

ISSN 2070–4828

# МЕЛИОРАЦИЯ

Научный журнал

№ 2 (108)

Апрель – июнь 2024

Основан в 1951 году  
Выходит 4 раза в год



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 – 20,90 руб.;

**748562** — для предприятий и организаций, цена – 24,50 руб.

Подписку можно оформить во всех отделениях связи.

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

Компьютерная верстка **И. В. Скуратович**

---

Подписано к печати 14.06.2024 г. Формат 60 x 84 1/8.  
Уч.-изд. л. 4,66. Усл. печ. л. 6,51. Заказ 251. 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

*Д. И. Кацко, Е. В. Кузнецов*

**Имитационное моделирование в расчетах устойчивости  
оползневых грунтов**

**5**

*D. I. Katsko, E. V. Kuznetsov*

**Simulation modeling in calculations of the stability of landslide soils**

*В. А. Болбышко, В. П. Закржевский, А. А. Левкевич*

**Оборудование для обследования и очистки коллекторов,  
входящих в дренажный колодец**

**13**

*V. A. Bolbyshko, V. P. Zakrjevsky, A. A. Levkevich*

**Equipment for inspection and cleaning of collectors entering the drainage well**

*Э. И. Михневич, Ли Цзэмин*

**Водонепроницаемые конструкции креплений ирригационных  
каналов в Китае**

**17**

*E. I. Mikhnevich, Li Zeming*

**Waterproof designs for fastening irrigation channels in China**

*А. И. Митрахович, Э. Н. Шкутов, И. Ч. Казьмирук*

**Повышение осушительной способности дренажа на основе новых  
высокотехнологичных конструктивных элементов и материалов**

**24**

*A. I. Mitrakhovich, E. N. Shkutov, I. Ch. Kazmiruk*

**Increasing the drainage capacity of drainage based on new high-tech  
structural elements and materials**

## Кормопроизводство

## Forage production

*А. Л. Бирюкович, В. Н. Филиппов*

**Влияние микроудобрений на урожайность озимых зерновых культур  
на антропогенно-преобразованных торфяных почвах**

**32**

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

**The effect of micronutrients on the yield of winter cereals  
on anthropogenically transformed peat soils**

*Р. Т. Пастушок, А. А. Кравцова, А. П. Шурмелёва*

**Влияние погодных условий и микроудобрений на семенную  
продуктивность райграса однолетнего**

**39**

*R. T. Pastushok, A. A. Krautsova, A. P. Shurmialiova*

**The influence of weather conditions and microfertilizers on the seed  
productivity of annual ryegrass**

<b>Наши юбиляры</b>	●	<b>Our Jubilees</b>
Геннадий Владимирович Рудаковский (к 80-летию)		46
Владимир Михайлович Макоед (к 70-летию)		47
Юрий Анатольевич Мажайский (к 65-летию)		49
<b>Чтобы помнили</b>	●	<b>To be remembered</b>
Андрей Игнатьевич Ивицкий (к 120-летию)		51
Владимир Иванович Полунин (к 100-летию)		52
Пётр Иосифович Закржевский (к 95-летию)		53
Николай Васильевич Кушнир (к 95-летию)		55

# МЕЛИОРАЦИЯ

УДК 624.137.2:519.245

## ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ В РАСЧЕТАХ УСТОЙЧИВОСТИ ОПОЛЗНЕВЫХ ГРУНТОВ

*Д. И. Кацко, аспирант*

*Е. В. Кузнецов, доктор технических наук*

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

### Аннотация

Для территорий, подверженных оползневым процессам, полезно количественно оценить риск обрушения склона. Чтобы рассчитать риск, необходимо знать вероятность обрушения, хотя традиционно используются детерминированные методы расчета устойчивости. Цель нашей работы – разработка методики вероятностной оценки устойчивости склона, основанной на методе Монте-Карло. Главным результатом работы является выявление закона распределения для коэффициента устойчивости.

**Ключевые слова:** коэффициент устойчивости, метод Morgenstern – Price, оползневый риск, закон распределения, имитационное моделирование, метод Монте-Карло, бутстреп-метод.

### Abstract

*D. I. Katsko, E. V. Kuznetsov*

### SIMULATION MODELING IN CALCULATIONS OF THE STABILITY OF LANDSLIDE SOILS

For areas experiencing landslide processes, it is useful to quantify the risk of slope failure. To calculate, it is necessary to know the probability of collapse, although deterministic methods for calculating stability are traditionally used. The goal of our work is to develop a method for probabilistic assessment of slope stability based on the Monte-Carlo method. The main result of the work is to identify patterns of distribution of stability coefficients.

**Keywords:** stability coefficient, Morgenstern – Price method, landslide risk, distribution law, simulation modeling, Monte Carlo method, bootstrap method.

### Введение

Оползни – смещение земляных масс вниз по склону под влиянием силы тяжести. Чаще всего устойчивость теряется из-за увеличения влаги в грунтах под влиянием поверхностных и подземных вод. Оползание грунтов – достаточно сложное явление, так как точное очертание поверхности скольжения определить невозможно; кинематика оползневого процесса до конца не изучена; при расчете устойчивости исследователь имеет дело со статически неопределимой системой.

Образование оползня также зависит от геологических, климатических, гидрологических и эндогенных условий. Активизация оползня, то есть процесс естественного формирования рельефа, нередко возникает из-за деятельности человека: подрезки склонов при строительстве дорог и карьеров, снижения прочности

грунтов при их подтоплении и переувлажнении водохранилищами или каналами [1].

Как правило, в расчетах устойчивости склона используют детерминированные методы (методы предельного равновесия и метод конечных элементов), в которых устойчивость склона характеризуется коэффициентом устойчивости. Так как грунтовый массив неоднороден, то прочностные характеристики, плотность, поровое давление, модуль упругости и другие параметры имеют некоторый разброс. Однако коэффициент устойчивости – это фиксированное значение [2–5].

Рассмотрим возможность учета погрешности геологического параметра с помощью метода Монте-Карло.

В более ранней работе [6] была проанализирована классификация основных зако-

нов распределения непрерывных случайных величин, а также продемонстрирован потенциал программного комплекса *GeoStudio* с точки зрения вероятностной оценки обрушения склона. В данной программе можно рассматривать лишь некоторые законы распределения (нормальный, лог нормальный, треугольный, обобщенный нормальный, непрерывный равномерный) для прочностных характеристик грунта. Надстройка @RISK (*MS Excel*) позволяет нам учитывать более ста законов распределения, которые применяются

при моделировании надежности, риска и экстремальных явлений и т. д.

В представляемой работе стохастические переменные – это сцепление, угол внутреннего трения и поровое давление; за детерминированную модель была принята наиболее продвинутая формула Моргенштерна – Прайса. Использовались пять критериев для оценки подходящего закона распределения, который наилучшим образом будет описывать коэффициент устойчивости.

### Определение риска потери устойчивости на оползневом участке

Объект исследования – автомобильная дорога 35 ОП РЗ 35А-002 (Е-105) на границе России с Украиной: Симферополь – Алушта – Ялта; там на нижней стороне склона расположены виноградники.

Для защиты этих территорий от опасных геологических явлений разработан комплекс мероприятий по инженерной защите. Ниже будут описаны оползневой участок склона и расчет его устойчивости в естественном (первоначальном) состоянии.

Указанный участок отличается ступенчатостью и террасированностью, что обусловлено оползневыми деформациями, денудационными процессами, неотектоническими проявлениями и абразионно-аккумулятивной деятельностью моря, а также извилистостью береговой линии. На изрезанность последней оказали влияние структурные и литологические особенности пород береговой зоны; изрезанность поперечного профиля связана с наличием эрозионных форм, речных долин, балок и оврагов (особенно в верховьях), которые глубоко врезаются в верхнюю часть склона, захватывая и Главную грядку.

После проведения инженерно-геологических изысканий были получены данные для расчета коэффициента устойчивости. На момент исследований грунтовые воды на рассматриваемом участке встречены всеми пробуренными скважинами, уровень грунтовых вод установился на глубинах 2,5–5,8 м, поэтому учитывалось поровое давление.

Для получения функциональной зависимости коэффициента устойчивости от прочностных характеристик грунта и геометрии скло-

на применялся наиболее актуальный метод Моргенштерна – Прайса, реализованный в канадском программном комплексе *GeoStudio* (рис. 1) [1].

В данном методе коэффициент запаса устойчивости определяется с помощью уравнений равновесия как моментов, так и сил. В нем учитывались также различные функции  $f(x)$  взаимосвязи между сдвигающими и нормальными силами в блоках, на которые разбивается оползневое тело.

Склон считается устойчивым, если коэффициент устойчивости, равный отношению сил, удерживающих грунтовый массив, к силам, стремящимся вывести его из равновесия, больше единицы. Когда коэффициент приблизительно равен единице, это свидетельствует о предельном равновесии и, как правило, предшествует оползневой стадии. На рассматриваемом участке коэффициент устойчивости равен 1,056 (рис. 1).

Для реализации имитационного моделирования расчет был воспроизведен в *MS Excel* (табл. 1). В данной таблице приведены физико-механические и геометрические параметры, которые были перенесены из программного комплекса *GeoStudio*.

Использование метода Моргенштерна – Прайса, как и других методов предельного равновесия, предполагает разделение скользящего массива на произвольное число блоков и суммирование усилий в каждом блоке [7, 8]. Пример такого блока, в котором выполняется условие статического равновесия, показан на рис. 2.

Метод анализа: Моргенштерна - Прайса

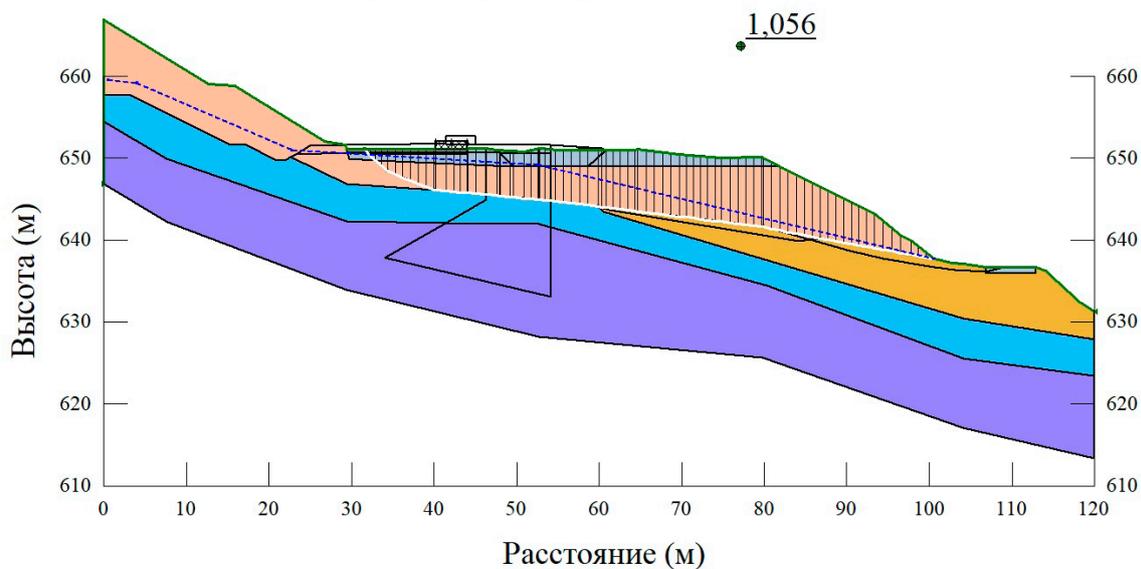


Рис. 1. Расчет в программном комплексе *GeoStudio* методом Моргенштерна – Прайса

Таблица 1. Исходные данные для проведения имитационного моделирования с использованием метода Моргенштерна – Прайса

$\beta$ , м	$c$ , кПа	$W$ , кН	$\alpha$ , град.	$\varphi$ , град	$u$ , кПа	$f(x)$
0,4374	23	0,848	-50,331	28	-4,692	0,00
0,129	23	0,633	-44,828	28	-2,709	0,00
0,353	28	2,571	-44,83	23	-1,145	0,00
...	...	...	...	...	...	...
0,939	28	5,581	-10,098	11,2	0,259	0,00

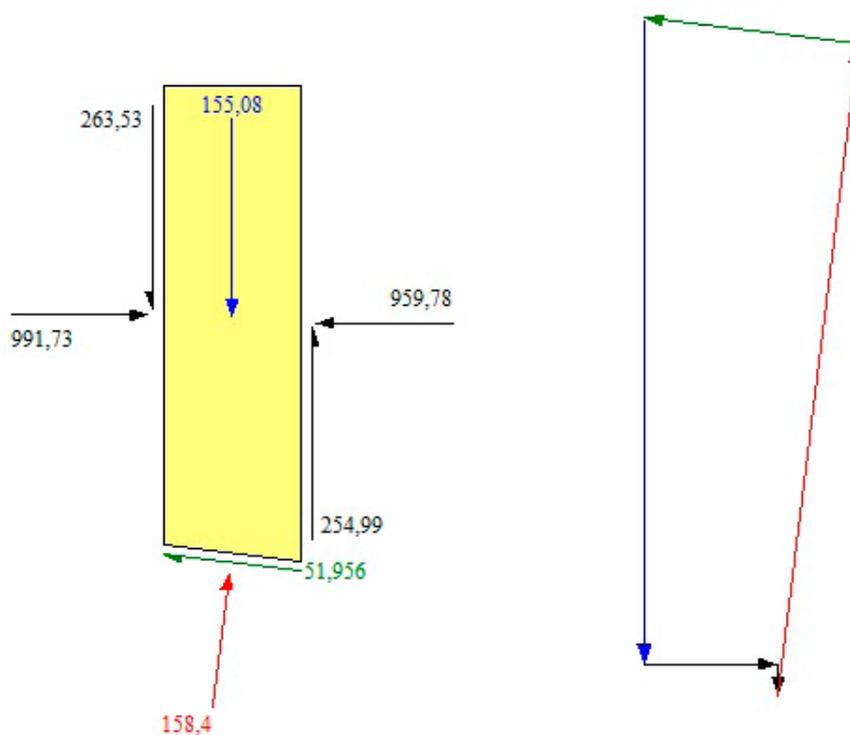


Рис. 2. Равнодействующие силы в блоке

Применение метода Моргенштерна – Прайса для каждого блока и, следовательно, для всего оползневого тела обуславливает выполнение всех уравнений статики, учет нормальных и касательных усилий между блоками.

Приведем примеры расчетов [9].

Коэффициент устойчивости из условия равновесия моментов:

$$FS_m = \frac{\sum c\beta R + (N - u\beta)R \operatorname{tg}\varphi}{\sum Wx - \sum Nf}, \quad (1)$$

где  $c$  – эффективное сцепление;  $\varphi$  – эффективный угол внутреннего трения;  $\beta$  – длина поверхности скольжения в пределах отсека;  $W$  – вес блока;  $u$  – поровое давление;  $R$  – радиус круглоцилиндрической дуги скольжения;  $x$  – расстояние по горизонтали между центром тяжести рассматриваемого блока и центром вращения оползневого тела;  $f$  – расстояние по вертикали между центром тяжести рассматриваемого блока и центром вращения оползневого тела;  $\alpha$  – угол наклона поверхности скольжения в пределах блока;  $N$  – нормальная сила в основании блока.

Коэффициент устойчивости из условия равновесия сил:

$$FS_f = \frac{\sum c\beta R + (N - u\beta)R \operatorname{tg}\varphi}{\sum N \sin \alpha}. \quad (2)$$

Нормальная сила в основании блока:

$$N = \frac{W + (X_R - X_L) - \frac{c\beta \sin \alpha + u\beta \sin \alpha \operatorname{tg}\varphi}{FS}}{\cos \alpha + \frac{\sin \alpha \operatorname{tg}\varphi}{FS}}, \quad (3)$$

$FS$  – это  $FS_m$ , когда  $N$  подставляется в уравнение коэффициента устойчивости из условия равновесия моментов, а  $FS$  – это  $FS_f$ , когда  $N$  подставляется в уравнение коэффициента устойчивости из условия равновесия сил.

Касательные межотсековые силы определяются по нижеприведенной формуле как доля нормальных межотсековых сил с учетом функции распределения по длине склона:

$$X = E\lambda f(x), \quad (4)$$

где  $f(x)$  – функция взаимосвязи касательных и нормальных межотсековых сил;  $\lambda$  – процент использования функции  $f(x)$ ;  $E$  – нормальная межотсековая сила.

Нормальные межотсековые силы при этом вычисляются по формуле:

$$E_R = E_L + \frac{(c\beta - u\beta \operatorname{tg}\varphi)\cos\alpha}{FS} + N \frac{(\operatorname{tg}\varphi \cos\alpha - \sin\alpha)}{FS}. \quad (5)$$

С помощью надстройки @RISK в MS Excel было проведено имитационное моделирование по методу Монте-Карло, использующее факторный эксперимент  $3^3$  [10, 11]. В качестве изменяемых параметров использовались характеристики прочности грунта  $c$  и  $\varphi$  и поровое давление  $u$ , для которых рассмотрены три варианта среднего квадратического отклонения  $0,1\sigma$ ;  $0,15\sigma$ ;  $0,2\sigma$  при постоянных средних значениях.

В табл. 2 рассмотрено 27 комбинаций трех переменных ( $u, c, \operatorname{tg}$ ) с разными коэффициентами вариации, характеризующими их однородность.

Таблица 2. Схема трехфакторного эксперимента на трех уровнях типа  $3^3$

Уровни фактора А	Уровни фактора В	Уровни фактора С		
		$C_0$	$C_1$	$C_2$
		Сочетания уровней		
A0	B0	000	001	002
A0	B1	010	011	012
A0	B2	020	021	022
A1	B0	100	101	102
A1	B1	110	111	112
A1	B2	120	121	222
A2	B0	200	201	202
A2	B1	210	211	212
A2	B2	220	221	222

В ходе имитационного моделирования были получены распределения (рис. 3), наилучшим образом описывающие коэффициент устойчивости (табл. 3). Оценка распределения производилась по пяти критериям: усредненный логарифм правдоподобия (*Average LogL*), хи-квадрат Пирсона, информационный критерий Акаике (AIC), Байесовский информационный критерий (BIC), критерий Колмогорова – Смирнова и критерий Андерсона – Дарлинга.

Рассмотрим эксперимент на уровне 000. На рис. 3 представлены законы распределения, наилучшим образом описывающие эмпирический закон распределения коэффициента устойчивости по критерию хи-квадрат. На рис. 4 продемонстрирована гистограмма, полученная бутстреп-методом, из которой можно оценить вероятность того, что коэффициент устойчивости будет меньше единицы на уровне 000 (вероятность равна 0,236, или 23,6 %).

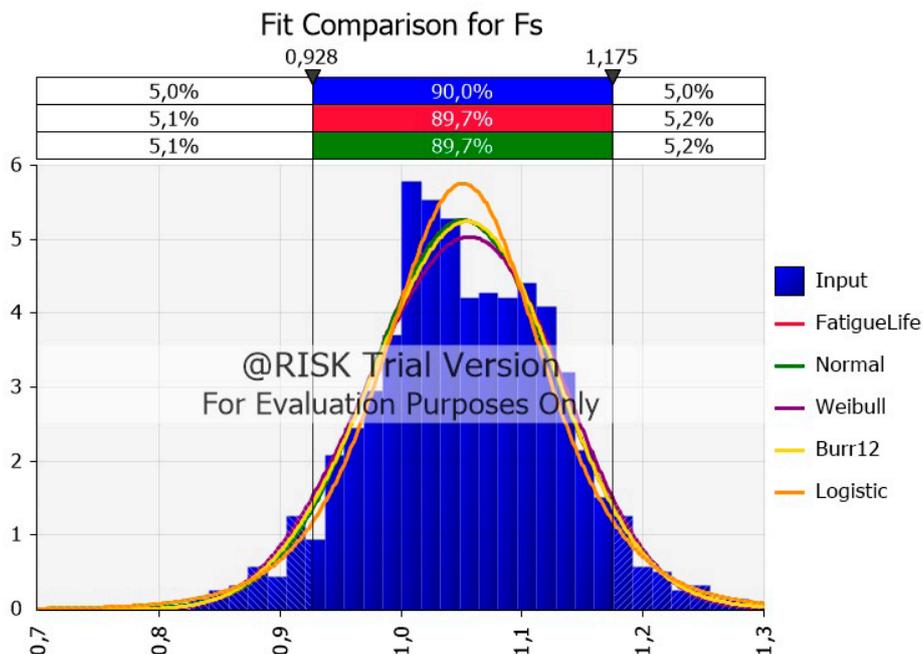


Рис. 3. Эксперимент на уровне 000 (по критерию хи-квадрата Пирсона)

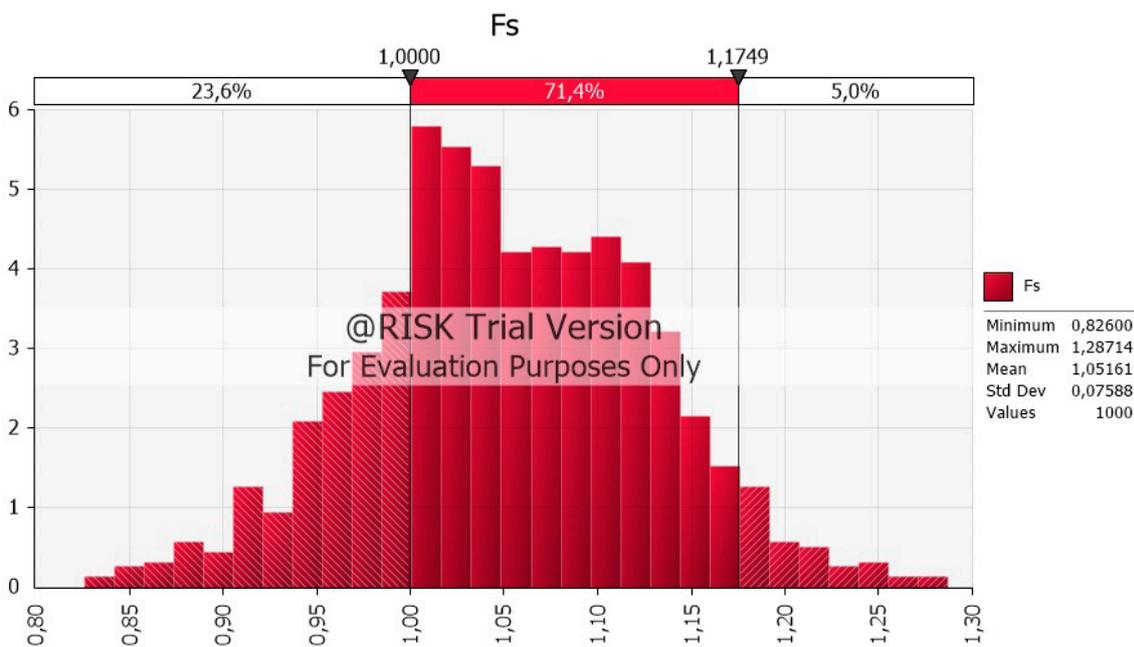


Рис. 4. Эксперимент на уровне 000 (вероятность обрушения склона)

В табл. 3 представлен итоговый результат имитационного факторного эксперимента  $3^3$  (табл. 2), показаны вероятностная оценка обрушения склона  $P(FS)$  на разных уровнях,

а также первые пять наилучших законов распределения (упорядоченные по уровню значимости), соответствующих заголовкам столбцов.

Таблица 3. Сводная таблица результатов эксперимента  $3^3$

<i>и. с. tg φ</i>	$P(FS < 1), \%$	1	2	3	4	5
000	23,6	<i>Normal</i>	<i>FatigueLife</i>	<i>Burr12</i>	<i>Weibull</i>	<i>Dagum</i>
100	24,6	<i>FatigueLife</i>	<i>Burr12</i>	<i>Normal</i>	<i>Weibull</i>	<i>LogLogistic</i>
200	25	<i>FatigueLife</i>	<i>Normal</i>	<i>Burr12</i>	<i>Weibull</i>	<i>Logistic</i>
110	26,1	<i>Normal</i>	<i>Burr12</i>	<i>FatigueLife</i>	<i>Weibull</i>	<i>Dagum</i>
010	27,6	<i>Normal</i>	<i>Burr12</i>	<i>FatigueLife</i>	<i>Weibull</i>	<i>Dagum</i>
210	27,7	<i>Normal</i>	<i>FatigueLife</i>	<i>Burr12</i>	<i>Weibull</i>	<i>Logistic</i>
001	28	<i>Normal</i>	<i>Dagum</i>	<i>Logistic</i>	<i>FatigueLife</i>	<i>Weibull</i>
120	28,5	<i>Normal</i>	<i>Burr12</i>	<i>FatigueLife</i>	<i>Logistic</i>	<i>Dagum</i>
220	30,3	<i>Normal</i>	<i>FatigueLife</i>	<i>Weibull</i>	<i>Burr12</i>	<i>Dagum</i>
020	30,5	<i>Normal</i>	<i>FatigueLife</i>	<i>Burr12</i>	<i>Weibull</i>	<i>Logistic</i>
101	31,3	<i>Burr12</i>	<i>FatigueLife</i>	<i>Dagum</i>	<i>LogLogistic</i>	<i>Logistic</i>
201	31,7	<i>FatigueLife</i>	<i>Burr12</i>	<i>Normal</i>	<i>LogLogistic</i>	<i>Logistic</i>
011	32,2	<i>Normal</i>	<i>FatigueLife</i>	<i>Burr12</i>	<i>Weibull</i>	<i>Logistic</i>
211	32,5	<i>Gamma</i>	<i>Erlang</i>	<i>FatigueLife</i>	<i>Burr12</i>	<i>Normal</i>
111	32,8	<i>Burr12</i>	<i>FatigueLife</i>	<i>Normal</i>	<i>Dagum</i>	<i>Weibull</i>
221	33	<i>Normal</i>	<i>Burr12</i>	<i>FatigueLife</i>	<i>Weibull</i>	<i>Dagum</i>
121	33,9	<i>Normal</i>	<i>FatigueLife</i>	<i>Burr12</i>	<i>Weibull</i>	<i>Dagum</i>
021	34,3	<i>FatigueLife</i>	<i>Normal</i>	<i>Burr12</i>	<i>Dagum</i>	<i>Weibull</i>
102	34,8	<i>Burr12</i>	<i>LogLogistic</i>	<i>FatigueLife</i>	<i>Gamma</i>	<i>Erlang</i>
002	35	<i>Normal</i>	<i>FatigueLife</i>	<i>Burr12</i>	<i>Weibull</i>	<i>Logistic</i>
012	35,4	<i>Normal</i>	<i>FatigueLife</i>	<i>Burr12</i>	<i>Dagum</i>	<i>Weibull</i>
112	35,3	<i>LogLogistic</i>	<i>Burr12</i>	<i>Logistic</i>	<i>FatigueLife</i>	<i>Gamma</i>
012	35,4	<i>Normal</i>	<i>FatigueLife</i>	<i>Burr12</i>	<i>Dagum</i>	<i>Weibull</i>
122	35,7	<i>Burr12</i>	<i>Dagum</i>	<i>FatigueLife</i>	<i>LogLogistic</i>	<i>Logistic</i>
222	36,5	<i>FatigueLife</i>	<i>Burr12</i>	<i>Normal</i>	<i>LogLogistic</i>	<i>Logistic</i>
022	37,4	<i>FatigueLife</i>	<i>Gamma</i>	<i>Erlang</i>	<i>Burr12</i>	<i>LogLogistic</i>
212	37,5	<i>Burr12</i>	<i>LogLogistic</i>	<i>FatigueLife</i>	<i>Logistic</i>	<i>Normal</i>

Теперь, зная закон распределения коэффициента устойчивости, можно использовать значение вероятности обрушения склона для оценки экономического риска.

Для примера рассмотрим сценарий, где уровень значимости 0,365, что соответствует результатам имитационного эксперимента на уровне 222. В этом случае наилучший закон распределения – *FatigueLife* (первый столбец в табл. 3), который, как правило, описывает усталость материала и используется для описания отказа конструкции. В целом можно сказать, что вероятность обрушения  $P(FS < 1) \approx 0,24 - 0,35$ .

Таким образом, мы получили законы распределения (*Weibull*, *Burr12*, *Dagum*, *FatigueLife*, *Gamma*, *Erlang*, *Logistic*), которые поддерживаются на интервале  $[0, +\infty]$  [12–14].

### Заключение

В статье показаны результаты имитационного эксперимента на основе детерминированной модели оценки устойчивости грунта Моргенштерна – Прайса. В целях определения закона распределения для коэффициента устойчивости применялся бутстреп-метод, основанный на многократной генерации нормально распределенных выборок методом Монте-Карло с использованием характеристик прочности грунта  $c$  и  $\phi$  и порового давления  $u$ .

Эти вероятностные распределения используются при моделировании ситуаций стихийных бедствий и техносферной безопасности, для описания эмпирических законов, имеющих «тяжелые хвосты». Эти законы также широко применяются при изучении надежности – для моделирования срока службы конструкции. Они описывают свойство износа (или усталости) материала: чем старше конструкция, тем больше вероятность ее выхода из строя в ближайшем будущем.

Полученные законы распределения относятся к экстремальным распределениям, описывающим минимальные значения элементов для множества, ограниченного слева, то есть хорошо подходят для описания коэффициента устойчивости, близкого к единице.

Выявлено, что коэффициент устойчивости может подчиняться экстремальным законам распределения (*Weibull*, *Burr12*, *Dagum*, *FatigueLife*, *Gamma*, *Erlang*, *Logistic*), использующимся для моделирования техносферной безопасности и стихийных бедствий.

На основании полученных результатов предложен подход вероятностной оценки устойчивости склона, который позволяет уточнить риск обрушения склона.

### Библиографический список

1. Безуглова, Е. В. Оползневой риск транспортных природно-технических систем : монография / Е. В. Безуглова, С. И. Маций, В. В. Подтелков. – Краснодар : КубГАУ, 2015. – 239 с.
2. Hasofer, A. M. Exact and invariant second-moment code format / A. M. Hasofer, N. C. Lind // Journ. of Engineering Mechanics. – 1974. – № 1 (100). – P. 111–121.
3. Low, B. K. Efficient reliability evaluation using spreadsheet / B. K. Low, W. H. Tang // Journ. of Engineering Mechanics. – 1997. – Vol. 123, iss. 7. – P. 749–752. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9399\(1997\)123:7\(749\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9399(1997)123:7(749))
4. Low, B. K. Practical probabilistic slope stability analysis / B. K. Low // Proceedings : Soil and Rock America 2003, 12th Panamerican Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering and 39th U.S. Rock Mechanics Symposium, M.I.T, June 22–26, 2003 ; Verlag Gluckauf GmbH Essen. – Cambridge, MA, USA, 2003. – Vol. 2. – P. 2777–2784.
5. Reliability analyses of slope stability: homogeneous slope with circular failure / M. Selmi, J. Baroth, M. Ltifi, H. Hassis, F. Darve // European Journ. of Environmental and Civil Engineering. – 2010. – Vol. 14, № 10. – P. 1227–1257. <https://doi.org/10.1080/19648189.2010.9693293>
6. Кацко, Д. И. Вероятностные расчеты устойчивости оползневого склона / Д. И. Кацко, С. И. Маций / ГеоРиск. – 2021. – Т. 15, № 3. – С. 8–22.

7. Далматов, Б. И. Механика грунтов, основания и фундаменты / Б. И. Далматов. – 4-е изд. – С.-Петербург : Лань, 2017. – 416 с.
8. Добров, Э. М. Механика грунтов : учебник для студ. высш. учеб. заведений / Э. М. Добров. – Москва : Академия, 2008. – 272 с.
9. Stability Modeling with GeoStudio [Electronic resource] / GEO-SLOPE International Ltd. – Calgary, Canada, 2005. – Mode of access: <https://downloads.geoslope.com/geostudioresources/books/11/2/SLOPE%20Modeling.pdf>. – Date of access: 20.02.2024.
10. Клейнен, Дж. Статистические методы в имитационном моделировании : в 2 т. / Дж. Клейнен ; пер. с англ. под ред. Ю. П. Адлера, В. Н. Ворыгина. – Москва : Статистика, 1978. – Т. 1. – 221 с.
11. Шенон, Р. Ю. Имитационное моделирование систем – искусство и наука // Р. Ю. Шенон ; пер. с англ. под ред. Е. К. Масловского. – Москва : Мир, 1978. – 221 с.
12. Гумбель, Э. Статистика экстремальных значений / Э. Гумбель ; пер. с англ. В. Ю. Татарского под ред. Д. М. Чибисова. – Москва : Мир, 1965. – 451 с.
13. Ивченко, Г. И. Введение в математическую статистику / Г. И. Ивченко, Ю. И. Медведев. – 2-е изд., испр. и доп. – Москва : Ленанд, 2017. – 606 с.
14. Райзер, В. Д. Вероятностные методы надежности в анализе надежности и живучести сооружений / В. Д. Райзер. – Москва : АСВ, 2018. – 396 с.

Поступила 30 апреля 2024 г.

## ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ОБСЛЕДОВАНИЯ И ОЧИСТКИ КОЛЛЕКТОРОВ, ВХОДЯЩИХ В ДРЕНАЖНЫЙ КОЛОДЕЦ

**В. А. Болбышко**, кандидат технических наук  
**В. П. Закржевский**, старший научный сотрудник  
**А. А. Левкевич**, младший научный сотрудник  
РУП «Институт мелиорации», г. Минск, Беларусь

### Аннотация

Представлена конструкция штанги направляющей для обследования и очистки с помощью устройства ОД-100 коллекторов, входящих в дренажный колодец. Описано ее устройство и приемы работы с ней при обследовании и очистке коллекторной сети.

**Ключевые слова:** штанга направляющая, оценка внутреннего состояния, очистка от заиления, коллекторная сеть, дренажный колодец, гибкий упругий стержень, сменные насадки.

### Abstract

#### **V. A. Bolbyshko, V. P. Zakrjevsky, A. A. Levkevich EQUIPMENT FOR INSPECTION AND CLEANING OF COLLECTORS ENTERING THE DRAINAGE WELL**

The design of guide rod for inspection and cleaning with the help of DC-100 device of collectors entering the drainage well is presented. It describes its design and methods of work with it when performing inspection and cleaning of collector network.

**Keywords:** guide rod, internal condition assessment, cleaning from siltation, collector network, drainage well, flexible elastic rod, interchangeable nozzles.

### Введение

Общая площадь сельскохозяйственных земель Беларуси, осушенных закрытым дренажем, составляет 2,2 млн га. Условие эффективного использования мелиоративных систем с закрытым дренажем – поддержание нормативного уровня их работоспособности. Закрытый дренаж является одним из главных элементов, от исправности которого зависит

эффективность работы всей мелиоративной системы. Оценка внутреннего состояния коллекторной сети, а также очистка ее от заиления, минеральных отложений и железистых соединений при наличии дренажного стока могут производиться с помощью устройство ОД-100 [1].

### Основная часть

Основным элементом этого устройства является упругий стеклопластиковый стержень, на конце которого крепятся сменные насадки. Во время работы этот стержень с насадкой на конце проталкивается в полость коллектора на расстояние до 100 метров и затем извлекается из коллектора. При этом в зависимости от применяемых насадок производится оценка внутреннего состояния коллектора или его очистка.

Устройство ОД-100 положительно зарекомендовало себя и применяется в мелиоративных организациях, занимающихся эксплуатацией и ремонтом мелиоративных систем.

Однако на практике нередко бывает, когда необходимо произвести обследование или

очистку коллекторов, входящих в дренажный колодец (таких колодцев на мелиоративных системах в Беларуси насчитывается более 32 тысяч, что говорит о широком распространении данного вида работ). В этом случае рабочий должен спуститься в дренажный колодец и оттуда, находясь в стесненных условиях, проталкивать упругий стеклопластиковый стержень в коллектор. На дне дренажного колодца часто находится вода, что также усложняет условия проведения работ. Такая операция является нетехнологичной, трудоемкой и опасной. С целью улучшения условий труда, повышения его производительности за счет обеспечения очистки коллекторов, входящих в дренажный

колодец, без спуска рабочего в сам колодец, в РУП «Институт мелиорации» была разработана штанга направляющая ШН-4.

На рис. 1 показана конструкция штанги направляющей ШН-4.

Данное устройство включает: рамку 1 с роликами 2, регулирующую опору 3 и рукоять 4, которая состоит из одной или нескольких соединяющихся между собой труб. Таким образом, регулируется ее длина в зависимости от глубины колодца. На рукояти закреплены съемные направляющие кольца 5. Гибкий упругий стержень 6 устройства ОД-100 изгибается и вставляется между роликами. На конце гибкого упругого стержня закрепляется сменная насадка 7.

На конструкцию штанги направляющей ШН-4 получен патент ВУ 12715 [2]; также была разработана необходимая конструкторская документация, на основании которой изготовлена данная штанга.

**Техническая характеристика штанги направляющей ШН-4:**

- глубина колодца, м – до 4;
- внутренний диаметр колодца, м – не менее 0,6;
- ход регулировки опоры, м – до 0,3;

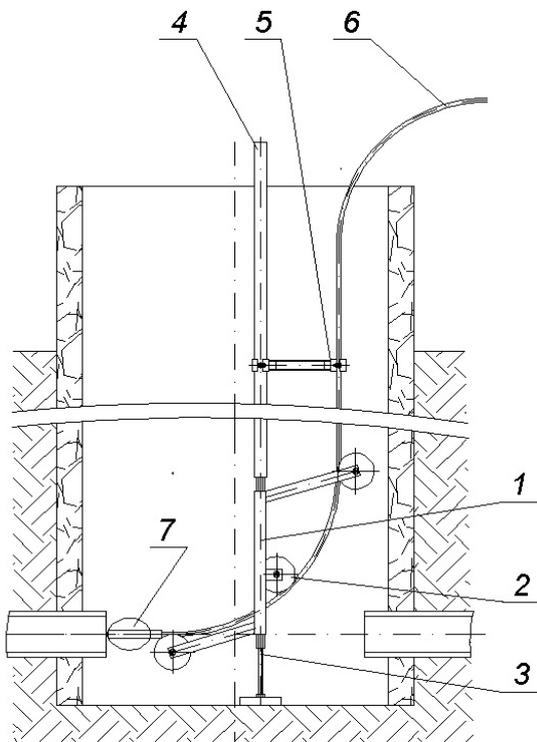


Рис. 1. Штанга направляющая ШН-4 при очистке коллектора из колодца

- длина труб рукояти, м – 2 ;
- габаритные размеры рамки с роликами, мм – 540 × 540 × 65;
- масса оборудования, кг – 7.

При необходимости очистки коллектора, выходящего в колодец, гибкий упругий стержень 6 устройства ОД-100 изгибается и вставляется между роликами 2 штанги направляющей ШН-4 (рис. 3). На стержень 6 монтируется насадка 7, необходимая для выполняемых работ.

Затем вся конструкция опускается в дренажный колодец и устанавливается на его дно – на регулирующую опору 3 – таким образом, чтобы насадка 7 оказалась напротив выхода коллектора (рис. 4).

Рабочий, находящийся наверху рядом с дренажным колодцем, толкает гибкий упругий стержень 6, и он вместе с насадкой 7 входит в полость коллектора на необходимое расстояние (рис. 2).

Затем гибкий упругий стержень 6 извлекается из коллектора. Последовательным повторением указанных действий происходит очистка коллектора или оценка его состояния.

После окончания работы демонтаж устройства производится в обратном порядке.



Рис. 2. Очистка коллектора из колодца с помощью штанги направляющей ШН-4



Рис. 3. Штанга направляющая ШН-4 со вставленным в нее упругим стержнем устройства ОД-100



Рис. 4. Штанга направляющая ШН-4 во время очистки коллектора из колодца

Штанга направляющая ШН-4 апробирована в ходе обследования коллекторов на мелиоративном объекте ОАО «ПМК-98 Водстрой» в Чаусском р-не Могилевской обл.

Четыре коллектора диаметром 100 мм проходили под автомобильной дорогой Р 122 Могилев – Чериков – Костюковичи. На каждом коллекторе с обеих сторон дороги расположены наблюдательные колодцы. Расстояние между находящимися на одном коллекторе колодцами – 50 м. Оценка состояния коллекторов проводилась с использованием устройств КСД-160 с видеокамерой, ОД-100 и штанги направляющей ШН-4. На дне колодцев находилась вода. Вид одного из колодцев во время обследования приведен на рис. 3.

Штанга направляющая ШН-4 во время испытаний подтвердила свою работоспособность и обеспечила выполнение всех необходимых технологических операций. Ее использование облегчило и ускорило прове-

дение работ, так как рабочим не нужно было спускаться в колодец. Состояние обследованных коллекторов признано удовлетворительным. Проводились также хронометраж и оценка трудозатрат при очистке коллекторов из колодца по существующей в настоящее время технологии очистки металлическими штангами (технология Е71-26-1, Сб. 71 – НРР 8.03.371-2022) и в соответствии с технологией применения устройства ОД-100 и штанги направляющей ШН-4.

В таблице приведены сравнительные затраты времени на очистку из колодца дренажного трубопровода диаметром 100 мм и длиной 10 м. Данные свидетельствуют, что затраты труда рабочих на очистку дренажного трубопровода устройством ОД-100 по сравнению с очисткой металлическими штангами снижаются на 27 %, а устройством ОД-100 со штангой ШН-4 – на 38 %. При этом значительно улучшаются условия труда рабочих.

**Таблица. Состав работ и затраты времени на очистку из колодца дренажного трубопровода**

Показатели	Технология очистки трубопроводов		
	металлическими штангами	устройством ОД-100	ОД-100 со штангой ШН-4
Состав работ	а) снятие и закрытие крышки люка колодца; б) подача в колодец, наращивание, разъединение, удаление из колодца и упаковка штанг; в) очистка труб; г) переход от колодца к колодцу	а) снятие и закрытие крышки люка колодца; б) подача в колодец и удаление из него гибкого стержня устройства ОД-100; в) очистка труб; г) переход от колодца к колодцу	а) снятие и закрытие крышки люка колодца; б) вставка гибкого стержня устройства ОД-100 в штангу направляющую ШН-4; в) вставка и извлечение штанги в колодец /из него; г) очистка труб; д) переход от колодца к колодцу
Затраты труда рабочих, чел.-ч	1,79	1,3	1,1

**Заключение**

Применение штанги направляющей ШН-4 позволяет производить работы по очистке коллекторов, входящих в дренажный колодец, рабочими, находящимися на поверхно-

сти поля рядом с колодцем без необходимости спуска в него. Это значительно улучшает условия деятельности, снижает трудоемкость и повышает производительность труда.

**Библиографический список**

1. Техническая эксплуатация закрытой мелиоративной сети / Н. Н. Погодин [и др.] ; Нац. академия наук Беларуси, Ин-т мелиорации. – Минск : Беларуская навука, 2022. – 154 с.
2. Устройство для очистки дренажных трубопроводов : пат. ВУ 12715 / А. С. Анженков, В. А. Болбышко, Н. Н. Погодин. – Опубл. 30.10.2021.

Поступила 22 мая 2024 г.

## ВОДОНЕПРОНИЦАЕМЫЕ КОНСТРУКЦИИ КРЕПЛЕНИЙ ИРРИГАЦИОННЫХ КАНАЛОВ В КИТАЕ

Э. И. Михневич<sup>1</sup>, доктор технических наук  
Ли Цзэмин<sup>1,2</sup>, аспирант

<sup>1</sup>Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Беларусь

<sup>2</sup>Шэньянский технологический институт, г. Фушунь, Китай

### Аннотация

Проанализированы применяемые в Китае водонепроницаемые конструкции креплений ирригационных каналов. Приведены облицовки сборными железобетонными плитами, укладываемыми на слой композитной мембраны, и крепление, выполненное из бетона, заливаемого в формовочные мешки, изготовленные из двухслойной полимерной ткани. Предложена конструкция крепления в виде решетчатых и ячеистых плит, укладываемых на водонепроницаемую пленку, с заполнением решеток и ячеек крупнозернистым материалом, диаметр которого определяют по разработанным нами формулам.

**Ключевые слова:** ирригационные каналы, водонепроницаемые крепления, композитные мембраны, решетчатые и ячеистые плиты, методика расчета.

### Abstract

#### **E. I. Mikhnevich, Li Zeming WATERPROOF DESIGNS FOR FASTENING IRRIGATION CHANNELS IN CHINA**

An analysis of the used made in China waterproof designs for fastening irrigation canals is given. The lining are presented with prefabricated reinforced concrete slabs laid on a layer of composite membrane, and fastenings made of concrete poured into molding bags made of two-layer polymer fabric. A fastening design has been proposed in the form of lattice and cellular slabs laid on a waterproof film, with the lattice and cells filled with coarse-grained material, the diameter of which is determined according to the formulas we have developed.

**Keywords:** irrigation channels, waterproof fastenings, composite membranes, lattice and cellular slabs, calculation methods.

### Введение

Для снижения фильтрационных потерь из оросительных каналов, повышения их КПД и предотвращения подтопления в приканальной зоне облицовки каналов должны быть водонепроницаемыми и обеспечивать защиту русла от размыва потоком воды. Особое значение имеет хорошее состояние магистральных каналов, которые являются непосредственным поставщиком воды из водных источни-

ков (рек, водохранилищ, озер) на орошение. Многие из них – крупные водотоки, что характерно для ирригационных систем Китая. Так, общая протяженность главного магистрального канала, подающего воду из р. Хуанхэ на ирригационную систему Хэтао, составляет 188,6 км, а расход воды на входе в канал – 565 м<sup>3</sup>/с; воду от главного канала в зону орошения отводят 16 магистральных каналов [1].

### Крепление каналов сборными железобетонными плитами и бетонной облицовкой

Наиболее распространенный тип крепления ирригационных каналов – облицовка сборными железобетонными плитами (рис. 1) или монолитным бетоном [2, 3]. В руслах, сложенных глинистыми, лессовидными и мелкозернистыми грунтами, плиты укладывают на гравийно-песчаную подготовку толщиной 0,1–0,2 м.

Бетонные крепления обладают высокой прочностью, долговечностью и малым коэф-

фициентом шероховатости, что способствует уменьшению размеров поперечного сечения и повышению скорости течения воды в русле. Более удобны в применении сборные железобетонные плиты, которые позволяют повысить темпы строительства за счет индустриализации и механизации строительного процесса. Такие крепления отличаются малыми затратами на техническое обслуживание, а к их недостаткам

можно отнести ручные работы по заделке стыков плит, недостаточную трещиностойкость, а также их высокую начальную стоимость.

Водонепроницаемость бетонного крепления повышается укладкой плит на композитную геомембрану, которая представляет собой непроницаемый материал, состоящий из геотекстильного полотна и геомембраны из полиэтилена или поливинилхлорида, обеспечивающей полную защиту от просачивания воды из канала.

В Китае на небольших каналах применяют унифицированное бетонирование всего сечения русла (рис. 2). Для этого используют механизированную опалубку и автобетономешалки при приготовлении бетонной смеси непосредственно на берегу канала [4].

В строительстве крупных каналов в отдаленных горных районах Китая для облицовки русла применяется чешуйчатый бетон, приготовляемый из смеси цемента, песка, гальки и крупных камней [5]. Чешуйчатый бетон заполняют камнями или крупной галькой с размером частиц 10–15 см и более. Количество камней в смеси не должно превышать 25 % от объема бетонной конструкции. Преимущество устройства таких креплений заключается в использовании местных материалов для приготовления бетона, что, соответственно, позволяет избежать транспортных затрат на доставку инертных заполнителей бетонной смеси. Этот вид облицовки не рекомендуется применять на каналах в торфяных и лессовидных грунтах.



Рис. 1. Облицовка канала сборными железобетонными плитами



Рис. 2. Бетонная облицовка поперечного сечения канала

Специфичным типом креплений, применяемых в КНР, является крепление, выполненное из бетона, который заливается в формовочные мешки, изготовленные из двухслойной полимерной ткани (рис. 3). Бетон формовочного мешка представляет собой структуру, образованную после затвердевания бетона путем заливки бетонного раствора в формовочный мешок с помощью насоса высокого давления [6].

Укажем преимущества крепления: высокая степень механизации, прочная устойчивая защита откосов, длительный срок службы. Сам формовочный мешок обладает определенной степенью водопроницаемости, и после заливки бетона излишки воды в бетонной смеси могут вытекать из мешка. Это способствует снижению водоцементного отношения, ускорению затвердевания бетона и повышению его прочности на сжатие. Структура бетонной облицовки в виде формовочного мешка обладает хорошим эффектом защиты от проса-

чивания, коэффициент использования воды, подаваемой на орошение, может достигать более 96 %, что позволяет реализовать водосберегающее орошение.

Конструкции бетонной облицовки в виде формовочного мешка применяют на небольших каналах шириной по дну от 1 до 1,5 м. В то же время каналы с таким типом крепления имеют более низкий коэффициент заложения откосов, что позволяет уменьшить площадь поперечного сечения. К недостаткам такого типа крепления можно отнести трудоемкий процесс его устройства. Толщина самого формовочного мешка должна обеспечить устойчивость откосов к различным видам деформаций.

В горных районах Китая защиту откосов устраивают из шламовой кладки на слое водонепроницаемой композитной геомембраны. Опорная плита и боковая стенка выполнены из шламовой кладки толщиной 0,3–0,5 м (рис. 4).



Рис. 3. Бетонная облицовка с применением формовочного мешка

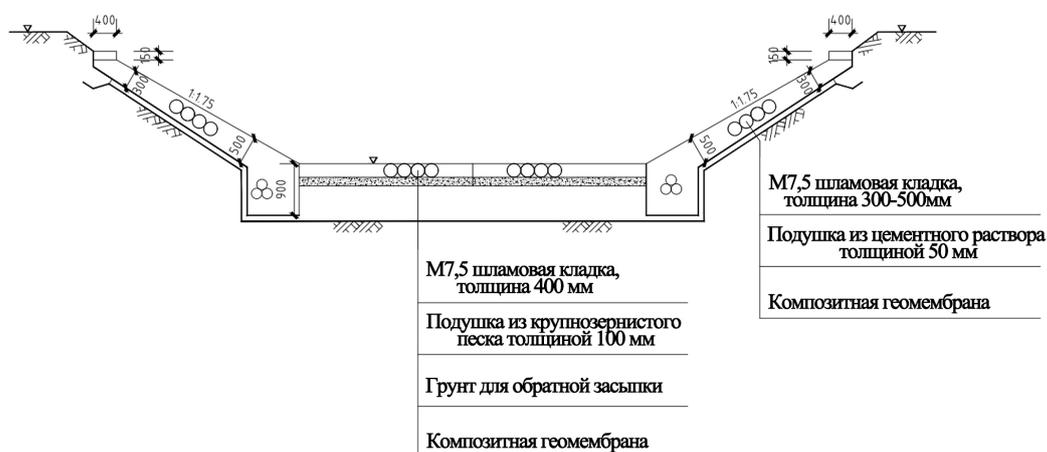


Рис. 4. Крепление из шламовой кладки на слое композитной геомембраны

Преимущества такого крепления: хороший эффект защиты от просачивания и обморожения, небольшие инвестиции, нетрудоемкая укладка геомембраны. К недостаткам можно отнести повышение коэффициента шероховатости канала и трудности устранения повреждения геомембраны.

Для больших каналов (шириной по дну 6–8 м и более) используют конструкцию крепления в виде монолитных непроницаемых бетонных плит толщиной 0,15 м, которые укладывают на слой композитной геомембраны (рис. 5).

Преимущества такого крепления: хороший эффект защиты от просачивания, небольшая шероховатость поверхности русла, соответственно, высокая скорость течения воды и уменьшение площади поперечного сечения.

Недостаток крепления – в слабой приспособляемости к деформациям.

Для удобства производства работ, снижения времени строительства крепления и лучшей его адаптации к деформациям используют конструкции из сборно-бетонных плит непроницаемого типа на слое композитной геомембраны [7]. Дно канала укрепляют опорной монолитной бетонной плитой толщиной 0,12 м, а откосы – сборно-бетонными плитами толщиной 0,08 м; слой композитной геомембраны укладывают и под опорную монолитную плиту, и под сборные бетонные плиты на откосах (рис. 6).

В районах с низкими зимними температурами для повышения устойчивости креплений в пучинистых грунтах сборно-бетонные плиты укладывают на теплоизоляционные пенополистирольные плиты толщиной не менее 7 см [8].



Рис. 5. Крепление канала непроницаемыми бетонными плитами на слое композитной геомембраны

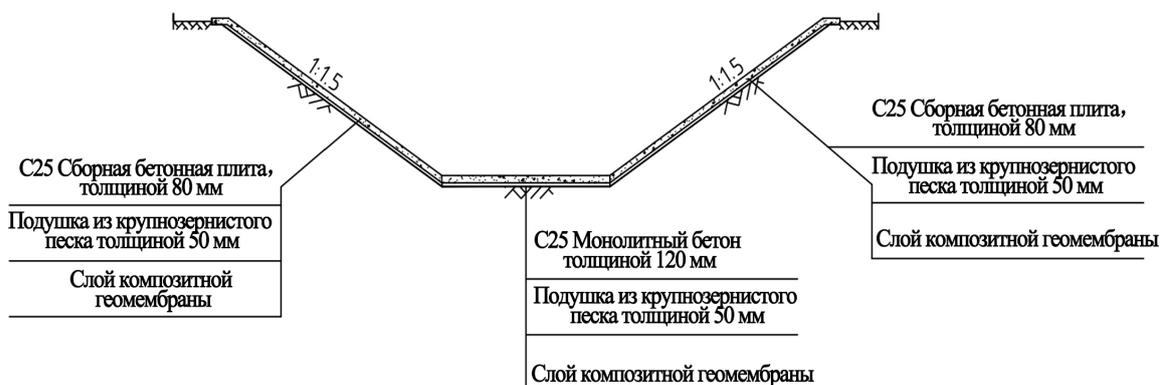


Рис. 6. Крепление откосов сборными бетонными плитами по слою геомембраны

### Крепление каналов решетчатыми и ячеистыми плитами

Для снижения объема бетона в конструкциях креплений каналов и повышения устойчивости сыпучих крупнозернистых материалов на поверхности откосов предлагается использовать крупнорешетчатые и мелкорешетчатые (ячеистые) плиты, укладываемые на водонепроницаемую геомембрану. Решетки и ячейки в этих плитах заполняются крупнозернистыми материалами. Тот или иной тип плит выбирают в зависимости от крупности материала засыпки, имеющегося в наличии. Если используется материал большой крупности (камни, гравий, щебень), то применяют решетчатые плиты, а если крупнозернистый песок или мелкий гравий – то ячеистые плиты (рис. 7).

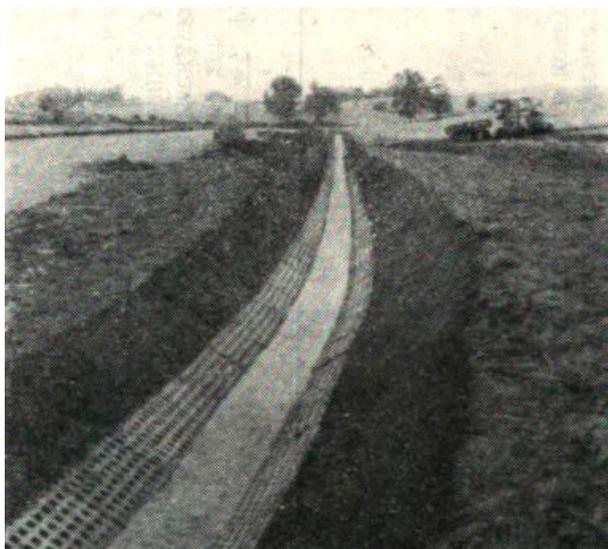


Рис. 7. Крепление канала ячеистыми плитами

Крупность материалов засыпки рассчитывают из условия их устойчивости к размыву русловым потоком. Расчетной стадией для определения требуемого диаметра  $D$  заполнителя крупноразмерных решеток является стадия начала подвижки отдельных зерен материала, а для ячеистых плит (при ширине ячейки  $b \leq 10D$ ) за расчетную принимают стадию взвешивания грунта, что позволяет значительно уменьшить крупность материала засыпки, но при этом объем бетона в таких плитах будет несколько выше, чем в крупнорешетчатых.

При определении крупности зерен материала засыпки для указанных стадий рекомендуется использовать формулы Э. И. Михневича [9] применительно к допускаемым

скоростям для дна и откосов, решая их относительно диаметра. За расчетные принимают скорости, соответствующие стадии начала влечения отдельных зерен грунта для засыпки решетчатых плит и стадии начала их взвешивания – для ячеистых.

Формула определения допускаемой неразрывающей скорости для дна в стадии начала влечения отдельных зерен несвязного грунта имеет вид:

$$v_{н.доп} = 2,06 \left( \frac{R}{d} \right)^{0,167} \sqrt{\frac{g\rho_1 d f_n}{\rho_B}}, \quad (1)$$

где  $R$  – гидравлический радиус русла, м;

$d$  – расчетный диаметр грунта, м;

$\rho_1$  – плотность грунта с учетом взвешивания его водой, кг/м<sup>3</sup>;

$\rho_B$  – плотность воды, кг/м<sup>3</sup>;

$g$  – ускорение силы тяжести, м/с<sup>2</sup>;

$f_n$  – коэффициент внутреннего трения грунта; для крупнозернистого материала засыпки принимается равным 0,80 для гравия; 0,9 – для мелкого щебня; 0,7 – для гравийно-песчаных смесей;  $f_n = 1$  для каменной наброски и крупных сортированных фракций щебня.

Решая эту формулу относительно диаметра, получаем зависимость для определения среднего диаметра материала наброски дна  $D_{дн}$  (с учетом коэффициента запаса  $K_3$ ):

$$D_{дн} = \frac{K_3 v^3}{8,74R^{0,5} (g\rho_1 f_n / \rho_B)^{1,5}}, \quad (2)$$

где  $v$  – скорость течения воды, м/с;

$K_3$  – коэффициент запаса, учитывающий неравномерность распределения наброски по дну, принимают равным 1,15.

Формула определения допускаемой неразрывающей скорости для откоса с коэффициентом заложения  $m$  в стадии начала влечения отдельных зерен несвязного грунта имеет вид:

$$v_{доп} = 2,06 \left( \frac{R}{d} \right)^{0,167} \left( \frac{g\rho_1 d}{\rho_B} \right)^{0,5} \left[ f_n^2 - \frac{1}{m^2} \right]^{0,25}. \quad (3)$$

Решая формулу (3) относительно диаметра, получаем зависимость для определения расчетного диаметра  $D$  материала наброски откосов, в которой за расчетную принимается стадия начала влечения отдельных частиц:

$$D = \frac{K_3 v^3}{8,74R^{0,5} (g\rho_1 / \rho_B)^{1,5} (f_n^2 - 1/m^2)^{0,75}}, \quad (4)$$

где  $K_3$  – коэффициент запаса, учитывающий неравномерность распределения наброски на откосе, принимаемый равным 1,2;

$m$  – коэффициент заложения откоса.

Содержание частиц с расчетным диаметром  $D$  должно быть в наброске не менее 50 % по массе, а ее толщина не менее  $3D$ .

Если в качестве крепления откосов применяют бетонные ячеистые (мелкорешетчатые) плиты, то диаметр частиц крупнозернистого материала (заполнителя ячеек) рассчитывают для стадии начала взвешивания грунта.

Формула определения допускаемой скорости для дна в стадии начала взвешивания несвязного грунта имеет вид:

$$v_{\text{доп}} = 5,96 \left( \frac{R}{d} \right)^{0,1} \left( \frac{g \rho_1 d f}{\rho_B} \right)^{0,5}. \quad (5)$$

Решая формулу относительно диаметра, получаем зависимость для определения среднего диаметра материала пригрузки дна  $D_{\text{дн}}$  (с учетом коэффициента запаса  $K_3$ ):

### Выводы

1. В качестве водонепроницаемых конструкций креплений ирригационных каналов широкое внедрение получили сборные железобетонные плиты, укладываемые на слое композитной геомембраны.

2. В Китае на небольших ирригационных каналах (шириной по дну порядка 1–2 м) применяют два типа креплений: бетонирование всего сечения русла с использованием механизированной опалубки и автобетономешалки для приготовления бетонной смеси непосредственно на берегу канала, а также крепление, выполненное из бетона, заливаемое

$$D_{\text{дн}} = \frac{K_3 v^{2,5}}{86,72 R^{0,25} (g \rho_1 f / \rho_B)^{1,25}}. \quad (6)$$

Формула определения допускаемой скорости для откоса в стадии начала взвешивания несвязного грунта имеет вид:

$$v_{\text{доп}} = 5,96 \left( \frac{R}{d} \right)^{0,1} \left( \frac{g \rho_1 d}{\rho_B} \right)^{0,5} \left[ f^2 - \frac{1}{m^2} \right]^{0,25}. \quad (7)$$

Решая эту формулу относительно диаметра, получаем зависимость для расчета диаметра частиц наброски, укладываемой в ячейки плит на откосе, в следующем виде:

$$D = \frac{K_3 v^{2,5}}{86,72 R^{0,25} (g \rho_1 / \rho_B)^{1,25} (f^2 - 1/m^2)^{0,625}}. \quad (8)$$

Практически тип плиты крепления выбирают на основе технико-экономических расчетов с учетом наличия материалов требуемой крупности и возможной экономии бетона.

мого в формовочные мешки, изготовленные из двухслойной полимерной ткани.

3. Для снижения объема бетона в конструкциях креплений каналов и повышения устойчивости сыпучих крупнозернистых материалов на поверхности откосов предлагается использовать решетчатые и ячеистые плиты, укладываемые на водонепроницаемую геомембрану.

Решетки и ячейки в этих плитах заполняются крупнозернистым материалом, диаметр зерен которого рассчитывают по разработанным нами формулам.

### Библиографический список

1. Михневич, Э. И. Пропускная способность главного магистрального канала, подающего воду из р. Хуанхэ на ирригационную систему Хэтао / Э. И. Михневич, Ли Цзэмин // 37-е пленарное межвузовское координационное совещание по проблеме эрозионных, русловых и устьевых процессов, Рязань, 3–7 окт. 2022 г. : доклады и сообщения / МГУ ; ред. Р. С. Чалов [и др.]. – Москва, 2022. – С. 128–130.
2. Защитные покрытия оросительных каналов / В. С. Алтунин [и др. ] ; под ред. В. С. Алтунина. – Москва : Агропромиздат, 1988. – 160 с.
3. Zhang, Wei. Discussion on the construction technology of cast-in-place concrete impermeable channel / Wei Zhang // Sichuan Building Materials. – 2014. – № 40 (3). – P. 222–224. (на кит.)
4. Ma, Jimin. Application and measures of concrete lining machine in channel construction / Jimin Ma // Water Resources. – 2013. – № 1. – P. 48–53. (на кит.)

5. Wen, Yuxia. Measures to prevent infiltration lining of irrigation channels / Yuxia Wen // Gansu Agriculture. – 2006. – № 5. – P. 129. (на кит.)
6. Wang, Hongbao. Application of moulded bag concrete lining in the engineering / Hongbao Wang // Shaanxi Water Resources. – 2022. – № 5. – P. 155–159. (на кит.)
7. Xu, Qiuzi. Seepage control channel lining technology in farmland water conservancy construction / Qiuzi Xu // China Science and Technology Information. – 2022. – № 8. – P. 67–69. (на кит.)
8. Shi, Jiao. Evaluating the effectiveness and adaptability of Anti-frost-heaving materials for channel lining in frozen earth areas based on temperature-stress coupling / Jiao Shi // Journ. of Changjiang River Scientific Research Institute. – 2022. – № 39 (3). – P. 131–136. (на кит.)
9. Михневич, Э. И. Открытые водотоки: пропускная способность и устойчивость / Э. И. Михневич. – Минск : БНТУ, 2021. – 311 с.

Поступила 5 июня 2024 г.

## ПОВЫШЕНИЕ ОСУШИТЕЛЬНОЙ СПОСОБНОСТИ ДРЕНАЖА НА ОСНОВЕ НОВЫХ ВЫСОКОТЕХНОЛОГИЧНЫХ КОНСТРУКТИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ И МАТЕРИАЛОВ

**А. И. Митрахович<sup>1</sup>**, кандидат технических наук

**Э. Н. Шкутов<sup>1</sup>**, кандидат технических наук

**И. Ч. Казмирук<sup>2</sup>**, кандидат технических наук

<sup>1</sup>РУП «Институт мелиорации», г. Минск, Беларусь

<sup>2</sup>Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Беларусь

### Аннотация

Проанализированы конструктивные решения и основные функциональные элементы горизонтального дренажа, обеспечивающие эффективную работу мелиоративных систем на объектах реконструкции, особенно при наличии слабоводопроницаемых минеральных грунтов и бессточных понижений. Отмечаются высокие фильтрационные свойства синтетических фильтрующих материалов, позволяющие существенно увеличивать водоприемную способность дренажных труб и заменять ими присыпку дрен песчано-гравийной смесью, песком и т. п. Рекомендуется комплекс мероприятий с применением дренажных устройств, находящихся на стадии патентных решений и включающих новые элементы мелиоративной сети из полимерных материалов, которые служат для удаления избыточных вод из замкнутых понижений. Предложены мероприятия, повышающие интенсивность водоотвода с избыточно переувлажненных земель и обеспечивающие условия для ведения высокопродуктивного сельскохозяйственного производства.

**Ключевые слова:** геотекстиль, дренаж, защитно-фильтрующий материал, колонки-поглотители, осушительная мелиоративная система, реконструкция.

### Abstract

**A. I. Mitrakhovich, E. N. Shkutov, I. Ch. Kazmiruk**  
**INCREASING THE DRAINAGE CAPACITY OF DRAINAGE BASED ON NEW HIGH-TECH STRUCTURAL ELEMENTS AND MATERIALS**

The article analyzes the structural solutions and main functional elements of horizontal drainage that ensure the efficient operation of drainage systems at reconstruction sites, especially with low-permeability mineral soils and the presence of drainless depressions. The high filtration properties of synthetic filter materials, which make it possible to significantly increase the water-receiving capacity of drainage pipes and replace with them the filling of drains with sand and gravel mixture, sand, etc have been considered. A set of measures is recommended using drainage devices that are at the stage of patent solutions, including new elements of the drainage network made of polymer materials that serve to remove excess water from closed depressions. Measures are proposed that increase the intensity of water drainage from excessively waterlogged lands, which provide conditions for highly productive agricultural production.

**Keywords:** geotextile, drainage, protective and filtering material, absorber columns, drainage system, reconstruction.

### Введение

Сельское хозяйство Беларуси в регионах с избыточным увлажнением может успешно развиваться на основе осушения земель. Основными причинами избыточного увлажнения зачастую являются: замедленный поверхностный сток атмосферных вод, западинный (или плоский) рельеф местности, повсеместное залегание с поверхности слабоводопроницаемых почв [1]. Из трех миллионов мелиорированных земель в нашей стране более двух осушено закрытым горизонтальным дрена-

жем. Первые осушительные системы в Беларуси были открытого типа, они устраивались с помощью водосборных канав [каналов].

На территории Беларуси дренаж стал применяться с середины 19 в., когда страна еще входила в состав Российской империи. Керрамический дренаж был заложен вручную в 1853 г. на исследовательском участке в Горечком сельскохозяйственном институте [2].

Осушение земель закрытым выборочным и систематическим дренажем – это прогрес-

сивный, функционально эффективный способ осушения земель, который широко применяется во всем мире. При осушительной направленности мелиорации в нашей стране альтернативы ему в ближайшей перспективе не предвидится.

В климатических условиях гумидной зоны Беларуси на некоторых участках реконструкции мелиоративных систем возникает необходимость повышения интенсивности их осушительного действия при регулировании водно-воздушного режима почв. Выбор способов реконструкции, включающих горизонтальный дренаж, должен базироваться на прогрессивных конструктивных решениях, применении новых основных функциональ-

### Результаты исследований и их обсуждение

Реконструкция мелиоративной системы должна основываться на достижениях научно-технического прогресса: применении новых материалов, современных конструкций, увеличивающих положительный эффект от мелиоративных мероприятий, а также использовании более совершенных технологических приемов, уменьшающих затраты труда рабочих и техники.

Уже выработан единый международный подход к основным техническим параметрам пластмассовых дренажных труб. Е. С. Семериновым установлено, что суммарная площадь водоприемных отверстий на 1 м трубы должна быть не менее 30 см<sup>2</sup> [3]. По исследованиям, проведенным академиком А. И. Мурашко, площадь перфорационных отверстий на 1 метр дренажной трубы должна составлять 38 см<sup>2</sup> [4], так как дальнейшее увеличение площади перфорации почти не влияет на водоприемную способность дренажных труб, поскольку она лимитируется водоотдачей грунтов. Перфорированные гофрированные дренажные трубы считаются универсальными для применения в различных почвенно-грунтовых условиях.

В современном производстве используются дренажные трубы с площадью перфорации 50 см<sup>2</sup>/м, поскольку площадь отверстий на 1 м трубы зависит также от диаметра труб: при большем диаметре рекомендована большая площадь отверстий. В отличие от выпускавшихся ранее дренажных труб с круглой перфорацией, сейчас промышленность выпускает

ных элементов, к которым относятся пластмассовые дренажные трубы, синтетические защитно-фильтрующие материалы (далее – ЗФМ), фильтрующие засыпки траншей из природных и синтетических материалов, водопоглощающие элементы, а также такие агромелиоративные мероприятия, как глубокое рыхление и кротование, повышающие технический уровень реконструкции.

Основным элементом водоотведения с осушаемой площади в настоящее время является пластмассовая гофрированная труба (ТГД63-ПЭ80-ЗФП-SN8-9\*1,2) с круговой оберткой геотекстильным материалом для защиты от заиления.

трубы с прямоугольными перфорационными отверстиями, что вызывает сужение потока на входе. Данная конструктивная особенность – предпосылка для повторного проведения экспериментов по изучению водоприемной способности труб.

При разработке конструкции узла подключения старого дренажа, пересекаемого при реконструкции новым (рис. 1), исследовалась целесообразность увеличения площади перфорации трубы, используемой для поступления дренажного стока из старых дренажных труб в новые, исключая заиление нового дренажа наносами из существующего дренажа. Конструкция узла подключения технологична в изготовлении и строительстве, малозатратна, надежна и универсальна, может применяться как на пересекаемых дренажных линиях, так и при подключениях без пересечения.

Исследовались варианты полиэтиленовых гофрированных труб с площадью перфорации 50, 143, 236, 330 см<sup>2</sup>. Засыпка из песчано-гравийной смеси (далее – ПГС) не ограничивала приток воды к дренам. В результате проведенных лабораторных экспериментов установлено, что все испытанные варианты обеспечивают необходимую водоприемную способность и требуемую кольцевую жесткость. Предельные значения по кольцевой жесткости не были достигнуты для всех исследованных вариантов, у трубы сохранилось неизменное круглое поперечное сечение. Овальность не зафиксирована.

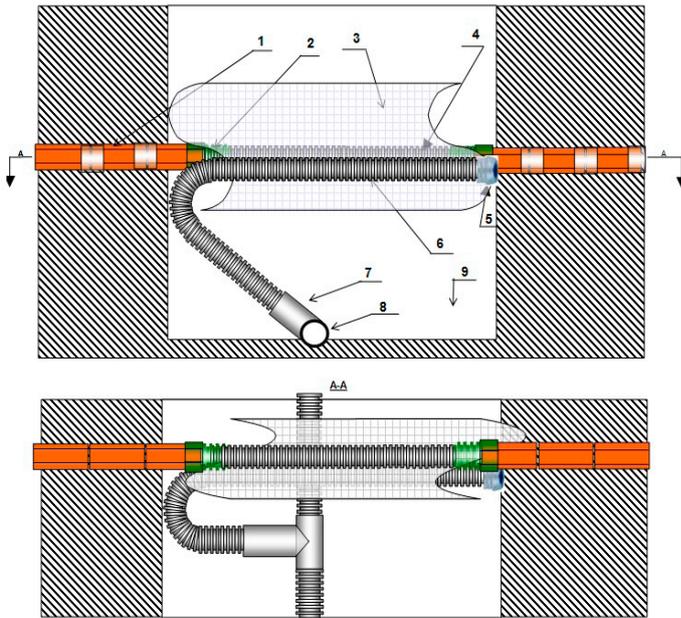


Рис. 1. Узел подключения старой дрены к линии нового дренажа через фильтрующую вставку из дренажной полиэтиленовой трубы:  
 1 – старая дрена из восьмигранных керамических труб;  
 2 – соединительная муфта из полиэтилена или полиэтилентерефталата;  
 3 – полотно ЗФМ;  
 4 – вставка из полиэтиленовой гофрированной трубы;  
 5 – заглушка;  
 6 – принимающая горизонтальная часть;  
 7 – тройник;  
 8 – новая дренажная линия;  
 9 – траншея

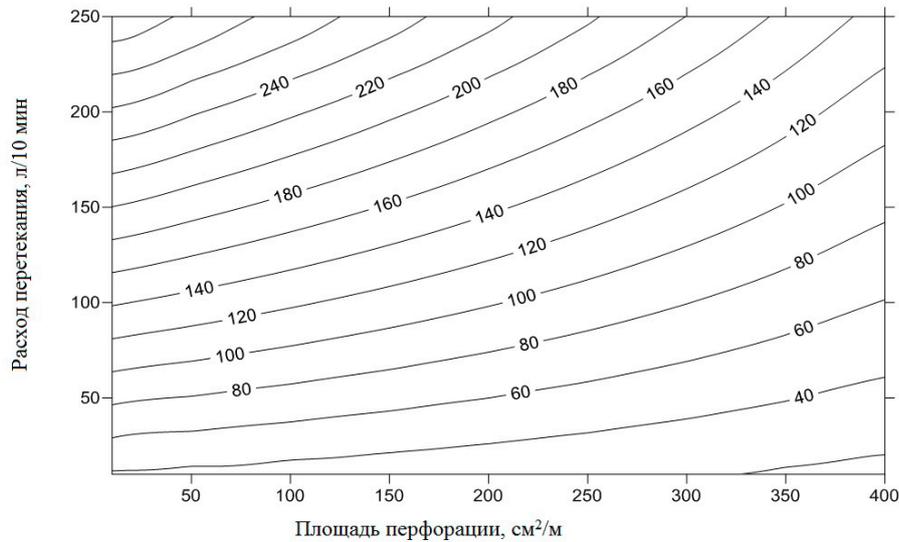


Рис. 2. Зависимость величины потерь напора от площади перфорации на одном погонном метре фильтрующей трубы

Экспериментальные исследования осуществлялись на физических моделях. Получена зависимость потерь напора ( $\Delta h$ ) на рассматриваемом соединении, которая является функцией от перетекающего между соединяемыми линиями расхода ( $q$ ) и используемой площади перфорации метрового отрезка трубы ( $f$ ), которая представлена в виде двумерной диаграммы на рис. 2 (цифры на изолиниях даны в мм).

Полученные данные показали, что увеличение площади перфорации (при  $\Delta h = \text{const}$ ) в 2 раза (до  $100 \text{ cm}^2$ ) позволяет увеличить водопримную способность на 7 %, в 4 раза (до

$200 \text{ cm}^2$ ) – на 25 %, в 6 раз (до  $300 \text{ cm}^2$ ) – на 70 %. Анализ результатов показал, что для дрен площадь перфорации  $40\text{--}50 \text{ cm}^2/\text{m}$  вполне достаточна, дальнейшее увеличение площади водоприемных отверстий нецелесообразно. Трубы с увеличенной площадью перфорационных отверстий следует применять при обсыпке их хорошо фильтрующим материалом.

В РУП «Институт мелиорации» проведены обширные исследования отечественных нетканых геотекстильных синтетических материалов, потенциально пригодных для применения в качестве защитно-фильтрующих для горизонтального дренажа. Выполнены лабо-

раторные гидравлические и фильтрационные исследования, а также полевые испытания дренажа с различными ЗФМ на опытно-производственных участках в различных природных условиях для определения эффективности и их работы. Разработаны рекомендации по подбору защитных фильтров [5, 6].

Способы осушения тесно связаны с причинами, вызывающими переувлажнение, – такими как рельеф, почвенный покров, месторасположение, тип водного питания, водный режим и морфологический состав слабоводопроницаемых почв, водный режим которых, в свою очередь, обуславливается почвенным покровом, рельефом местности и другими факторами. Режим влажности формируется в зависимости от метеоусловий, и наблюдается его различное распределение по глубине. Слабоводопроницаемые почвы обладают аккумуляющей способностью и высокой степенью набухания.

Слабоводопроницаемые почвы характеризуются большой влагоемкостью и малой влагоотдачей. Водоудерживающая способность и сопротивление почвы проникновению воды очень высоки, поэтому главной задачей фильтров дрен закрытой осушительной сети в таких почвах является увеличение эффективного диаметра трубы. Для связных глинистых и суглинистых грунтов наиболее эффективен объемный фильтр.

Следует иметь в виду, что уплотнение связного грунта протекает в два этапа: на первом происходит разрушение отдельных комьев и исчезновение вследствие этого наиболее крупных вторичных пор, а на втором уменьшается объем первичной пористости. В случае если начальная влажность грунта меньше оптимальной, энергия уплотнения затрачивается, главным образом, на разрушение комьев. Грунт в придренной области стабилизируется, и вокруг трубы в грунте формируется зона с активными микропорами (за счет выноса фильтрационным потоком мельчайших частиц из грунта), через которые вода попадает в дренажную трубу.

На слабоводопроницаемых почвах низкая водоприемная способность труб обусловлена большими потерями напора во входных отверстиях труб из-за сжатия потока поступающей дренажной воды и вероятности перекры-

тия перфорационных отверстий частицами грунта. Для сглаживания негативных явлений этого эффекта и уменьшения градиентов напора и входных скоростей потока применяются объемные фильтры, которые увеличивают эффективный диаметр дрен и повышают ее водоприемную способность, тем самым усиливая осушительную способность закрытого горизонтального дренажа.

Высказано мнение о нецелесообразности использования тонких фильтров в торфяных грунтах и в других почвенно-грунтовых условиях [7]. Исследователи, занимавшиеся оценкой эффективности их применения для обеспечения высокой водоприемной способности осушительного и увлажнительного действия дренажа и испытывавшие новые защитно-фильтрующие материалы отечественного и зарубежного производства (в частности, исследовалось влияние толщины фильтров на их водоприемную способность), установили, что объемные фильтры толщиной 3–30 мм незначительно (на 4–9 %) увеличивают водоприемную способность дренажа по сравнению с тонкими.

Применение объемных фильтров не обеспечивает достаточную водоприемную способность дренажа в слабоводопроницаемых грунтах. При кольматации объемного фильтра водоприемная способность дренажа значительно снижается, поэтому при проектировании дренажа с объемными фильтрами следует проверять их на кольматируемость в пылеватых и супесчаных грунтах [7].

Возникают и другие вопросы, требующие уточнения. Например, одними из актуальных, спорных и сложных являются следующие вопросы: как предотвратить заохривание ЗФМ и перфорационных отверстий дренажных труб железистыми соединениями в торфяных грунтах, какова возможность применения фильтров при наличии окисного и закисного железа в грунтовых водах и как это отразится на работоспособности дренажа в целом? Использование пластмассовых дренажных труб с водоприемными отверстиями дает возможность бороться с заохриванием труб путем подбора размеров отверстий, предотвращающих их закупорку. Это вопрос практически не изучен и требует тщательных, кропотливых исследований. Считается, что некоторые синтетические

материалы на основе полипропилена могут использоваться только при низком содержании железа в грунтовых водах до 4 мг/л, что обусловлено высокой сорбционной способностью тонких элементарных волокон полипропилена.

Традиционно в качестве объемных фильтров для дренажа применяли неструктурные материалы (песок, ПГС, щебень и др.). Сейчас на смену им пришли материалы из бесконечных мономеров на основе полимеров (геотекстиль). Они обладают высокой прочностью и обеспечивают достаточную водоприемную способность перфорированных труб. Такие органические материалы, как кокосовое волокно, солома, мох, вереск и др., обладают высокой пористостью, однако в грунте они разлагаются и срок их службы даже с обработкой против гниения не превышает 10–12 лет. Фильтр из кокосового волокна обладает очень высоким коэффициентом фильтрации (более 200 м/сут.), и этот материал можно считать объемным фильтром дренажных труб. Согласно данным зарубежных исследователей, процесс разложения кокосового волокна в грунте при переменном уровне воды составляет более 10 лет и может достигать даже 40 лет (при постоянном уровне воды) [7]. Кокосовые фильтры используются в США и Европе уже более 70 лет. Исследованиями, проведенными в США еще в 1984 г., установлено, что скорость разложения кокосового фильтра в обычных условиях эксплуатации составляет 1 мм толщины в год, а объем пор в фильтре уменьшился не более чем на 3,9 % за счет разложения и кольматации [7].

На некоторых мелиоративных системах закрытого горизонтального дренажа применяются фильтры из полистирола, преимущество которых является возможность замены засыпки из щебня или ПГС, что позволяет существенно снизить стоимость строительства дренажа.

В настоящее время весьма распространены дренажные трубы с наполнением из пенополистирола между дренажной трубой и геотекстильной фильтрующей оболочкой. Они считаются почти универсальными. Дренаж с геотекстилем в качестве ЗФМ – наиболее подходящий материал для песчаных и супесчаных

традиционной способностью и рекомендуется к применению в водопоглощающих элементах дренажа, особенно при осушении замкнутых понижений на слабопроницаемых грунтах. Конструкции таких труб могут быть весьма разнообразны с учетом большой номенклатуры полимерных труб и заполнителей дренажных траншей. Подбор наиболее эффективных из них должен осуществляться в процессе лабораторных и полевых исследований.

Трубы могут использоваться не только при осушении земель, но и при подпочвенном увлажнении. Их водоприемную способность целесообразно изучать при различных типах фильтрующих геотекстильных материалов.

Применение фильтров из синтетических материалов и геокомпозитов для конструктивных устройств мелиоративных систем является прогрессивным способом проведения мелиораций в современных условиях.

Охарактеризуем конструкции, которые повышают осушительную способность дренажа, разработанные на базе новых конструктивных устройств и полученных по ним патентам.

1. Дренажное устройство (ВУ 15513) [8], принцип действия которого основывается на использовании эффекта пристенной боковой фильтрации за счет расположения фильтрующего материала вертикально вдоль стенки траншеи. Данная конструкция обеспечивает искусственную гидравлическую связь подпахотного горизонта почвы с дренажной трубой, что способствует увеличению притока поверхностной воды за счет продольной фильтрации геотекстильного материала, размещенного вдоль стенки траншеи.

Данная конструкция дренажа апробирована на опытно-производственном участке пластмассового дренажа с торфяно-болотной почвой, подстилаемой мелкозернистым песком (объект «Волма» Минского р-на). В качестве пристенного фильтра использовался геотекстиль «ПНМ-ППВ-Т-150» (ОАО «ПИНЕМА») и «ПНМ-ПЭВ-И-150-С» (ООО «Гронема»). Максимальный модуль стока дрены с пристенным фильтром Гронема составил 0,24 л/с с га, дрены с пристенным фильтром ПИНЕМА – 0,44 л/с с га. Дрены с такой же маркой защитно-фильтрующего материала, но без пристенного фильтра имели максимальный модуль дренажного стока – 0,12 и 0,18 л/с с га

соответственно. Следовательно, при одинаковых природных условиях пристенный фильтр существенно повышает эффективность осушения, увеличивая более чем в два раза модуль дренажного стока [9].

2. Дренажное водопоглощающее устройство (ВУ 17924) [9] предназначено для отвода поверхностных и грунтовых вод из замкнутых понижений и осушения переувлажненных земель. Оно включает в себя терморегулирующий элемент, который передает тепло к подключаемым трубам и дренам из изотермического слоя почвы и расположен ниже глубины ее промерзания; способствует более раннему оттаиванию траншейной засыпки, препятствует ее промерзанию при незначительных заморозках и увеличивает скорость оттаивания в весенний период. За счет уменьшения глубины промерзания грунта дренаж начинает работать в период ранней весны, повышается интенсивность поступления поверхностных вод в дренаж, что способствует эффективности осушительного действия мелиоративной системы.

3. Устройство для осушения бессточных понижений (ВУ 20385) [10] функционирует по принципу действия лучевого водозабора (рис. 3). Оно включает в себя – в центре понижения – потайной колодец-поглотитель, к которому на глубине 0,5–0,7 м подключаются лучевые дрены с терморегулирующими элементами, способствующими уменьшению глубины промерзания почвы над дренами и ускоряющим ее оттаиванию. Траншеи лучевых дрен заполняются хорошо

фильтрующим материалом до поверхности пахотного слоя. Над колодцем устраивается ниша квадратной формы, центральная часть которой заполняется фильтрующей засыпкой из крупнозернистой фракции (щебня, гравия). По краям ниша засыпается фильтрующей засыпкой из мелкозернистой фракции (например, песком).

Данная конструкция представляется наиболее оптимальной по эффективности осушительного действия бессточных понижений площадью более 0,5 га, так как в случае ее применения отпадает необходимость устройства дренажных систем с колонками-поглотителями.

Одним из перспективных направлений в решении вопроса о повышении осушительного действия дренажа на тяжелых почвах может оказаться разработка и внедрение сборных колонок-поглотителей с применением в них новых полимерных материалов. Задел в Институте мелиорации уже имеется.

Изготовление колонки может быть организовано индустриальным способом. Ее строительство на мелиоративных объектах будет более оперативным по сравнению с существующими способами устройства колонок-поглотителей на месте установки.

Колонка-поглотитель может устраиваться как в бессточных понижениях, так и пунктирно по всей длине дрен. С учетом принципа действия существующих водопоглощающих устройств пропускная способность колонки будет более высокой, особенно на базе применения полимерных геокомпозитов. Это позволит увеличить

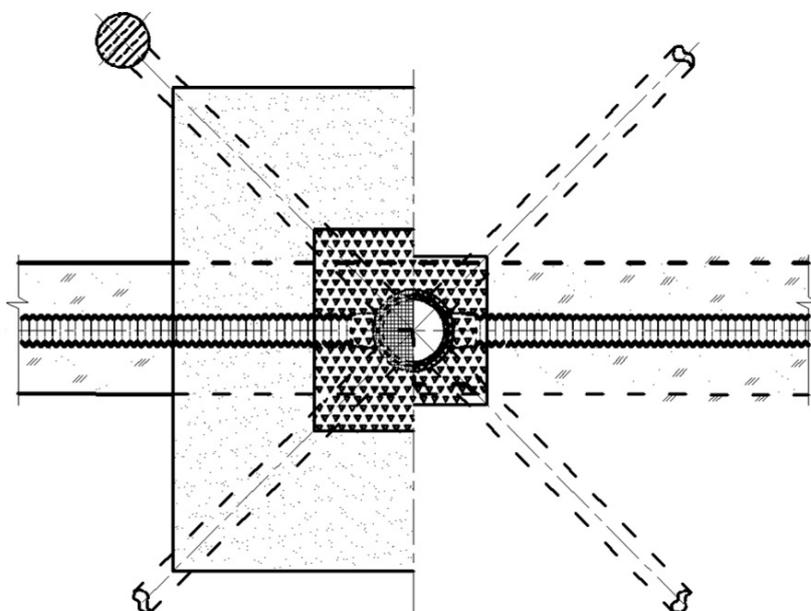


Рис. 3. Устройство для осушения бессточных понижений (ВУ 20385)

интенсивность отвода поверхностных и грунтовых вод и тем самым улучшить условия для ведения сельскохозяйственного производства на мелиорируемых землях.

Рекомендуемые мероприятия с применением горизонтального дренажа служат для достижения оптимизации требуемого водного режима корнеобитаемого слоя на слабоводопроницаемых почвах.

Для исключения кольматации мельчайшими частицами грунта из пахотного горизонта верхней части фильтрующей засыпки следует периодически (1 раз в течение 3–5 лет) проводить кротование либо щелевание почвы поперек дренажных линий с переменной глубиной. Помимо разрушения слабофильтрующей прослойки в верхней части дренажных засыпок, вышеуказанные приемы позволяют повышать аэрацию почвы в засушливый период и дополнительно отводить излишки влаги после выпадения осадков.

### Выводы

1. Проанализированы технические и фильтрационные возможности конструктивных элементов дренажной системы, применяемых при осушении переувлажняемых земель со слабоводопроницаемыми почвами.

2. Установлена целесообразность более дифференцированного применения фильтрующих материалов дрен с учетом предотвращения их заохривания железистыми соединениями в грунтовых водах.

Первоначальную оценку состояния и степени работоспособности закрытого дренажа лучше всего проводить по результатам последовательных наблюдений за осушенной поверхностью: весной – после завершения снеготаяния (анализ размеров и местоположения перувлажненных участков, препятствующих почвообработке), в любое время года – через неделю после ливневых осадков (в конце лета – в момент созревания зерновых), а также в процессе технического ухода с последующим уточнением (при необходимости) надлежащих мероприятий при составлении проектной документации.

Все вышеизложенное направлено на то, чтобы реконструкция мелиоративных систем проводилась на современном техническом уровне и ее конечным результатом являлось создание условий для высокоэффективного сельскохозяйственного использования мелиорированных земель и получения конкурентоспособной продукции.

3. Отмечена способность синтетических и органических объемных фильтров увеличивать эффективный диаметр дрен и их водопримную способность.

4. Предложен комплекс мероприятий по улучшению осушительного действия дренажа на слабоводопроницаемых минеральных грунтах с учетом применяемых материалов, гидрогеологических условий и водопоглощающих конструкций.

### Библиографический список

1. Казьмирук, И. Ч. Влияние физико-химических свойств слабоводопроницаемых почв на способы реконструкции мелиоративных систем / И. Ч. Казьмирук // Мелиорация. Современные методики, инновации и опыт практического применения : материалы Междунар. науч.-практ. конф., Минск, 19–20 окт. 2017 г. / РУП «Институт мелиорации» ; редкол.: Н. К. Вахонин [и др.]. – Минск, 2017. – С. 69–73.

2. Белорусская государственная сельскохозяйственная академия. 180 лет / сост.: В. В. Великанов, А. А. Герасимович, А. С. Четкин. – Гомель : Изд. дом «Вечерний Гомель-медиа», 2020. – 436 с.

3. Семеринов, Е. С. Влияние фильтров на водопримную способность дренажа / Е. С. Семеринов // Расчет, конструкции и эффективность осушительно-увлажнительных систем в Нечерноземной зоне РСФСР : сб. науч. тр. / Сев. НИИ гидротехники и мелиорации ; А. И. Климко (гл. ред). – Ленинград, 1983. – С. 75–84.

4. Мурашко, А. И. Сельскохозяйственный дренаж в гумидной зоне / А. И. Мурашко. – Москва : Колос, 1982. – 272 с.

5. Митрахович, А. И. Рекомендации по применению геотекстиля TYPAR@SF в качестве защитно-фильтрующего материала полиэтиленового дренажа в мелиоративном строительстве / А. И. Митрахович, В. М. Макоед, А. П. Сергееня ; Нац. акад. наук Беларуси, РУП «Науч.-практ. центр Нац. акад. наук Беларуси по земледелию», РУП «Институт мелиорации». – Минск, 2015. – 52 с.

6. Митрахович, А. И. Рекомендации по применению полимерных материалов для защиты дренажа от заиления в различных почвенно-грунтовых условиях / А. И. Митрахович, И. Ч. Казьмирук ; Нац. акад. наук Беларуси, РУП «Науч.-практ. центр Нац. акад. наук Беларуси по земледелию», РУП «Институт мелиорации». – Минск, 2019. – 65 с.

7. Федорова, В. С. Применение фильтрационных материалов при устройстве горизонтального дренажа / В. С. Федорова, Н. В. Шешенев // Актуальные проблемы строительной отрасли и образования – 2021 : сб. ст. Второй Нац. науч. конф., Москва, 8 дек. 2021 г. / Нац. исслед. Московский гос. строит. ун-т. – Москва, 2022. – С. 962–968.

8. Дренажное устройство : пат. ВУ 15513 / В. Т. Климков, А. И. Митрахович, И. Ч. Казьмирук. – Оpubл. 28.02.2012.

9. Казьмирук, И. Ч. Влияние защитно-фильтрующих материалов на работу закрытой осушительной сети на торфяных почвогрунтах / И. Ч. Казьмирук, А. И. Митрахович // Мелиорация. – 2016. – № 4 (78) – С. 24–33.

10. Дренажное водопоглощающее устройство : пат. ВУ 17924 / А. И. Митрахович, Н. М. Авраменко, В. Н. Кондратьев, И. Ч. Казьмирук. – Оpubл. 28.02.2014.

11. Устройство для осушения бессточного понижения : пат. ВУ 20385 / А. И. Митрахович, И. Ч. Казьмирук, Н. М. Авраменко. – Оpubл. 29.11.2016.

Поступила 10 июня 2024 г.

# Кормопроизводство

УДК 631.81: 633.1: 631.445

## ВЛИЯНИЕ МИКРОУДОБРЕНИЙ НА УРОЖАЙНОСТЬ ОЗИМЫХ ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР НА АНТРОПОГЕННО-ПРЕОБРАЗОВАННЫХ ТОРФЯНЫХ ПОЧВАХ

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

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

РУП «Институт мелиорации», г. Минск, Беларусь

### Аннотация

На антропогенно-преобразованных торфяных почвах максимальная урожайность зерна озимой тритикале (54,7 ц/га) была получена при внесении АДОБ Профит в фазу кущения и выхода в трубку, а также композиции Экогум Mn + Экогум Cu + Микро-стим В в фазу колошения. Прибавка составила 41,7 %. Урожайность 59,7 ц/га получена при внесении Эко-сила + Экогума ФК + Экогума Комплекс (фазы ВВВВ и выхода в трубку) + Экосила + Экогума Комплекс (колошение).

Озимая рожь при внесении в фазу кущения Экосила + АДОБ Профит + Экогума Mn + Экогума Cu + Микро-стима В сформировала урожайность 51,4 ц/га. Прибавка урожайности получена за счет увеличения длины колоса (на 5,7 %). Внесение Экосила + АДОБ Профит + Экогума Mn + Экогума Cu + Микро-стима В в фазы кущения и выхода в трубку и Экосила + Экогума Mn + Экогума Cu + Микро-стима В в фазу колошения обеспечило получение урожайности зерна 53,4 ц/га.

**Ключевые слова:** мелиорированные антропогенно-преобразованные торфяные почвы, урожайность, микроэлементы, озимые зерновые культуры, структура урожая, внекорневая подкормка, фаза развития растений.

### Abstract

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

### THE EFFECT OF MICRONUTRIENTS ON THE YIELD OF WINTER CEREALS ON ANTHROPOGENICALLY TRANSFORMED PEAT SOILS

On anthropogenically transformed peat soils, the maximum yield of winter triticale grain (54.7 c/ha) was obtained by introducing Adobe profit into the tillering phase and entering the tube, and the composition Ecogum Mn + Ecogum Cu + Microstim B into the earing phase. The increase was 41.7%. The same yield (59.7 c/ha) was obtained when applying Ecosil + Ecohum FC + Ecohum Complex (the Time of the Resumption of Spring Vegetation and outlet into the tube) + Ecosil + Ecohum Complex (earring). Winter rye when introduced into the tillering phase of Ecosil+Adobe profit + Ecogum Mn + Ecogum Cu + Microstim B generated a yield of 51.4 c/ha. The increase in yield was obtained by increasing the length of the ear by 5.7%. The introduction of Ecosil + Adobe profit + Ecogum Mn + Ecogum Cu + Microstim B into the tillering phase and exit into the tube and Ecosil + Ecogum Mn + Ecogum Cu + Microstim B into the earing phase ensured a grain yield of 53.4 c/ha.

**Keywords:** reclaimed anthropogenically transformed peat soils, yield, microelements, winter grain crops, crop structure, foliar top dressing, phase of plant development.

### Введение

Руководством страны поставлена задача работникам сельскохозяйственного производства всех регионов Беларуси – получать стабильные урожаи растениеводческой продукции независимо от погодных условий. Сложность заключается в устойчивом увеличении производства продовольственного и фуражного зерна.

Приоритетное направление специализации сельского хозяйства – животноводство,

обеспечивающее основную часть экспорта продовольствия. В постановлениях правительства Республики Беларусь, определяющих условия дальнейшего развития агропромышленного комплекса, предусматривается ежегодное строительство животноводческих комплексов и ферм. Экономическая эффективность животноводства предполагает создание высокопродуктивной и устойчивой кормовой базы, основу которой составляют

зерно и продукты его переработки. В этой связи особое значение придается уровню развития зернового хозяйства страны. Деятельность сельскохозяйственных организаций республики направлена на производство 10 млн тонн молока и более 2 млн тонн мяса. Для этого необходимо ежегодно вырабатывать не менее 5 млн тонн фуражного зерна.

Стратегия оптимизации производства зерна на период до 2030 г. предполагает сохранение и стабилизацию посевных площадей, повышение урожайности, совершенствование технологий возделывания. Достижение стратегических целей и задач обеспечивается, прежде всего, полной реализацией агробиологического потенциала почв [1]. В этом плане велики возможности и резервы у мелиорированных земель, в том числе и антропогенно-преобразованных торфяных почв.

В настоящее время значительная часть данных почв изменила свои водно-физические свойства: так, в них снизилось содержание доступных форм микро- и макроэлементов. Их дефицит является лимитирующим фактором в формировании урожая сельскохозяйственных культур [2].

### Объекты и методика исследований

В 2021–23 гг. на антропогенно-преобразованных торфяных почвах (на территории КСУП «Полесская станция» Лунинецкого р-на Брестской обл.) были проведены опыты с озимыми зерновыми культурами.

В почве опыта с озимой рожью Алькора содержание органического вещества (далее – ОВ) – 21,03 %,  $pH_{KCl}$  – 5,74,  $P_2O_5$  – 168 мг/кг,  $K_2O$  – 80, меди – 2,0, серы – 2,7, бора – 0,6, цинка – 3,9 мг/кг почвы; УГВ = 125 см.

Почва опыта с озимой тритикале Импульс имела следующие характеристики: мощность торфа 0,2–0,3 м, ОВ – 12,37 %,  $pH_{KCl}$  – 5,48,  $P_2O_5$  – 631 мг/кг,  $K_2O$  – 428 мг/кг, меди – 10,9, серы – 2,9, бора – 0,9 мг/кг почвы; УГВ = 120 см.

Известкование осуществлялось под предшествующую культуру (кукурузу) – 4,5 т/га доломитовой муки. В период вегетации озимых зерновых культур проводили внекорневое внесение микроудобрений по следующей схеме:

1) без обработки (контроль);

Эффективное использование преобразованных торфяных почв затрудняется вследствие неоднородности рельефа, особенностей водного режима, пестроты почвенного плодородия, различий в содержании макро- и микроэлементов. Несмотря на происходящую трансформацию мелиорированных торфяных почв, их агробиологический потенциал достаточно высок (7000–8000 к. ед./га). Однако в антропогенно-преобразованных торфяных почвах не хватает микроэлементов, необходимых для получения устойчивых урожаев.

Продуктивность зерновых культур на мелиорированных торфяных почвах существенно зависит от их обеспеченности важнейшими микроэлементами, особенно медью, которая повышает устойчивость почв к заболеваниям, а также урожайность и качество зерна.

Эффективным приемом применения микроудобрений являются некорневые подкормки культур.

Цель исследований – установить влияние микроудобрений на урожайность зерна озимых зерновых в условиях антропогенно-преобразованных торфяных почв Полесья.

2) АДОБ Профит (8 г);

3) АДОБ Профит (8 г) + Mn (4 мл) + Cu (4 мл) + B (4 мл);

4) Экогум ФК (4 мл) + Экогум Комплекс (4 мл);

5) Экогум ПМКТ\* Фосфор (8 мл) + Экогум ПМКТ Калий (8 мл) + Экогум Комплекс (4 мл);

6) Экосил (4 мл) + АДОБ Профит (4 мл) + Mn (4 мл) + Cu (4 мл) + B (4 мл);

7) Экосил (0,4 мл) + Экогум ФК (4 мл) + Экогум Комплекс (4 мл);

8) Экосил (0,4 мл) + Экогум ПМКТ Фосфор (8 мл) + Экогум ПМКТ Калий (8 мл) + Экогум Комплекс (4 мл).

Площадь деланки 28 м<sup>2</sup>, повторность трехкратная.

Осенние заморозки 2022–2023 гг. ( $t_{\text{возд.}}^{\circ C} = -6^{\circ C}$ ) до прекращения вегетации растений и температура зимой  $-10$ – $-12^{\circ C}$  на фоне отсутствия снежного покрова отрицательно сказались на состоянии озимых культур. Частые оттепели в зимний период 2023 г. вызы-

\* Здесь и далее ПМКТ – полиминеральный концентрат торфа.

вали возобновление вегетации растений, резко усложняли их перезимовку в связи с большим расходом углеводов на рост и дыхание. Особенно это сказалось на поздних посевах озимых зерновых культур 2022 г., когда осенняя закалка оказалась недостаточной для необходимого накопления сахаров в узлах кущения. Повреждение растений в период кущения на отдельных участках поля произошло в результате их выпирания и колебаний дневных и ночных темпе-

ратур. Промерзание торфяной почвы в ночное время в мае 2023 г. (до  $-8,2^{\circ}\text{C}$  на глубине 2 см) и ее прогревание днем привели к повреждению и разрыву корней, обнажению узлов кущения растений на отдельных участках посевов.

Майские заморозки на осушенных землях в 2023 г. неблагоприятно сказались на вегетации и развитии растений, вызвали стерильность колоса озимой ржи.

### Результаты исследований и их обсуждение

Учеты показали, что на урожайность зерна, выращивавшегося на антропогенно-преобразованных торфяных почвах Полесья, повлияло внесение микроудобрений. Данные учетов в среднем за три года представлены в табл. 1–6.

Так, из табл. 1 следует, что внесение АДОБ Профит в фазу кущения (время возобновления весенней вегетации, далее – ВВВВ) и выхода в трубку, а также композиции Экогум Мп + Экогум Си + Микростим В в фазу колошения (вариант 4) обеспечили получение урожайности озимой тритикале 54,7 ц/га. Прибавка к контролю (без обработки) составила 41,7 %.

Следует отметить, что сокращение числа обработок, то есть перенос внесения Экогума Мп + Экогума Си + Микростима В в фазу кущения тритикале (вариант 5) или в фазу выхода в трубку (вариант 6), не увеличивало прибавку урожайности и даже несколько снижало ее. Только дополнительное внесение микроудо-

брений Экогум Мп + Экогум Си + Микростим В в фазу колошения культуры (вариант 7) увеличивало ее урожайность до 54,1 ц/га.

Внесение композиции Экогум ФК, Экогум Комплекс, ПМКТ Фосфор, ПМКТ Калий в разные фазы онтогенеза озимой тритикале незначительно повышало урожайность зерна по сравнению с вариантами с АДОБ Профит: 36,1–49,7 ц/га (табл. 2). Более высокую урожайность зерна обеспечило двухкратное внесение Экогума ФК + Экогума Комплекс в фазы ВВВВ и выхода в трубку – 46,7 ц/га (вариант 3). Прибавка к контролю составила 28,8 %; она была обеспечена увеличением длины колоса (10,2 см) и количества зерен в колосе (46,7 шт.). Однократное внесение Экогума ФК + Экогума Комплекс в фазу кущения (вариант 2) повышало урожайность тритикале на 19,9 %: 46,3 ц/га за счет увеличения  $m_{1000}$  зерен по сравнению с контролем на 1,5 г.

Таблица 1. Влияние комплексного внесения микроудобрений с АДОБ Профит на урожайность зерна и структуру урожая озимой тритикале Импульс, ц/га

№ варианта	Удобрение, фаза растения	Урожайность, ц/га	$m_{1000}$ зерен, г	Длина колоса, см	К-во зерен в колосе, шт.	± прибавка урожайности	
						ц/га	%
1	Без обработки – контроль	38,6	37,0	9,8	45,0	–	–
2	АДОБ Профит (ВВВВ)	42,1	39,4	8,9	43,4	3,5	9,1
3	АДОБ Профит (ВВВВ и выход в трубку)	46,3	34,3	9,1	41,9	7,7	19,9
4	АДОБ Профит (ВВВВ и выход в трубку) + Экогум Мп + Экогум Си + Микростим В (колошение)	54,7	36,9	8,9	43,5	16,1	41,7
5	АДОБ Профит + Экогум Мп + Экогум Си + Микростим В (ВВВВ)	52,0	39,5	9,7	45,1	13,4	34,7
6	АДОБ Профит + Экогум Мп + Экогум Си + Микростим В (ВВВВ 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 (ВВВВ и выход в трубку) + Экогум Мп + Экогум Си + Микростим В (колошение)	54,1	37,6	9,1	43,3	15,5	40,2

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

№ варианта	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 (ВВВВ)	46,3	38,5	9,2	43,9	7,7	19,9
3	Экогум ФК + Экогум Комплекс (ВВВВ и выход в трубку)	49,7	37,9	10,2	46,7	11,1	28,8
4	Экогум ФК + Экогум Комплекс (ВВВВ и выход в трубку) + Экогум Комплекс (колошение)	47,7	39,2	9,3	46,4	9,1	23,6
5	ПМКТ Р + ПМКТ К + Экогум Комплекс (ВВВВ)	36,1	36,2	9,4	42,2	-2,5	-6,5
6	ПМКТ Р + ПМКТ К + Экогум Комплекс (ВВВВ и выход в трубку)	46,1	35,7	9,3	44,1	7,5	19,4
7	ПМКТ Р + ПМКТ К + Экогум Комплекс (ВВВВ и выход в трубку) + Экогум Комплекс (колошение)	47,7	37,4	9,3	44,2	9,1	23,6

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

№ варианта	Удобрение и 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 (ВВВВ)	54,5	36,3	9,3	42,7	15,9	41,2
3	Экосил + АДОБ Профит + Экогум Мп + Экогум Си + Микростим В (ВВВВ 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 (ВВВВ 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 (ВВВВ) – контроль	54,3	38,6	10,1	45,0	15,7	40,7
6	Экосил + Экогум ФК + Экогум Комплекс (ВВВВ и выход в трубку)	51,5	38,5	9,2	46,6	12,9	33,4
7	Экосил + Экогум ФК + Экогум Комплекс (ВВВВ и выход в трубку) + Экосил + Экогум Комплекс (колошение)	59,7	38,9	9,5	41,4	21,1	54,7
8	Экосил + ПМКТ Р + ПМКТ К + Экогум Комплекс (ВВВВ)	49,8	39,0	8,6	44,4	11,2	29,0
9	Экосил+ПМКТ Р + ПМКТ К + Экогум Комплекс (ВВВВ и выход в трубку)	52,9	37,0	9,3	42,3	14,3	37,0
10	Экосил + ПМКТ Р + ПМКТ К + Экогум Комплекс (ВВВВ и выход в трубку) + Экосил + Экогум Комплекс (колошение)	59,0	39,7	9,9	47,7	20,4	52,8

В табл. 3 показано, что максимальная биологическая урожайность зерна озимой тритикале – 59,7 ц/га – получена при обработке посева в фазу кущения и выхода в трубку следующими микроудобрениями: Экосил + Экогум ФК + Экогум Комплекс и в фазу колошения – Экосил + Экогум Комплекс (вариант 7). Прибавка урожайности к контролю составила 54,7 %.

Отметим, что применение Экосила в композициях с другими микроэлементами обеспечивало довольно высокую прибавку урожайности зерна тритикале и в других вариантах – 29,0–54,7 %. Поэтому для получения ощутимой прибавки урожайности в фазу кущения можно ограничиться внесением композиции Экосил + АДОБ Профит + Экогум Мп + Экогум Си + Микростим В (вариант 2), обеспечивавшей урожайность 54,5 ц/га и прибавку зерна 41,1 % к контролю.

Учет урожайности озимой ржи Алькора показал, что внесение микроудобрений с АДОБ Профит + Экогум Мп + Экогум Си + Микростим В в фазу кущения и выхода в трубку (вариант 6) в среднем за 3 года увеличили ее до 48,8 ц/га, или на 15,9 %. В этом варианте длина колоса составила 9,2 см, то есть на 5,7 % больше, чем на контроле.

Комплексное внесение микроудобрений с Экогумом ФК + Экогум Комплекс в фазы кущения и трубкувания с Экогумом Комплекс в фазу колошения озимой ржи (вариант 4) увеличили урожайность ржи до 50,3 ц/га, или на 19,5 % (табл. 5). Прибавка урожая была обеспечена за счет увеличения количества зерен в колосе до 49,3 шт., или на 4,2 % больше, чем на контроле (без обработки – 47,3 шт.). Однократное внесение ПМКТ Р + ПМКТ К + Экогум Комплекс в фазу ВВВВ (вариант 5) повысило урожайность ржи до 46,7 ц/га.

Высокая урожайность озимой ржи при комплексном внесении микроудобрений с Экосилом была получена при внесении Экосила + АДОБ Профит + Экогума Мп + Экогума Си + Микростима В в фазу кущения (вариант 2) и составила 51,4 ц/га (прибавка к контролю – 22,1 %) (табл. 6). Прибавка урожайности обеспечивалась за счет увеличения длины колоса: 9,2 см, то есть на 5,7 % больше, чем на контроле. Внесение в фазы кущения и выхода в трубку Экосила + АДОБ Профит + Экогума Мп + Экогума Си + Микростима В и в фазу колошения Экосила + Экогума Мп + Экогума Си + Микростима В (вариант 4) дало 53,4 ц/га. Однако в этом варианте необходимо трехразовое внесение микроэлементов.

Таблица 4. Влияние комплексного внесения микроудобрений с АДОБ Профит на урожайность зерна и структуру урожая озимой ржи Алькора, ц/га

№ варианта	Удобрение, фаза растения	Урожайность, ц/га	$m_{1000}$ зерен, г	Длина колоса, см	К-во зерен в колосе, шт.	± прибавка урожайности	
						ц/га	%
1	Без обработки – контроль	42,1	36,1	8,7	47,3	–	–
2	АДОБ Профит (ВВВВ)	43,3	33,6	8,9	46,3	1,2	2,9
3	АДОБ Профит (ВВВВ и выход в трубку)	42,9	33,7	9,0	42,3	0,8	1,9
4	АДОБ Профит (ВВВВ и выход в трубку) + Экогум Мп + Экогум Си + Микростим В (колошение)	48,1	33,2	9,1	41,4	6,0	14,3
5	АДОБ Профит + Экогум Мп + Экогум Си + Микростим В (ВВВВ)	37,1	30,8	8,9	42,2	-5,0	-11,9
6	АДОБ Профит + Экогум Мп + Экогум Си + Микростим В (ВВВВ и выход в трубку)	48,8	31,1	9,2	45,3	6,7	15,9
7	АДОБ Профит + Экогум Мп + Экогум Си + Микростим В (ВВВВ и выход в трубку) + Экогум Мп + Экогум Си + Микростим В (колошение)	49,9	32,7	9,1	42,5	7,8	18,5

Таблица 5. Влияние комплексного внесения микроудобрений с Экогумом и ПМКТ на урожайность зерна и структуру урожая озимой ржи Алькора, ц/га

№ варианта	Удобрение, фаза растения	Урожайность, ц/га	$m_{1000}$ зерен, г	Длина колоса, см	К-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 (ВВВВ)	33,1	30,3	9,1	44,3	–9	–21,4
3	Экогум ФК + Экогум Комплекс (ВВВВ и выход в трубку)	35,0	31,5	9,7	44,6	–7,1	–16,9
4	Экогум ФК + Экогум Комплекс (ВВВВ и выход в трубку) + Экогум Комплекс (колошение)	50,3	35,1	9,7	49,3	8,2	19,5
5	ПМКТ Р + ПМКТ К + Экогум Комплекс (ВВВВ)	46,7	31,2	9,0	44,9	4,6	10,9
6	ПМКТ Р + ПМКТ К + Экогум Комплекс (ВВВВ и выход в трубку)	46,2	30,7	9,6	42,3	4,1	9,7
7	ПМКТ Р + ПМКТ К + Экогум Комплекс (ВВВВ и выход в трубку) + Экогум Комплекс (колошение)	48,5	33,2	9,6	49,5	6,4	15,2

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

№ варианта	Удобрение, фаза растения	Урожайность, ц/га	$m_{1000}$ зерен, г	Длина колоса, см	К-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 (ВВВВ)	51,4	31,3	9,2	43,5	9,3	22,1
3	Экосил + АДОБ Профит + Экогум Мп + + Экогум Си + Микростим В (ВВВВ и выход в трубку)	38,9	29,8	8,7	43,0	–3,2	–7,6
4	Экосил + АДОБ Профит + Экогум Мп + + Экогум Си + Микростим В (ВВВВ и выход в трубку) + Экосил + Экогум Мп + + Экогум Си + Микростим В (колошение)	53,4	34,5	8,9	44,9	11,3	26,8
5	Экосил + Экогум ФК + Экогум Комплекс (ВВВВ)	43,3	31,7	9,0	43,3	1,2	2,9
6	Экосил + Экогум ФК + Экогум Комплекс (ВВВВ и выход в трубку)	40,7	30,6	8,7	42,4	–1,4	–3,3
7	Экосил + Экогум ФК + Экогум Комплекс (ВВВВ и выход в трубку) + Экосил + + Экогум Комплекс (колошение)	52,3	32,0	8,8	43,1	10,2	24,2
8	Экосил + ПМКТ Р + ПМКТ К + Экогум Комплекс (ВВВВ)	42,2	33,5	8,9	46,8	0,1	0,2
9	Экосил + ПМКТ Р + ПМКТ К + Экогум Комплекс (ВВВВ и выход в трубку)	44,0	33,2	8,7	43,7	1,9	4,5
10	Экосил+ПМКТ Р + ПМКТ К + Экогум Комплекс (ВВВВ и выход в трубку) + + Экосил + Экогум Комплекс (колошение)	50,8	33,6	9,5	48,1	8,7	20,7

На основании проведенных исследований разработаны методические рекомендации по применению макро- и микроудобрений на посевах зерновых культур с учетом внутривидовой пестроты плодородия торфяных

почв [3], что обеспечивает повышение урожайности зерновых на 0,5–1,0 т/га, экономию минеральных удобрений – 16–35 кг д. в. (28–59 руб./га), снижение затрат на производство зерна (6–15 %).

### Заключение

1. На антропогенно-преобразованных торфяных почвах Полесья в среднем за 3 года была получена максимальная биологическая урожайность зерна:

- 54,7 ц/га озимой тритикале Импульс – при внесении АДОБ Профит в фазы кущения и выхода в трубку, а также композиции Экогум Мп + Экогум Си + Микростим В в фазу колошения; прибавка к контролю составила 41,7 %. Соотносимо по объему урожайность зерна – 59,7 ц/га – обеспечило внесение Экосила + Экогума ФК + Экогума Комплекс (ВВВВ и выход в трубку) + Экосила + Экогума Комплекс (фаза колошения), но для этого потребовалась трехразовая обработка посева;

- 51,4 ц/га озимой ржи Алькора – при внесении в фазу кущения Экосила + АДОБ Профит + Экогума Мп + Экогума Си + Микростима В. Прибавка урожайности обеспечивалась за счет увеличения длины колоса – на 5,7 % по сравнению с контролем. Внесение Экосила + АДОБ Профит + Экогума Мп + Экогума Си + Микростима В в фазы кущения и выхода в трубку и Экосила + Экогума Мп + Экогума Си + Микростима В в фазу колошения обеспечило получение урожайности зерна 53,4 ц/га.

2. Разработаны методические рекомендации по применению макро- и микроудобрений на посевах зерновых культур с учетом внутривидовой пестроты плодородия торфяных почв.

### Библиографический список

1. Национальная стратегия устойчивого социально-экономического развития Республики Беларусь на период до 2030 года [Электронный ресурс] : протокол заседания Президиума Совета Министров Республики Беларусь от 2 мая 2017 г. № 10 / Совет Министров Респ. Беларусь. – Режим доступа: <https://economy.gov.by/uploads/files/NSUR2030/Natsionalnaja-strategija-ustojchivogo-sotsialno-ekonomicheskogo-razvitija-Respubliki-Belarus-na-period-do-2030-goda.pdf>. – Дата доступа: 30.04.2024.

2. Анженков, А. С. Сохранение и повышение плодородия торфяных почв / А. С. Анженков, В. Н. Филиппов // Мелиорация. – 2023. – № 1 (103). – С. 47–52.

3. Бирюкович, А. Л. Методические рекомендации по применению макро- и микроудобрений на посевах зерновых культур с учетом внутривидовой пестроты плодородия торфяных почв / А. Л. Бирюкович, В. Н. Филиппов, А. А. Рыбченко // РУП «Институт мелиорации». – Минск, 2024. – 28 с.

Поступила 17 мая 2024 г.

## ВЛИЯНИЕ ПОГОДНЫХ УСЛОВИЙ И МИКРОУДОБРЕНИЙ НА СЕМЕННУЮ ПРОДУКТИВНОСТЬ РАЙГРАСА ОДНОЛЕТНЕГО

*Р. Т. Пастушок, кандидат сельскохозяйственных наук*

*А. А. Кравцова, научный сотрудник*

*А. П. Шурмелёва, младший научный сотрудник*

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

### Аннотация

Приведены результаты оценки гидротермического режима вегетационных периодов, выявлена зависимость элементов структуры урожая от этого показателя. Доказано положительное влияние микроудобрений и биорегуляторов роста на семенную продуктивность райграса однолетнего, выделены наиболее перспективные препараты.

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

### Abstract

*R. T. Pastushok, A. A. Krautsova, A. P. Shurmialiova*

### THE INFLUENCE OF WEATHER CONDITIONS AND MICROFERTILIZERS ON THE SEED PRODUCTIVITY OF ANNUAL RYEGRASS

The results of the assessment of the hydrothermal regime of the growing seasons are presented, the dependence of the elements of the crop structure on this indicator is revealed. The positive effect of micronutrients and bioregulators of growth on the seed productivity of annual ryegrass has been proved, the most promising drugs have been identified.

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

### Введение

Райграс однолетний (*Lolium multiflorum*) как культурное растение получен в Голландии из многолетнего вида райграса многоцветкового, отличающегося недолговечностью [1].

По динамике прохождения очередных фаз вегетации райграс однолетний не имеет себе равных среди других злаковых растений. Если по темпам роста и развития, а также сроку хозяйственного использования данная культура относится к типичным однолетним злакам, то по характеру побегообразования, энергии прорастания и особенностям развития корневой системы ее можно отнести к растениям луговой формации. Райграс однолетний обладает большой кустистостью: на сплошных посевах она составляет в среднем от 3 до 6 побегов, но при благоприятных условиях произрастания одно растение может развивать свыше 200 побегов. Интенсивное и непрерывное побегообразование у райграса однолетнего обеспечивает получение нескольких укосов за вегетационный период.

Неспособность райграса однолетнего переносить продолжительные засухи можно объяснить особенностями развития его корневой системы. Лишь единичные корни достигают 70–90 см глубины почвы. Основная масса корней расположена в пахотном горизонте. При таком размещении корней растения добывают влагу преимущественно из верхних слоев почвы. Будучи малоустойчивым к засухе, райграс однолетний очень хорошо отзывается на увлажнение и хорошо переносит избыточную влажность почвы.

Зеленая масса и другие корма из этой культуры охотно поедаются всеми животными. В сухой массе райграса однолетнего содержится 17,4 % сырого протеина, 23,2 клетчатки, 13,3 % сахаров. Большое внимание заслуживает райграс как ремонтное растение для посева на изреженных участках многолетних трав. Также эта культура может использоваться при озеленении газонов и спортивных площадок для быстрого формирования дерновой массы [2].

В настоящее время в Беларуси районировано 15 сортов райграса однолетнего [3]. Эта кормовая культура пока не получила в стране широкого распространения, хотя с точки зре-

### Объект и методика исследований

Объект исследований – райграсс однолетний сорта Луч. Опыты проводились в 2021–2023 гг. на территории филиала РУП «Институт мелиорации» – Витебской опытной мелиоративной станции (Сенненский р-н Витебской обл.). Проведено 3 закладки опытов. Норма высева райграсса – 12 кг/га. Повторность четырехкратная, учетная площадь делянки 25 м<sup>2</sup>.

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; В – 0,53–0,69 мг/кг; Cu – 2,6–3,0 мг/кг; Zn – 2,4–9,0 мг/кг.

В опыте 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 выхода в трубку райграсса однолетнего применяли следующие препараты:

1) Ризофос-*Trifol* (200 мл/га) – микробный препарат, альтернатива минеральным азотным и фосфорным удобрениям; позволяет получить экологически чистую продукцию и снизить пестицидную нагрузку. В его основе – активные штаммы клубеньковых бактерий, осуществляющие микробиологический перевод труднорастворимых фосфатов почвы и удобрений в доступную растениям форму;

### Результаты исследований и их обсуждение

В агроклиматических исследованиях в качестве показателя увлажнения принят гидротермический коэффициент (далее – ГТК), рассчитанный по суммам осадков и температур за период при температуре воздуха выше 10 °С. В годы исследований ГТК находился в пределах 0,9–1,4; наиболее благоприятным по степени увлажнения был 2022 г. Однако неравномерное распределение осадков по фазам развития существенно повлияло на элементы структуры урожая и семенную продуктивность райграсса.

Продолжительность вегетационного периода у райграсса однолетнего в 2021–2023 гг. отмечалась в диапазоне 79–97 суток при сумме температур в пределах 1488,3–1676,7 °С, сред-

няя организации интенсивного сенокосно-пастбищного хозяйства на пахотных землях она весьма интересна и перспективна.

2) МикроСтим-Медь, Цинк, Бор ИС (0,6 л/га) – микроудобрение (N – 50 г/л; В – 6,1 г/л; Zn – 6,5 г/л; Cu – 7,3 г/л; гуминовые вещества – 0,15–0,6 г/л);

3) Агропон С (20 мл/га) – биостимулятор, существенно повышает энергию прорастания, полевую всхожесть посевов; способствует активному делению клеток посевов, развитию мощной корневой системы, содержанию хлорофилла, увеличению площади поверхности листа. Агропон С надежно защищает растения от насекомых-фитофагов, фитонематод и болезней, которые появляются от грибов-фитопатогенов. В его состав включена сбалансированная композиция полезных веществ: олигосахаридов, хитозана, свободных жирных кислот, фитогормонов, аминокислот, витаминов и биогенных микроэлементов (Fe, Na, Cu, Mn, K, Zn, Mg, Ca);

4) Регоплант (50 мл/га) – биостимулятор, относится к серии композиционных препаратов, обладает биозащитными свойствами; сбалансирован композицией биологически активных соединений аминокислот, хитозана, аналогов фитогормонов, олигосахаридов, жирных кислот, хелатных и биогенных микроэлементов Cu, Zn, S, Mo, Mg, B, Mn, K<sub>2</sub>O, Ca, Fe, N.

несуточной температуре 16,7–21,3 °С и количестве осадков 166,6–235,9 мм (табл. 1). Для райграсса наиболее продолжительны периоды кущения – выхода в трубку и начала цветения – восковой спелости.

В 2021 г. вегетационный период был самым коротким. До начала цветения развитие райграсса проходило в крайне засушливых условиях при ГТК 0,1–0,9. В результате образовалось небольшое количество продуктивных стеблей, в среднем по опыту 466 шт./м<sup>2</sup>. Вес семян с метелки и масса 1000 семян также были самыми низкими за период исследований и в среднем составили 0,11 и 2,1 грамма соответственно (табл. 2).

Таблица 1. Метеорологические условия по фазам вегетации райграса однолетнего

Фаза вегетации	Продолжительность периода, сут.	Температура воздуха, °С		Сумма осадков, мм	ГТК
		сумма	среднесуточная		
2021 г.					
Посев – отрастание	10	174,0	17,4	11,2	0,6
Отрастание – кущение	11	244,2	22,2	1,4	0,1
Кущение – выход в трубку	17	382,5	22,5	33,0	0,9
Выход в трубку – выметывание	9	230,4	25,6	9,0	0,4
Выметывание – начало цветения	12	231,6	19,3	0,0	0,0
Начало цветения – восковая спелость	20	414,0	20,7	92,9	2,2
Вегетационный период	79	1676,7	21,3	147,5	0,9
2022 г.					
Посев – отрастание	13	144,3	11,1	27,9	1,9
Отрастание – кущение	11	149,6	13,6	23	1,5
Кущение – выход в трубку	16	284,8	17,8	33,1	1,2
Выход в трубку – выметывание	12	242,4	20,2	50,4	2,1
Выметывание – начало цветения	15	279,0	18,6	62,1	2,2
Начало цветения – восковая спелость	30	573,0	19,1	39,4	0,7
Вегетационный период	97	1673,1	16,7	235,9	1,4
2023 г.					
Посев – отрастание	8	124,0	15,5	0	0,0
Отрастание – кущение	7	114,1	16,3	0	0,0
Кущение – выход в трубку	27	440,1	16,3	11,6	0,3
Выход в трубку – выметывание	12	229,2	19,1	24,8	1,1
Выметывание – начало цветения	12	225,6	18,8	13,3	0,6
Начало цветения – восковая спелость	19	355,3	18,7	116,9	3,3
Вегетационный период	85	1488,3	17,5	166,6	1,1

Таблица 2. Структура семенного травостоя райграса однолетнего

Удобрение	Высота растений, см	Кол-во продукт. стеблей, шт./м <sup>2</sup>	Длина метелки, см	Масса семян с одной метелки, г	Масса 1000 семян, г
2021 г.					
N <sub>0</sub> P <sub>0</sub> K <sub>0</sub> (контроль)	57,3	258	16,8	0,09	1,7
P <sub>40</sub> K <sub>60</sub> (фон)	58,5	376	17,5	0,11	1,6
Фон + N <sub>30</sub>	65,2	482	17,3	0,10	2,0
Фон + Ризофос	64,4	504	16,5	0,15	2,2
Фон + Микростим	65,9	412	17,0	0,13	2,0
Фон + Агропон С	68,7	638	17,3	0,11	2,5
Фон + Регоплант	72,6	594	16,5	0,10	2,4
Среднее	64,7	466	17,0	0,11	2,1
2022 г.					
N <sub>0</sub> P <sub>0</sub> K <sub>0</sub> (контроль)	79,3	784	20,7	0,15	4,4
P <sub>40</sub> K <sub>60</sub> (фон)	73,2	892	19,7	0,14	3,6
Фон + N <sub>30</sub>	77,8	1034	18,7	0,16	4,1
Фон + Ризофос	79,7	1020	20,1	0,14	4,1
Фон + Микростим	78,4	932	20,7	0,14	4,1
Фон + Агропон С	80,1	996	21,4	0,14	3,9
Фон + Регоплант	69,3	1364	17,0	0,11	3,7
Среднее	76,8	1003	19,7	0,14	4,0
2023 г.					
N <sub>0</sub> P <sub>0</sub> K <sub>0</sub> (контроль)	35,1	352	14,1	0,13	2,0
P <sub>40</sub> K <sub>60</sub> (фон)	39,3	470	14,9	0,12	2,0
Фон + N <sub>30</sub>	38,6	466	15,9	0,15	2,4
Фон + Ризофос	34,5	558	15,3	0,11	2,4
Фон + Микростим	39,2	505	16,1	0,16	1,9
Фон + Агропон С	40,0	417	13,9	0,13	2,5
Фон + Регоплант	37,1	466	16,7	0,15	2,3
Среднее	37,7	462	15,2	0,13	2,2

Положительное влияние на формирование травостоя оказало внесение биостимуляторов Агропон С и Регоплант; количество продуктивных стеблей по сравнению с контролем увеличилось на 380 и 336 шт./м<sup>2</sup>, а по сравнению с фоном – на 262 и 218 шт./м<sup>2</sup>. Высота растений райграса однолетнего в вариантах с микроудобрениями и биорегуляторами была на 7,1–15,3 см больше, чем на контроле. Некорневые подкормки способствовали увеличению обсемененности метелки райграса однолетнего на 11,1–66,7 % и массы 1000 семян на 17,6–47,1 %.

Вегетационный период 2022 г. был оптимальным по увлажнению и температурному режиму; ГТК составил 1,4. Наиболее продолжителен (30 суток) был период начала цветения – восковой спелости. К моменту уборки в среднем сформировалось 1003 шт./м<sup>2</sup> продуктивных стеблей, а масса 1000 семян составила 4,0 г. Внесение биостимулятора Регоплант показало эффективность, количество продуктивных стеблей по сравнению с контролем увеличилось на 580 шт./м<sup>2</sup>, а по сравнению с фоном РК – на 472 шт./м<sup>2</sup>. Высота растений и обсемененность метелки райграса однолетнего не зависели от некорневых подкормок. Применение препаратов незначительно способствовало увеличению длины метелки.

В 2023 г. рост и развитие райграса однолетнего до выхода в трубку проходили в условиях засухи (ГТК 0–0,3). Недостаток влаги (ГТК 0,6) испытывали посевы и в фазу выметывания – начала цветения, а созревание семян проходило в условиях высоких температур и избыточной влажности (ГТК в это период составил 3,3). Такие погодные условия способствовали очень медленному росту растений, их высота достигла 37,7 см, что было на 27,0–39,1 см ниже, чем в предыдущие годы.

В среднем за вегетацию сформировалось 462 шт./м<sup>2</sup> продуктивных стеблей. Наибольшее их количество отмечено в варианте после некорневой подкормки микробным удобрением Ризофос (558 шт./м<sup>2</sup>). На высоту растений повлиял препарат Агропон С; по сравнению с контролем она увеличилась на 4,9 см. Максимальная длина метелки (16,7 см) отмечена в варианте с Регоплантом. Применение микроудобрения Микростим способствовало наибольшей обсемененности метелки райгра-

са, а подкормка регулятором роста Агропон С увеличила массу 1000 семян до 2,5 г.

Вследствие непрерывного побегообразования семенные травостой райграса однолетнего созревают неодновременно, поэтому невозможно точно определить сроки проведения уборки на основе лишь визуальной оценки изменения окраски соцветий. Готовность травостоя к уборке необходимо определять по влажности семян. Семена райграса легко осыпаются, и при неравномерном созревании весьма трудно установить оптимальные сроки уборки. Уборку на семена нужно провести своевременно и быстро, малейшее запоздание ведет к большим потерям урожая семян от осыпания. Поэтому учет урожайности семян был проведен в фазу середины их восковой спелости. На каждом варианте перед уборкой отбирались пробные снопы (2 площадки по 0,25 м<sup>2</sup>) для подсчета общего количества продуктивных стеблей.

Исследования показали, что внесение препаратов, содержащих микроэлементы, оказало положительное влияние на формирование урожайности семян райграса однолетнего.

В 2021 г. урожайность семян райграса составила в среднем по опыту 5,3 ц/га – при сумме положительных температур 1676,7 °С, сумме осадков 147,5 мм и ГТК 0,9. Семенная продуктивность находилась в прямой зависимости от количества продуктивных стеблей ( $r = 0,70$ ) и массы 1000 семян ( $r = 0,66$ ). По отношению к контролю прибавка урожая семян на уровне 230,4 и 204,3 % получены в вариантах с внесением препаратов Ризофос и Агропон (табл. 3). По отношению к фону максимальная прибавка (85,4 %) отмечена в варианте с применением микроудобрения Ризофос.

В 2022 г. семенная продуктивность райграса находилась в прямой зависимости от количества продуктивных стеблей ( $r = 0,53$ ) и в среднем составила 9,5 ц/га. По отношению к контролю максимальная прибавка (40,0 %) получена в варианте с внесением  $P_{40}K_{60}N_{30}$ . По отношению к фону максимальная прибавка (25,0 %) отмечена в варианте с применением биорегулятора Регоплант.

В условиях 2023 г. фаза кущения – выхода в трубку была наиболее продолжительной (26 суток). Урожайность семян прямо зависела от двух факторов: длины метелки ( $r = 0,71$ ) и веса

семян с одной метелки ( $r = 0,78$ ). Максимальная урожайность семян сформировалась при некорневой подкормке препаратом Микростим; в данном варианте получена прибавка на уровне 66,0 % по отношению к контролю. Применение биорегулятора Регоплант обеспечило максимальную прибавку (42,9 %) по отношению к фону.

В среднем за три года исследований высота растений райграса однолетнего перед уборкой достигала 57,0–62,9 см (табл. 4). Наибольшее количество продуктивных стеблей

(808 шт./м<sup>2</sup>) сформировалось в варианте при некорневой подкормке биостимулятором Регоплант, что на 73,8 % больше контроля. На длину метелки микроудобрения влияния не оказали.

Максимальная масса семян с одной метелки (0,14 г) отмечена в вариантах с внесением P<sub>40</sub>K<sub>60</sub>N<sub>30</sub> и при подкормке микроудобрением Микростим. Масса 1000 семян в вариантах с внесением микроэлементов была на 3,7–11,1 % больше контроля и на 16,7–25,0 – варианта с фоном РК.

Таблица 3. Урожайность семян райграса однолетнего, ц/га

Удобрение	Урожайность семян, ц/га	± прибавка урожая, %	
		к контролю	к фону
2021 г.			
N <sub>0</sub> P <sub>0</sub> K <sub>0</sub> (контроль)	2,3	–	–
P <sub>40</sub> K <sub>60</sub> (фон)	4,1	78,3	–
Фон + N <sub>30</sub>	4,8	108,7	17,1
Фон + Ризофос	7,6	230,4	85,4
Фон + Микростим	5,4	134,8	31,7
Фон + Агропон С	7,0	204,3	70,7
Фон + Регоплант	5,9	87,8	43,9
2022 г.			
N <sub>0</sub> P <sub>0</sub> K <sub>0</sub> (контроль)	8,0	–	–
P <sub>40</sub> K <sub>60</sub> (фон)	8,4	5,0	–
Фон + N <sub>30</sub>	11,2	40,0	33,3
Фон + Ризофос	9,6	20,0	14,3
Фон + Микростим	9,1	13,8	8,3
Фон + Агропон С	9,8	22,5	16,7
Фон + Регоплант	10,5	31,3	25,0
2023 г.			
N <sub>0</sub> P <sub>0</sub> K <sub>0</sub> (контроль)	4,7	–	–
P <sub>40</sub> K <sub>60</sub> (фон)	5,6	19,1	–
Фон + N <sub>30</sub>	6,8	44,7	21,4
Фон + Ризофос	5,0	6,4	–10,7
Фон + Микростим	7,8	66,0	39,3
Фон + Агропон С	5,2	10,6	8,9
Фон + Регоплант	7,1	51,1	42,9

Таблица 4. Структура и урожайность семенного посева райграса однолетнего

Удобрение	Высота растений, см	Кол-во продукт. стеблей, шт./м <sup>2</sup>	Длина метелки, см	Масса семян с одной метелки, г	Масса 1000 семян, г	Урожайность семян, ц/га
N <sub>0</sub> P <sub>0</sub> K <sub>0</sub> (контроль)	57,2	465	17,2	0,12	2,7	5,0
P <sub>40</sub> K <sub>60</sub> (фон)	57,0	579	17,4	0,12	2,4	6,0
Фон + N <sub>30</sub>	60,5	661	17,3	0,14	2,8	7,6
Фон + Ризофос	59,5	694	17,3	0,13	2,9	7,4
Фон + Микростим	61,2	616	17,9	0,14	2,7	7,4
Фон + Агропон С	62,9	684	17,5	0,13	3,0	7,3
Фон + Регоплант	59,7	808	16,7	0,12	2,8	7,8

Семенная продуктивность культуры находилась в пределах 5,0–7,8 ц/га. Некорневые подкормки микроудобрениями и биорегуляторами повышали урожайность семян райграса однолетнего на 2,3–2,8 ц/га по сравнению с

контролем и на 1,3–1,8 ц/га – с фоном. Максимальная урожайность семян сформировалась при некорневой подкормке препаратом Регоплант.

### Заключение

Если в годы исследований отмечался существенный недостаток осадков в период от посева до начала цветения и их избыток в фазы цветения – восковой спелости, урожайность семян райграса однолетнего была ниже потенциальной нормы. В 2021 г. она составила 5,3 ц/га, а в 2023 г. – 6,0 ц/га. При оптимальных условиях в 2022 г. (ГТК = 1,4) семенная продуктивность значительно увеличилась и была на уровне 9,5 ц/га.

Исследуемые агроприемы обеспечивали рост семенной продуктивности культуры. Существенные прибавки урожайности семян в 2021 г. получены при некорневой подкормке микробным удобрением Ризофос (85,4 %). В 2022 и 2023 гг. максимальные прибавки 25,0 и 42,9 % отмечены в варианте с внесением Регопланта. В среднем за годы исследований наиболее эффективным был биорегулятор роста Регоплант, прибавка урожая по отношению к контролю составила 56,0 % и к фону – 30,0 %.

### Библиографический список

1. Лесько, В. А. Результаты изучения нового сорта райграса однолетнего Дебют / В. А. Лесько, С. В. Кравцов / Стратегия и приоритеты развития земледелия и селекции полевых культур в Беларуси : материалы Междунар. науч.-практ. конф, посвящ. 90-летию со дня основания РУП «Научно-практический центр НАН Беларуси по земледелию»; 5–6 июля 2017 г., Жодино / РУП «Научно-практический центр НАН Беларуси по земледелию». – Минск : ИВЦ Минфина, 2017. – 319 с.
2. Теличко, О. Н. Экономическая эффективность возделывания райграса однолетнего (*Lolium multiflorum*) при многоукосном использовании в Приморье / О. Н. Теличко // Аграр. вестн. Приморья. – 2018. – № 1 (9). – С. 19–23.
3. Государственный реестр сортов сельскохозяйственных растений [Электронный ресурс]. – ГУ «Государственная инспекция по испытанию и охране сортов растений». – Режим доступа: <http://sorttest.by/registry.php>. – Дата доступа: 02.05.2024.

Поступила 21 мая 2024 г.

# НАШИ ЮБИЛЯРЫ



---

---

## ГЕННАДИЙ ВЛАДИМИРОВИЧ РУДАКОВСКИЙ (к 80-летию)

---

---

*Геннадий Владимирович Рудаковский родился 11 апреля 1944 года в г. Пинске Брестской обл.*

*В 1960 г. окончил Пинский гидромелиоративный техникум. Трудовую деятельность начал старшим инструментальщиком на одном из предприятий Пинска (1960–1963). В 1968 г. окончил факультет механизации гидромелиоративных работ Московского гидромелиоративного института, получив специальность инженера-механика.*

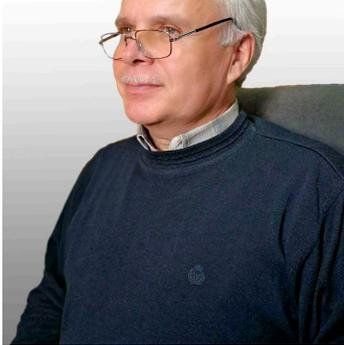
*С 1968-го по 1991 г. работал в БелНИИ мелиорации и водного хозяйства сначала младшим, затем старшим научным сотрудником, заведующим лабораторией организации и производства мелиоративного строительства.*

*Кандидат технических наук (1976). Автор 42 научных публикаций, посвященных вопросам технологии и механизации предварительного осушения торфяников, в том числе 6 рекомендаций и методических указаний по производству земляных работ как на территории нашей республики, так и Нечерноземной зоны России в зимних условиях. Новизна и актуальность разработок Г. В. Рудаковского подтверждены 6 авторскими свидетельствами на изобретения.*

*Геннадий Владимирович активно участвовал в общественной жизни института: был членом ученого и научно-технического советов БелНИИ мелиорации и водного хозяйства, заместителем председателя профкома, состоял в добровольной народной дружине.*

*Награжден Почетной грамотой БелНИИМивХ, медалями ВДНХ СССР, дипломами ВДНХ БССР.*

*Поздравляем Геннадия Владимировича с юбилеем, желаем всяческих сил и благополучия.*




---

## ВЛАДИМИР МИХАЙЛОВИЧ МАКОЕД (к 70-летию)

---

*Владимир Михайлович Макоед родился 9 апреля 1954 г. в г. Пинске.*

*В 1976 г. окончил факультет гидротехнического и дорожного строительства Белорусского политехнического института и получил специальность инженера-гидротехника.*

*После окончания института был направлен на работу в Институт мелиорации и луговодства НАН Беларуси, где в лаборатории мелиорации переувлажненных минеральных земель работал старшим инженером (1976–1979 гг.), младшим научным сотрудником (1979–1988 гг.), научным сотрудником (1988–1999 гг.) и с 1999 г. – старшим научным сотрудником. С 2001 г. заведовал сектором научного обеспечения экспериментальных разработок института. В 2015 г. переведен на должность ведущего научного сотрудника, с 2021 г. назначен руководителем сектора перспективных разработок и информационных технологий.*

*Основные научные проблемы, решенные Владимиром Михайловичем, связаны с разработкой технически и экономически эффективных конструкций мелиоративных систем, в том числе горизонтального дренажа на тяжелых почвах. Им разработаны и теоретически обоснованы новые конструкции колонок и колодцев-поглотителей из полимерных материалов, предложены способы осушения земель с многочисленными замкнутыми понижениями.*

*В. М. Макоед поддерживает тесную связь с проектными и строительными организациями мелиоративной отрасли Беларуси и России, работал с мелиораторами стран Балтии и проводил исследования фильтрующих материалов с фирмой DuPont (Люксембург). Под его руководством в институте налажен выпуск оборудования и элементов для обустройства мелиоративных систем. Владимир Михайлович занимается также исследованиями в области внедрения беспилотных летательных аппаратов для выполнения аэрофотосъемки и построения цифровых моделей рельефа, что позволяет определять местоположение замкнутых понижений и рассчитывать их характеристики, выделять элементарные водосборы и линии поверхностного тока воды на мелиоративных объектах.*

*Разработки В. М. Макоеда внесли значительный вклад в развитие новых высокоэффективных элементов мелиоративных систем и способов осушения тяжелых почв, нашли широкое применение в мелиоративной отрасли республики, существенно повысили эффективность осушения, снизили его стоимость.*

*Автор более 90 опубликованных научных работ, в том числе 3 монографий (в соавторстве), 3 типовых проектных решений, 6 патентов, 12 авторских свидетельств*

на изобретения, которые внедряются в производство, и 4 нормативных документов в области мелиорации минеральных земель.

Владимир Михайлович принимает активное участие в общественной жизни института. Награжден медалями ВДНХ СССР, медалью Всероссийского выставочного центра, дипломами ВДНХ БССР, Почетными грамотами института, нагрудным знаком «Ганаровы меляратар» Департамента по мелиорации и водному хозяйству Минсельхозпрода Республики Беларусь.

Профессионализм и ответственность в работе, порядочность Владимира Михайловича Макоеда ценится всеми сотрудниками института.

Коллектив Института мелиорации сердечно поздравляет Владимира Михайловича со знаменательным юбилеем и желает крепкого здоровья, новых творческих успехов, профессионального долголетия, счастья, благополучия, удачи во всем.




---



---

## ЮРИЙ АНАТОЛЬЕВИЧ МАЗАЙСКИЙ (к 65-летию)

---



---

*Юрий Анатольевич Мажайский родился 12 июня 1959 г. в д. Староселье Горецкого р-на Могилевской обл.*

*В 1981 г. с отличием окончил гидромелиоративный факультет Белорусской сельскохозяйственной академии, получив квалификацию «инженер-гидротехник». Был направлен на работу в Мещерский филиал головного научного учреждения ВНИИ гидротехники и мелиорации. В 1988 г. защитил диссертацию на соискание ученой степени кандидата сельскохозяйственных наук на тему «Водный режим супесчаных почв при орошении полезных культур».*

*В 1988–1998 гг. работал старшим научным сотрудником лаборатории орошения, заведующим сектором орошения, заведующим лабораторией орошения и лабораторией экологии природообустройства в Мещерском филиале ВНИИ гидротехники и мелиорации.*

*В 2002 г. защитил диссертацию на соискание ученой степени доктора сельскохозяйственных наук на тему «Обоснование режимов комплексных мелиораций в условиях техногенного загрязнения агроландшафта». С 1999 г. – генеральный директор ООО «Мещерский научно-технический центр».*

*С 1997 г. – доцент, преподавал в Рязанском государственном университете имени П. А. Костычева, с 2006 г. – в Рязанском государственном медицинском университете имени И. П. Павлова. С 2011 г. – профессор Рязанского государственного университета имени С. А. Есенина, с 2013 г. – главный научный сотрудник ГНУ ВНИИ мелиоративного земледелия Россельхозакадемии, с 2020 г. – профессор кафедры управления Белорусской государственной сельскохозяйственной академии.*

*Ю. А. Мажайский – известный ученый в области орошения сельскохозяйственных культур, экологии мелиорируемых почв и техногенного загрязнения сельскохозяйственных земель, регулярно участвует в научных симпозиумах в странах как ближнего, так и дальнего зарубежья.*

*Под его руководством и при его непосредственном участии разработаны технические решения по обеспечению экологической безопасности мелиоративных систем, регулированию водного режима супесчаных почв при орошении полевых культур, изучены особенности ведения земледелия и растениеводства на мелиорируемых техногенно загрязненных землях, что находит практическое применение у специалистов проектных организаций, занимающихся вопросами экологии, мелиорации и водного хозяйства.*

*Ю. А. Мажайский принимал участие в реализации Федеральной целевой программы «Повышение плодородия почв России на период 2002–2005 годы», был активным разработчиком российско-германского, российско-белорусского, российско-польского*

проектов («Ока – Эльба», «Утилизация сточных вод животноводческих комплексов», «Технологии создания и использование органоминеральных компостов и удобрений») и участвовал в их реализации, а также в научном обеспечении Федеральной целевой программы «Сохранение и восстановление плодородия почв земель сельскохозяйственного назначения и агроландшафтов как национального достижения России на 2006–2010 годы».

Под руководством ученого подготовлен ряд руководящих документов для предприятий и организаций: по утилизации отходов, нормированию водопотребления и водоотведения, мониторингу природной среды, проектированию объектов агропромышленного комплекса, а также несколько практических рекомендаций по эффективному использованию мелиорируемых земель.

Юрий Анатольевич – Почетный доктор Белорусской государственной сельскохозяйственной академии, награжден Почетной грамотой Министерства сельского хозяйства Российской Федерации, медалью Варминско-Мазурского университета г. Ольштына (Польша), Национальной премией фонда имени В. И. Вернадского за реализацию российско-польско-белорусского проекта в номинации «Экология в сельском хозяйстве».

Юрий Анатольевич – автор более 600 опубликованных работ, ряда практических рекомендаций по эффективному использованию мелиорируемых земель, в том числе 28 учебно-методических пособий для студентов сельскохозяйственных вузов, 30 авторских свидетельств и патентов на изобретения.

Ю. А. Мажайский является консультантом и руководителем кандидатских и докторских работ, подготовил ряд специалистов, работающих на предприятиях разных регионов Российской Федерации, Беларуси и Азербайджана.

Коллектив Института мелиорации сердечно поздравляет уважаемого Юрия Анатольевича с юбилеем и желает здоровья и успехов в его многотрудной деятельности.

# ● ЧТОБЫ ПОМНИЛИ ●



---

## АНДРЕЙ ИГНАТЬЕВИЧ ИВИЦКИЙ (к 120-летию)

---

*Андрей Игнатъевич Ивицкий родился 13 июня 1904 г. в д. Светозерье Чаусского р-на Могилевской обл. В 1925 г. окончил инженерно-мелиоративный факультет Горецкого сельскохозяйственного института и получил диплом инженера-гидротехника.*

*Работал инженером-гидротехником, начальником изыскательской партии в Борисовском, а затем в Мозырском окружных земельных отделах (1925–1928), учился в аспирантуре АН БССР (1928–1931). В 1931–1941 гг. был старшим научным сотрудником Всесоюзного научно-исследовательского института болотного хозяйства (г. Минск).*

*С первых дней Великой Отечественной войны Андрей Игнатъевич служил в действующей армии на Западном, Втором и Третьем Белорусских фронтах (1941–1946).*

*После демобилизации руководил Водохозяйственным сектором АН БССР (1946–1948). В Белорусском НИИ мелиорации и водного хозяйства заведовал отделом осушения (1948–1976) и лабораторией мелиорации торфяных почв (1976–1985), в 1985–1990 гг. работал здесь же старшим научным сотрудником.*

*Кандидат сельскохозяйственных наук (1936), доктор технических наук (1958), профессор (1960), член-корреспондент АН БССР (1961), заслуженный деятель науки БССР (1974). Автор более 170 опубликованных научных работ, в том числе 6 монографий. В своих научных трудах А. И. Ивицкий развивал теоретические положения, выдвинутые классиками советской мелиоративной науки, – академиком ВАСХНИЛ А. Н. Костяковым и академиком АН БССР А. Д. Дубахом, которых он считал своими учителями. Разработанные А. И. Ивицким методы и способы осушения болот, теоретические положения и формулировки широко внедрены в мелиоративное производство, вошли в технические условия и нормы проектирования осушительно-увлажнительных систем, а также в учебники и руководства по мелиорации, гидрологии, гидрогеологии и др.*

*Андрей Игнатъевич активно участвовал в общественной жизни: был бессменным членом ученого совета БелНИИМиВХ и двух советов по защите диссертаций, Республиканского межведомственного совета по мелиорации при Совете Министров БССР, научно-технического совета Минводхоза СССР; консультировал крупные мелиоративные проекты.*

*Подготовил 15 кандидатов и 2 докторов наук.*

*Андрей Игнатъевич Ивицкий награжден орденами Октябрьской Революции, Отечественной войны I и II степени, Красной Звезды, восьмью медалями СССР, в том числе «За оборону Москвы» и «За взятие Кенигсберга», медалями ВДНХ СССР и дипломами ВДНХ БССР.*



---

---

**ВЛАДИМИР ИВАНОВИЧ  
ПОЛУНИН  
(к 100-летию)**

---

---

*Владимир Иванович Полунин родился 10 июня 1924 г. в г. Житомире.*

*В военные годы (1941–1944) работал фрезеровщиком, мастером, старшим мастером, конструктором завода № 466 Наркомата авиапромышленности в г. Горьком (ныне – Нижний Новгород). В 1944–1945 гг. служил курсантом в воинской части № 355 Народного комиссариата государственной безопасности.*

*С 1946-го по 1951 г. – конструктор Днепропетровского автозавода; 1951–1962 гг. – конструктор, помощник военпреда, ведущий конструктор, начальник СКБ, начальник бюро отдела главного конструктора Минского автозавода.*

*В 1959 г. окончил автотракторный факультет Белорусского политехнического института, получив специальность инженера-механика.*

*В 1962–1978 гг. – главный инженер, затем начальник экспериментального исследовательского отдела и заведующий отделом прогнозирования развития дорожных машин НПО «Дормаш» (Минск).*

*В 1972 г. защитил диссертацию на соискание ученой степени кандидата технических наук по теме «Исследование и разработка путей повышения эффективности двухфрезерных каналокопателей на осушительных работах» во Всесоюзном научно-исследовательском институте гидротехники и мелиорации имени А. Н. Костякова.*

*С 1978 г. по 1995 г. работал заведующим лабораторией механизации эксплуатационных работ в БелНИИ мелиорации и луговодства. Созданные под его научным руководством машины и механизмы до сих пор выпускает (с доработкой) предприятие «АМКОДОР».*

*Владимир Иванович – автор более 30 опубликованных научных работ по вопросам механизации дорожно-строительных и эксплуатационных работ на осушительно-увлажнительных системах. При его непосредственном участии разработан ряд конструкций машин для строительства и эксплуатации мелиоративных систем. Новизна разработок подтверждена 45 авторскими свидетельствами на изобретения.*

*В. И. Полунин награжден 2 медалями СССР, медалями ВДНХ, Почетной грамотой Минводхоза СССР.*

*Коллеги помнят Владимира Ивановича как инициативного исследователя, который всегда стремился довести свои идеи до реализации. Его всегда уважали за отзывчивость, коммуникабельность, доброжелательность.*




---



---

## ПЁТР ИОСИФОВИЧ ЗАКРЖЕВСКИЙ (к 95-летию)

---



---

*Пётр Иосифович Закржевский родился 2 июня 1929 г. в г. Бобруйске. В 1948 г. окончил здесь среднюю школу № 3 и поступил на учебу в Белорусский политехнический институт на гидротехнический факультет.*

*После окончания первого курса переведен на второй курс гидромелиоративного факультета Белорусской сельскохозяйственной академии. Будучи третьекурсником, работал старшим лаборантом кафедры гидротехнических сооружений академии. В 1953 г. с отличием окончил вуз и получил специальность инженера-гидротехника. Далее трудился в академии ассистентом кафедры гидравлики и гидрометрии, старшим преподавателем кафедры гидравлики (1953–1957), учился в аспирантуре БелНИИ мелиорации и водного хозяйства (1957–1960), затем более 35 лет, с 1960-го по 1996 г., отдал этому институту: работал младшим научным сотрудником, главным инженером, старшим научным сотрудником, заведующим лабораторией прогнозов водного режима и гидрологии.*

*Кандидат технических наук (1967), доктор технических наук (1990). В 1971 г. П. И. Закржевскому присвоено ученое звание старшего научного сотрудника.*

*За время научной деятельности Пётр Иосифович опубликовал 158 научных работ, в том числе три монографии. Он отличался оригинальностью в подходах к решению мелиоративных задач. Впервые в мировой практике разработал, испытал и внедрил в производство базирующиеся на принципиально новых положениях осушительно-увлажнительные мелиоративные системы с грунтовым водохранилищем и дренажные системы с постоянно затопленными устьями. Также его авторству принадлежат: способы прогноза режима грунтовых вод осушаемой и прилегающей территорий; методы расчета параметров дренажа, разработанные с учетом гидравлического режима в открытой проводящей сети при половодье и паводке; методика определения оптимальной степени регулирования водоприемника и обеспеченности расчетного стока в условиях половодья и паводка. Оригинальность разработок и технологических решений, их новизна подтверждены 17 авторскими свидетельствами на изобретения.*

*Пётр Иосифович награжден нагрудным знаком «Изобретатель СССР».*

*Спектр его научных интересов не ограничивался мелиорацией. Также он работал и в сфере агрономии, где им разработаны критерии оптимальных сроков сева сельскохозяйственных культур на мелиорированных землях: зависимости, учитывающие фазы развития сельскохозяйственных растений при расчете нарастания их биомассы, и др.*

*По предложенным ученым новым научным направлениям три сотрудника вверенной ему лаборатории защитили кандидатские диссертации.*

*Пётр Иосифович уделял много внимания воспитанию учеников, будучи человеком, глубоко преданным науке. При этом он никогда не сторонился общественной жизни:*

*был председателем совета трудового коллектива института, членом профсоюзного комитета, ученого совета и специализированных советов по защите диссертаций и др.*

*Награжден медалями «За доблестный труд. В ознаменование 100-летия со дня рождения В. И. Ленина», «Ветеран труда», ВДНХ СССР, грамотой Верховного Совета БССР, Почетными грамотами Минводхоза СССР, БССР, БелНИИМиВХ.*

*П. И. Закржевский – один из подвижников науки, которой отдавал ей все свое время. После окончания рабочего дня окна кабинета Петра Иосифовича еще долго продолжали светиться. Он пользовался заслуженным авторитетом среди коллег, в течение всей своей жизни следуя основополагающим принципам работы настоящего ученого: тщательно и всесторонне подходить к постановке научной проблемы, внимательно изучать более ранние теоретические наработки, проводить лабораторные и полевые опыты с оценкой достоверности выводов и решений. Он всегда был принципиален и последователен в отстаивании научной истины.*




---



---

**НИКОЛАЙ ВАСИЛЬЕВИЧ  
КУШНИР  
(к 95-летию)**

---



---

*Николай Васильевич Кушнир родился 10 июня 1929 г. в д. Липники Дрогичинского р-на Брестской обл.*

*В 1955 г. окончил гидромелиоративный факультет Белорусской сельскохозяйственной академии и получил специальность инженера-гидротехника. В течение двух лет по окончании вуза работал инженером Бытенской машинно-тракторной станции Брестской обл., начальником участка Кобринской машинно-мелиоративной станции.*

*С 1957 г. Николай Васильевич трудился на Полесской опытной болотной станции – младшим научным сотрудником, главным инженером, заведующим отделом мелиорации. В 1972 г. успешно защитил диссертацию на соискание ученой степени кандидата технических наук на тему «Формирование русел осушительных каналов в условиях временного подпора на мелкозалежных торфяниках Полесья (на примере Полесской опытной болотной станции)». В 1975 г. был назначен директором данной станции и проработал в этой должности до 1981 г.*

*В 1981–1984 гг. – старший научный сотрудник Полесского комплексного отдела БелНИИ мелиорации и водного хозяйства. С 1984 г. по 1989 г. работал заведующим лабораторией мелиорации Полесской опытно-мелиоративной станции.*

*Н. В. Кушнир опубликовал около 50 научных работ по проблемам осушения мелкозалежных торфяников Полесья, регулирования водного режима, научной организации труда при эксплуатации мелиоративных систем.*

*Николай Васильевич – один из основоположников мелиорации и комплексного освоения Белорусского Полесья, был активным членом научного совета по проблемам этого региона. Он очень много сделал для становления и развития Полесской опытной мелиоративной станции.*

*За весомый вклад в решение актуальных задач в области мелиоративного строительства на Полесье и многолетнюю трудовую деятельность Н. В. Кушнир награжден медалями «За трудовую доблесть», «За доблестный труд», Почетными грамотами Минсельхозпрода и Института мелиорации.*

*Сотрудники института с уважением хранят память о Николае Васильевиче Кушнире как об ответственном профессионале и глубоко порядочном человеке.*

## 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.