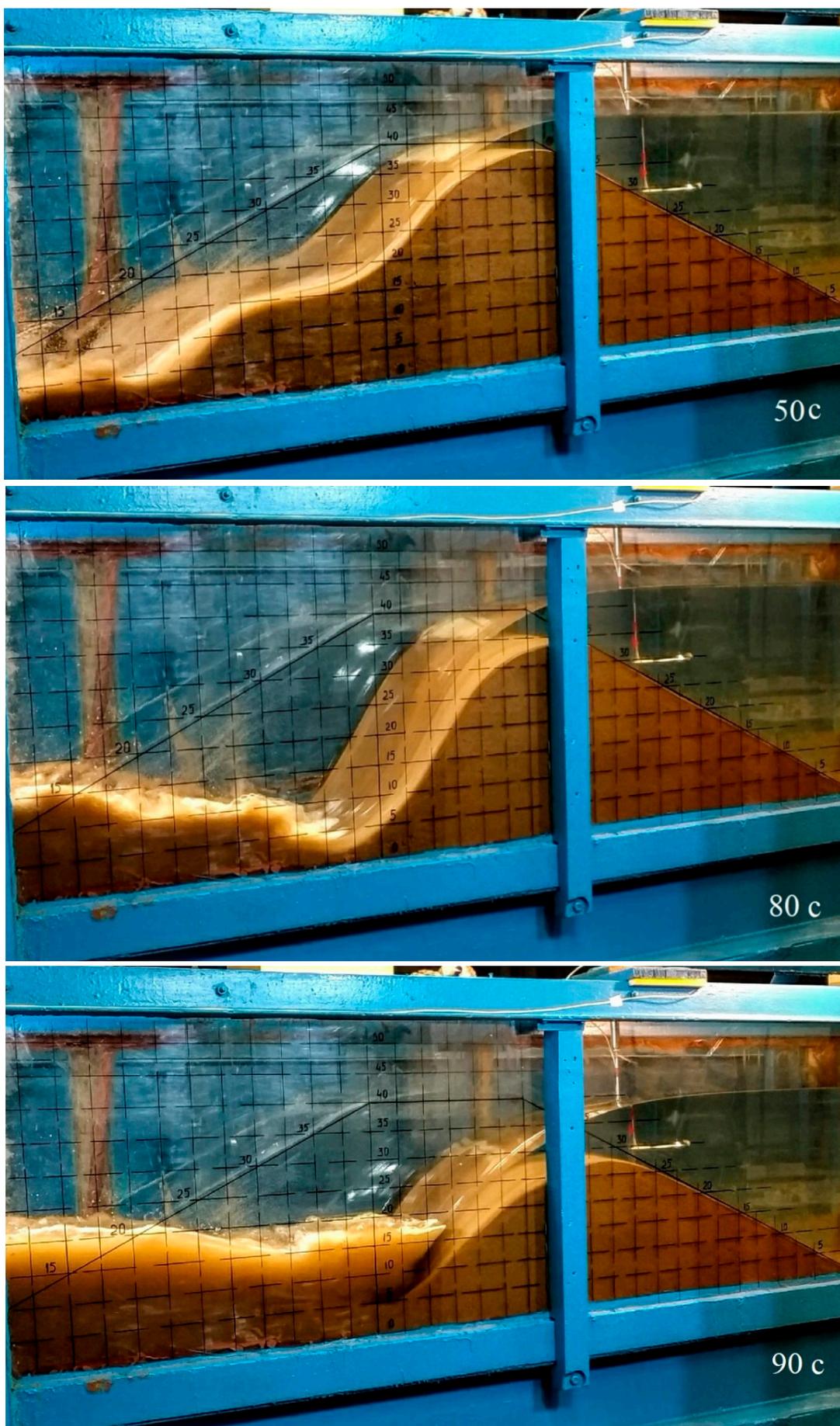


Рис. 5. Физическая картина размыва модели плотины при расходе  $Q_0 = 8,6 \text{ л/с}$

2) уравнение для отметки  $z(t)$  верхнего бьефа водохранилища:

$$\frac{dz}{dt} = \frac{Q_0 - Q - Q_C - Q_E}{F(z)}, \quad (2)$$

где  $Q_0$  – расход воды, поступающей в верхний бьеф (приточность),  $\text{м}^3/\text{с}$ ;  $Q$  – то же через проран;  $Q_C$  – то же в створах водосбросных сооружений;  $Q_E$  – расход воды, используемый для энергетики;  $F(z)$  – площадь водной поверхности водохранилища при отметке  $z$  верхнего бьефа, которую определяют методом наименьших квадратов по опытным данным для каждого конкретного водохранилища,  $\text{м}^2$ ;

3) расход воды через проран находим как через водослив:

$$Q = mB\sqrt{2g}(z - y)^{1,5}, \quad (3)$$

где  $B$  – ширина прорана;  $z$  – отметка уровня верхнего бьефа,  $\text{м}$ ;  $y$  – отметка гребня водослива,  $\text{м}$ .

По приведенным зависимостям построены графики зависимости уровня верхнего бьефа от времени размыва –  $Z_{\text{оп}} = f(t)$  и  $Z_{\text{выч}} = f(t)$  и зависимости отметки гребня модели от времени размыва –  $Y_{\text{оп}} = f(t)$  и  $Y_{\text{выч}} = f(t)$  (рис. 6). На рис. 7 показан график зависимости расхода от времени размыва –  $Q_{\text{оп}} = f(t)$ .

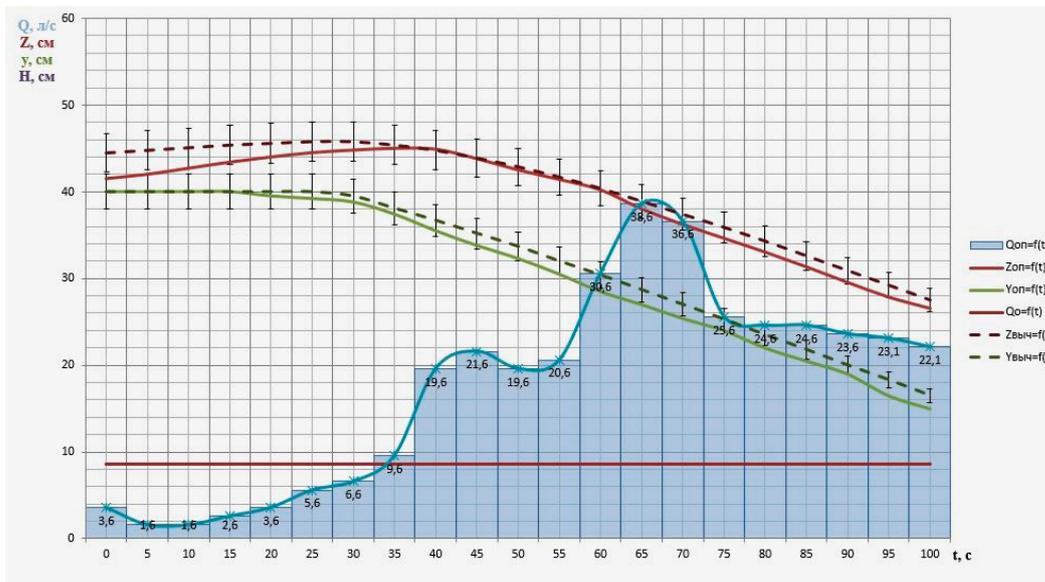


Рис. 6. Графики зависимости уровня верхнего бьефа от времени размыва:

$$Z_{\text{оп}} = f(t) \text{ и } Z_{\text{выч}} = f(t), Y_{\text{оп}} = f(t) \text{ и } Y_{\text{выч}} = f(t)$$

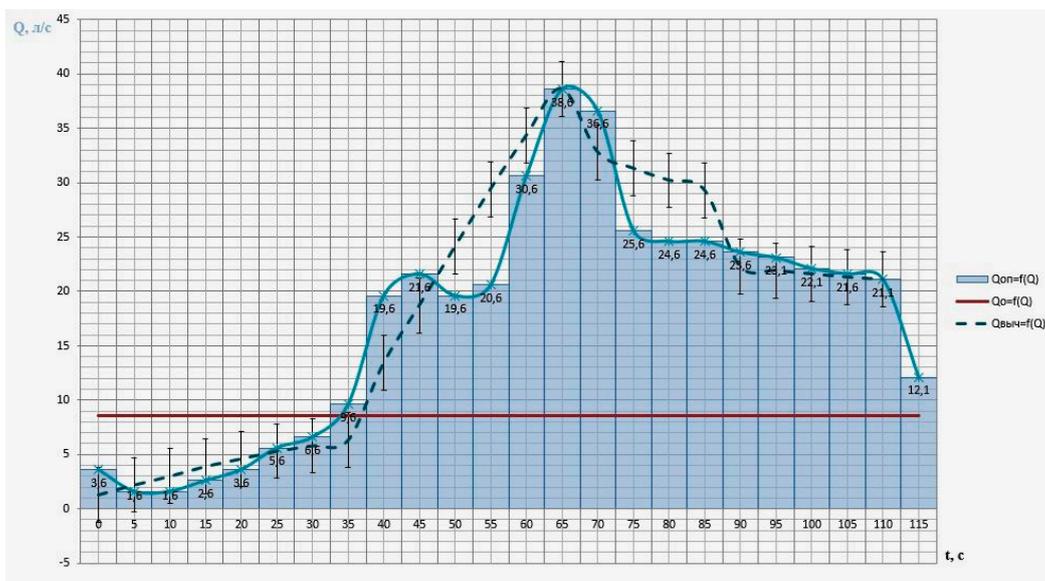


Рис. 7. Графики зависимости расхода от времени размыва:  $Q_{\text{оп}} = f(t)$  и  $Q_{\text{выч}} = f(t)$

В опытах для различных моментов времени определяли коэффициент расхода через размываемый водослив  $m$ . Его величина достигает наибольшего значения в начале интенсивного снижения гребня и затем несколько уменьшается. Его численные значения указывают на то, что гидравлическую картину в данном случае действительно можно классифицировать как истечение через водослив практического профиля.

Механизм отрыва и перемещения твердых частиц грунта принципиально не отличается от механизма, описанного различными авторами в динамике русловых потоков. Отмечаются лишь следующие особенности: размыв низовой призмы происходит при больших скоростях, в 10–30 раз превосходящих (на моделях) неразмывающие для среднезернистых грунтов. Поэтому размыв идет интенсивно со срывом одновременно нескольких слоев, а транспорт твердого стока происходит исключительно во взвешенном состоянии.

Общая картина размыва моделей плотин следующая. С началом перелива, когда расход через размываемую плотину еще незначителен вследствие малого напора на гребне, уровень воды в верхнем бьефе продолжает подниматься. Момент, при котором достигается равенство расходов через размываемую плотину и приточности в верхнем бьефе  $Q = Q_0$ , соответствует максимально возможному повышению уровня верхнего бьефа. Поскольку плотина, играющая в данном случае роль водослива, размывается под действием переливающегося потока, отметка ее гребня с определенного момента интенсивно снижается, напор на гребне возрастает, что ведет к быстрому увеличению расхода через плотину. При  $Q > Q_0$  уровень верхнего бьефа падает.

Формирование водосливной поверхности размываемой плотины – результат взаимодействия с ней переливающегося потока, в процессе которого одновременно с измене-

нием очертания водослива изменяются и гидромеханические параметры потока.

Приведем последовательность размыва модели.

В первые секунды, когда толщина переливающегося слоя воды на низовом откосе очень мала и к тому же происходит ее интенсивное впитывание в тело плотины, размыв происходит путем постепенного переотложения вымытых частиц грунта по откосу и носит дискретный характер. С увеличением расходов и глубин эта картина быстро меняется. Профиль плотины со стороны низового откоса заметно деформируется, следуя профилю свободной поверхности потока. При этом откос размывается довольно равномерно по всей длине как бы параллельными слоями. Если принять условие предельного насыщения потока наносами в каждом сечении, то это может означать, что транспортирующая способность его вниз по откосу возрастает, достигая наибольшей величины в нижней части, вероятно, в сжатом сечении.

На гребне со стороны верхового откоса в этот период наблюдается лишь передвижение отдельных частиц грунта. Деформаций там практически нет, и отметка гребня на данной стадии постоянна.

После полного размыва низовой призмы на всю ширину гребня начинается его интенсивное снижение. Гидравлическая картина на данном этапе сходна с истечением через водослив практического профиля как по форме кривой свободной поверхности, так и по очертаниям, постоянно трансформирующимся в процессе размыва.

Выполненные исследования являются основой для моделирования потока в нижнем бьефе гидроузла [11–15], так как поток, вытекающий из прорана грунтовой плотины, затапливает прилегающую территорию. Затопление территории в свою очередь может повлечь за собой колоссальный ущерб как для общества, так и для государства в целом.

## Выводы

1. Экспериментальными исследованиями полностью подтверждается методика моделирования разрушения грунтовой плотины, разработанная на основе решения численным методом системы четырех уравнений, описывающих трехэтапный размыв грунтовой

плотины, баланс воды в водохранилище, образование и развитие прорана. Данная методика позволяет получить гидрограф расхода в створе размываемой плотины.

2. Решение задачи моделирования разрушения грунтовой плотины способствует опре-

делению граничных и начальных условий в ее створе для скорости и глубины потока в нижнем бьефе, используемых для выявления границ затопления территории, расположенной ниже створа гидроузла.

3. Незначительные отличия между сбросными расходами в створе размываемого сооружения в результате перелива воды через

гребень связаны с изменчивостью коэффициента расхода, который зависит от величины напора на гребне размываемой плотины. Так как напор был переменный, при вычислении расхода, пропускаемого через размываемое сооружение, коэффициент расхода принят в программном комплексе осредненным из диапазона 0,46–0,52.

### Библиографический список

1. Теоретические основы расчета размыва грунтовых плотин при переливе воды через гребень / В. В. Ивашечкин, П. М. Богославчик, В. В. Верременюк, О. В. Немеровец // Энергетика. Изв. высш. учеб. заведений и энергет. объединений СНГ. – 2022. – № 65 (3). – С. 276–284. <https://doi.org/10.21122/1029-7448-2022-65-3-276-284>

2. Мосейко, Д. В. Методика лабораторных исследований по разрушению грунтовой однородной плотины / Д. В. Мосейко, В. А. Пришивалко // Современные направления в проектировании, строительстве и эксплуатации водохозяйственных и энергетических объектов [Электронный ресурс] : материалы студенческой науч.-техн. конф. в рамках 19-й Междунар. науч.-практ. конф. «Наука – образованию, производству, экономике», Минск, 13–14 дек. 2021 г. / Белорус. нац. техн. ун-т, редкол.: В. В. Ивашечкин [и др.] ; сост.: И. В. Качанов, В. В. Власов. – Минск : БНТУ, 2022. – С. 98–104.

3. Богославчик, П. М. Расчетная модель размыва грунтовых плотин при переливе / П. М. Богославчик // Наука и техника. – 2018. – № 4. – С. 292–296.

4. Богославчик, П. М. Некоторые аспекты надежности гидроузлов / П. М. Богославчик, Ю. О. Метельская // Наука – образованию, производству, экономике : материалы 13-й Междунар. науч.-техн. конф. / Белорус. нац. техн. ун-т. – Минск, 2015. – Т. 1. – С. 132.

5. Богославчик, П. М. Механизм размыва грунтовой плотины при переливе / П. М. Богославчик // Наука – образованию, производству, экономике : материалы 16-й Междунар. науч.-техн. конф. / Белорус. нац. техн. ун-т. – Минск : БНТУ, 2018. – Т. 1. – С. 156.

6. Богославчик, П. М. Условия разрушения крепления низового откоса грунтовой плотины при переливе воды через гребень / П. М. Богославчик, В. А. Евдокимов, О. В. Немеровец // Вода. Газ. Тепло 2020 : материалы Междунар. науч.-техн. конф., посвящ. 100-летию Белорус. нац. техн. ун-та, 100-летию кафедры «Гидротехническое и энергетическое строительство, водный транспорт и гидравлика», 90-летию кафедры «Теплогазоснабжение и вентиляция», Минск, 8–10 окт. 2020 г. / Белорус. нац. техн. ун-т. ; редкол.: С. В. Харитончик [и др.]. – Минск : БНТУ, 2020. – С. 257–260.

7. Пономарчук, К. Р. Оценка параметров развития прорана при разрушении грунтовой плотины / К. Р. Пономарчук // Природообустройство. – 2011. – № 3. – С. 77–82.

8. Тищенко, А. И. Результаты исследований транспортирующей способности потока при размыве песчаной вставки резервного водосброса / А. И. Тищенко, Е. Д. Михайлов // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. – 2016. – Вып. № 2 (62). – С. 140–149.

9. Леви, И. И. Моделирование гидравлических явлений / И. И. Леви. – Ленинград : Энергия, 1967. – 254 с.

10. Овчаренко, И. Х. Моделирование гидравлических явлений на гидротехнических сооружениях : учеб. пособие / И. Х. Овчаренко, А. И. Тищенко. – Новочеркасск : Новочеркасский инженер.-мелиорат. ин-т, 1982. – 111 с.

11. Немеровец, О. В. Определение границ затопления нижнего бьефа гидроузла при пропуске расходов половодья / О. В. Немеровец, В. В. Ивашечкин, В. В. Верременюк // Инновационные технологии в водном, коммунальном хозяйстве и водном транспорте [Электронный ресурс] :

материалы Республ. науч.-техн. конф., Минск, 20–21 мая 2021 г. / редкол.: С. В. Харитончик [и др.]. – Минск : БНТУ, 2021. – С. 154–158.

12. Немеровец, О. В. Расчет затопления поймы реки Виля при пропуске паводков и половодий / О. В. Немеровец, В. В. Ивашечкин, В. В. Веремеилюк // Современные тенденции в развитии водоснабжения и водоотведения : материалы Междунар. конф., посвящ. 145-летию УП «Минскводоканал», Минск, 13–14 февр. 2019 г. : в 2 ч. – Минск : БГТУ, 2019. – Ч. 2. – С. 305–308.

13. Немеровец, О. В. Математическое моделирование затопления территории нижнего бьефа гидроузла в результате прохождения волны прорыва / О. В. Немеровец, В. В. Ивашечкин, В. В. Веремеилюк // Водные пути и русловые процессы. Гидротехнические сооружения водных путей : сб. науч. тр. Междунар. науч.-практ. конф., С.-Петербург, 2–5 июня 2021 г. / Гос ун-т морского и речного флота им. адмирала С. О. Макарова ; под ред. Г. Л. Гладкова, К. П. Моргунова. – С.-Петербург, 2021. – Вып. 5, ч. 2. – С. 39–46.

14. Веремеилюк, В. В. Моделирование неустановившегося движения в нижнем бьефе гидроузла при разрушении грунтовой плотины / В. В. Веремеилюк, В. В. Ивашечкин, О. В. Немеровец // Энергетика. Изв. высш. учеб. заведений и энергетических объединений СНГ. – 2021. – Т. 64, № 6. – С. 554–567. <https://doi.org/10.21122/1029-7448-2021-64-6-554-567>

15. Немеровец, О. В. Определение границ затопления в нижнем бьефе гидроузла при разрушении земляной плотины / О. В. Немеровец // Актуальные проблемы недропользования : тез. докл. XVIII Междунар. форума-конкурса студентов и молодых ученых, С.-Петербург, 15–20 мая 2022 г. – С.-Петербург : С.-Петерб. горн. ун-т, 2022. – Т. 2. – С. 155–157.

Поступила 28 октября 2024 г.

# • Кормопроизводство •

УДК 631.82:633.1:631.442

## ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ МАКРО- И МИКРОУДОБРЕНИЙ НА ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУРАХ В УСЛОВИЯХ АНТРОПОГЕННО- ПРЕОБРАЗОВАННЫХ ТОРФЯНЫХ ПОЧВ

**А. Л. Бирюкович**, кандидат сельскохозяйственных наук

**В. Н. Филиппов**, кандидат сельскохозяйственных наук

**А. А. Рыбченко**, научный сотрудник

РУП «Институт мелиорации», г. Минск, Беларусь

### Аннотация

На антропогенно-преобразованной торфяной почве необходимо внесение Экосила + Экогума ФК + Экогума Комплекс в фазы кущения и выхода в трубку, а также Экосила + Экогума Комплекс в фазу колошения, что обеспечивает сбор зерна озимой тритикале 59,7 ц/га, прибавку урожайности 21,1 ц/га (или 726,3 руб/га). Озимая рожь в среднем за три года сформировала урожайность 51,4 ц/га, а внесение Экосила + АДОБ Профит + Экогума Мп + Экогума Си + МикроСтива В в фазу кущения дало прибавку урожайности 12,8 ц/га (366,4 руб/га).

**Ключевые слова:** антропогенно-преобразованная торфяная почва, озимая тритикале, озимая рожь, микроудобрения.

### Abstract

**A. L. Biryukovich, V. N. Filippov, A. A. Rybchenko**

### EFFICIENCY OF APPLICATION OF MACRO- AND MICROFERTILIZERS FOR GRAIN CROPS ON ANTHROPOGENICALLY TRANSFORMED PEAT SOILS

On anthropogenically transformed peat soil, it is necessary to introduce Ecosil + Ecohum FC + Ecohum Complex into the tillering phases and exit into the tube and Ecosil + Ecohum Complex into earing, which ensures the harvesting of winter triticale grain 59.7 c/ha, an increase in yield of 21.1 c/ha (or 726.3 rubles/ha). Winter rye on average for 3 years generated a yield of 51.4 c/ha, and the introduction of Ecosil + ADOBE Profit + Ecogum Mn + Ecogum Cu + MicroStim B in the tillering phase provided an increase in yield of 12.8 c/ha (with a cost of 366.4 rubles/ha).

**Keywords:** anthropogenically transformed peat soil, winter triticale, winter rye, micro fertilizers.

### Введение

С повышением уровня урожайности сельскохозяйственных культур увеличивается вынос микроэлементов из почвы. Особенно растет потребность в микроудобрениях при внесении высоких доз, например, фосфорных удобрений, что приводит к недополучению растениями цинка, калийных – к уменьшению доступности бора, азотных – меди и молибдена; кроме того, известкование препятствует поглощению микроэлементов.

Применение микроудобрений необходимо, в первую очередь, при возделывании

сельскохозяйственных культур по интенсивным технологиям, а также на почвах с низким содержанием микроэлементов.

По данным Института почвоведения и агрохимии [1], площадь торфяных почв на пашне составляет 245,8 тыс. га, антропогенно-преобразованных – 89,0 тыс. га. Комплексное применение удобрений на таких почвах обеспечивает повышение урожайности зерновых в среднем на 6,6 ц/га, достигая 60 ц/га и более [2, с. 232].

### Материалы и методы исследований

Исследования проводились в 2021–2023 гг. на антропогенно-преобразованной торфяной

почве (КСУП «Полесская станция», Лунинецкий р-н Брестской обл.).

Агрохимическая характеристика почвы опытного участка: мощность торфа – 0,2–0,3 м;  $pH_{KCl}$  – 5,48; содержание органического вещества (ОВ) – 12,4 %,  $P_2O_5$  – 631,  $K_2O$  – 428 мг/кг, меди – 10,9 мг/кг, серы – 29,2 мг/кг. Известкование в дозе 4,5 т/га проведено под предшествующую культуру. УГВ – 120 см. Озимую тритикале Импульс сеяли в третьей декаде сентября – первой декаде октября с нормой высева 4,5 млн шт./га. Удобрение –  $P_{45}K_{150}$ .

Сев озимой ржи Алькора (4,2 млн шт/га) осуществлялся во второй декаде октября. Агрохимическая характеристика участка:  $pH_{KCl}$  – 5,74; ОВ = 21,0 %;  $P_2O_5$  – 168 мг/кг;  $K_2O$  – 80 мг/кг; медь – 2,2 мг/кг; сера – 2,7 мг/кг; бор – 0,6 мг/кг; цинк – 3,9 мг/кг. УГВ – 100 см. Удобрение –  $P_{30}K_{120}$ . Весной в фазу кущения посевы подкормили КАС – 40 кг/га (по 2 раза), химическая прополка произведена гербицидом Примадонна – 0,8 л/га.

Убирали зерновые в третьей декаде июля. Микроудобрения и биологически активные

вещества вносили в фазы кущения, выхода в трубку и колошения культур. Учетная площадь делянки – 28 м<sup>2</sup>, повторность трехкратная.

По данным Полесской метеостанции, период с апреля по сентябрь 2021 г. был более холодным и влажным по сравнению с среднегодовалыми показателями (табл. 1). В 2022 г. сумма среднесуточных температур воздуха также была ниже нормы (10,1 °С против 15,2 °С); кроме того, аналогичный период указанного года в то же время отличался засушливостью (сумма осадков составила 25 % нормы). Метеорологические условия 2023 г. были контрастными как по среднесуточным температурам воздуха, так и по количеству осадков. Оптимальные условия для роста культур наступили во второй декаде апреля, когда среднесуточная температура воздуха составила +10 °С. Майские заморозки 2023 г. неблагоприятно сказались на вегетации и развитии растений, вызывали стерильность колоса озимой ржи.

Таблица 1. Метеорологические условия 2021–2023 гг. (данные Полесской метеостанции)

Месяц	Декада	Среднесуточная температура воздуха, °С				Сумма атмосферных осадков, мм			
		2021 г.	2022 г.	2023 г.	норма	2021 г.	2022 г.	2023 г.	норма
Апрель	I-я	4,7	4,1	6,6	–	2,4	26,1	24,1	–
	II-я	9,5	5,2	10,0	–	29,3	4,9	21,5	–
	III-я	5,6	8,2	10,1	–	8,6	20,2	13,0	–
	Ср., ∑	6,6	5,8	8,9	8,1	40,3	17,1	58,6	35,0
Май	I-я	9,9	6,6	8,6	–	21,1	10,8	2,9	–
	II-я	14,1	4,1	14,5	–	49,2	12,8	4,8	–
	III-я	14,0	24,3	15,7	–	20,5	12,4	0,0	–
	Ср., ∑	12,7	11,7	12,9	14,0	90,8	12,0	7,7	66,0
Июнь	I-я	16,7	6,5	15,4	–	8,6	17,6	0,0	–
	II-я	19,1	11,0	17,5	–	14,6	18	29,6	–
	III-я	22,8	1,5	18,8	–	4,8	20,7	54,8	–
	Ср., ∑	19,5	6,3	17,2	18,2	28,0	18,8	84,4	79,0
Июль	I-я	22,1	14,0	19,3	–	103,6	19,9	15,0	–
	II-я	24,8	32,8	19,4	–	9,0	16,3	22,8	–
	III-я	21,0	13,5	18,0	–	15,0	19,2	108,2	–
	Ср., ∑	22,6	20,1	18,9	19,3	127,6	18,5	146,0	78,0
Август	I-я	18,1	14,3	19,7	–	43,7	19,7	32,1	–
	II-я	18,5	3,9	21,7	–	10,2	22,1	0,0	–
	III-я	14,6	0,0	20,4	–	65,7	21,0	26,3	–
	Ср., ∑	17,1	6,1	20,6	18,8	119,6	20,9	58,4	62,0
Сентябрь	I-я	11,6	10,7	15,2	–	3,8	8,0	0,0	–
	II-я	12,7	10,8	16,3	–	28,0	39,6	15,0	–
	III-я	9,1	9,6	16,4	–	24,8	14,5	14,0	–
	Ср., ∑	11,1	10,4	16,0	12,5	56,6	13,2	12,3	82,1
Ср., ∑ (апрель – сентябрь)		14,9	10,1	15,8	15,2	462,9	100,5	367,4	402,1

### Результаты исследований и их обсуждение

В период вегетации озимых зерновых культур осуществлялись внекорневые подкормки микроудобрениями и биологически активными веществами в следующих дозах: АДОБ Профит – 2 кг/га; Экогум Мп – 1 л/га; Экогум Си – 1 л/га; МикроСтим В – 1 л/га; Экогум ФК – 1 л/га; Экогум Комплекс – 1 л/га; Экогум ПМКТ\* Р – 2 л/га; Экогум ПМКТ К – 2 л/га; Экосил – 0,1 л/га. Сроки внесения микроудобрений приведены в табл. 2–7.

Учет урожайности озимой тритикале показал, что в среднем за 3 года внесение как АДОБ Профит в фазы кущения и выхода в трубку, так и композиции Экогум Мп + Экогум Си + МикроСтим В в период колошения тритикале (вариант 4; далее – вар.) обеспечило получение урожайности 54,7 ц/га (табл. 2). Следует отметить, что сокращение числа обработок при переносе внесения Экогума Мп + Экогума Си + МикроСтима В в фазу кущения (вар. 5) или при выходе в трубку не повышало урожайности тритикале и даже снижало ее (вар. 6). Только дополнительное внесение в фазу колошения микроудобрений Экогум Мп + Экогум Си + МикроСтим В (вар. 7) увеличивало урожайность культуры до 54,1 ц/га. При внесении Экогума Мп + Экогума Си + МикроСтима В в фазу кущения (вар. 5) число обработок было минимальным, а прибавка урожайности составила 34,8 % за счет увеличения массы 1000

зерен (39,5 г), длины колоса (9,7 см), числа зерен в колосе (45,1 шт.).

Внесение композиций Экогум ФК, Экогум Комплекс, Экогум ПМКТ Р и Экогум ПМКТ К в разные фазы онтогенеза озимой тритикале незначительно повышало урожайность зерна по сравнению с вариантами, включающими АДОБ Профит: она составила 36,1–49,7 ц/га (табл. 3). Внесение Экогума ФК + Экогума Комплекс в фазы кущения и выхода в трубку (вар. 3) позволило сформировать более высокую урожайность озимой тритикале (49,7 ц/га) за счет увеличения длины колоса (до 10,2 см) и количества зерен в нем (46,7 шт.).

Комплексное внесение различных микроудобрений с Экосилом обеспечивало получение урожайности озимой тритикале 49,8–59,7 ц/га; прибавки составили 11,2–21,1 ц/га, или 29,0–54,7 % к контролю (табл. 4). Максимальная биологическая урожайность зерна озимой тритикале в среднем за 3 года получена при обработке посева в фазу кущения и выхода в трубку Экосилом + Экогумом ФК + Экогумом Комплекс; в фазу колошения – Экосилом + Экогумом Комплекс – 59,7 ц/га (вар. 7). Прибавка урожайности к контролю от внесения микроудобрений достигла 21,1 ц/га, или 54,7 %. В этом варианте масса 1000 зерен составила 38,9 г.

Таблица 2. Влияние комплексного внесения микроудобрений с АДОБ Профит на урожайность зерна и структуру урожая озимой тритикале, ц/га

№ вариантов	Удобрение, фаза растения	Урожайность, ц/га	$m_{1000}$ зерен, г	Длина колоса, см	Кол-во зерен в колосе, шт.	± прибавка урожайности	
						ц/га	%
1	Без обработки – контроль	38,6	37,0	9,8	45,0	–	–
2	АДОБ Профит (кущение)	42,1	39,4	8,9	43,4	3,5	9,0
3	АДОБ Профит (кущение и выход в трубку)	46,3	34,3	9,1	41,9	7,7	20,0
4	АДОБ Профит (кущение и выход в трубку) + Экогум Мп + Экогум Си + МикроСтим В (колошение)	54,7	36,9	8,9	43,5	16,1	41,8
5	АДОБ Профит + Экогум Мп + Экогум Си + МикроСтим В (кущение)	52,0	39,5	9,7	45,1	13,4	34,8
6	АДОБ Профит + Экогум Мп + Экогум Си + МикроСтим В (кущение и выход в трубку)	41,5	39,5	9,2	43,3	2,9	7,5
7	АДОБ Профит + Экогум Мп + Экогум Си + МикроСтим В (кущение и выход в трубку) + Экогум Мп + Экогум Си + МикроСтим В (колошение)	54,1	37,6	9,1	43,3	15,5	40,1

\*ПМКТ – полиметаллический концентрат торфа.

Таблица 3. Влияние комплексного внесения микроудобрений с Экогумом и Экогумом ПМКТ на урожайность зерна и структуру урожая озимой тритикале, ц/га

№ вариантов	Удобрение, фаза растения	Урожайность, ц/га	$m_{1000}$ зерен, г	Длина колоса, см	Кол-во зерен в колосе, шт.	± прибавка урожайности	
						ц/га	%
1	Без обработки – контроль	38,6	37,0	9,8	45,0	–	–
2	Экогум ФК + Экогум Комплекс (кущение)	46,3	38,5	9,2	43,9	7,7	19,9
3	Экогум ФК + Экогум Комплекс (кущение и выход в трубку)	49,7	37,9	10,2	46,7	11,1	28,7
4	Экогум ФК + Экогум Комплекс (кущение и выход в трубку) + Экогум Комплекс (колошение)	47,7	39,2	9,3	46,4	9,1	23,4
5	Экогум ПМКТ Р + Экогум ПМКТ К + Экогум Комплекс (кущение)	36,1	36,2	9,4	42,2	–2,5	–6,4
6	Экогум ПМКТ Р + Экогум ПМКТ К + Экогум Комплекс (кущение и выход в трубку)	46,1	35,7	9,3	44,1	7,5	19,4
7	Экогум ПМКТ Р + Экогум ПМКТ К + Экогум Комплекс (кущение и выход в трубку) + Экогум Комплекс (колошение)	47,7	37,4	9,3	44,2	9,1	23,5

Таблица 4. Влияние комплексного внесения микроудобрений с Экосилом на урожайность зерна и структуру урожая озимой тритикале, ц/га

№ вариантов	Удобрение, фаза растения	Урожайность, ц/га	$m_{1000}$ зерен, г	Длина колоса, см	Кол-во зерен в колосе, шт.	± прибавка урожайности	
						ц/га	%
1	Без обработки – контроль	38,6	37,0	9,8	45,0	–	–
2	Экосил + АДОБ Профит + Экогум Мп + Экогум Си + МикроСтим В (кущение)	54,5	36,3	9,3	42,7	15,9	41,1
3	Экосил + АДОБ Профит + Экогум Мп + Экогум Си + МикроСтим В (кущение и выход в трубку)	52,4	35,8	10,1	45,2	13,8	35,9
4	Экосил + АДОБ Профит + Экогум Мп + Экогум Си + МикроСтим В (кущение и выход в трубку) + Экосил + Экогум Мп + Экогум Си + МикроСтим В (колошение)	55,9	38,9	9,2	40,6	17,3	44,7
5	Экосил + Экогум ФК + Экогум Комплекс (кущение)	54,3	38,6	10,1	45,0	15,7	40,6
6	Экосил + Экогум ФК + Экогум Комплекс (кущение и выход в трубку)	51,5	38,5	9,2	46,6	12,9	33,5
7	Экосил + Экогум ФК + Экогум Комплекс (кущение и выход в трубку) + Экосил + Экогум Комплекс (колошение)	59,7	38,9	9,5	41,4	21,1	54,7
8	Экосил + Экогум ПМКТ Р + Экогум ПМКТ К + Экогум Комплекс (кущение)	49,8	39,0	8,6	44,4	11,2	29,0
9	Экосил + Экогум ПМКТ Р + Экогум ПМКТ К + Экогум Комплекс (кущение и выход в трубку)	52,9	37,0	9,3	42,3	14,3	37,0
10	Экосил + Экогум ПМКТ Р + Экогум ПМКТ К + Экогум Комплекс (кущение и выход в трубку) + Экосил + Экогум Комплекс (колошение)	59,0	39,7	9,9	47,7	20,4	52,7

Таблица 5. Влияние комплексного внесения микроудобрений с АДОБ Профит на урожайность зерна и структуру урожая озимой ржи Алькора на торфяной почве, ц/га

№ вариантов	Удобрение, фаза растения	Урожайность, ц/га	$m_{1000}$ зерен, г	Длина колоса, см	Кол-во зерен в колосе, шт.	± прибавка урожайности	
						ц/га	%
1	Без обработки – контроль	42,1	36,1	8,7	47,3	–	–
2	АДОБ Профит (кущение)	43,3	33,6	8,9	46,3	4,7	12,2
3	АДОБ Профит (кущение и выход в трубку)	42,9	33,7	9,0	42,3	4,3	11,2
4	АДОБ Профит (кущение и выход в трубку) + Экогум Мп + Экогум Си + + МикроСтим В (колошение)	48,1	33,2	9,1	41,4	9,5	24,7
5	АДОБ Профит + Экогум Мп + + Экогум Си + МикроСтим В (кущение)	37,1	30,8	8,9	42,2	–1,5	–3,8
6	АДОБ Профит + Экогум Мп + + Экогум Си + МикроСтим В (кущение и выход в трубку)	48,8	31,1	9,2	45,3	10,2	26,5
7	АДОБ Профит + Экогум Мп + + Экогум Си + МикроСтим В (кущение и выход в трубку) + + Экогум Мп + Экогум Си + + МикроСтим В (колошение)	49,9	32,7	9,1	42,5	11,3	29,3

Таблица 6. Влияние комплексного внесения микроудобрений с Экогумом и Экогумом ПМКТ на урожайность зерна и структуру урожая озимой ржи, ц/га

№ вариантов	Удобрение, фаза растения	Урожайность, ц/га	$m_{1000}$ зерен, г	Длина колоса, см	Кол-во зерен в колосе, шт.	± прибавка урожайности	
						ц/га	%
1	Без обработки – контроль	42,1	36,1	8,7	47,3	–	–
2	Экогум ФК + Экогум Комплекс (кущение)	33,1	30,3	9,1	44,3	–5,5	–14,3
3	Экогум ФК + Экогум Комплекс (кущение и выход в трубку)	35,0	31,5	9,7	44,6	–3,6	–9,4
4	Экогум ФК + Экогум Комплекс (кущение и выход в трубку) + Экогум Комплекс (колошение)	50,3	35,1	9,7	49,3	11,7	30,4
5	Экогум ПМКТ Р + Экогум ПМКТ К + + Экогум Комплекс (кущение)	46,7	31,2	9,0	44,9	8,1	21,1
6	Экогум ПМКТ Р + Экогум ПМКТ К + + Экогум Комплекс (кущение и выход в трубку)	46,2	30,7	9,6	42,3	7,6	19,6
7	Экогум ПМКТ Р + Экогум ПМКТ К + + Экогум Комплекс (кущение и выход в трубку) + Экогум Комплекс (колошение)	48,5	33,2	9,6	49,5	9,9	25,6

При обработке озимой тритикале в фазу кущения и выхода в трубку Экосилом + ПМКТ Р + ПМКТ К + Экогумом Комплекс и в фазу колошения Экосилом + Экогумом Комплекс (вар. 10) также была получена высокая урожайность зерна: 59,0 ц/га (прибавка 52,7 %). При внесении этой композиции длина колоса культуры достигла 47,7 см. Можно заметить, что применение Экосила в композициях с другими микроэлементами обеспечивало довольно высокую прибавку урожайности и в других вариантах (29,0–54,7 %). Поэтому для получения ощутимой прибавки в фазу кущения можно внести композицию Экосил + АДОб Профит + Экогум Мп + Экогум Си + МикроСтим В (вар. 2), при которой урожайность зерна озимой тритикале составит 54,5 ц/га и прибавка относительно контроля 41,1 %.

Учет урожайности озимой ржи Алькора показал (табл. 5), что внесение микроудобрений с АДОб Профит + Экогумом Мп + Экогумом Си + МикроСтимом В в фазу кущения и выхода в трубку (вар. 6) увеличило ее в среднем за 3 года до 48,8 ц/га, или на 26,5 %. В этом варианте длина колоса составила 9,2 см (на 5,7 % больше, чем на контроле). Дополнительное внесение Экогума Мп + Экогума Си + МикроСtima В в фазу колошения культуры (вар. 7) повышало урожайность зерна ржи незначительно – до 49,9 ц/га (прибавка – 29,3 %).

Внесение микроудобрений с Экогумом ФК + Экогумом Комплекс в фазы кущения (вар. 2) и кущения и трубкавания (вар. 3) снижало урожайность зерна озимой ржи на 14,3 и 9,4 % соответственно. Дополнительное внесение Экогума Комплекс в фазу колошения (вар. 4) увеличивало урожайность культуры до 50,3 ц/га, прибавка составила 11,7 ц/га, или 30,4 % к контролю (табл. 6). Повышение урожайности обеспечивалось за счет увеличения количества зерен в колосе до 49,3 шт., или на 4,2 % больше, чем на контроле (47,3 шт.). Следует отметить, что внесение Экогума ПМКТ Р + Экогума ПМКТ К + Экогума Комплекс в фазы кущения (вар. 5), кущения и выхода в трубку (вар. 6) или кущения, выхода в трубку и колошения (вар. 7) не привело к дальнейшему росту урожайности ржи, хотя и обеспечило

получение прибавки урожайности к контролю (19,6–25,6 %) в основном за счет увеличения длины колоса на 3,4–10,3 %.

Максимальная урожайность озимой ржи при комплексном внесении микроудобрений с Экосилом (табл. 7) была получена при внесении Экосила + АДОб Профит + Экогума Мп + Экогума Си + МикроСtima В (фазы кущения и выходы в трубку) + Экосила + Экогума Мп + Экогума Си + МикроСtima В в фазу колошения (вар. 4) и составила 14,8 ц/га (38,4 %). При однократном внесении в фазу кущения Экосила + АДОб Профит + Экогума Мп + Экогума Си + МикроСtima В (вар. 2) урожайность тоже была высокой и составила 51,4 ц/га, прибавка к контролю – 33,2 %. Прибавка урожайности обеспечивалась за счет увеличения длины колоса, которая составила 9,2 см, или на 5,7 % больше, чем на контроле.

Анализ эффективности внесения микроудобрений под озимую тритикале по прямым затратам (стоимость микроудобрений + расходы на внесение) показал, что стоимость прибавок ее урожайности вследствие внесения микроудобрений с АДОб Профит находилась в диапазоне 37,5–439,7 руб/га, а от внесения микроудобрений с Экогумом и Экогумом ПМКТ – 152,4–390,7 руб/га. У озимой ржи эти показатели равны соответственно 117,7–268,3 руб/га и 288,1–284,4 руб/га. При внесении микроудобрений с Экосилом под озимую тритикале стоимость прибавок урожайности была выше, чем в других вариантах, и составила 392,0–726,3 руб/га (рис. 1).

Максимальная стоимость прибавок урожайности озимой тритикале отмечена после применения микроудобрений Экосил + Экогум ФК + Экогум Комплекс (кущение и выход в трубку) + Экосил + Экогум Комплекс (в фазу колошения) – 726,3 руб/га.

Внесение микроудобрений с Экосилом под озимую рожь обеспечило стоимость прибавок урожайности от 127,5 до 366,4 руб/га (рис. 2). Более высокая стоимость прибавок урожайности зерна озимой ржи (366,4 руб/га) была получена при внесении в фазу кущения микроудобрений Экосил + Адоб Профит + Экогум Мп + Экогум Си + МикроСтим В (вар. 2).

Таблица 7. Влияние комплексного внесения микроудобрений с Экосилом на урожайность зерна и структуру урожая озимой ржи, ц/га

№ вариантов	Удобрение, фаза растения	Урожайность, ц/га	$m_{1000}$ зерен, г	Длина колоса, см	Кол-во зерен в колосе, шт.	± прибавка урожайности	
						ц/га	%
1	Без обработки – контроль	42,1	36,1	8,7	47,3	–	–
2	Экосил + АДОБ Профит + Экогум Мп + + Экогум Си + МикроСтим В (кущение)	51,4	31,3	9,2	43,5	12,8	33,2
3	Экосил + АДОБ Профит + Экогум Мп + + Экогум Си + МикроСтим В (кущение и выход в трубку)	38,9	29,8	8,7	43,0	0,3	0,9
4	Экосил + АДОБ Профит + Экогум Мп + Экогум Си + МикроСтим В (кущение и выход в трубку) + Экосил + + Экогум Мп + Экогум Си + МикроСтим В (колошение)	53,4	34,5	8,9	44,9	14,8	38,4
5	Экосил + Экогум ФК + Экогум Комплекс (кущение)	43,3	31,7	9,0	43,3	4,7	12,3
6	Экосил + Экогум ФК + Экогум Комплекс (кущение и выход в трубку)	40,7	30,6	8,7	42,4	2,1	5,4
7	Экосил + Экогум ФК + Экогум Комплекс (кущение и выход в трубку) + Экосил + + Экогум Комплекс (колошение)	52,3	32,0	8,8	43,1	13,7	35,4
8	Экосил + Экогум ПМКТ Р + Экогум ПМКТ К + Экогум Комплекс (кущение)	42,2	33,5	8,9	46,8	3,6	9,3
9	Экосил + Экогум ПМКТ Р + Экогум ПМКТ К + Экогум Комплекс (кущение и выход в трубку)	44,0	33,2	8,7	43,7	5,4	13,9
10	Экосил + ПМКТ Р + ПМКТ К + Экогум Комплекс (кущение и выход в трубку) + + Экосил + Экогум Комплекс (колошение)	50,8	33,6	9,5	48,1	12,2	31,7

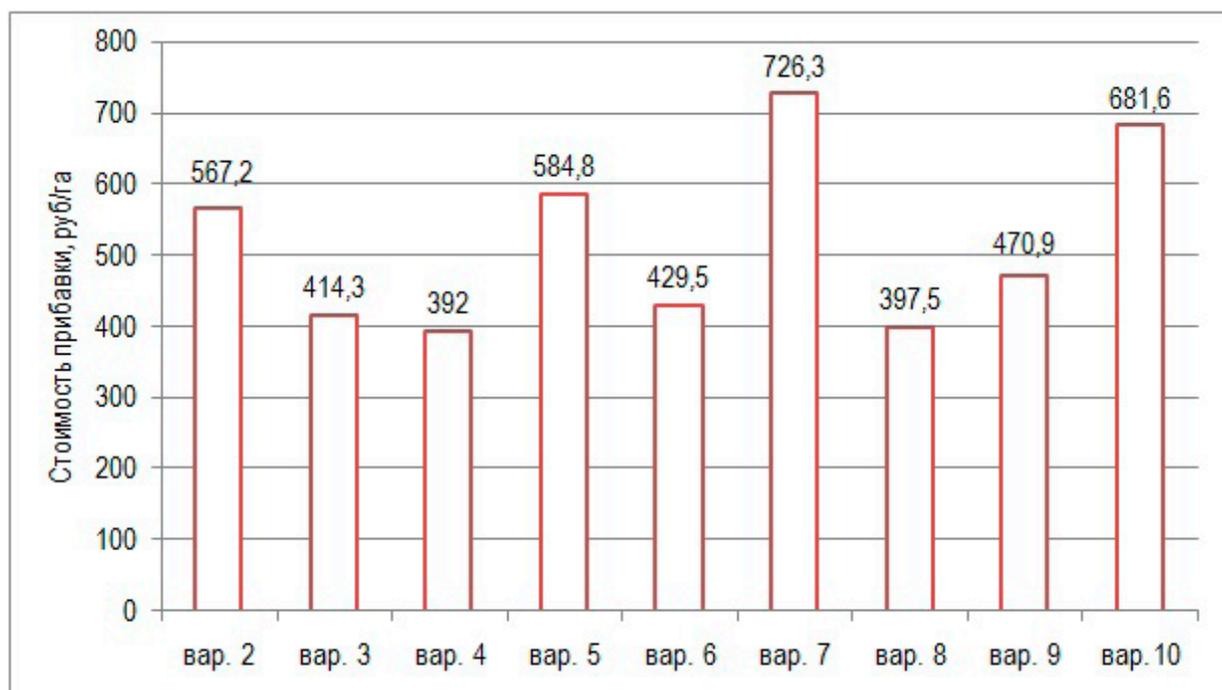


Рис. 1. Стоимость прибавок урожайности озимой тритикале от внесения микроудобрений с Экосилом, руб/га

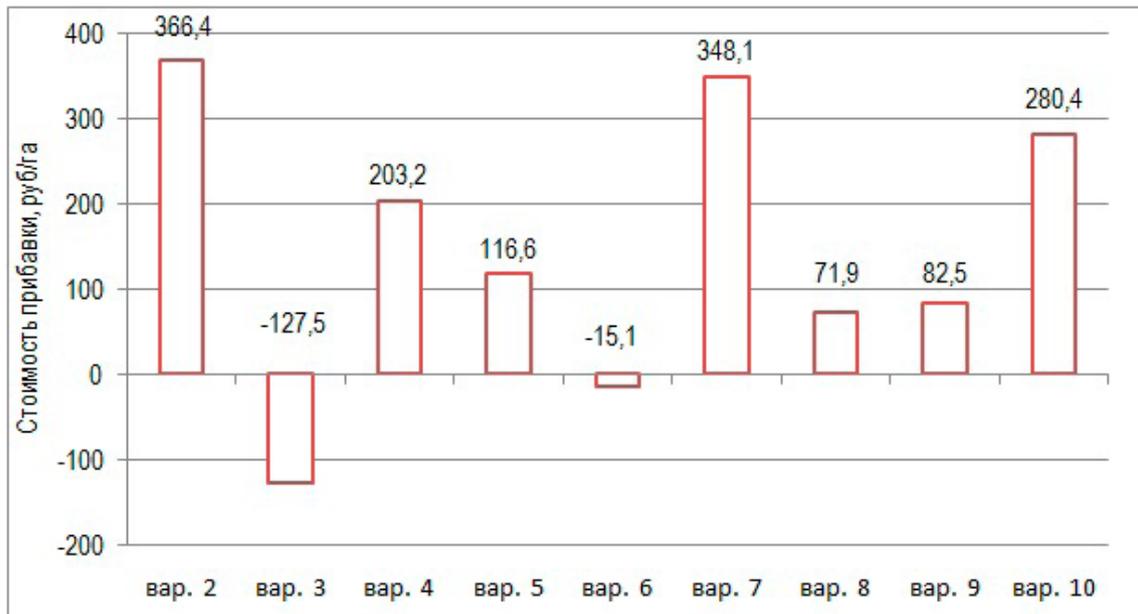


Рис. 2. Стоимость прибавки урожайности озимой ржи от внесения микроудобрений с Экосилом, руб/га

### Заключение

Озимая тритикале Импульс на антропогенно-преобразованной торфяной почве при двукратном внесении удобрений Экосил, 0,1 л/га + Экогум ФК, 1 л/га + Экогум Комплекс, 1 л/га в фазы кущения и выхода в трубку + Экосил, 0,1 л/га + Экогум Комплекс, 1 л/га в фазу колошения обеспечивала сбор зерна 59,7 ц/га, прибавку урожайности 21,1 ц/га (или 726,3 руб/га).

Озимая рожь Алькора на антропогенно-преобразованной торфяной почве в среднем за 3 года сформировала урожайность 51,4 ц/га, а внесение Экосила + АДОБ Профит + Экогума Мп + Экогума Си + МикроСtima В в фазу кущения позволило получить прибавку урожайности 12,8 ц/га (или 366,4 руб/га).

### Библиографический список

1. Почвы Республики Беларусь / В. В. Лапа [и др.]; под ред. В. В. Лапы. – Минск : ИВЦ Минфина, 2019. – 632 с.
2. Семененко, Н. Н. Возделывание озимых зерновых культур на торфяных и антропогенно-преобразованных торфяных почвах / Н. Н. Семененко, А. С. Мееровский // Организационно-технические нормативы возделывания кормовых и технических культур : сб. отрасл. регламентов / Нац. акад. наук Беларуси, Науч.-практ. центр по земледелию ; рук. разработки Ф. И. Привалов [и др.]; под общ. ред. В. Г. Гусакова, Ф. И. Привалова. – Минск : Беларус. навука, 2012. – С. 224–233.

Поступила 23 сентября 2024 г.

## ПОЛОСНЫЕ ПОСЕВЫ ЛЮЦЕРНЫ И ЗЛАКОВЫХ ТРАВ НА АНТРОПОГЕННО-ПРЕОБРАЗОВАННЫХ ТОРФЯНЫХ ПОЧВАХ

**А. Л. Бирюкович**, кандидат сельскохозяйственных наук

**О. В. Пташец**, кандидат сельскохозяйственных наук

**Т. Г. Свиридович**, кандидат технических наук

**В. Н. Филиппов**, кандидат сельскохозяйственных наук

**А. А. Рыбченко**, научный сотрудник

РУП «Институт мелиорации», г. Минск, Беларусь

### Аннотация

На антропогенно-преобразованных торфяных почвах полосные посевы люцерны и травосмеси из костреча безостого, фестулолиума, райграса пастбищного и тимopheевки при ширине полос 6 м люцерны + 12 м злаков при внесении  $N_{120}P_{60}K_{120}$  сформировали за три укоса урожайность злаковых трав 54,6 ц/га и люцерны посевной 48,7 ц/га сухой массы. При ширине полос 12 м урожайность злаков была выше на 22,4 %, чем при ширине 6 м. Коэффициент детерминации  $R^2$  между урожайностью и шириной полос посева у люцерны посевной составил 0,95, а у злаковой травосмеси – 0,69. Полосный посев с размещением 6 м люцерны + 12 м злаков увеличил в 1,6 раза сбор сырого протеина с 1 гектара.

**Ключевые слова:** полосные посевы, антропогенно-преобразованные торфяные почвы, люцерна, злаковый травостой, удобрения, коэффициент детерминации.

### Abstract

**A. L. Biryukovich, O. V. Ptashets, T. G. Sviridovich, V. N. Filippov, A. A. Rybchenko**

### STRIP CROPS OF ALFALFA AND CEREAL GRASSES ON ANTHROPOGENICALLY TRANSFORMED PEAT SOILS

On anthropogenically transformed peat soils, strip sowings of alfalfa and a grass mixture of awnless brome, festulolium, perennial ryegrass and timothy with a strip width of 6 m alfalfa + 12 m grass with application of  $N_{120}P_{60}K_{120}$  in three cuttings formed a yield of cereal grasses of 54.6 c/ha and alfalfa 48.7 c/ha of dry weight. With a strip width of 12 m, the grass yield was 22.4% higher than with a width of 6 m. The determination coefficient  $R^2$  between the yield and the width of the sowing strips for alfalfa was 0.95, and for the cereal grass mixture – 0.69. Strip sowing with a crop placement of 6 m alfalfa + 12 m grass increased the yield of crude protein per hectare by 1.6 times.

**Keywords:** strip crops, anthropogenically transformed peat soils, alfalfa, grass stand, fertilizers, coefficient of determination.

### Введение

Для дальнейшего развития животноводства в Беларуси большое значение приобретает создание высокопродуктивной и устойчивой кормовой базы, источниками которой являются зерновое хозяйство, полевое и луговое травосеяние. Ежегодно производство кормов на условную голову животных должно достигать не менее 4500–5000 к. ед. и 4–5 ц переваримого протеина. Основу травосеяния в нашей стране составляют посевы многолетних бобовых и злаковых трав на мелиорированных землях, которые занимают 30 % всех сельскохозяйственных земель страны.

В регионе Полесья около 0,3 млн га антропогенно-преобразованных торфяных почв характеризуются неудовлетворительным водным режимом. Потепление климата и связанные с этим длительные бездождные периоды еще в большей степени усугубляют эту ситуацию. В результате в этом регионе, особенно на почвах с содержанием органического вещества 20–50 %, приоритет отдается люцерне, а посевные площади злаковых трав уменьшаются, вследствие чего в травяных кормах наблюдается дисбаланс содержания белка и углеводов.

Для того чтобы решить проблему содержания белка в силосе, ряд российских исследователей предлагает совместное выращивание углеводистых и белковых культур в полосных посевах сои с кукурузой или с сорго [1], гороха с ячменем или суданской травой [2]. Кроме того, в таких посевах, в отличие от травосме-

сей, отсутствует межвидовая конкуренция, что позволяет каждому из компонентов полноценно реализовать свой потенциал. Кроме того, люцерна в первый год жизни из-за медленного роста обладает слабой ценотической активностью по отношению как к сорнякам, так и покровной культуре.

### Методика и условия проведения исследований

Полевые исследования проводились в 2021–2023 гг. в КСУП «Полесская опытная станция» (Лунинецкий р-н Брестской обл.) на антропогенно-преобразованной торфяной почве, подстилаемой песком с глубины 25–45 см.

Агрохимическая характеристика почвы: содержание органического вещества (ОВ) – 11 %, подвижных форм (в 0,2 М HCl)  $P_2O_5$  – 302 мг/кг и  $K_2O$  – 57 мг/кг почвы, Cu – 1,38 мг/кг, Zn – 5,86 мг/кг, Mn – 17,52 мг/кг, B – 2,61 мг/кг почвы, pH в KCl – 6,2. Площадь делянок 48,7 и 96,0 м<sup>2</sup>. Повторность трехкратная. Весной 2021 г. участок произвесткован доломитовой мукой (5,3 т/га). Предшественник – кукуруза.

При помощи сеялки СПУ-6 13 мая 2021 г. был проведен посев трав: люцерны посевной Эзелина, 24 кг/га; злаковой травосмеси (кострец безостый Моршанский 760, фестулолиум Пуня, райграс пастбищный Пашавы, тимофеевка луговая Волна), 16 кг/га. Злаковую травосмесь высевали под покров райграса однолетнего Изорский, 25 кг/га. Травы сеяли со следующей шириной полос: 6 м люцерны

+ 6 м злаков; 6 м люцерны + 12 м злаков; 12 м люцерны + 12 м злаков.

На третий день после посева полосы люцерны посевной обработали почвенным гербицидом Пульсар ВР, 1 л/га. В первый год жизни трав (далее – г. ж.) удобрения внесли после первого укоса в дозе  $N_{60}P_{30}K_{60}$ , после второго –  $P_{30}K_{60}$  (на люцерне),  $N_{60}P_{30}K_{60}$  (на злаковом травостое). На 2–3-й г. ж. удобрения  $P_{30}K_{60}$  вносили весной, а азотные – дробно перед укосом. Использование трав – трехукосное.

В годы исследований среднесуточные температуры воздуха вегетационных периодов были близки к среднегодовым показателям (рис. 1). Минимальные температуры воздуха были положительными; неблагоприятного влияния заморозков, которые могут отмечаться на торфяниках, не наблюдалось.

Среднемесячный уровень грунтовых вод (УГВ) в 2021 г. (первый г. ж. трав) находился в пределах 99–144 см, в 2022 г. – 129–180 см, в 2023 г. (третий г. ж.) в среднем за вегетацию трав – 120 см.

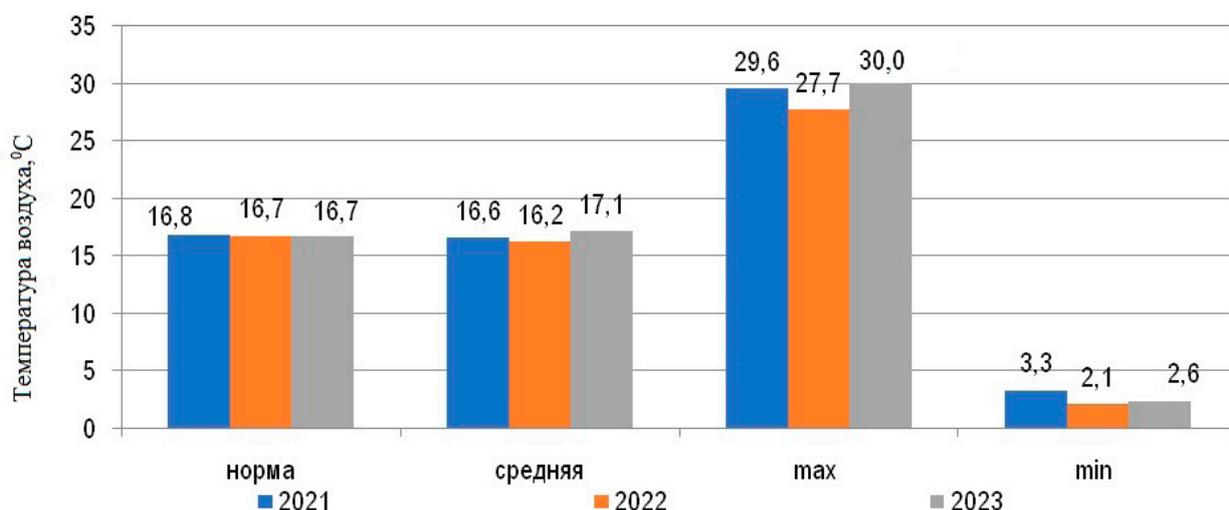


Рис. 1. Среднесуточные температуры воздуха в вегетационные периоды 2021–2023 гг., °C

### Результаты исследований и их обсуждение

В среднем за три года более высокую урожайность злакового травостоя (43,4 ц/га сухой массы) без внесения удобрений ( $N_0P_0K_0$ ) сформировали посевы с шириной полос 6 м люцерны + 12 м злаков (табл. 1). Внесение минеральных удобрений увеличило сбор сухой массы злаковых травостоя, и прибавка от их внесения в среднем составила 18,3–28,5 %. Внесение  $N_{120}P_{20}K_{40}$  повысило урожайность злаковых трав до 43,9–54,6 ц/га сухой массы, причем при посеве трав с указанной шириной полос для люцерны и злаков она была максимальной – 54,6 ц/га сухой массы. В среднем по опыту урожайность злаков при ширине 12 м была выше, чем при 6 м на 22,4 %.

Люцерна без внесения удобрений ( $N_0P_0K_0$ ) так же, как и злаки, в среднем за три года сформировала более высокую урожайность (44,2 ц/га сухой массы) в варианте 6 м люцерны + 12 м злаков (табл. 2). Внесение минеральных удобрений незначительно повышало ее урожайность, и прибавка от их внесения в среднем составила 4,2–8,4 %. Следует отметить, что применение удобрений в дозе  $N_{120}P_{60}K_{120}$  дало прибавку чуть выше (5,9–12,6 %), чем при более низких дозах.

Урожайность люцерны в большей степени, чем злаковая травосмесь, зависела от ширины полосы посева. Так, без внесения удобрений коэффициент детерминации  $R^2$  между урожайностью сухой массы злаков и шириной полосы их посева составил 0,69 (рис. 2), а у люцерны посевной – 0,95 (рис. 3), что указывает на их более тесную взаимосвязь. При внесении удобрений теснота связи между урожайностью и шириной полос посева злаков увеличивалась ( $R^2 = 0,80$ ), а люцерны практически не изменялась ( $R^2 = 0,98$ ).

В засушливых условиях абсолютная влажность торфяной почвы в слое 0–30 см перед первым укосом под травостоями третьего г. ж. в среднем была в 1,1 раза выше, чем второго г. ж., что выражалось следующим образом:  $y = 15,71x^{0,159}$ ;  $R^2 = 0,81$ .

С увеличением доз удобрений доля костреца безостого в злаковой травосмеси повышалась, фестулолиума – уменьшалась; связь между содержанием видов в травостое и дозой удобрений выражалась у костреца безостого так:  $y = 12,08x^{0,757}$ ;  $R^2 = 0,84$ ; у фестулолиума  $y = -3,175x^2 + 5,285x + 56,62$ ;  $R^2 = 0,69$ .

Таблица 1. Урожайность злакового травостоя в полосных посевах в зависимости от доз минеральных удобрений и ширины полос, ц/га сухой массы

Удобрение	Ширина полос, м				± прибавка от удобрений, %			
	6 + 6*	12 + 6*	6 + 12*	12 + 12*	6 + 6 м	12 + 6 м	6 + 12 м	12 + 12 м
$N_0P_0K_0$	33,1	33,9	43,4	40,2	–	–	–	–
$N_0P_{60}K_{120}$	41,1	41,9	46,7	49,0	24,2	23,6	7,6	21,9
$N_{60}P_{60}K_{120}$	40,1	41,7	52,7	53,6	21,1	23,0	21,4	33,3
$N_{120}P_{60}K_{120}$	44,8	43,9	54,6	52,4	35,3	29,5	25,8	30,3
Среднее	39,8	40,4	49,4	48,8	26,9	25,4	18,3	28,5

П р и м е ч а н и е. \*Ширина полос злаков.

Таблица 2. Урожайность люцерны посевной в полосных посевах в зависимости от доз минеральных удобрений и ширины полос, ц/га сухой массы

Удобрение	Ширина полос, м				± прибавка от удобрений, %			
	6* + 6	12* + 6	6* + 12	12* + 12	6 + 6 м	12 + 6 м	6 + 12 м	12 + 12 м
$N_0P_0K_0$	39,0	42,0	44,2	41,9	–	–	–	–
$N_0P_{60}K_{120}$	39,2	44,4	47,3	45,0	0,5	5,7	7,0	7,4
$N_{60}P_{60}K_{120}$	41,4	44,4	47,4	44,3	6,2	5,7	7,2	5,7
$N_{120}P_{60}K_{120}$	41,3	47,3	48,7	47,0	5,9	12,6	10,2	12,2
Среднее	40,2	44,5	46,9	44,6	4,2	8,0	8,1	8,4

П р и м е ч а н и е. \*Ширина полос люцерны.

Урожайность злакового травостоя в первом укосе была в 1,5 раза выше, чем люцерны, что необходимо учитывать при закладке сенажа.

Определение содержания ОБ в почве на третий г. ж. люцерны посевной показало, что внесение удобрений снижало его количество. Причем если внесение фосфорно-калийных

удобрений уменьшало величину ОБ с 14,2 до 8,7 % (то есть в 1,6 раза), то азотных – до 6,1–6,7 %, или в 2,1–2,3 раза (рис. 4). Следует отметить, что увеличение дозы азотных удобрений с  $N_{60}$  до  $N_{120}$  меняло содержание ОБ незначительно. При возделывании злаковой травосмеси при внесении  $N_{120}P_{60}K_{120}$  величина ОБ составила 11,7 %.

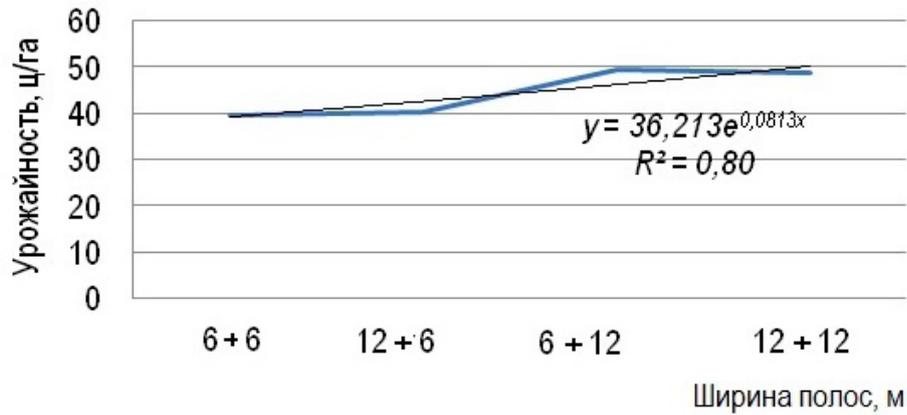


Рис. 2. Зависимость урожайности злакового травостоя от ширины полос, ц/га сухой массы

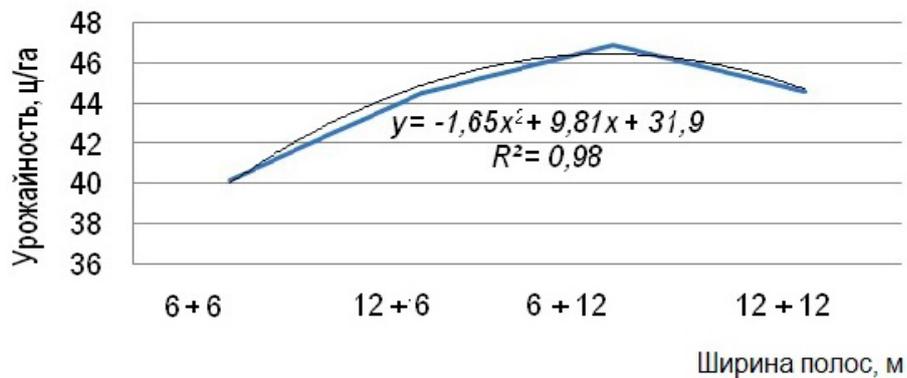


Рис. 3. Зависимость урожайности люцерны посевной от ширины полос, ц/га сухой массы

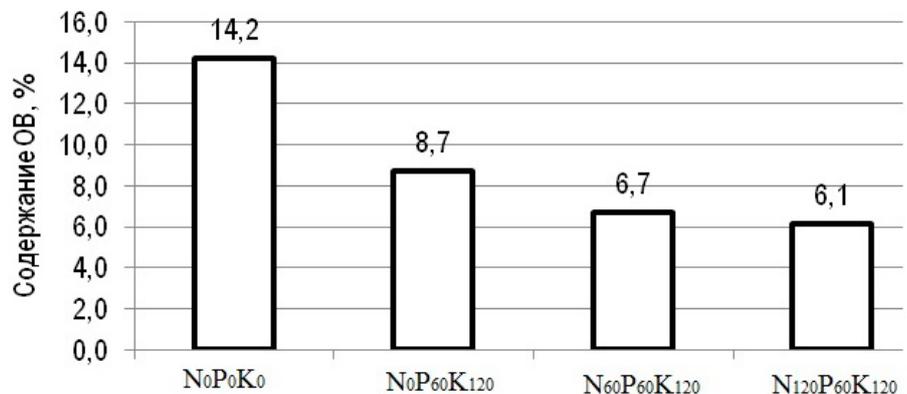


Рис. 4. Содержание ОБ в почве при внесении удобрений на люцерне 3 г. ж., %

Учет ботанического состава показал, что на третий г. ж. люцерна в первом укосе составила 66,7–80,4 % урожая. Несеянные виды были представлены дремой белой (*Lychnis alba* Mill.) – 7,5–16,8 %, фиалкой полевой (*Viola arvensis* Murr.) – 3,4–22,1 %. В третьем укосе доля люцерны в агрофитоценозе практически не изменилась (62,5–96,7 %), а разнотравье было представлено дремой белой (0,0–18,9 %) и марью белой (1,2–18,9 %). Злаковый травостой на 61,4–100 % состоял из сеяных трав, а доля несеянных видов – пикульника обыкновенного (*Galeopsis tetrahit*) и мари белой (*Chenopodium album*) – соответственно 0,0–2,9 и 0,0–38,6 % урожая.

Согласно биохимическому анализу сухой массы трав при внесении  $N_{40}P_{20}K_{40}$  люцерна содержала 19,1 % сырого протеина, а злаковые травы – 13,7 %.

Расчет затрат на создание полосных посевов люцерны и злаковых трав показал, что по сравнению с базовым вариантом (посев бобово-злаковой травосмеси) затраты были на 41,2 % выше и составили в ценах 2022 г. 1480,11 руб/га (табл. 3), что связано с различной стоимостью семян многолетних трав.

Кроме того, затраты на посев травосмеси были ниже за счет меньшего числа поворотных полос посевного агрегата.

Таблица 3. Расчет затрат на создание полосных посевов из люцерны и злаковой травосмеси (6 м + 6 м) по прямым затратам, руб/га

Операция	Затраты, руб/га	
	базовый вариант	полосный посев
Обработка почвы (лушение стерни, вспашка, культивация, предпосевная обработка, транспортировка, прикатывание)	426,6	426,6
Посев	71,10	78,21
Стоимость семян:	–	–
люцерна посевная	487,65	684,00
кострец безостый		67,20
фестулолиум		72,00
тимфеевка луговая		89,60
райграс однолетний		62,50
Итого	985,35	1480,11

Итак, установлено следующее:

- на антропогенно-преобразованных торфяных почвах с содержанием  $OB < 20\%$  полосные посевы люцерны и злаковой травосмеси (кострец безостый, фестулолиум, райграс пастбищный, тимфеевка луговая) в первый год жизни формировали агрофитоценозы с урожайностью 203–256 ц/га зеленой массы, продуктивностью 9800 к. ед./га, сбором переваримого протеина 133 кг/га и выходом обменной энергии 12,8 ГДж/га;
- антропогенно-преобразованная торфяная почва характеризовалась большой разнообразностью агрохимических показателей: обеспеченность  $P_2O_5$  варьировалась от 167 до 631 мг/кг почвы, а подвижным калием – от 26 до 90 мг/кг, что необходимо учитывать при расчете доз минеральных удобрений;

- при посеве трав с шириной полос 6 м люцерны + 12 м злаков и внесении  $N_{120}P_{20}K_{40}$  урожайность злаковых трав в среднем за 3 года составила при трехукосном использовании 54,6 ц/га сухой массы. В среднем по опыту при ширине полос злаков 12 м их урожайность была выше на 22,4 %, чем при ширине 6 м;

- люцерна посевная в среднем за 3 года сформировала более высокую урожайность (44,2 ц/га сухой массы) при посеве с шириной полос 6 м люцерны + 12 м злаков. Внесение минеральных удобрений повышало урожайность культуры незначительно, и прибавка от этого приема в среднем составила 4,2–8,4 %. Увеличение дозы удобрений до  $N_{120}P_{60}K_{120}$  обеспечило более высокую прибавку, которая составила 5,9–12,6 %;

- коэффициент детерминации между урожайностью сухой массы и шириной полос посева культур был выше у люцерны посевной – 0,95, у злаковой травосмеси – 0,69;
- на третий г. ж. доля люцерны в агрофитоценозе занимала 62,5–96,7 % урожая, а злаковый травостой состоял из сеяных видов на 61,4–100 %;
- полосный посев с размещением культур 6 м люцерны + 12 м злаков позволил увеличить в 1,6 раза сбор сырого протеина с 1 гектара;
- затраты на создание полосных посевов люцерны и злаковых трав (по сравнению с посевом бобово-злаковой травосмеси) были на 41,2 % выше и составили 1480,1 руб/га.

#### Библиографический список

1. Кислицына, А. А. Полосные посевы – эффективное направление в кормопроизводстве / А. А. Кислицына // Кормление сельскохозяйственных животных и кормопроизводство. – 2018. – № 3. – С. 3–7.
2. Способ возделывания однолетних кормовых культур в смешанных посевах в зоне сухих степей / С. А. Мирошниченко [и др.] // Вестн. мясного скотоводства. – 2016. – № 2. – С. 112–117.

Поступила 14 октября 2024 г.

## ВЛИЯНИЕ МИКРОУДОБРЕНИЙ НА СЕМЕННУЮ ПРОДУКТИВНОСТЬ КЛЕВЕРА ГИБРИДНОГО

**А. А. Кравцова**, научный сотрудник

**О. С. Михайлова**, научный сотрудник

РУП «Институт мелиорации», г. Минск, Беларусь

### Аннотация

В статье рассмотрены результаты исследований влияния микроудобрений на структуру семенного посева и урожайность семян клевера гибридного. Максимальная урожайность семян клевера гибридного (2,4 ц/га) без подсева райграса однолетнего в среднем за 2 года была получена после внесения МикроСтива и Нанопланта – Ca-Si; прибавки составили 41,2 %. В совместных посевах с райграсом однолетним наибольшая урожайность 2,6 ц/га отмечена в варианте с микроудобрением Наноплант Ультра; прибавка составила 30,0 %.

**Ключевые слова:** клевер гибридный, райграс однолетний, некорневые подкормки, микроудобрения, элементы структуры урожая, урожайность семян.

### Abstract

**A. A. Krautsova, O. S. Mikhailova**

### INFLUENCE OF MICROFERTILIZERS ON SEED PRODUCTIVITY OF HYBRID CLOVER

The article presents the results of studies of the influence of microfertilizers on the structure of seed sowing and the yield of hybrid clover seeds. The maximum yield of hybrid clover seeds (2.4 c/ha) without underseeding annual ryegrass on average over 2 years was obtained after adding MicroStim and Nanoplant – Ca-Si; the increase was 41.2 %. In joint crops with annual ryegrass, the highest yield of 2.6 c/ha was noted in the variant with Nanoplant Ultra; the increase was 30.0 %.

**Keywords:** hybrid clover, annual ryegrass, foliar top dressing, micro fertilizers, elements of the crop structure, seed yield.

### Введение

В Беларуси высок удельный вес мелиорированных земель, поэтому для республики исключительно перспективно расширение участка в луговых травостоях клевера гибридного (*Trifolium hybridum* L.). Наряду со способностью обеспечивать высокую урожайность, это растение является хорошим предшественником для зерновых и других культур, однако в производстве его площади незначительны.

Один из наиболее существенных факторов, сдерживающих возделывание клевера гибридного, – недостаток семян. Научное обеспечение семеноводства многолетних бобовых трав не в полной мере соответствует требованиям современного экономически эффективного производства. Для повышения продуктивности многолетних бобовых трав необходимо комплексное использование минеральных и микроудобрений [1, 2].

В настоящее время для некорневых подкормок практически всех сельскохозяйственных культур, выращиваемых в нашей стране,

зарегистрировано большое количество различных микроудобрений (в том числе производимых и в Беларуси), например:

1) *МикроСтим – Медь, Цинк, Бор ИС*. Состав: N – 50 г/л; B – 6,1 г/л; Zn – 6,5 г/л; Cu – 7,3 г/л; гуминовые вещества – 0,15-0,6 г/л; это водорастворимый концентрат хелатов меди, цинка и бора, усиленный регулятором роста Гидрогумат, повышает активность антиоксидантной системы клеток, активизирует более 50 ферментов, стимулирует образование ауксина, что заметно увеличивает темпы роста растений [3];

2) *Наноплант – Co, Mn, Cu, Fe, Mo, Zn, Cr, Se. Ультра* – жидкое концентрированное микроудобрение (Co – 0,40 г/л; Mn – 0,40 г/л; Cu – 0,45 г/л; Fe – 0,60 г/л; Mo – 0,45 г/л; Zn – 0,25 г/л; Cr – 0,45 г/л; Se – 0,45 г/л). Действующее вещество Нанопланта – наночастицы соединений микроэлементов, которые обладают свойством сверхпроницаемости через защитные клеточные мембраны растения. Именно это свойство позволяет обеспечивать высочайший биологи-

ческий эффект по сравнению с традиционными микроудобрениями и активаторами роста. Данное микроудобрение увеличивает всхожесть, ускоряет развитие, усиливает защитные функции, снижает заболеваемость растений;

3) *Наноплант – Co, Mn, Cu, Fe, Mo, Zn, Cr, Se, B. Ультра + Бор*. Состав: Co – 0,40 г/л; Mn – 0,40 г/л; Cu – 0,45 г/л; Fe – 0,60 г/л; Mo – 0,45 г/л; Zn – 0,25 г/л; Cr – 0,45 г/л; Se – 0,45 г/л; B – 5,0 г/л. Периодическую внекорневую подкормку посевов Наноплантом проводят в течение всего периода вегетации. При его использовании в несколько раз увеличиваются длина и масса корневой системы, что помогает культурам усваивать гораздо больше питательных веществ из почвы и сократить расход

### Методика исследований

Опыты проводились на территории филиала РУП «Институт мелиорации» Витебской опытной мелиоративной станции (Сенненский р-н, Витебская обл.). Повторность 4-кратная, размещение делянок систематическое, учетная площадь делянки 25 м<sup>2</sup>.

Исследования осуществлялись в двух закладках (посевы 2022 и 2023 гг.).

Почвы – осушенные дерново-подзолистые глееватые связно-супесчаные: рН<sub>KCl</sub> – 5,66–6,67; гумус – 2,29–3,20 %; P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> – 176–450 мг/кг; K<sub>2</sub>O – 196–365 мг/кг; B – 0,53–0,69 мг/кг; Cu – 2,6–3,0 мг/кг; Zn – 2,4–9,0 мг/кг.

*Схема опыта.*

Фактор А – удобрения: 1) N<sub>0</sub>P<sub>0</sub>K<sub>0</sub> (контроль); 2) P<sub>40</sub>K<sub>60</sub> (фон); 3) фон + N<sub>30</sub>; 4) фон + МикроСтим; 5) фон + Наноплант Ультра; 6) фон + Наноплант Ультра + Бор; 7) фон + Наноплант – Ca-Si.

### Результаты исследований и их обсуждение

В 2023 г. температура воздуха в апреле превысила среднемноголетнее значение на 1,5 °С, а сумма атмосферных осадков равнялась 36,5 мм (86,9 % от нормы). В мае среднесуточная температура была на 0,4 °С ниже многолетних значений, осадков выпало 10,7 мм (19,8 % от нормы). Их основная часть приходилась на третью декаду.

В целом май можно охарактеризовать как умеренно теплый и сухой, и ГТК за месяц составил 0,3. Недостаток влаги испытывали посевы многолетних трав в июне, когда осадков

удобрений, снизить химическую нагрузку на растения при использовании средств защиты;

4) *Наноплант – Ca-Si* – микроудобрение на основе наночастиц кальция и кремния. В его составе: Ca – 5,0 г/л; Si – 0,5 г/л; B – 1,0 г/л; Fe – 1,0. Кальций и кремний защищают посевы от полегания, повышают степень сопротивления к стрессам и болезням. Ca, Si необходимы в течение всего периода роста растений, ускоряют фотосинтез, способствуют полному усвоению азота.

Цель проводимых исследований заключалась в установлении возможности получения и высокого урожая, и соответствующего качества семян клевера гибридного в одновидовых и совместных посевах с райграсом однолетним.

Фактор Б – способы сева: 1) клевер гибридный Балотны прыгажун, 5 кг/га; 2) клевер гибридный, 5 кг/га + райграс однолетний Луч, 12 кг/га.

Для основного внесения в почву применяли в качестве фона удобрения P<sub>40</sub>K<sub>60</sub>, в один из вариантов дополнительно вносили N<sub>30</sub>. Для некорневых подкормок в фазу бутонизации клевера гибридного вносили следующие препараты: МикроСтим, Наноплант Ультра, Наноплант Ультра + Бор, Наноплант – Ca-Si.

Элементы структуры семенного травостоя учитывались на растениях 2-го года жизни по следующим показателям: количество головок, количество семян в головке, масса семян с 1-й головки и масса 1000 семян. Уборку семенного травостоя клевера проводили 17 августа 2023 г. и 19 августа 2024 г.

выпало 23,4 мм при норме 78,0 мм. Температура воздуха в среднем за месяц была на 1,5 °С выше многолетних показателей. В целом этот месяц был теплый и сухой (ГТК = 0,4). В первой и второй декадах июля температура воздуха превысила многолетние показатели на 1,8 и 0,8 °С, а количество осадков составило 56,3 и 58,1 % от нормы. Август был жаркий и избыточно влажный, ГТК составил 2,4.

В среднем вегетационный период 2023 г. можно охарактеризовать как очень теплый и слабо засушливый (ГТК = 1,3) с крайне не-

равномерным количеством осадков; средне-суточная температура воздуха за этот период была на 1,5 °С выше средних многолетних показателей.

Апрель 2024-го г. был теплый (температура воздуха выше многолетних значений на 3,0 °С) и избыточно влажный (сумма осадков составила 299,9 % нормы). В мае наблюдалось недостаточное выпадение осадков (34,2 мм вместо 61,0 мм). Однако запасы влаги в почве, по-видимому, были достаточны и не лимитировали рост трав. Июнь и июль были на 0,9–2,0 °С теплее, выпадение осадков превышало среднемноголетние данные. В августе средне-суточная температура воздуха на 0,7 °С превышала многолетние значения; осадков выпало 44,5 % от нормы.

В целом вегетационный период апреля – августа 2024 г. можно охарактеризовать как теплый и слабозасушливый (ГТК = 1,2). Однако неравномерное распределение тепла и влаги

оказало не очень благоприятное влияние на рост и развитие многолетних трав.

Анализ структуры урожая клевера гибридного в 2023 г. показал, что в одновидовых посевах максимальное количество головок (334 шт/м<sup>2</sup>) сформировалось в варианте с применением МикроСтива (табл. 1). После некорневых подкормок количество семян в головке увеличилось (15,9–19,0 %) по сравнению с фоном РК. Некорневые подкормки не оказали влияния на массу семян с 1 головки, максимальной (0,08 г) она была в варианте с Наноплантом – Ca-Si. Масса 1000 семян после внесения удобрений увеличилась на 16,3–20,9 % по сравнению с фоном.

Что касается совместных посевов клевера гибридного с райграсом однолетним, то число головок, образовавшихся к моменту уборки после некорневых подкормок, было на 5,1–13,3 % больше, чем при внесении РК-удобрений. Максимальное их количество (332 шт/м<sup>2</sup>) отмечено в варианте с МикроСтимом.

Таблица 1. Элементы структуры урожая клевера гибридного в одновидовых и совместных посевах с райграсом однолетним, 2023 г.

Вариант	Количество головок, шт/м <sup>2</sup>	Количество семян в головке, шт.	Масса семян с 1-й головки, г	Масса 1000 шт. семян, г
<b>Клевер гибридный</b>				
N <sub>0</sub> P <sub>0</sub> K <sub>0</sub> (контроль)	290	65	0,05	0,81
P <sub>40</sub> K <sub>60</sub> (фон)	309	63	0,07	0,86
Фон + N <sub>30</sub>	326	70	0,06	0,90
Фон + МикроСтим	334	73	0,07	1,00
Фон + Наноплант Ультра	326	62	0,07	1,00
Фон + Наноплант Ультра + Бор	290	70	0,06	0,84
Фон + Наноплант – Ca-Si	316	75	0,08	1,04
<b>Клевер гибридный + райграс однолетний</b>				
N <sub>0</sub> P <sub>0</sub> K <sub>0</sub> (контроль)	274	74	0,07	0,87
P <sub>40</sub> K <sub>60</sub> (фон)	293	81	0,09	0,84
Фон + N <sub>30</sub>	325	79	0,10	0,81
Фон + МикроСтим	332	80	0,11	0,87
Фон + Наноплант Ультра	311	83	0,08	1,00
Фон + Наноплант Ультра + Бор	308	75	0,11	0,90
Фон + Наноплант – Ca-Si	314	82	0,09	0,88

Больше всего семян сформировалось в головке после внесения Нанопланта Ультра и Нанопланта – Ca-Si. В массе семян, полученных с 1-й головки, резких различий по вариантам не наблюдалось. Масса 1000 семян по вариантам меняется незначительно: от 0,80 до 1,0 г.

В 2024 г. количество сформировавшихся головок в вариантах без подсева райграса в среднем составило 332 шт/м<sup>2</sup> (табл. 2). Максимальное их количество (380 шт/м<sup>2</sup>) отмечено в варианте с Наноплантом – Ca-Si.

Количество семян в головке увеличилось на 69,8 % по сравнению с фоном P<sub>40</sub>K<sub>60</sub> после внесения Нанопланта Ультра + Бора. Внесение микроудобрений оказало незначительное влияние на массу семян с 1-й головки. В вариантах с применением МикроСтима и Нанопланта Ультра зафиксирована максимальная масса 1000 семян – 1,14 г.

В совместных посевах максимальное количество головок (370 шт/м<sup>2</sup>) отмечено на фоне NPK. Наибольшее количество семян в головке

(65 шт.) и масса семян с 1-й головки (0,07 г.) сформировались после внесения Нанопланта Ультра. После подкормок микроудобрениями масса 1000 семян увеличилась на 11,8–12,7 % по сравнению с фоном РК.

В среднем за два года в вариантах без подсева райграса однолетнего максимальное количество головок (348 шт/м<sup>2</sup>) наблюдалось после применения Нанопланта – Ca-Si (табл. 3).

Наибольшее количество семян в головке отмечено в варианте с Наноплантом Ультра + Бор.

В совместных посевах максимальное количество головок сформировалось на фоне NPK (348 шт/м<sup>2</sup>). Количество семян в головке увеличилось на 7,2 % по сравнению с фоном P<sub>40</sub>K<sub>60</sub> после внесения микроудобрения Наноплант Ультра.

Некорневые подкормки микроудобрениями существенно не повлияли на массу семян с 1-й головки и массу 1000 семян в вариантах с подсевом и без подсева райграса однолетнего.

Таблица 2. Элементы структуры урожая клевера гибридного в одновидовых и совместных посевах с райграсом однолетним, 2024 г.

Вариант	Количество головок, шт/м <sup>2</sup>	Количество семян в головке, шт.	Масса семян с 1-й головки, г	Масса 1000 шт. семян, г
<b>Клевер гибридный</b>				
N <sub>0</sub> P <sub>0</sub> K <sub>0</sub> (контроль)	300	37	0,03	0,96
P <sub>40</sub> K <sub>60</sub> (фон)	365	43	0,04	1,03
Фон + N <sub>30</sub>	305	56	0,05	1,03
Фон + МикроСтим	320	67	0,05	1,14
Фон + Наноплант Ультра	345	39	0,06	1,14
Фон + Наноплант Ультра + Бор	310	73	0,07	1,03
Фон + Наноплант – Ca-Si	380	56	0,06	1,03
<b>Клевер гибридный + райграс однолетний</b>				
N <sub>0</sub> P <sub>0</sub> K <sub>0</sub> (контроль)	325	45	0,04	0,96
P <sub>40</sub> K <sub>60</sub> (фон)	335	56	0,04	1,02
Фон + N <sub>30</sub>	370	58	0,05	1,03
Фон + МикроСтим	360	49	0,05	1,14
Фон + Наноплан Ультра	350	65	0,07	1,14
Фон + Наноплант Ультра + Бор	345	61	0,05	1,15
Фон + Наноплант – Ca-Si	350	63	0,06	1,14

В условиях 2023 г. урожайность семян клевера гибридного в одновидовых посевах находилась в высокой зависимости ( $R^2 = 0,83$ ) от массы 1000 шт. семян (рис. 1).

В среднем по опыту получено 2,0 ц/га семян. Применение микроудобрений способствовало увеличению урожая семян на 17,6–47,1 % по сравнению с фоном РК (табл. 4).

Таблица 3. Элементы структуры урожая клевера гибридного в одновидовых и совместных посевах с райграсом однолетним, среднее за 2023–2024 гг.

Вариант	Количество головок, шт/м <sup>2</sup>	Количество семян в головке, шт.	Масса семян с 1-й головки, г	Масса 1000 шт. семян, г
<b>Клевер гибридный</b>				
N <sub>0</sub> P <sub>0</sub> K <sub>0</sub> (контроль)	295	51	0,04	0,89
P <sub>40</sub> K <sub>60</sub> (фон)	337	53	0,06	0,95
Фон + N <sub>30</sub>	316	63	0,06	0,97
Фон + МикроСтим	327	70	0,06	1,07
Фон + Наноплант Ультра	336	51	0,07	1,07
Фон + Наноплант Ультра + Бор	300	72	0,07	0,94
Фон + Наноплант – Ca-Si	348	66	0,07	1,04
<b>Клевер гибридный + райграс однолетний</b>				
N <sub>0</sub> P <sub>0</sub> K <sub>0</sub> (контроль)	300	60	0,06	0,91
P <sub>40</sub> K <sub>60</sub> (фон)	314	69	0,07	0,93
Фон + N <sub>30</sub>	348	69	0,08	0,92
Фон + МикроСтим	346	65	0,08	1,00
Фон + Наноплант Ультра	331	74	0,08	1,07
Фон + Наноплант Ультра + Бор	327	68	0,08	1,03
Фон + Наноплант – Ca-Si	332	73	0,08	1,01

Таблица 4. Урожайность семян клевера гибридного, 2023–2024 гг.

Удобрение	Урожайность семян, ц/га			Прибавки к фону	
	2023 г.	2024 г.	среднее	ц/га	%
1	2	3	4	5	6
<b>Клевер гибридный</b>					
N <sub>0</sub> P <sub>0</sub> K <sub>0</sub> (контроль)	1,5	1,1	1,3	–	–
P <sub>40</sub> K <sub>60</sub> (фон)	1,7	1,6	1,7	–	–
Фон + N <sub>30</sub>	2,1	1,8	2,0	0,3	17,6
Фон + МикроСтим	2,4	2,4	2,4	0,7	41,2
Фон + Наноплант Ультра	2,0	1,5	1,8	0,1	5,9
Фон + Наноплант Ультра + Бор	1,7	2,3	2,0	0,3	17,6
Фон + Наноплант – Ca-Si	2,5	2,2	2,4	0,7	41,2
<b>Среднее</b>	<b>2,0</b>	<b>1,8</b>	<b>1,9</b>	–	–

1	2	3	4	5	6
Клевер гибридный + райграс однолетний					
N <sub>0</sub> P <sub>0</sub> K <sub>0</sub> (контроль)	1,8	1,4	1,6	–	–
P <sub>40</sub> K <sub>60</sub> (фон)	2,0	1,9	2,0	–	–
Фон + N <sub>30</sub>	2,1	2,2	2,2	0,2	10,0
Фон + МикроСтим	2,3	2,0	2,2	0,2	10,0
Фон + Наноплант Ультра	2,6	2,6	2,6	0,6	30,0
Фон + Наноплант Ультра + Бор	2,1	2,4	2,3	0,3	15,0
Фон + Наноплант – Ca-Si	2,3	2,5	2,4	0,4	20,0
<b>Среднее</b>	<b>2,2</b>	<b>2,1</b>	<b>2,2</b>	–	–

В совместных посевах с райграсом однолетним установлена прямая средняя корреляционная связь урожайности клевера гибридного с количеством семян в головке ( $R^2 = 0,58$ ). Наиболее эффективным оказалось внесение микроудобрения Наноплант Ультра в качестве некорневой подкормки (рис. 2).

В 2024 г. урожайность семян клевера гибридного в одновидовых посевах находилась в высокой зависимости ( $R^2 = 0,85$ ) от количества семян в головке (рис. 3). Семенная продуктивность культуры была несколько ниже, чем в предыдущем году, и отмечена в пределах 1,1–2,4 ц/га. Подкормка микроудобрением МикроСтим повышала урожайность семян клевера гибридного на 50 % по сравнению с фоном РК.

В совместных посевах с райграсом однолетним формирование урожая семян клевера

гибридного также зависело от количества семян в головке (рис. 4). Средняя урожайность семян клевера составила 2,1 ц/га. Максимальная прибавка (36,8 %) по отношению к РК-фону получена после некорневой подкормки удобрением Наноплант Ультра.

В 2023 г. урожайность семян клевера гибридного в совместных посевах была на 0,2 ц/га больше, чем в одновидовых посевах. Наиболее эффективными оказались подкормки микроудобрениями Наноплант – Ca-Si и Наноплант Ультра. Прибавки по отношению к фону РК составили 47,1 и 30,0 % соответственно.

Семенная продуктивность клевера гибридного в 2024 г. в совместных посевах была на 0,3 ц/га выше, чем в одновидовых посевах. Некорневые подкормки препаратами МикроСтим и Наноплант Ультра увеличивали прибавки на 50,0 и 43,8 % по отношению к фону.

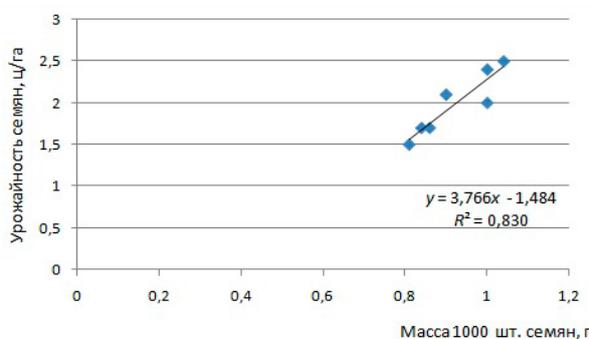


Рис. 1. Зависимость урожайности семян клевера гибридного в одновидовых посевах от массы 1000 шт. семян, 2023 г.

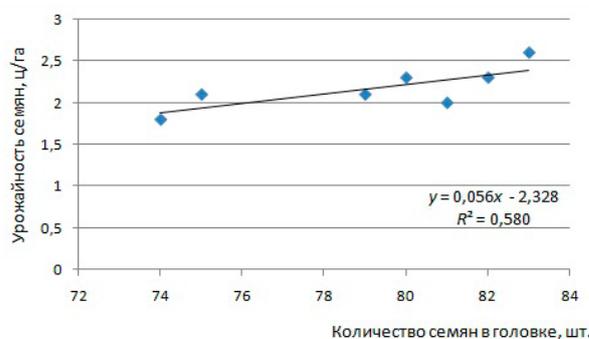


Рис. 2. Зависимость урожайности семян клевера гибридного в совместных посевах от количества семян в головке, 2023 г.

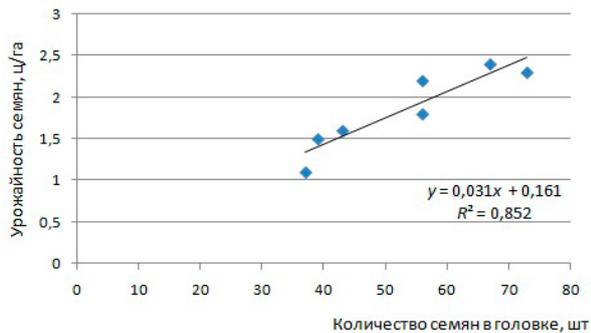


Рис. 3. Зависимость урожайности семян клевера гибридного в одновидовых посевах от количества семян в головке, 2024 г.

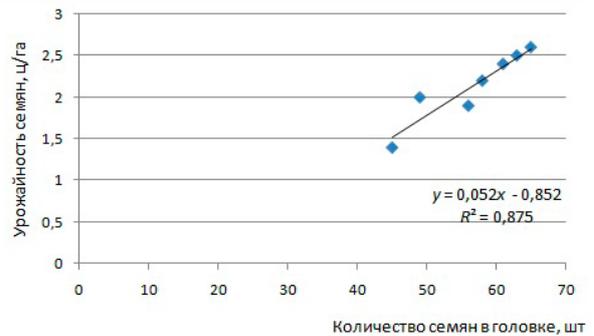


Рис. 4. Зависимость урожайности семян клевера гибридного в совместных посевах от количества семян в головке, 2024 г.

### Заключение

Полученные результаты показали, что исследуемые агроприемы способствовали увеличению урожайности семян клевера гибридного.

Максимальная урожайность – 2,4 ц/га – семян клевера гибридного без подсева райграса однолетнего в среднем за 2 года была

получена после внесения МикроСтива и Нанопланта – Ca-Si; прибавки составили 41,2 %. В совместных посевах с райграсом однолетним наибольшая урожайность 2,6 ц/га отмечена в варианте с Наноплантом Ультра; прибавка составила 30,0 %.

### Библиографический список

1. Волошин, Е. И. Руководство по удобрению многолетних бобовых трав (люцерна, клевер, донник, эспарцет) : метод. рекомендации / Е. И. Волошин, А. Т. Аветисян. – Красноярск : Краснояр. гос. аграр. ун-т, 2017. – 31 с.
2. Мееровский, А. С. Совершенствование технологии возделывания клевера гибридного на семена / А. С. Мееровский, Р. Т. Пастушок, О. С. Грушевич // Мелиорация. – 2018. – № 2 (84). – С. 28–32.
3. Государственный реестр средств защиты растений и удобрений, разрешенных к применению на территории Республики Беларусь / М-во с. х. и продовольствия Респ. Беларусь, гос. учреждение «Главная государственная инспекция по семеноводству, карантину и защите растений»; сост. А. В. Пискун [и др.]. – Минск : Промкомплекс, 2017. – 688 с.

Поступила 20 октября 2024 г.

# • ЧТОБЫ ПОМНИЛИ •



---

---

## ПАМЯТИ ПЕТРА ФИЛИППОВИЧА ТИВО (1941–2024)

---

---

4 ноября с. г. на 84-м году ушел из жизни Пётр Филиппович Тиво, доктор сельскохозяйственных наук, крупный ученый в области мелиоративного земледелия, агрохимии и экологии. Кончина Петра Филипповича – большая утрата не только для его семьи, но и для всего научного сообщества Беларуси. Сотрудники Института мелиорации скорбят в связи с невозполнимой потерей.

Пётр Филиппович родился 1 сентября 1941 г. в д. Чернявка Крупского р-на Минской обл. В 1960 г. с отличием окончил Смилевичский сельскохозяйственный техникум и год проработал бригадиром, агрономом отделения совхоза «Бобр» (ныне – ОАО «Кленовичи» Крупского р-на). В 1961–1964 гг. служил в Советской армии. С 1964-го по 1970-й г. – студент факультета агрохимии и почвоведения Белорусской государственной сельскохозяйственной академии.

В Белорусском НИИ мелиорации работал с марта 1970 г. – последовательно младшим, старшим, ведущим, научным сотрудником в отделе агрохимии, лаборатории гидрохимии и использования животноводческих стоков. В 1997 г. был назначен заведующим этой лабораторией, преобразованной в 2004 г. в лабораторию использования осушенных минеральных земель.

В 1973–1977 гг. без отрыва от производства обучался в аспирантуре Белорусского НИИ мелиорации и водного хозяйства под научным руководством выдающегося ученого нашей страны академика С. Г. Скоропанова. В 1978 г. после защиты кандидатской диссертации П. Ф. Тиво была присвоена ученая степень кандидата сельскохозяйственных наук, а в 1995 г. он защитил докторскую диссертацию на тему «Экологические аспекты применения животноводческих стоков и азотных удобрений на многолетних травах».

Петром Филипповичем сформулированы основные положения системы земледелия на осушенных минеральных почвах связного гранулометрического состава, выполнены многолетние исследования по оценке влияния мелиорации на свойства почв Белорусского Поозерья, разработаны приемы их рационального использования. Существен его вклад в решение проблемы утилизации животноводческих стоков, что особенно важно в связи с наличием в республике многочисленных комплексов, больших объемов жидких и полужидких органических удобрений.

Вся научная деятельность Петра Филипповича тесно связана с агрохимией почв и растений, что позволило ему глубоко и разносторонне интерпретировать особенности роста и развития растений в сложных условиях Белорусского Поозерья.

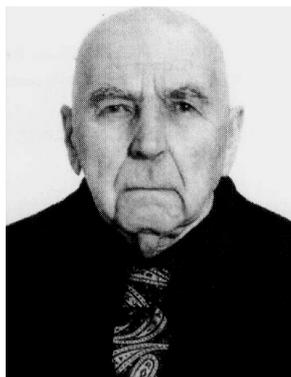
Ценное качество Петра Филипповича как исследователя – его постоянная нацеленность на экологизацию разрабатываемых приемов и технологий. Неслучайно, что среди его многочисленных публикаций особое место занимают такие монографии, как «Нитраты, слухи и реальность», «Радьяця, нітраты і чалавек», «Тяжелые металлы и экология».

Список научных, научно-популярных и газетных публикаций П. Ф. Тиво включает более 500 наименований. Поражает диапазон и разнообразие рассматриваемых ученым тем, что свидетельствует о его эрудиции и несомненной эпистолярной одаренности. Результаты многолетних исследований вошли в состав многочисленных опубликованных рекомендаций, регламентов, технологических и других материалов, использующихся в практике сельскохозяйственного производства.

Длительное время П. Ф. Тиво являлся активным членом ученого совета РУП «Институт мелиорации», входил в состав редакционной коллегии журнала «Мелиорация» и совета по защите докторских и кандидатских диссертаций института.

Петр Филиппович был беззаветно предан науке и отдал ей полвека своей жизни. Его отличали прекрасные человеческие качества – скромность, высокий профессионализм, чуткое отношение к подчиненным, принципиальность в отстаивании научно выверенной позиции, честность и доброжелательность.

Светлая память о П. Ф. Тиво навсегда сохранится в сердцах научной общественности Беларуси.



---

---

## ГРИГОРИЙ ИОСИФОВИЧ ЛАШКЕВИЧ (к 120-летию)

---

---

*10 октября исполнилось 120 лет со дня рождения крупного ученого-растениевода, агробиолога, члена-корреспондента Академии наук БССР, доктора сельскохозяйственных наук, профессора Григория Иосифовича Лашкевича.*

*Он родился в 1904 г. в д. Остров Кормянского р-на Гомельской обл. В 1927 г. окончил Белорусскую сельскохозяйственную академию, получив специальность агронома-культуртехника.*

*В 1927–1929 гг. работал агрономом-культуртехником в Минском окружном земельном отделе, затем поступил в аспирантуру при Всесоюзном научно-исследовательском институте болотного хозяйства (впоследствии – Институт мелиорации), которую окончил в 1931 г. Далее работал старшим научным сотрудником этого же института (1932–1941), научным сотрудником Кировской лугоболотной опытной станции (1941–1942); был участником Великой Отечественной войны (1942–1945), заведовал в БелНИИ мелиорации и водного хозяйства отделом сельскохозяйственного использования мелиорированных земель (1945–1971).*

*В 1971–1983 гг. – профессор-консультант этого же института.*

*Свои исследования начинал проводить в 1930 г. на опытных пунктах Всесоюзного института болотного хозяйства – в совхозах «X лет БССР» и «Победа социализма» (соответственно Любанского и Хойникского р-ов) и на Минской опытной болотной станции, где изучал вопросы устройства и использования сеяных пастбищ, применения удобрений, подбора видов трав для травосмесей, выращиваемых на торфяных почвах, ухода за травостоем и др.*

*В 1937 г. Григорий Иосифович защитил диссертацию на соискание ученой степени кандидата сельскохозяйственных наук по теме «Травосмеси и удобрения для пастбищ на осушенных болотах»; в 1957 г. – диссертацию на соискание ученой степени доктора сельскохозяйственных наук по теме «Возделывание конопли на торфяных почвах» в Ленинградском сельскохозяйственном институте. В 1960 г. ему присвоено звание профессора, а в 1961 г. он избирается членом-корреспондентом Академии наук БССР.*

*В историю земледелия и растениеводства Г. И. Лашкевич вписал новую страницу, связанную с освоением и сельскохозяйственным использованием торфяных почв. Он был современником мелиоративного преобразования Полесья. На его глазах проходила мелиорация, главным образом, торфяных почв, которые по запасам органического вещества и потенциальному плодородию не имели аналогов в республике. Григорий Иосифович стал первопроходцем в изучении и разработке технологий возделывания многих сельскохозяйственных культур.*

*Исследования, проведенные Г. И. Лашкевичем, имеют важное научно-практическое значение. Им рекомендованы эффективные агротехнические приемы по созданию высокопродуктивных пастбищ и рациональному применению минеральных удобрений,*

способы использования травостоев и меры ухода за ними. Ученый предложил систему удобрения сельскохозяйственных культур на осушенных торфяных почвах с оптимальным соотношением между питательными веществами, нормы орошения, повышающие продуктивность и долголетие травостоев.

Им установлены оптимальные сроки и способы посева, нормы высева и глубина заделки семян зерновых культур, выявлены эффективные способы обработки торфяной почвы под зерновые культуры, определено влияние уровня грунтовых вод, влажности почвы, удобрений на урожайность и даны рекомендации по применению комплекса агротехнических приемов, обеспечивающих высокую продуктивность хлебных злаков. Лашкевич разработал эффективные системы и способы применения микроудобрений под сельскохозяйственные культуры на торфяных почвах.

В течение ряда лет Григорий Иосифович читал лекции в Гродненском сельскохозяйственном институте, много внимания уделял формированию научных и научно-технических кадров: им подготовлено 11 кандидатов сельскохозяйственных наук.

Опубликовал более 200 научных работ, которые отличаются оригинальностью, новизной, глубоким подходом к изучаемым вопросам. В них приведен обширный материал по характеристике почв, продуктивности культурных растений, качеству продукции, выращиваемой на торфяных почвах.

Наиболее известны такие его работы, как «Устройство, использование пастбищ на осушенных болотах и уход за ними» (1941), «Культура конопли на торфяных почвах» (1949), «Агротехника канатника на болотных почвах» (1950), «Культура кок-сагыза на торфяных почвах» (1951), «Коноплеводство на торфяных почвах» (1953), «Применение микроудобрений на торфяных почвах» (1955), «Плодородие торфяных почв и возделывание конопли» (1962). Многие из этих исследований актуальны и в настоящее время.

На протяжении многих лет Г. И. Лашкевич являлся членом ученого совета Белорусского НИИ мелиорации и водного хозяйства, членом совета по защите диссертаций.

Награжден государственными наградами СССР, медалями и дипломами ВДНХ СССР и БССР.

Григория Иосифовича отличала редкая энергия и трудолюбие. До последних дней он самостоятельно вел полевые опыты и, будучи ученым-экспериментатором, признавал в научном поиске особенно важным полевой опыт. В опытном деле, как, впрочем, и в других исследованиях, он не признавал мелочей, был исключительно требователен и к себе, и к своим коллегам и ученикам.

Поколение, к которому принадлежал Г. И. Лашкевич, жило и работало в сложное время. Однако, несмотря на трудности, ученому удалось не только сохранить любовь к родной земле и земледельческому делу, но и существенно обогатить практику мелиоративного земледелия новыми эффективными технологиями.

Имя Г. И. Лашкевича, одного из создателей мелиоративного земледелия в Беларуси, автора многочисленных агротехнологий возделывания сельскохозяйственных культур на торфяных почвах, навсегда вписано в историю аграрной науки.

## ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ

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

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

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

4. Объем статьи должен составлять не менее 0,35 авторского листа (14 тыс. печатных знаков, включая пробелы между словами, знаки препинания, цифры и др.), но не более 0,5 авторского листа (20 тыс. печатных знаков), включая текст, иллюстрации, таблицы, библиографический список.

5. Представляемые материалы должны иметь следующую структуру:

индекс по Универсальной десятичной классификации (УДК);

аннотацию на указанных языках (500 знаков);

ключевые слова на русском и английском языках;

введение;

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

заключение, завершаемое четко сформулированными выводами;

библиографический список.

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

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

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

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

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

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

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

13. Рисунки представляются в виде отдельных файлов в формате TIFF или JPEG 300—600 точек на дюйм. Текст на рисунках должен быть набран гарнитурой *Arial*, курсив. Размер кегля соизмерим с размером рисунка (желательно кегль 8). Площадь простых рисунков не должна превышать 100–150 см<sup>2</sup>, размер сложных – не более 130–160 см<sup>2</sup>.

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.



