

ISSN 2070–4828

# МЕЛИОРАЦИЯ

Научный журнал

## № 1 (111)

Основан в 1951 году  
Выходит 4 раза в год

Январь – март 2025



Минск  
2025

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, проф. **В. И. Желязко** (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. **В. Е. Левкевич**

д-р с.-х. наук, проф. **Н. Н. Цыбулько**

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 – **25,20 руб.;**

**748562** — для предприятий и организаций, цена – **28,80 руб.**

Подписку можно оформить во всех отделениях связи.

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

Компьютерная верстка **И. В. Скуратович**

---

Подписано к печати 19.03.2025 г. Формат 60 x 84 1/8.  
Уч.-изд. л. 5,78. Усл. печ. л. 7,21. Заказ 112. 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

*В. И. Желязко, Е. А. Вчерашний*

**Экономическая эффективность орошения сои на минеральных почвах северо-восточной части Беларуси**

**5**

*V. I. Zhelyazko, E. A. Vcherashniy*

**Economic efficiency of soybean irrigation on mineral soils of the north-eastern part of Belarus**

*Д. И. Кацко, А. И. Кацко*

**Использование элементов теории системно-структурного синтеза при проектировании противооползневых сооружений**

**13**

*D. I. Katsko, Al. I. Katsko*

**Using elements of the theory of system-structural synthesis in the design of anti-landslide installations**

*А. Ш. Мамедов, А. Б. Агамамедова*

**Русловые процессы в реках, подвергающихся антропогенному воздействию**

**21**

*A. Sh. Mammadov, A. B. Aghamammadova*

**Stream channel processes in rivers subject to anthropogenic impact**

## Кормопроизводство

## Forage production

*Р. Т. Пастушок, А. А. Кравцова*

**Влияние некорневых подкормок на семенную продуктивность клевера лугового в одновидовых и совместных посевах с райграсом однолетним**

**28**

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

**Influence of foliar fertilization on seed productivity of meadow clover in single-species and joint crops with annual ryegrass and joint crops with annual ryegrass**

*В. Н. Костеневич*

**Действие азотных удобрений на рост растений кукурузы при различных погодных условиях**

**35**

*V. N. Kostenevich*

**The effect of nitrogen fertilizers on the growth of maize plants under various conditions**

<b>Экология</b>	●	<b>Ecology</b>	
<i>Ю. А. Мажайский, М. И. Голубенко, С. М. Курчевский, А. В. Стрелюхин</i> <b>Обеспечение экологической безопасности прудов-накопителей животноводческих стоков при удобрительном орошении</b>			<b>45</b>
<i>Yu. A. Mazhayskiy, M. I. Golubenko, S. M. Kurchevskiy, A. V. Streliukhin</i> <b>Ensuring environmental safety of livestock waste water storage ponds with fertilizer irrigation</b>			
<i>И. И. Полоз, А. И. Чухольский, С. Н. Рожко</i> <b>Анализ объемов осадков сточных вод, образующихся в результате деятельности промышленных предприятий Республики Беларусь</b>			<b>53</b>
<i>I. I. Poloz, A. I. Chukholskiy, S. N. Rozhko</i> <b>Analysis of sewage sludge volumes resulting from the activities of industrial enterprises of the Republic of Belarus</b>			
<b>Наши юбиляры</b>	●	<b>Our jubilees</b>	
<b>Геннадий Михайлович Лыч (к 90-летию)</b>			<b>59</b>
<b>Чтобы помнили</b>	●	<b>To be remembered</b>	
<b>Григорий Иванович Афанасик (к 90-летию)</b>			<b>61</b>

# МЕЛИОРАЦИЯ

УДК 631.67:633.34(476-18)

## ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ОРОШЕНИЯ СОИ НА МИНЕРАЛЬНЫХ ПОЧВАХ СЕВЕРО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ БЕЛАРУСИ

*В. И. Желязко, доктор сельскохозяйственных наук*

*Е. А. Вчерашний, старший преподаватель*

*Белорусская государственная сельскохозяйственная академия, г. Горки, Беларусь*

### Аннотация

Представлены результаты полевых опытов по эффективности применения орошения дождеванием при возделывании сои на зерно. Установлено, что из-за неравномерности распределения атмосферных осадков дополнительное увлажнение требуется как в засушливые, так и влажные годы. Величина оросительной нормы изменяется от 600 м<sup>3</sup>/га во влажный год до 1800 м<sup>3</sup>/га в засушливый. Расчет экономической эффективности применения орошения показал, что максимальная прибыль (1047 руб.) наблюдается в варианте с нижней границей регулирования почвенных влагозапасов 80 % НВ, при этом рентабельность составляет 58,26 %. Средняя прибавка урожайности зерна сои в данном варианте составляет 9,4 ц/га.

**Ключевые слова:** соя, водный режим, дождевание, режим орошения, поливная норма, оросительная норма, урожайность, экономическая эффективность, рентабельность.

### Abstract

*V. I. Zhelyazko, E. A. Vcherashniy*

### ECONOMIC EFFICIENCY OF SOYBEAN IRRIGATION ON MINERAL SOILS OF THE NORTH-EASTERN PART OF BELARUS

The results of field experiments on the efficiency of sprinkler irrigation in soybean cultivation for grain presents. It was found that due to the uneven distribution of precipitation, additional moisture is required in both dry and wet years. The irrigation rate varies from 600 m<sup>3</sup>/ha in a wet year to 1800 m<sup>3</sup>/ha in a dry year. Calculation of the economic efficiency of irrigation showed that the maximum profit of 1047 rubles is observed in the variant with the lower limit of soil moisture regulation of 80 % of the NW, while the profitability is 58.26 %. The average increase in soybean grain yield in this variant is 9.4 c/ha.

**Keywords:** soybean, water regime, sprinkler irrigation, irrigation regime, irrigation rate, irrigation rate, yield, economic efficiency, profitability.

### Введение

Соя традиционно считается ценнейшей белково-масличной культурой, ее зерно и продукты переработки широко используются в пищевой промышленности, а также являются важнейшим белковым компонентом сбалансированной кормовой базы, без которой невозможно развитие интенсивного животноводства. Кроме того, в сырьевых ресурсах мирового производства растительных масел соя занимает первое место среди всех культур масличной группы (на ее долю приходится 61 % валового сбора масличных в мире, в то время как на рапс лишь 12 %).

По сборам белка она лидирует среди зерновых и зернобобовых культур. В соевом зерне содержатся 40–45 % белка, 20–23 % масла, до 30 % углеводов, витамины и минеральные вещества. При этом белок сои содержит полный набор необходимых для человека и животных незаменимых аминокислот, легко усваивается и по биологической ценности приближается к белкам мяса, молока и яиц. Этим и обусловлен особый статус этой культуры в мировом земледелии [1].

Возделывание зерна сои и его переработка в Беларуси приведут к удешевлению ком-

бикормов, улучшению их качества, снижению себестоимости и росту экспорта животноводческой продукции, это реальный резерв импортозамещения и экономии валютных средств.

Выращивание данной культуры требует особого внимания к теплоте и влажности почвы. Для полноценного созревания и получения хорошего урожая необходима сумма активных температур (выше 10°C) в пределах 1700–2200 °С. Общий расход воды в течение вегетационного периода колеблется от 3000 до 5500 кубометров, что зависит от региона и условий выращивания. При этом максимальные потребности в воде наблюдаются в фазу цветения и наливания бобов. Недостаток влаги в почве в этот период оказывает наиболее негативное влияние на урожайность сои [2].

### Основная часть

В 2014–2018 гг. для изучения влияния водного режима почв на урожайность зерна сои были проведены опыты на полях опытно-производственного комплекса «Тушково-1» Белорусской государственной сельскохозяйственной академии (Горецкий р-н Могилевской обл.), оборудованного современной дождевальными техникой.

В геологическом строении объект представлен дерново-подзолистыми легкосуглинистыми почвами, подстилаемыми моренным суглинком с глубины 1 м. Грунтовые воды располагаются на глубине 6 и более метров. Почвенные влагозапасы в вегетационный период формируются за счет атмосферных осадков.

Химический анализ пахотного слоя показал, что почва обладает нормальной кислотностью (рН 6,1) с содержанием гумуса 2,0 %. В пахотном слое в среднем содержится 240 мг/кг подвижного фосфора и 283 мг/кг обменного калия. В период проведения исследований существенных изменений агрохимических показателей не наблюдалось.

*Схема полевого опыта включает следующие варианты:*

вариант 1 – без орошения (контроль);

вариант 2 – орошение при снижении влажности почвы до 60 % наименьшей влагоемкости (далее – НВ );

Согласно данным Всемирной метеорологической организации, с 1989 по 2015 гг. среднегодовая температура воздуха в Беларуси превысила климатическую норму на 1,3 °С [3], что создает благоприятные условия для культивирования сои в нашей стране. Однако анализ влагообеспеченности вегетационного периода показывает крайне неравномерное распределение атмосферных осадков. В засушливые годы (с повторяемостью раз в 5 лет) дефицит влаги в минеральных почвах за летний период составляет от 80 до 150 мм на севере и от 190 до 240 мм на юге Беларуси [4].

Цели исследований – установление влияния орошения на урожайность зерна сои и оценка экономической эффективности ее возделывания в условиях дополнительного увлажнения.

вариант 3 – орошение при снижении влажности почвы до 70 % НВ;

вариант 4 – орошение при снижении влажности почвы до 80 % НВ.

Закладка полевого опыта проводилась в соответствии с требованиями по проведению полевого опыта [5, 6].

Все варианты имели четырехкратную повторность, размещение вариантов систематическое. Площадь делянки – 50 м<sup>2</sup>. Величина защитных полос между вариантами определялась исходя из технических характеристик применяемых дождевальных машин и составляла 15 м. Регулирование водного режима осуществлялось в слое почвы 0–40 см. Величина расчетного слоя определялась с использованием гранулометрического состава почвы [7] и особенностей корневой системы сои [2]. За верхнюю границу регулирования почвенных влагозапасов принята наименьшая влагоемкость. Величина поливной нормы определялась расчетным путем и составляла 25 и 30 мм. Полив на опытном участке осуществлялся барабанно-шланговой дождевальной установкой (далее – БШДУ) *Irriland Raptor* (2015 и 2016 г.) и широкозахватной дождевальной машиной (далее – ДМ) *Lindsay Europe Omega Zimmatik* (2014, 2017, 2018 г.), технические характеристики которых приведены в табл. 1.

Для проведения исследований на опытном участке высевался среднеспелый сорт сои Ясельда белорусской селекции. Способ посева – рядовой, с междурядьем 15 см, норма высева – 600 тыс. шт/га. Возделывание сои осуществлялось на основании действующих технологических регламентов [8].

В ходе исследований велись наблюдения за основными метеорологическими показателями.

Следует отметить, что вегетационные периоды лет исследований характеризуются значительными колебаниями количества выпавших атмосферных осадков и среднесуточных температур воздуха (табл. 2).

Для оценки величины влагообеспеченности вегетационного периода выполнен расчет гидротермического коэффициента по декадам и за вегетационный период в целом (табл. 3).

Таблица 1. Технические характеристики дождевальных машин и установок

Показатель	БШДУ <i>Irriland Raptor</i>	ДМ <i>Lindsay-Europe Omega Zimmatik</i>
Расход, м <sup>3</sup> /ч	41	69
Напор, МПа	0,3–0,5	0,4
Количество дождевателей, шт.	1 (консольный)	93
Ширина захвата, м	60	294
Площадь полива с позиции, га	2,1	27,2

Таблица 2. Характеристика тепловлагообеспеченности вегетационных периодов (май – сентябрь), 2014–2018 гг.

Год	Продолжительность вегетации, сут.	Атмосферные осадки, мм		Средняя суточная температура воздуха, °С	
		сумма, мм	% от нормы	сумма, °С	% от нормы
2014	136	316,3	103,7	2329,4	112,5
2015	132	233,0	76,4	2178,2	105,2
2016	125	347,1	113,8	2229,2	107,6
2017	139	398,8	130,8	2150,3	103,8
2018	138	328,1	107,6	2393,0	115,5

Таблица 3. Декадные значения ГТК Г. Т. Селянинова в годы исследований

Год	Гидротермический коэффициент Селянинова														За вегетацию
	Май			Июнь			Июль			Август			Сентябрь		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	
2014	0,44	1,85	2,76	0,80	0,23	1,39	0,46	2,51	1,16	0,13	1,82	4,37	0,33	0,00	1,36
2015	0,52	0,00	1,51	0,00	2,82	0,00	0,55	2,17	1,98	0,14	0,00	0,72	4,29	0,00	1,01
2016	0,05	5,93	2,43	0,78	1,88	0,72	1,28	2,83	1,31	1,20	0,93	0,42	1,36	0,05	1,56
2017	1,01	0,97	0,40	1,31	0,71	1,02	1,86	2,10	3,75	0,66	0,00	6,78	4,40	1,30	1,85
2018	0,06	2,10	0,27	0,38	2,11	2,64	3,90	3,42	1,20	0,00	0,06	1,77	0,26	0,68	1,34

Проанализировав данные табл. 2 и 3, можно сделать вывод, что период исследований охватывает различные по влагообеспеченности годы. Согласно полученным значениям гидротермического коэффициента Г. Т. Селянинова (табл. 3), 2014, 2016 и 2018 годы характеризуются как среднемноголетние, 2015 г. – как засушливый, 2017 г. – как влажный.

Вегетационные периоды в 2014–2018 гг. имели свои особенности.

Так, в 2014 году, по данным многолетних наблюдений, было зафиксировано незначительное повышение декадных сумм среднесуточных температур от 2,7 до 53,6 °С по сравнению со среднемноголетними значениями. Гидротермический коэффициент варьировался от 0,13 до 4,37, что свидетельствует о неравномерном распределении осадков. Максимальное количество осадков наблюдалось в третьей декаде мая (56,8 мм) и в августе (64,7 мм), при этом гидротермический коэффициент составил 2,76 и 4,37 соответственно. Наименьшее количество осадков было зарегистрировано во 2-й декаде июня (12,8 % от нормы) и в 1-й декаде августа (12 % от нормы).

В засушливом 2015 г. сумма среднесуточных температур за вегетационный период составила 2178,2 °С, что составляет 105,2 % от нормы. Этот период характеризовался стабильным температурным режимом, но при этом наблюдалось недостаточное количество осадков. В мае осадки составили на 12,4 мм меньше нормы, в июне – на 28,5 мм, а в августе – на 55,9 мм. В то же время в июле количество осадков оказалось выше среднемноголетнего значения на 6,8 мм. Первая декада сентября, наоборот, была отмечена избытком влаги (ГТК = 4,29), и количество осадков превысило среднемноголетнюю норму в 2,8 раза.

Во второй и третьей декадах мая 2016 г. наблюдалось избыточное увлажнение (ГТК 5,93 и 2,43 соответственно). Общее количество осадков за май составило 116,6 мм при норме 38 мм. В июне выпало 58,4 мм осадков, что составляет 77,9 % от нормы, при этом они распределились равномерно. Первая и третья декады июля были слабозасушливыми (ГТК 1,28 и 1,31), тогда как вторая декада характеризовалась высокой влажностью (ГТК 2,83). В августе количество осадков составило 45,7 мм при норме 73 мм. Сентябрь также оказался засушливым, с осадками в 20,2 мм, что ниже среднемноголетней нормы в 42 мм.

Сумма среднесуточных температур составила 2136,2 °С, или 107,6 % от нормы.

Погодные условия 2017 г. характеризовались избыточным увлажнением почвы и снижением декадных значений среднесуточных температур на 13,6–19,7 °С по сравнению со среднемноголетними значениями. В мае сумма осадков составила 16,3 мм при норме 38 мм, а в июне – 45,2 мм, что составляет 60,3 % от нормы. Июль оказался влажным, с гидротермическим коэффициентом, варьирующимся от 1,86 до 3,75. Первая и вторая декады августа были засушливыми (ГТК = 0,66), однако в третьей декаде выпало 104,1 мм осадков (495,7 % от нормы). Первая и вторая декады сентября были дождливыми с общим количеством осадков в 80 мм.

В 2018 г., в течение всего вегетационного периода сои, декадная сумма среднесуточных температур превышала среднемноголетние значения на 17,2–50,4 °С. Общая сумма среднесуточных температур за вегетационный период составила 2393,0 °С, что соответствует 115,5 % от нормы. Осадки распределялись неравномерно: в мае выпало 35,6 мм (93,7 % от нормы), а в июне – 87 мм (116 % от нормы). Первая и вторая декады июля были влажными (ГТК 3,9 и 3,42 соответственно), в то время как третья декада характеризовалась слабым засушливым периодом (ГТК 1,2). В отличие от июля август оказался сухим: за первую и вторую декады выпало всего 1,2 мм осадков при норме 49 мм, однако в третьей декаде августа количество осадков составило 33,1 мм (137,9 % от нормы). Сентябрь также был засушливым (ГТК от 0,26 до 0,68).

В годы проведения исследований сумма среднесуточных температур воздуха составила 103,8–115,5 % от нормы (2150,3–2393,0 °С). Количество атмосферных осадков изменялось от 233 мм в засушливом 2015 г. до 398,8 мм во влажном 2017 г. Их распределение на протяжении вегетационного периода было неравномерным. Наиболее напряженными были первая и вторая декады августа, когда растения сои наиболее требовательны к влаге [9].

Особенности метеорологических условий в годы проведения исследований оказали влияние на режим орошения сои. В табл. 4 приведены результаты изучения водного баланса опытного участка, что позволило установить параметры режима орошения сои за период 2014–2018 гг. Даты поливов устанавливались на основании водобалансовых расчетов.

Таблица 4. Режим орошения сои в годы проведения исследований

Год	Вариант	Дата полива	Количество поливов	Поливная норма, м <sup>3</sup> /га	Оросительная норма, м <sup>3</sup> /га
2014	Без орошения	–	–	–	–
	60 % НВ	10.07; 13.08	2	300	600
	70 % НВ	19.06; 10.07; 05.08	3	300	900
	80 % НВ	13.06; 25.06; 10.07; 01.08; 13.08	5	250	1250
2015	Без орошения	–	–	–	–
	60 % НВ	21.05; 09.07; 07.08	3	300	900
	70 % НВ	21.05; 09.06; 30.06; 09.07; 07.08; 25.08	6	300	1800
	80 % НВ	21.05; 05.06; 25.06; 09.07; 17.07; 07.08; 21.08	7	250	1750
2016	Без орошения	–	–	–	–
	60 % НВ	16.08; 31.08	2	300	600
	70 % НВ	12.07; 16.08; 31.08	3	300	900
	80 % НВ	01.07; 12.07; 04.08; 16.08; 31.08	5	250	1250
2017	Без орошения	–	–	–	–
	60 % НВ	27.06	1	300	300
	70 % НВ	08.06; 17.08	2	300	600
	80 % НВ	08.06; 19.06; 17.08	3	250	750
2018	Без орошения	–	–	–	–
	60 % НВ	22.08	1	300	300
	70 % НВ	08.06; 17.08	2	300	600
	80 % НВ	06.06; 15.08; 22.08	3	250	750

Анализ полученного режима орошения показывает, что при возделывании сои в северо-восточной зоне Беларуси в различные по влагообеспеченности годы требуется регулирование водного режима. Максимальные значения оросительных норм зафиксированы в засушливом 2015 г. Оросительные нормы изменялись от 900 до 1800 м<sup>3</sup>/га в зависимости от орошаемого варианта.

Регулирование водного режима направлено на создание оптимальных условий для возделывания сельскохозяйственных культур и, как результат, получение высоких урожаев. В ходе исследований велся учет урожайности зерна сои по вариантам полевого опыта. Урожайность ее зерна определялась с пересчетом на 14 % влажность. Урожайность зерна сои в годы проведения исследований по вариантам полевого опыта приведена в табл. 5.

Анализ данных табл. 5 показывает, что орошение положительно влияет на урожайность зерна сои.

Дисперсионный анализ выявил, что значение наименьшей существенной разности при на 5%-м уровне значимости ( $НСП_{05}$ ) составляет 4,4 ц/га, а величина средней ошибки опыта – 2,08 ц/га. Средняя урожайность зерна сои при естественном увлажнении – 17,4 ц/га. Прибавки урожайности на орошаемых вариантах существенны, так как превышают значения  $НСП_{05}$ . Максимальная прибавка урожайности (9,4 ц/га) зафиксирована в варианте с предполивной влажностью 80 % НВ (вариант 4), а минимальная (5,7 ц/га) – в варианте предполивным порогом 60 % НВ.

Оценивая положительное влияние орошения на урожайность, следует отметить, что одним из основных критериев оптимальности применения орошения сельскохозяйственных культур является экономическая эффективность конкретного режима орошения, позволяющая определить, окупает ли полученная прибавка урожая затраты на применение орошения, уборку и доработку дополнительной продукции в стоимостном эквиваленте [10].

Стандартная методика расчета дополнительного чистого дохода основана на выявлении разности между стоимостью дополнительной продукции растениеводства от орошения и ее себестоимостью. Стоимость дополнительной продукции растениеводства, получаемой благодаря орошению, принято рассчитывать на основе среднесуточных приростов урожая от орошения [11, 12].

Для оценки экономической эффективности орошения сои были разработаны технологические карты, на основании которых установлены затраты, включая заработную плату с

начислениями, расходы на средства защиты, минеральные удобрения, производственные затраты, затраты на орошение и др. [13, 14, 15]. При этом была учтена средняя урожайность зерна сои за годы проведения исследований. Стоимость продукции формировалась согласно государственным установленным закупочным ценам. Расчет экономической эффективности орошения сои выполнен для барабанно-шланговой дождевальной установки *Irriland Raptor* и широкозахватной дождевальной машины *Lindsay Europe Omega Zimmatik* (табл. 6)

Таблица 5. Урожайность зерна сои в 2014–2018 гг.

Год	Варианты полевого опыта			
	Без орошения	$W_{\text{пн}} = 60\% \text{ НВ}$	$W_{\text{пн}} = 70\% \text{ НВ}$	$W_{\text{пн}} = 80\% \text{ НВ}$
2014	17,3	21,7	22,5	23,6
2015	15,7	26,1	29,8	30,8
2016	19,8	26,5	29,9	30,6
2017	18,8	22,3	24,5	25,6
2018	15,4	18,6	21,9	23,4
Среднее за 2014–2018 гг.	17,4	23,1	25,7	26,8
Прибавка урожайности	ц/га	–	5,7	8,3
	%	–	32,4	47,8

Примечание.  $\text{НСР}_{05} = 4,4 \text{ ц/га}$ ;  $\text{НСР}_{01} = 6,1 \text{ ц/га}$ .

Таблица 6. Расчет экономической эффективности орошения сои при возделывании на зерно

Наименование показателя	Варианты полевого опыта			
	Без орошения	$W_{\text{пн}} = 60\% \text{ НВ}$	$W_{\text{пн}} = 70\% \text{ НВ}$	$W_{\text{пн}} = 80\% \text{ НВ}$
<b>Барабанно-шланговая дождевальная установка <i>Irriland Raptor</i></b>				
Урожайность, т/га	1,74	2,30	2,57	2,68
Стоимость продукции, руб/га	1846,85	2443,02	2729,44	2844,00
Производственные затраты, руб/га	1342,88	1414,00	1430,36	1439,61
Затраты на орошение, руб/га	–	262,87	329,67	357,39
Себестоимость, руб/га	1342,88	1676,87	1760,03	1797,00
Прибыль, руб/га	503,98	766,16	969,41	1047,00
Дополнительная прибыль	–	262,18	465,43	543,02
Рентабельность, %	37,53	45,69	55,08	58,26
<b>Дождевальная машина <i>Lindsay Europe Omega Zimmatik</i></b>				
Урожайность, т/га	1,74	2,30	2,57	2,68
Стоимость продукции, руб/га	1846,85	2443,02	2729,44	2844,00
Производственные затраты, руб/га	1342,88	1414,00	1430,36	1439,61
Затраты на орошение, руб/га	–	365,59	400,87	421,22
Себестоимость, руб/га	1342,88	1779,57	1831,23	1860,82
Прибыль, руб/га	503,97	663,45	898,21	983,18
Дополнительная прибыль	–	159,47	394,23	479,2
Рентабельность, %	37,53	37,28	49,05	52,84

Результаты экономического сравнения показывают, что среди орошаемых вариантов полевого опыта наибольшая прибыль достигается в варианте с предполивной влажностью 80 % НВ. Применение БШДУ *Irriland Raptor* позволяет получить прибыль в размере 1047 руб/га; затраты на орошение составляют 357,39 руб/га, величина дополнительной прибыли за счет орошения – 543,02 руб/га; рентабельность производства – 58,26 %.

### Заключение

Экспериментально установлено, что на величину оросительной нормы при орошении сои значительное влияние оказывает характер распределения атмосферных осадков. Так, количество осадков за вегетационный период сои в 2014 и 2018 гг. было примерно одинаковым (316,3 и 328,1 мм), а оросительная норма по вариантам опыта составила в 2014 г. 600–1250, а в 2018 г. – 300–750 м<sup>3</sup>/га.

Возделывание сои в условиях орошения на дерново-подзолистых почвах северо-восточной части Беларуси в среднем за 2014–2018 гг. обеспечило получение урожайности зерна сои на уровне 26,8 ц/га.

Проведенный расчет экономической эффективности применения орошения при

затраты на дополнительное увлажнение при применении широкозахватной дождевальная машины *Lindsay Europe Omega Zimmatik* при поддержании влажности почвы на уровне 80 % НВ выше, чем БШДУ *Irriland Raptor* на 63,83 руб/га (15,2 %), – 421,22 руб/га. При этом дополнительная прибыль при орошении – 479,2 руб/га, а уровень рентабельности – 52,84 %.

возделывании сои показал, что максимальная прибыль достигается при регулировании водного режима в слое 0–40 см при предполивной влажности на уровне 80 % НВ. Величина дополнительной прибыли от орошения зависит от вида дождевальной техники. Так, при применении БШДУ *Irriland Raptor* величина дополнительной прибыли составляет 543,02 руб/га, для ДМ *Lindsay Europe Omega Zimmatik* – 479,2 руб/га. Величина рентабельности при дождевании сои составляет 52,84–58,26 %. На основании выполненных расчетов с уверенностью можно сказать, что применение орошения как фактора повышения урожайности зерна сои является эффективным.

### Библиографический список

1. Левкина, О. В. Современные тенденции развития мирового соевого рынка / О. В. Левкина, В. В. Васильев // Вестн. Белорус. гос. с.-х. акад. – 2017. – № 3. – С. 12–18.
2. Давыденко, О. Г. Соя для умеренного климата / О. Г. Давыденко, Д. В. Голоенко, В. Е. Розенцвейг. – Минск : Тэхналогія, 2004. – 173 с.
3. Агроклиматическое зонирование территории Беларуси с учетом изменения климата / В. Мельник [и др.]. – Минск, 2017. – 84 с.
4. Желязко, В. И. Опыт дождевания японского проса (*Echinochloa frumentacea link*) в условиях Республики Беларусь // Вестн. Белорус. гос. с.-х. акад. – 2017. – № 3. – С. 111–116.
5. Доспехов, Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований) : учебник / Б. А. Доспехов. – 5-е изд., доп. и пер. – Москва : Агропромиздат, 1985. – 352 с.
6. Методика полевых опытов с кормовыми культурами / Всесоюз. науч.-исслед. ин-т кормов им. В. Р. Вильямса. – Москва : ВИК, 1971. – 158 с.
7. Оросительные системы. Правила проектирования = Аршальныя сістэмы. Правілы праектавання : ТКП 45-3.04-178-2009 (02250). – Введ. 29.12.2009. – Минск : Минстройархитектуры, 2010. – 72 с.
8. Основные приемы возделывания сои в Республике Беларусь : рекомендации производству / В. Н. Халецкий [и др.] // Нац. акад. наук Беларуси, М-во с. х. и продовольствия Респ. Беларусь, РУП «Брестская областная сельскохозяйственная опытная станция Национальной академии наук Беларуси». – Минск, 2012. – 23 с.

9. Желязко, В. И. Водопотребление сои при орошении на дерново-подзолистых почвах Беларуси / В. И. Желязко, Е. А. Вчерашний // Мелиорация и вод. хоз-во. – 2024. – № 2. – С. 36–42.
10. Набздоров, С. В. Эффективность орошения сахарной свеклы при разных дозах внесения минеральных удобрений в условиях восточной части Беларуси / С. В. Набздоров // Вестн. Белорус. гос. с.-х. акад. – 2021. – № 4. – С. 124–128.
11. Эколого-экономическая оптимизация режима орошения сельскохозяйственных культур / А. П. Лихацевич, Г. В. Латушкина, В. И. Желязко, С. В. Набздоров, Е. А. Вчерашний, И. А. Романов // Мелиорация. – 2023. – № 2 (104). – С. 5–11.
12. Методические рекомендации по определению оптимальных поливных и оросительных норм для сельскохозяйственных культур / А. С. Анженков, А. П. Лихацевич, Г. В. Латушкина, А. А. Левкевич, В. И. Желязко, В. М. Лукашевич, И. А. Романов, С. В. Набздоров, А. А. Константинов, О. Б. Ракицкий ; Нац. акад. наук Беларуси, Науч.-практ. центр Нац. акад. наук Беларуси по земледелию, Ин-т мелиорации. – Минск, 2022. – 23 с.
13. Бусел, И. П. Экономика сельского хозяйства : учеб. пособие / И. П. Бусел, П. И. Малихтарович. – Минск : РИПО, 2014. – 447 с.
14. Составление технологических карт в растениеводстве : метод. указания / Белорус. гос. с.-х. акад. ; сост. А. С. Тихоненко. – Горки : [б. и.], 2009. – 51 с.
15. Лихацевич, А. П. Выбор способа орошения сельскохозяйственных культур / А. П. Лихацевич, Г. В. Латушкина, А. А. Левкевич // Мелиорация. – 2015. – № 2 (74). – С. 34–48.

Поступила 11 февраля 2025 г.

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ ТЕОРИИ СИСТЕМНО-СТРУКТУРНОГО СИНТЕЗА ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ПРОТИВООПОЛЗНЕВЫХ СООРУЖЕНИЙ

*Д. И. Кацко, аспирант*

*А. И. Кацко, аспирант*

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

### Аннотация

Современное состояние системной инженерии в мелиоративной науке характеризуется интенсивным развитием, генерацией и внедрением новых идей, опирающихся на системную идеологию. В Российской Федерации получил развитие не только системный анализ, но и системный синтез. Для создания принципиально новых систем, обладающих априорно заданными свойствами, Ю.И. Лыпарём была разработана теория системно-структурного проектирования (ТССП). Охрана территорий от оползневой опасности предполагает внедрение комплекса мелиоративных мероприятий. К одному из таких мероприятий относится создание удерживающих противооползневых сооружений. В настоящей статье предлагается рассмотреть ТССП на примере противооползневых сооружений, хотя сфера ее использования применима для различных видов мелиораций.

**Ключевые слова:** *системный подход, системный синтез, мелиоративная система, оползень, риск, инженерная защита территорий, природно-технический комплекс.*

### Abstract

*D. I. Katsko, A. I. Katsko*

#### USING ELEMENTS OF THE THEORY OF SYSTEM-STRUCTURAL SYNTHESIS IN THE DESIGN OF ANTI-LANDSLIDE INSTALLATIONS

The current state of systems engineering in reclamation science is characterized by intensive development, generation and implementation of new ideas based on the system ideology. Not only system analysis, but also system synthesis has been developed in Russian Federation. Yu. I. Lypar developed the theory of system-structural design (TSD) based on the creation of fundamentally new systems with a priori given properties. Protection of territories from landslide danger involves the introduction of a complex of land reclamation measures. One of these measures includes the creation of holding anti-landslide structures. This article suggests a review of the SSP using the example of anti-landslide structures, although it is obvious that its scope is applicable to various types of land reclamation.

**Keywords:** *system approach, system synthesis, land reclamation system, landslide, risk, engineering protection of territories, natural and technical complex.*

### Введение

Оползневые процессы – это опасные природные явления, когда в результате действия поверхностных и грунтовых вод, техногенных факторов и т. д. грунтовые массы отрываются от склона.

Вдоль Черноморского побережья Краснодарского края оползневая пораженность колеблется от 10 до 70 % и достигает 80 % в пределах Большого Сочи. Борьба с оползнями проводится с использованием таких мероприятий, как лесомелиоративные (высадка защитных полос древесно-кустарниковых насаждений), запрет вырубki растительности на склонах и др. Часто применяется инженерная защита от оползней в виде: а) террасирования

(то есть уположения склона с серией ступенчатых площадок), которое способствует снижению скорости воды и уменьшает эрозию; б) устройства контрбанкета у подножия склона для его стабилизации; в) устройства открытых водостоков и противофильтрационных покрытий; г) дренирования подземных вод, д) противооползневых сооружений, которые наиболее результативны в механическом удержании оползневых масс.

Для наиболее эффективной работы противооползневого сооружения важно подобрать его оптимальное расположение. По отношению к защищаемому объекту сооружения подразделяются на верховые и низовые. При

расчетах противооползневого сооружения также подбирается определенное количество рядов свай, анкеров, их шаг, длина и диаметр. В процессе проектирования при таких факторах, как угол склона, тип почвы, наличие грунтовых вод, климатические условия и т. д., оптимально сочетают конструкции, дренажные системы, земляные работы и др., чтобы выполнялись условия минимальных затрат, обеспечивались техническая и технологиче-

**Материалы и методы исследований**

При проектировании противооползневого сооружения необходимо учитывать следующие факторы: его тип, способ устройства, габариты, глубину заложения, основные геометрические параметры, тип конструкций крепления, материалы для изготовления, способ защиты от подземных вод, несущую способность основания, внутренние усилия и напряжения в сооружении, монтажные элементы, порядок производства работ, мероприятия для снижения влияния строительства на окружающую среду, мероприятия для минимизации влияния на гидрогеологические условия, назначение необходимых испытаний, мероприятия по контролю качества, мероприятия по мониторингу [2].

Тип противооползневого сооружения следует выбирать, учитывая проектируемый перепад высот и характер рельефа, планируемый срок эксплуатации, инженерно-геологические условия, наличия подземных вод, стесненности строительной площадки и наличия окружающей застройки.

Для выполнения перечисленных выше (и других) требований к проектируемому сооружению важно соблюсти подход к их выпол-

ная возможности строителей, доступность материалов, работа в пределах кадастровых границ, минимальное нанесение экологического вреда и т. д.

В основу формирования (синтеза) мелиоративных систем в сельском хозяйстве предлагается положить теорию системно-структурного проектирования (далее – ТССП) сложных систем Ю. И. Лыпаря [1].

нению в непротиворечивой и согласованной последовательности.

С точки зрения современной системной инженерии [1–5] для развития теории синтеза противооползневых сооружений [6–11] необходим развитый категориальный аппарат и введение общих требований, отражающих функциональный, структурный, технологический и конструкторский аспекты (табл. 1).

С точки зрения наблюдателей  $N$  – заказчиков, наблюдателей, строителей, конструируемый объект можно представить в виде компонент, обеспечивающих его системные свойства в соответствии с целями  $Z$ :

$$S \stackrel{\text{def}}{=} \langle Z, S, T, \Phi, C, N \rangle. \quad (1)$$

Традиционно теория принятия решений для получения эффективного решения (достижения цели при наименьших затратах) требует формализации шагов лица, принимающего решения. На первом этапе формулируется цель (создание сооружения для противооползневой защиты), далее – технологические, экономические и другие требования (далее – ТЭТ).

В табл. 2 показаны страты (аспекты) ТЭТ.

Таблица 1. Аспекты создаваемого объекта (системы)

Аспекты	Содержание аспекта
Структурный, $S$	Внутрисистемные связи, обеспечивающие системные свойства (эмерджентность, целостность)
Технологический, $T$	Материалы, методы, процессы
Функциональный, $\Phi$	Требования к создаваемой системе
Конструкторский, $C$	Геометрия нового объекта

Таблица 2. Этапы процесса формирования объекта

Этап	Содержание этапа
Формализация ТЭТ	Перевод ТЭТ на формализованный язык (вербальный, знаковый, объектный)
Принципы построения	Допустимые логические конструкции (изучение взаимодействия противоположного сооружения с окружающей средой (почвами, водой и т.д.)
Аппроксимация	Модельное представление противоположного сооружения; детерминированная и вероятностная оценка устойчивости; документация проекта
Способы построения	Выбор оптимальных материалов и технологий устройства противоположных сооружений для решения задачи с минимальными затратами
Структуры	Монолитные конструкции, сборные элементы, габионы, анкерные сваи, шпунты, буронабивные сваи, реализующие способы построения и позволяющие на инструментальном уровне построить модель, полученную на этапе аппроксимации
Параметры	Параметры модели этапа аппроксимации
Допуски	Допустимые отклонения при которых задача удержания оползня имеет решение

Выполнение противоположным сооружением поставленной цели – удержание оползневого тела – обеспечивается внутренними компонентами или требованиями, которые, согласно теории системно-структурного проектирования Ю. И. Лыпаря, разделяют на четыре аспекта (страты) процесса синтеза: тех-

нологический, функциональный, структурный и конструкторский (рис. 1).

На каждом этапе аспекта осуществляется отсеивание решений, не удовлетворяющих заданным требованиям. Оставшиеся эквивалентные решения позволяют осуществить выбор эффективного, наименее затратного решения.

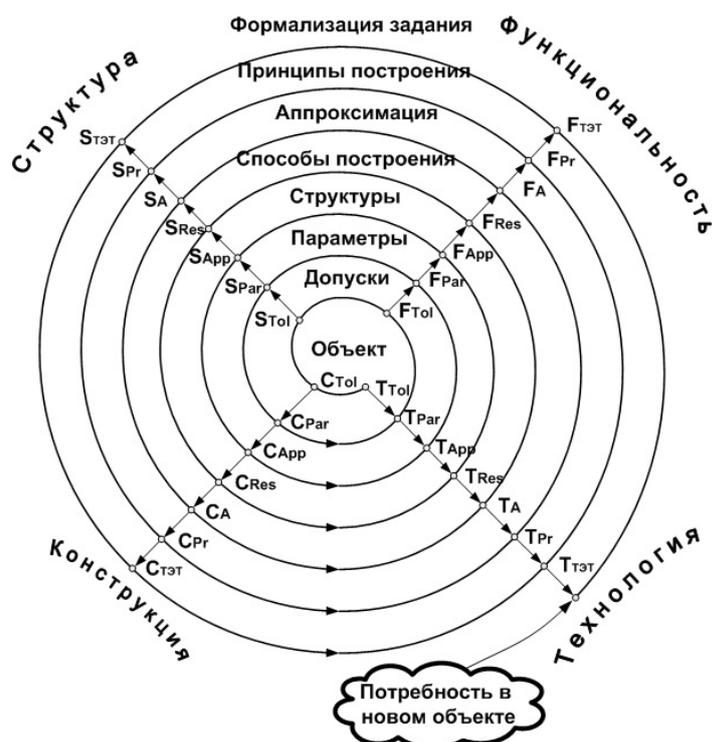


Рис. 1. Спиралевидная модель процесса проектирования [1]

**Результаты исследования и их обсуждение**

Рассмотрим более подробно аспекты ТССП применительно к задаче системного синтеза сооружений инженерной защиты территорий от оползней [12–15].

**1. Структурный (S).**

$$S = \{STR_{пр}, STR_{орг}, \dots\}.$$

Согласно [2], противооползневые сооружения подразделяются на следующие:

а) по расположению сооружений на склоне относительно объекта защиты (рис. 2):

- 1) верховое сооружение (расположенное сверху от объекта);
- 2) низовое (расположенное снизу от объекта);

б) по мощности удерживаемого оползневой массива (рис. 3):

- 1) сооружения, удерживающие всю оползневую толщу;

2) удерживающие нижнюю часть оползневой толщи, создавая стесненные условия, где оползневый грунт «переползает» сооружение;

в) сооружения по длине фронта удержания:

- 1) перекрывающие весь оползневый участок;
- 2) локальные сооружения;

г) сооружения по выполняемой задаче инженерной защиты (рис. 4):

- 1) непосредственное удержание оползневой массы;
- 2) создание стесненных условий, препятствующих смещению оползневых масс;
- 3) защита отдельного объекта, где оползневой массив его обтекает;
- д) по количеству рядов, удерживающих оползневый склон:
  - одноярусные;
  - многоярусные (два и более ярусов).



Рис. 2. Верховое и низовое противооползневые сооружения

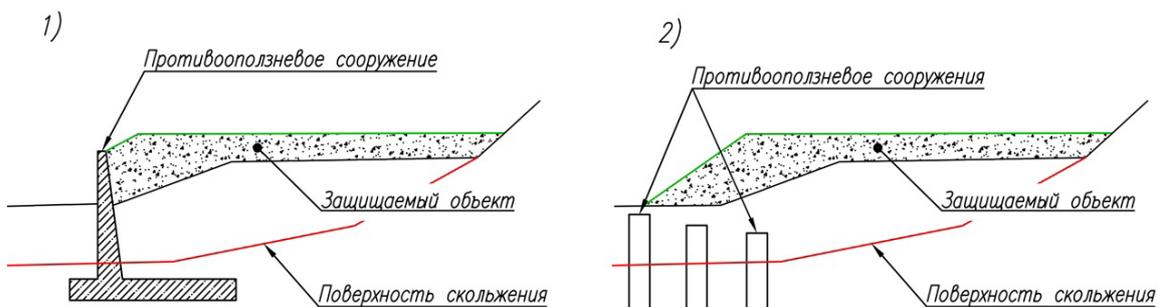


Рис. 3. Противооползневые сооружения, удерживающие всю оползневую толщу и ее часть



Рис. 4. Противооползневые сооружения, удерживающие весь оползневой массив, создающие стесненные условия, защищающие отдельный объект

## 2. Технологический (Т).

$$T = \{meth, resources, alg, \dots\}.$$

Применение различных видов технологий обуславливается строительной техникой, которая используется при устройстве противооползневых сооружений. Для их возведения необходимо устройство ровной строительной площадки, которая перед началом работ тщательно планируется и усиливается подготовкой в виде щебня или монолитной плиты для обеспечения надежного основания по всей площади.

Для срезки земли и возведения насыпи необходимо использовать автосамосвал и экскаватор. Для монолитных конструкций нужен автобетоносмеситель, для сборных конструкций – автокран; для устройства анкерных свай – соответствующие многофункциональные буровые установки, где долбление (размельчение) ведется периодическими ударами бурового долота по забою скважины. Для буронабивных свай осуществляется вращательное бурение с обсадной трубой или без нее. В зависимости от грунтов, по сложности разработки и размеров свай, подбирается буровая установка с соответствующей мощностью. Для установки шпунта используют, как правило, вибропогружатель.

Важно учитывать вес строительной техники и ее габариты, так как, как правило, работы на склоне происходят в стесненных условиях.

## 3. Функциональный (Ф).

$$\Phi = \{\varphi_{вх}, \varphi_{ин}\}.$$

В общем случае при разработке противооползневых мероприятий решаются следующие задачи [14]:

- регулирование поверхностного стока;
- регулирование подземного стока;
- устранение причин, вызывающих оползневые процессы;
- стабилизация рассматриваемого объекта (обеспечение местной и общей устойчивости);
- ликвидация последствий воздействия оползневых процессов.

Основная функция противооползневых сооружений – препятствовать механическому сдвигу оползневой массы.

Данные сооружения подразделяются [15]:

на удерживающие, то есть препятствующие или создающие стесненные условия для смещений оползневого грунта;

защитные, отклоняющие перемещение оползневого грунта от объекта защиты, создавая условия обтекания грунта.

Противооползневые сооружения рассчитываются на восприятие следующих нагрузок:

- собственный вес сооружения;
- вес обратной засыпки;
- вес других сооружений, находящихся в зоне влияния на противооползневое сооружение;
- давление грунта и напряжения в основании;
- давление подземных вод при установившемся режиме;
- вес стационарного оборудования и складированных материалов;
- давление подземных вод при избыточном поровом давлении;
- динамическая нагрузка от транспорта и оборудования;
- деформации основания, вызванные экскавацией грунта или ухудшением свойств грунта;
- сейсмические воздействия;
- воздействия, обусловленные деформациями основания и сопровождающиеся коренным изменением структуры грунта (например, при просадках и набухании грунтов).

## Конструкторский (С).

Противооползневые сооружения можно разделить по характеру взаимодействия с грунтом: на массивные (гравитационные), угольковые (с грунтовым противовесом) и гибкие (консольные) [15].

*Массивные (гравитационные) противооползневые сооружения* (рис. 5). В конструктивном аспекте они удерживают грунт за счет собственного веса, сопротивляясь сдвигу и опрокидыванию.

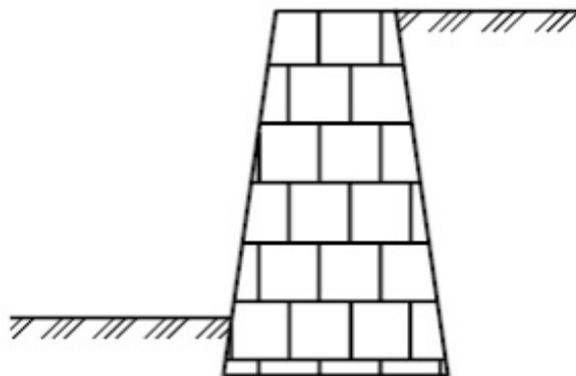


Рис. 5. Гравитационное противооползневое сооружение

Технологически гравитационные сооружения устраиваются на поверхности земли или в предварительно разработанных траншеях. Массивные противооползневые стены выполняются с подрезкой склона или насыпью, что требует оценки земляных работ; они изготавливаются из железобетона, бутобетона, бутового камня в ГСИ, бетона, каменной кладки и т. д.

*Угловые (с грунтовым противовесом) противооползневые сооружения* (рис. 6). Конструктивно они удерживают грунт за счет дополнительного пригруза, сопротивляются сдвигу и опрокидыванию.

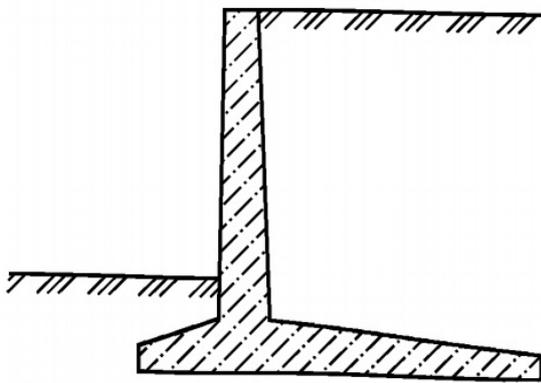


Рис. 6. Угловое противооползневое сооружение

Технологически они устраиваются на поверхности земли, в широких траншеях; изготавливаются из железобетона или других материалов. Как и в случае гравитационных стен, это сопровождается большими объемами земляных работ.

Функционально массивные и угловые противооползневые сооружения применяют преимущественно при строительстве линейных объектов, а также при благоустройстве склонов и откосов.

*Гибкие (консольные) противооползневые сооружения* (рис. 7) – такие сооружения, которые можно разделить по способу устройства на шпунт, сооружение из буровых свай, сооружение из грунтоцементных элементов (микросвай). Конструктивно они удерживают грунт, сопротивляясь сдвигу и опрокидыванию за счет заделки в скальный грунт. Глубина заделки гибких противооползневых стен ниже отметки экскавации или планировки и определяется из условия невозможности разрушения основания.

Технологически их устраивают в предварительно разработанных (лидерных) скважинах, в узких траншеях или без предварительной разработки грунта (например, вдавливанием; выполняются из железобетона или металла, как правило, круглого сечения (рис. 8).

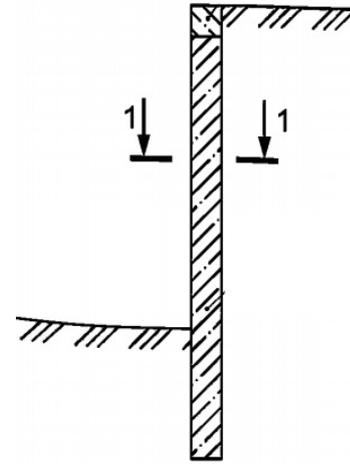


Рис. 7. Консольное противооползневое сооружение



Рис. 8. Сечение 1–1 (плановое положение)

Функционально шпунт используется в качестве временного сооружения, чтобы создать глубокую выемку грунта и избежать его осыпания.

Технологически сооружения устраиваются с помощью вибропогружателя.

Функционально сооружения из буровых свай являются наиболее распространенным, проверенным и эффективным решением в условиях борьбы с активным оползнем. Они предпочтительны в силу того, что у них большая глубина заложения с заделкой в несдвигаемые породы, что позволяет удерживать оползень большой мощностью; также нет необходимости подрезать склон при устройстве, то есть не требуется глубоких котлованов, подрезок, дополнительного оборудования, вспомогательных сооружений.

Технологически сооружения из буровых свай устраиваются в грунте путем установки в предварительно разработанных скважинах арматурного каркаса или металлических труб и заполнения бетонной смесью.

Функционально сооружения из грунтоцементных элементов (микросвай) могут при-

меняться для усиления существующих конструкций инженерной защиты или в качестве самостоятельных защитных и удерживающих сооружений.

Конструктивно они отличаются малым диаметром свай (до 350 мм) и более частым расположением.

Технологически, благодаря компактности конструкций и оборудования, их рекомендуется использовать при производстве работ в труднодоступных, стесненных условиях.

Таким образом, проектирование ведется параллельно по всем четырем аспектам с учетом ТЭТ:

1) *в технологическом аспекте* рассматривается возможность устройства оптимальной конструкции противооползневого сооружения в условиях ограничений: экономических, возможностей строителей, природных условий, доступности материалов;

2) *в функциональном аспекте* проектирования оценивается, на сколько противооползневое сооружение удовлетворяет задаче удержания оползневых масс;

### Заключение

Теория системно-структурного проектирования (синтеза) содержательно дополняет традиционный системный анализ существующих систем в мелиорации и других сферах инженерии.

Использование ТССП в области синтеза простых и сложных мелиоративных систем позволяет перейти к алгоритмическому подходу, существенно упрощающему процесс проекти-

3) *в структурном аспекте* представляются возможные решения, которые желательно описать формально (для сравнения). Так, для оценки устойчивости склона с разными вариантами противооползневых сооружений основным показателем для сравнения является коэффициент устойчивости. Учет местных условий и формы нарушения устойчивости играет определяющую роль в эффективности проектирования противооползневых мероприятий. Безусловно, весьма полезен опыт специалистов при рассмотрении различных вариантов инженерной защиты;

4) *в конструкторском аспекте*, в соответствии со структурным аспектом, анализируются требования, подбираются соответствующий тип конструкции противооползневого сооружения и его параметры (глубина заложения, шаг и диаметр свай, с грунтовыми анкерами или без них и т. д.).

Таким образом, о характеристиках и особенностях сооружения противооползневой защиты (системы) становится известно еще до того, как появится схема самой системы (объекта).

роования новых противооползневых сооружений.

Процесс проектирования удерживающих противооползневых сооружений можно представить в виде спиралевидной модели по четырем аспектам: технологическому, функциональному, структурному, конструкторскому, однако общая идеология применима и к другим видам мелиорации

### Библиографический список

1. Лыпарь, Ю. И. Системно-структурный синтез / Ю. И. Лыпарь // Системный анализ и принятие решений : словарь-справочник ; под ред. В. Н. Волковой, В. Н. Козлова. – Москва : Высшая школа, 2004. – С. 427–439.
2. Методические рекомендации по расчету и проектированию свайных противооползневых сооружений инженерной защиты автомобильных дорог : ОДМ 218.2.050-2015. – Введ. 17.08.2015. – Москва : Росавтодор, 2017. – 83 с. – («НТЦ ГеоПроект»).
3. Семечкин, А. Е. Системный анализ и системотехника / А. Е. Семечкин. – Москва : SvS-Аргус, 2005. – 536 с.
4. Системная инженерия. Принципы и практика / А. Косяков, У. Н. Свит, С. Дж. Сеймур, С. М. Бимер // пер. с англ. ; под ред. В. К. Батоврина. – Москва : ДМК Пресс, 2017. – 624 с.
5. Халл, Э. Инженерия требований / Э. Халл // пер. с англ. А. Снастина ; под ред. В. К. Батоврина. – Москва : ДМК Пресс, 2017. – 218 с.

6. Методы системного анализа в мелиорации и водном хозяйстве / Б. Г. Штепа [и др.] ; под ред. Б. Г. Штепы. – Ленинград : Гидрометеоиздат, 1983. – 261 с.
7. Костяков, А. Н. Основы мелиораций / А. Н. Костяков. – Изд. 6-е. – Москва : Сельхозгиз, 1960. – 662 с.
8. Голованов, А. И. Становление и развитие теории природообустройства / А. И. Голованов // Мелиорация и вод. хоз-во. – 2010. – № 5. – С. 18–22.
9. Голованов, А. И. Методология мелиорации / А. И. Голованов // Природообустройство. – 2009. – № 4. – С. 5–16.
10. Ивонин, В. М. Мелиоративные системы: основы общей теории / В. М. Ивонин // Мелиорация и гидротехника. – 2022. – Т. 12, № 1. – С. 119–140.
11. Гребнев, Ю. С. Инженерная защита от опасных геологических процессов : руководство по расчету и проектированию противооползневых мероприятий / Ю. С. Гребнев. – Москва : ГЕОС, 2008. – 274 с.
12. Маций, С. И. Инженерная защита объектов от склоновых процессов : учебник / С. И. Маций, В. С. Маций. – Краснодар : КубГАУ. – 2023. – 520 с.
13. Кацко, Д. И. Имитационное моделирование в расчетах устойчивости оползневых грунтов / Д. И. Кацко, Е. В. Кузнецов // Мелиорация. – 2024. – № 2 (108). – С. 5–12.
14. Кацко, Д. И. Геотехническая безопасность и субъективная оценка факторов оползневого риска / Д. И. Кацко, В. С. Маций // Проблемы управления безопасностью сложных систем : материалы XXVI Междунар. конфер., 19 дек. 2018 г., г. Москва / под общ. ред. А. О. Калашникова, В. В. Кульбы. – Москва : ИПУ РАН, 2018. – С. 313–318.
15. Сооружения подпорные. Правила проектирования : СП 381.1325800.2018. – Введ. 24.01.2019. – Москва : Стандартиформ, 2018. – 104 с.

Поступила 20 января 2025 г.

## РУСЛОВЫЕ ПРОЦЕССЫ В РЕКАХ, ПОДВЕРГАЮЩИХСЯ АНТРОПОГЕННУМУ ВОЗДЕЙСТВИЮ

*А. Ш. Мамедов, доктор технических наук*

*А. Б. Агамамедова, аспирантка*

*Азербайджанский научно-исследовательский институт гидротехники и мелиорации,  
г. Баку, Азербайджан*

### Аннотация

На примере горных рек Самур-Апшеронского массива Азербайджанской Республики проанализированы последствия антропогенных нарушений речного русла. Установлено, что основную роль в нарушении русла рек сыграла разработка русловых карьеров строительных материалов, продолжающаяся уже почти 25 лет. Участок исследования захватил нижние бьефы водозаборных сооружений, построенных на этих реках. Анализ выявил тенденции развития руслового процесса до начала и во время действия антропогенных нарушений. Оценен объем безвозвратно удаленного из русла песчано-гравийного материала, определена глубина деформаций. Предложены новые формулы устойчивого уклона для расчета новосформированных русел с учетом физико-механических свойств грунта, расхода и мутности воды.

**Ключевые слова:** карьер, устойчивая ширина русла, мутность, стабильный уклон, русловые процессы, деформация.

### Abstract

*A. Sh. Mammadov, A. B. Aghamammadova*

### STREAM CHANNEL PROCESSES IN RIVERS SUBJECT TO ANTHROPOGENIC IMPACT

On the example of the mountain rivers of the Samur-Absheron massif, the Republic of Azerbaijan analyzed the consequences of anthropogenic disturbances of the river bed. The main role in the disturbance of the channel was played by the development of channel quarries of building materials (during for almost 25 years). The study site captured the lower reaches of the intake structure which of the built on these rivers. Trends in the development of the channel process are revealed before and during the period of the action of anthropogenic disturbances. The volume of sand-gravel material irretrievably removed from the bed has been estimated, the depth of deformations have been revealed. Appropriate formulas were proposed to calculate the stability of the newly formed sustainable bottom slope, taking into account the physical and mechanical properties of the riverbed and the flow rate.

**Keywords:** quarry, stable channel width, blurredness, stable slope, riverbed processes, deformation.

### Введение

Формирование речного русла – сложный природный процесс, зависящий от геологических и географических факторов, а также от деятельности человека. В результате хозяйственных мероприятий изменяются как факторы формирования русла, так и морфология самого русла.

К физическим природным ресурсам рек относятся вода и наносы. Речные наносы рассматриваются как ресурс, широко востребованный в промышленности и строительстве. В последнее время активно развивается добыча песчано-гравийных материалов из русловых карьеров. Большую часть запасов таких материалов представляют собой речные наносы (преимущественно влекомые), играющие ос-

новную роль в формировании речных русел. Влияние русловых карьеров на речные русла и экосистему представляет собой глобальную проблему.

В последние годы освоение песчано-гравийных материалов из горных рек на территории Азербайджана получило широкое распространение. Объектами исследования выбраны реки, протекающие через северо-восток Большого Кавказа и впадающие в Каспийское море: Кусарчай, Кудиалчай, Карачай, Вельвеличай.

Так как естественные аллювиальные отложения, образовавшиеся в течение долгих лет в руслах этих рек, массово использовались в качестве строительного материала, поэтому в ре-

зультате структура русел этих рек была значительно повреждена. На названных реках были созданы песчано-гравийные карьеры: на Кусарчай – 7, Кудиалчай – 20, Вельвеличай – 24, Карачай – 23. Последние 25 лет из русла этих рек добывали в порядке 12,0 млн куб. метров песчано-гравийного материала [1, 2].

Русла этих рек пересекают 14 стратегически важных коммуникационных линий (железные дороги, автомагистрали, нефтепроводы, газопроводы, водоводы и т. д.). В настоящее время многие гидротехнические сооружения на данных территориях находятся в аварийном состоянии вследствие резких глубинных деформаций, происходящих в руслах. Временные работы, проведенные для защиты

### Объект и методы исследования

Результаты натурных наблюдений показывают, что вредные последствия деформаций, происходящих в руслах вышеупомянутых рек, возрастают с каждым годом и становятся все более опасными. Донные наносы, формирующие русла, осаждаются и аккумулируются в верхнем бьефе у водозаборных сооружений и подводных карьеров. Карьеры, расположенные ниже водозаборов, накапливают аллювиальные отложения. Толщина слоя аллювиальных отложений на этих реках может колебаться от 3 до 7 метров. Практически из русел этих рек все аллювиальные отложения были вывезены, и дно

этих сооружений без учета сути этих преобразований, не дали ожидаемых результатов, и в итоге все гидротехнические сооружения на реках оказались в аварийном состоянии – такие как, например, дюкеры и акведуки Самур-Апшеронского и Ханархского каналов, недавно построенный автомобильный мост через р. Карачай, мост автомагистрали Баку – Губа на р. Вельвеличай.

Если на этих реках будет наблюдаться 10–20%-й паводковой расход, то названные сооружения будут, скорее всего, разрушаться. Для детального изучения руслового процесса нами выбраны реки Кудиалчай, Карачай и Вельвеличай, где находится больше всего карьеров [1, 2].

опускалось на уровень коренных, легко размываемых грунтов. Поэтому глубина деформации дна в руслах фиксируется на уровне 10–12 м.

Следует отметить, что аллювиальные отложения в Азербайджане нерегулярно, в беспорядочном виде вывозятся из русел горных рек. В результате вышли из строя гидротехнические сооружения и мосты, расположенные на реках Пирсагат, Гейчай, Гёкчай, Турьянчай, Агсучай, Зеямчай и др. Например, в результате этих незаконных действий 20 июня 2018 г. во время небольшого паводка разрушился автомобильный мост на р. Гёкчай (рис. 1).



Рис 1. Разрушенный мост на автомагистрали Баку – Шамахи-Евлах, р. Гёкчай, 2018 г.

Добыча аллювиальных песчано-гравийных материалов приводит к существенным изменениям речных русел, часто создает опасные ситуации для инфраструктуры и сооружений, находящихся на руслах рек, что не может не вызывать серьезную озабоченность. Необходимо принять меры по стабилизации русел рек и восстановлению их естественного состояния, что невозможно без всесторонней оценки произошедших изменений и прогноза дальнейшего развития русел.

Правильный прогноз русловых деформаций при проектировании противоэрозионных сооружений на речных руслах крайне важен.

Как формируются русла рек, на которые оказывается антропогенное воздействие?

### Результаты исследования и их обсуждение

Обширные исследования по расчету устойчивых поперечных сечений русел рек на крупных каналах проведены С. Т. Алтуниным, В. С. Алтуниным, Ю. А. Ибадзаде, Ч. Г. Нуриевым, К. Ф. Артамоновым, Ю. Г. Иваненко, П. А. Шатбарашвили, Э. И. Михневичем, В. И. Антроповским и др. Так, В. С. Алтунин, проанализировав материалы исследований по Каракумскому каналу, предлагает параболическую форму со степенями параболы

Во-первых, благоприятные условия для глубинной деформации создаются в связи с резким уменьшением сопротивляемости руслового грунта скоростному режиму рек, когда материалы гравийного ложа заменяются на легкоразмываемые грунты.

Во-вторых, под воздействием весенних и осенних половодий образуется V-образный каньон, который, спускаясь вниз по дну русла и далее, расширяется за счет размыва боковых сторон. Со временем каньон переходит от треугольной к параболической или трапецеидальной формама (форма русла зависит от расхода потока и грунтовых характеристик ложа).

В-третьих, дно новообразующегося русла может стабилизироваться вследствие любого базиса эрозии по длине русла рек.

$P = 2-3$  для гидравлического расчета динамически устойчивого русла [3].

На рис. 2 показаны гидравлические параметры параболического поперечного сечения русла реки. Такие расчеты русел на предгорных частях рек должны выполняться с учетом формирующегося устойчивого уклона [4]. Для расчета формы поперечного сечения первичного русла на дне вновь образованного V-образного каньона нами принята форма квадратной параболы [3].

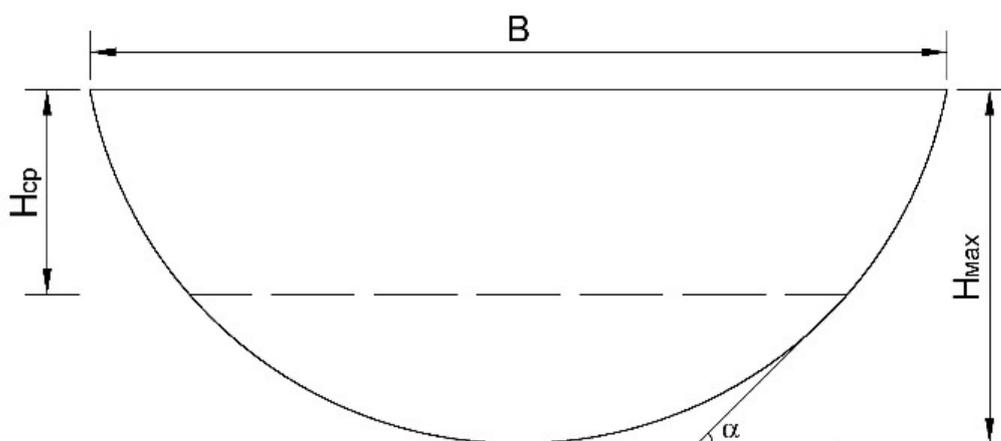


Рис. 2. Параметры параболического поперечного сечения русла:  
 $B$  – ширина русла,  $H$  – глубина (средняя и максимальная)

Гидравлические расчеты для параболического поперечного сечения русла (для любой степени  $P$ -параболы) проводятся по нижеследующим формулам [3]:

$$B = 2m(1 + P)H_{\text{cp}}; \quad (1)$$

$$H_{\text{max}} = H_{\text{cp}} \frac{1 + P}{P}; \quad (2)$$

$$m = \text{ctg } \alpha; \quad (3)$$

$$\omega = BH_{\text{cp}} = 2m(1 + P)H_{\text{cp}}^2, \quad (4)$$

где  $B$  – ширина русла, м;  $H_{\text{cp}}$  – средняя глубина воды, м;  $H_{\text{max}}$  – максимальная глубина воды, м;  $m$  – коэффициент заложения откоса;  $P$  – степень параболы.

К. Ф. Артамонов рекомендует использовать нижеперечисленные выражения для расчета устойчивой ширины и средней глубины русла предгорных частей рек [4]:

$$i \geq 0,005:$$

$$B = \frac{2,6}{i^{0,2}} \left( \frac{Q}{\sqrt{g}} \right)^{0,4}; \quad (5)$$

$$i < 0,005:$$

$$B = \frac{1,1Q^{0,5}}{i^{0,2}}, \quad (6)$$

где  $Q$  – 10%-й максимальный расход воды (руслоформирующий расход, м<sup>3</sup>/с);  $i$  – продольный уклон дна русла;  $g$  – ускорение силы тяжести, м/сек<sup>2</sup>;

величина средней глубины в устойчивом русле:

$$H_{\text{cp}} = \frac{0,3}{i^{0,03}} \left( \frac{Q}{\sqrt{g}} \right)^{0,4}; \quad (7)$$

величина максимальной глубины в устойчивом русле:

$$H_{\text{max}} = \frac{0,5}{i^{0,03}} \left( \frac{Q}{\sqrt{g}} \right)^{0,4}. \quad (8)$$

Для расчета устойчивого уклона новообразующегося русла рек К. Ф. Артамоновым предлагается использование следующей формулы:

$$i = K \frac{d}{H_{\text{cp}}}, \quad (9)$$

где  $d$  – средний диаметр русловых отложений;  $K$  – коэффициент, учитывающий мутность потока. Значение этого коэффициента зависит от удельного веса  $\mu$  руслоформирующего наноса (см. таблицу). Для прозрачного потока реко-

мендуется применять  $K = 0,10$ , а для потоков руслоформирующих наносов  $K = 0,13$  [4].

Как видно из формулы (9), величина нового устойчивого уклона, формирующегося в реке, напрямую зависит от величины средней глубины ( $H_{\text{cp}}$ ) вновь образующегося русла. За руслоформирующий расход воды в горных реках предлагается принимать 10%-й максимальный расход. В соответствии с этим расходом воды рассчитывается средняя глубина  $H_{\text{cp}}$  вновь сформированного русла реки, а затем – устойчивый уклон дна русла.

Следует отметить, что предложенное для расчета средней глубины выражение (7) включает в себя уклон дна русла. Невозможно рассчитать уклон дна устойчивого русла, не зная средней глубины потока. С другой стороны, средняя глубина потока зависит от его настоящей поперечной площади, скорости потока и, следовательно, устойчивого уклона.

И. В. Егизаров рекомендует использовать для расчета устойчивого уклона следующую формулу [5]:

$$i = 0,1 \frac{d_0}{H}. \quad (10)$$

По мнению В. Х. Гончарова, для расчета устойчивого уклона желательнее применять формулу:

$$i = 0,059 \frac{d_5}{H}, \quad (11)$$

где  $d_5$  – средний диаметр частиц с массой более 5 % в составе руслоформирующих отложений [5].

В. Ф. Талмаза предлагает использовать следующую формулу для расчета устойчивого уклона формирующих аллювиальных отложений [5]:

$$i = 0,053 \frac{d_0}{H}. \quad (12)$$

В целом мутность потока является одним из основных гидрологических факторов, формирующих русло. На основе проведенных нами исследований для расчета устойчивого уклона русла получена формула в следующем виде [2]:

$$i = 0,0225A \cdot (K \cdot P)^2 \left( \frac{d}{H} \right)^{0,8333}, \quad (13)$$

где  $K$  – коэффициент, учитывающий гранулометрический состав руслового грунта ( $K = 1,5$ ; русловый грунт принимается как однотипный) [6];

$P = \sqrt{1 + 3\rho^{0,666}}$  – параметр, учитывающий мутность потока [6], кг/м<sup>3</sup>;

$A$  – коэффициент мутности, рассчитываемый по формуле [1]:

$$A = 0,563P^2 - 3,166P + 4,78. \quad (14)$$

Итак, существует несколько формул для расчета устойчивости уклона в предгорных зонах рек. Эти формулы идентичны по структуре, однако имеют разные коэффициенты. Для расчетов по этим формулам, кроме физико-механических свойств грунта, следует знать также величину глубины потока –  $H_{cp}$ . Чтобы рассчитать среднюю глубину, создаваемую потоком, необходимо знать величину устойчивого уклона дна русла. Таким образом, в любом случае получается уравнение с двумя неизвестными, которое может быть решено путем принятия определенных условий. Исследователи С. Т. Алтунин, К. Ф. Артамонов, Н. И. Маккавеев, М. С. Вызго, Г. С. Чекулаев, А. Н. Гастунский, К. В. Гришанин, Ю. А. Ибадзаде, В. С. Лапшенков пытались преодолеть этот недостаток и получить выражение для расчета величины устойчивого уклона дна русла, прямо зависящее от расхода потока и характеристики грунта.

Результатом многочисленных исследований, проведенных Н. И. Маккавеевым, стало обоснование подчинения гидравлических параметров потока и устойчивости уклона ниже следующей закономерности [7, 8]:

$$Q^m i d^{-n} = const. \quad (15)$$

В этом выражении верхние индексы  $m$  и  $n$  и постоянная величина могут рассматриваться в зависимости от гидроморфологических параметров потока. Учитывая эту закономерность, некоторые исследователи предложили свои формулы для расчета устойчивого уклона, созданного потоком.

К. Ф. Артамонов, используя формулы (7) и (9), получил следующее выражение при вычислении устойчивого уклона русел рек [1]:

$$i = 5,54K^{1,031} \frac{d^{1,031}}{Q^{0,412}}. \quad (16)$$

Чтобы рассчитать устойчивый уклон русел рек, предложена формула [9]:

$$i = 0,00209 \frac{d^{0,86}}{Q^{0,21}}. \quad (17)$$

По мнению В. С. Лапшенкова, желательнее использовать следующую формулу для определения устойчивого уклона русла рек [10]:

$$i = 0,000315 \frac{d^{0,92}}{Q^{0,37}}. \quad (18)$$

Из всех вышеперечисленных формул, предлагаемых для расчета устойчивого уклона, только в формуле (15) косвенно учтена мутность потока.

Для расчета устойчивого уклона дна русла реки нами использована формула Маннинга – Штриккера:

$$v_{cp} = C\sqrt{Hi} = 6,67\sqrt{g} \left(\frac{H}{d}\right)^{0,1666} \sqrt{Hi}. \quad (19)$$

Путем совместного решения формул (1), (4) и (19) получаем

Путем совместного решения формул (1), (4) и (19) получаем

$$Q = B \cdot H \cdot C \cdot (H \cdot i)^{0,5} = 6 \cdot m \cdot H^2 \cdot 6,67 \cdot (g)^{0,5} \cdot (H/d)^{0,1666} (H \cdot i)^{0,5}. \quad (20)$$

Из формулы (13) определяем  $H$ :

$$H = [0,0225 \cdot A \cdot (K \cdot P)^2]^{1,2} \cdot d/i^{1,2}. \quad (21)$$

Учитывая взаимосвязь формул (21) и (20), рассчитываем устойчивый уклон с учетом руслоформирующего расхода воды, мутности потока и среднего диаметра грунта, образующего русло<sup>1</sup>:

$$i = 0,0357(A \cdot (K \cdot P)^2 \cdot m^{0,312})^{1,454} \frac{d^{1,136}}{Q^{0,454}}, \quad (22)$$

где  $A$  – коэффициент мутности;  $P$  – параметр, учитывающий мутность потока;  $K$  – коэффициент, учитывающий гранулометрический состав руслового грунта;  $m$  – коэффициент откоса;  $Q$  – руслоформирующий расход;  $d$  – средний диаметр русловых отложений.

Результаты исследований, проведенных В. С. Лапшенковым [10] на реках Центральной Азии, были использованы для сравнительного анализа предложенной нами формулы (22) и результатов, полученных с помощью формул (15), (16) и (17).

Сравнительный анализ измеренных расчетных уклонов приведен в таблице.

Как следует из таблицы, средняя погрешность расчета составляет по формуле В. Лапшенкова и М. К. Bose (Silt movement and disain of canals; Pundjab, 1936) 93,87 и 96,59 % соответственно. Результаты, полученные по

<sup>1</sup>Формулы скорректированы на основе многолетних натуральных данных, полученных в ходе исследований на каналах, расположенных в Азербайджане.

Таблица. Сравнительный анализ измеренных расчетных уклонов на реках Средней Азии\*

Реки	$d, m$	$Q, m^3/сек$	Измеренный уклон	Номера формул			Отклонения при расчете по формулам				
				(19)	(15)	(16)	(13)	(19) – 22 % (15)	(15) – 16 % (16)	(16) – 17 % (17) – 18 %	
Сох	0,35	200,0	0,00900	0,00985	0,01970	0,00028	0,000017	-9,43	-118,87	96,91	95,97
Нарын	0,20	1200,0	0,00297	0,00231	0,00529	0,00012	0,000005	22,15	-78,03	96,02	99,50
Куршаб	0,15	197,0	0,00400	0,00379	0,00827	0,00013	0,000008	5,32	-106,86	96,63	98,89
Чирчик	0,30	1600,0	0,00350	0,00322	0,00713	0,00016	0,000007	8,11	-103,82	95,50	99,12
Кафирниган	0,15	1300,0	0,00200	0,00161	0,00380	0,00009	0,000004	19,60	-90,15	95,46	99,66
Исфайрамсай	0,50	162,0	0,01400	0,01625	0,03103	0,00040	0,000025	-16,08	-121,67	97,17	92,20
Зеравшан	0,25	600,0	0,00430	0,00408	0,00885	0,00017	0,000008	5,09	-105,93	96,15	98,79
Исфара	0,30	103,0	0,01200	0,01117	0,02209	0,00028	0,000019	6,89	-84,06	97,66	96,01
Кара-Балта	0,80	71,2	0,02700	0,04026	0,07069	0,00070	0,000053	-49,11	-161,82	97,39	70,19
Чон-Кызыл-Суу	0,70	54,0	0,03000	0,03922	0,06903	0,00067	0,000052	-30,73	-130,11	97,78	74,66
Вахш	0,20	2000,0	0,00209	0,00183	0,00428	0,00011	0,000004	12,27	-104,98	94,92	99,57
Кок-Джерты	0,35	46,7	0,01200	0,01906	0,03587	0,00038	0,000029	-58,85	-198,88	96,85	87,05
Беш-Таш	0,50	55,0	0,02500	0,02654	0,04843	0,00050	0,000038	-6,16	-93,72	98,01	87,13
Малка	0,30	158,0	0,00770	0,00920	0,01852	0,00026	0,000016	-19,49	-140,48	96,67	95,94
Караунгир	0,35	270,0	0,00900	0,00859	0,01741	0,00026	0,000015	4,51	-93,41	97,09	97,01
Кара-Дарья	0,30	1080,0	0,00500	0,00384	0,00839	0,00017	0,000008	23,11	-67,76	96,58	99,09
Чу	0,13	270,0	0,00300	0,00279	0,00627	0,00011	0,000006	7,00	-109,00	96,28	99,25
Арыс	0,10	450,0	0,00180	0,00164	0,00388	0,00008	0,000004	8,77	-115,33	95,56	99,61
Средняя величина								-3,72	-112,49	96,59	93,87

\* В таблице отражено сравнение основных значений с данными В. С. Лапшенкова [10].

формуле К. Ф. Артамонова, резко отличаются от измеренных величин, а средняя погрешность составляет 112,49 %. При сравнении результатов, полученных по предложенной нами новой

формуле (22), и измеренных величин средняя погрешность составляет  $-3,72\%$  как в положительную, так и в отрицательную сторону.

### Заключение

1. Расположение карьеров в руслах рек требует всестороннего анализа русловых процессов. Русловые карьеры очень сильно влияют на процесс руслообразования, и их последствия распространяются на большее расстояние, чем длина самого карьера.

2. В результате исследований получена формула (22), предназначенная для расче-

та устойчивого уклона вновь сформированных русел рек с учетом физико-механических свойств грунта:  $d_{cp}$ , мутности потока  $P$  и руслоформирующего расхода воды  $Q_{10\%}$ .

3. Для расчета устойчивого уклона вновь сформированных русел рек можно использовать формулы (13) и (22).

### Библиографический список

1. Мамедов, А. Ш. Влияние песчано-гравийных карьеров на гидроморфологию рек, расположенных в Самур-Дивичинском массиве / А. Ш. Мамедов, А. Б. Агамамедова // Экология и вод. хоз-во. – 2017. – № 5. – С. 45–55.

2. Мамедов, А. Ш. Формирование нового устойчивого русла в реке, потерявшей естественную устойчивость / А. Ш. Мамедов, Ш. Ш. Гулиев, А. Б. Агамамедова // Азербайдж. аграр. науч. журн. – 2018. – № 4 (253). – С. 76–81.

3. Алтунин, В. С. Методические основы гидравлического расчета крупных земляных каналов / В. С. Алтунин, Г. В. Симаков, А. А. Турсунов // Сборник научно-методических статей по гидравлике. Вып. 3 / М-во высш. и среднего спец. образования СССР ; гл. ред. Р. Р. Чугаев. – Москва : Высш. школа, 1980. – С. 17–31.

4. Артамонов, К. Ф. Методические указания по расчету устойчивых аллювиальных русел горных рек при проектировании гидротехнических сооружений / К. Ф. Артамонов, А. Н. Крошкин, В. Ф. Талмаза. – Москва : Колос, 1972. – 64 с.

5. Вопросы водного хозяйства. Выпуск 14. Гидрология / М-во мелиорации и вод. хоз-ва СССР, Киргиз. науч.-исслед. ин-т вод. хоз-ва ; ред. М. Н. Большаков. – Фрунзе : Кыргызиздат, 1969. – 93 с.

6. Студеничников, Б. И. Размывающая способность потока и методы русловых расчетов / Б. И. Студеничников. – Москва : Стройиздат, 1964. – 184 с.

7. Маккавеев, Н. И. Русловые процессы / Н. И. Маккавеев, Р. С. Чалов. – Москва : МГУ, 1986. – 264 с.

8. Маккавеев, Н. И. Русло реки и эрозия в ее бассейне / Н. И. Маккавеев. – Москва : МГУ, 2003. – 353 с.

9. Лелявский, С. Н. Введение в речную гидравлику / С. Н. Лелявский. – Ленинград : Гидрометеоиздат, 1961. – 228 с.

10. Лапшенков, В. С. Прогнозирование русловых деформаций в бьефах речных гидроузлов / В. С. Лапшенков. – Ленинград : Гидрометеоиздат, 1979. – 237 с.

Поступила 13 декабря 2024 г.

# • Кормопроизводство •

УДК (633.321 + 633.265):631.82:581.54

## ВЛИЯНИЕ НЕКОРНЕВЫХ ПОДКОРМОК НА СЕМЕННУЮ ПРОДУКТИВНОСТЬ КЛЕВЕРА ЛУГОВОГО В ОДНОВИДОВЫХ И СОВМЕСТНЫХ ПОСЕВАХ С РАЙГРАСОМ ОДНОЛЕТНИМ

*Р. Т. Пастушок, кандидат сельскохозяйственных наук*

*А. А. Кравцова, научный сотрудник*

*РУП "Институт мелиорации", г. Минск, Беларусь*

### Аннотация

Рассмотрены результаты исследований влияния некорневых подкормок на структуру семенного посева и урожайность семян клевера лугового. Максимальная урожайность семян клевера лугового (2,1 ц/га) без подсева райграсса однолетнего в среднем за 2 года была получена после внесения МикроСтима; прибавка составила 23,5 %. В совместных посевах с райграссом однолетним наибольшая урожайность (2,4 ц/га) также отмечена в варианте с микроудобрением МикроСтим; прибавка составила 20,0 %.

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

### Abstract

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

### INFLUENCE OF FOLIAR FERTILIZATION ON SEED PRODUCTIVITY OF MEADOW CLOVER IN SINGLE-SPECIES AND JOINT CROPS WITH ANNUAL RYEGRASS AND JOINT CROPS WITH ANNUAL RYEGRASS

The article deals with the results of research on the influence of foliar fertilization on the structure of seed sowing and seed yield of meadow clover. The maximum yield of meadow clover seeds (2.1 c/ha) without undercropping with annual ryegrass on average for 2 years was obtained after MicroStimai application; the increase amounted to 23.5 %. In joint crops with annual ryegrass the highest yield of 2.4 c/ha was also noted in the variant with microfertilizer MicroStim; the increase amounted to 20.0 %.

**Keywords:** meadow clover, annual ryegrass, foliar fertilization, microfertilizers, meteorological conditions, elements of yield structure, seed yield.

### Введение

Одна из задач агропромышленного комплекса Беларуси – дальнейшее развитие кормопроизводства, рост производства кормов. Многолетние бобовые травы имеют огромное значение как один из источников белка для сельскохозяйственных животных. Они служат основой биологизации земледелия и играют большую роль в решении проблемы энергосбережения [1].

В аграрном производстве практическое значение имеют около 10 видов многолетних бобовых трав, среди которых основным видом на пахотных землях является клевер луговой. Корм из растений клевера ценен

благодаря высокому содержанию протеина и незаменимых аминокислот. В 100 кг зеленой массы содержится 2,7 кг переваримого протеина. Кроме того, благодаря симбиотической азотфиксации клевер луговой не только обеспечивает свою потребность в азоте, но и обогащает им почву, накапливая в корнях до 100–150 кг азота на 1 га [2].

Для качественного развития клевера лугового необходимо вносить препараты, содержащие магний, бор, кальций, кобальт, молибден, медь, например:

1) *Ризофос* – микробный препарат, альтернатива минеральным азотным и фосфорным

удобрениям (доза – 200 мл/га). Основа: активные штаммы клубеньковых бактерий, осуществляющие микробиологический перевод труднорастворимых фосфатов почвы и удобрений в доступную растениям форму. Препарат позволяет получить экологически чистую продукцию и снизить пестицидную нагрузку;

2) *МикроСтим-Медь, Цинк, Бор ИС* – 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* – биостимулятор; существенно повышает энергию прорастания, полевую всхожесть посевов, способствует активному делению клеток посевов, развитию мощной корневой системы, содержанию хлорофилла, увеличению площади поверхности листа. Благодаря этому препарату фитотоксическое воздействие пестицидов снижается, качество выращенной продукции улучшается, повышается устойчивость посевов к различного рода стрессовым факторам (природного или антропогенного происхождения). В его состав включена сбалансированная композиция полезных веществ: олигосахаридов, хитозана,

### Методика исследований

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

Исследования осуществлялись в следующих закладках:

1) в 2021 г. клевер луговой высевали 17 мая, поперечный подсев семян райграса однолетнего (сорт Луч) был осуществлен 18 мая. Почва – осушенная дерново-подзолистая глеватая связно-супесчаная: рН – 6,37, гумус – 3,20 %, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> – 450 мг/кг, K<sub>2</sub>O – 365 мг/кг, В – 0,53 мг/кг, Cu – 3,0 мг/кг, Zn – 9,0 мг/кг;

2) в 2022 г. клевер высевали 10 мая, подсев райграса однолетнего проведен 11 мая. Почва – осушенная дерново-подзолистая гле-

### Результаты исследований и их обсуждение

В годы формирования семян клевера лугового вегетационные периоды существенно не различались по температурному режиму и осадкам. В 2022 г. ГТК = 1,3. С апреля по сентябрь количество осадков – 87,2 % нормы,

свободных жирных кислот, фитогормонов, аминокислот, витаминов и биогенных микроэлементов (Fe, Na, Cu, Mn, K, Zn, Mg, Ca);

4) *Регоплант* – 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. Благодаря Регопланту происходит ускорение деления клеток, ризогенез, мощное развитие симбиотической микрофлоры в корнях растений, снижается фитотоксическое действие пестицидов, активизируется «ген устойчивости». Биостимулятор эффективно защищает растение от фитонематод, насекомых-фитофагов и различных болезней, возникающих от грибов-фитопатогенов.

В настоящее время хозяйства страны испытывают потребность в семенах клевера лугового, поэтому изучение влияния некорневых подкормок на семенную продуктивность данной культуры весьма актуально.

еватая связно-супесчаная: рН – 6,67, гумус – 2,29 %, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> – 176 мг/кг, K<sub>2</sub>O – 196 мг/кг, В – 0,69 мг/кг, Cu – 2,6 мг/кг, Zn – 2,40 мг/кг.

*Схема опыта.*

Фактор А – удобрения: 1) N<sub>0</sub>P<sub>0</sub>K<sub>0</sub> (контроль); 2) P<sub>40</sub>K<sub>60</sub> (фон); 3) фон + N<sub>30</sub>; 4) фон + Ризофос; 5) фон + МикроСтим; 6) фон + Агропон; 7) фон + Регоплант.

Фактор Б – *способы сева*: 1) клевер луговой Витебчанин, 6 кг/га; 2) клевер луговой, 6 кг/га + райграс однолетний Луч, 12 кг/га.

Элементы структуры семенного травостоя учитывались на растениях второго года жизни по следующим показателям: количество головок, количество семян в головке, масса семян с одной головки и масса 1000 семян. Уборку семенного травостоя клевера проводили 23 августа 2022 и 17 августа 2023 г.

температура воздуха за этот период была на 1,6 °С выше средней многолетней. В 2023 г. ГТК = 1,2. Количество осадков за вегетацию составило 86,5 % нормы, температура воздуха была на 1,6 °С выше средних многолетних по-

казателей. В среднем вегетационные периоды 2022-го и 2023 г. можно охарактеризовать как очень теплые и слабозасушливые.

Накануне уборки семенных посевов элементы структуры урожая с пробных площадок на 1 м<sup>2</sup> деланки посевов оценивались сплошным методом.

Анализ структуры урожая клевера лугового (2022 г.) показал, что в одновидовых посевах максимальное количество головок (460 шт/м<sup>2</sup>) было сформировано в варианте с применением препарата МикроСтим (табл. 1). Количество семян в головке увеличилось на 38,9 % по сравнению с фоном P<sub>40</sub>K<sub>60</sub> после внесения микроудобрения Ризофос. Некорневые подкормки не оказали влияния на массу семян с одной головки и массу 1000 шт. семян.

Что касается совместных посевов, то максимальное число головок, образовавшихся к моменту уборки, наблюдалось на контроле – 700 шт/м<sup>2</sup>. Наибольшее количество семян в головке (19 шт.) сформировалось при внесении РК-удобрений. Подкормки не повлияли на массу семян с головки.

В 2023 г. в одновидовых посевах максимальное количество головок (263 шт/м<sup>2</sup>) было сформировано в варианте с внесением препарата МикроСтим (табл. 2). Количество семян в головке увеличилось на 11,1 % по сравнению с фоном P<sub>40</sub>K<sub>60</sub> после использования регулятора роста Агропон С.

После внесения Ризофоса и Агропона С масса семян с одной головки возросла на 25,0 % по сравнению с фоном P<sub>40</sub>K<sub>60</sub>. В варианте с Регоплантом отмечена максимальная масса 1000 семян – 1,72 г.

В совместных посевах максимальное число головок, образовавшихся к моменту уборки, наблюдалось после подкормки МикроСтимом – 380 шт/м<sup>2</sup>. Наибольшее количество семян в головке (60 шт.) сформировалось после внесения Регопланта. Некорневые подкормки способствовали незначительному росту массы семян с одной головки. Применение Агропона С было наиболее эффективным. Максимальная масса 1000 семян (1,72 г) отмечена в варианте с использованием препарата Ризофос.

Таблица 1. Элементы структуры урожая клевера лугового в одновидовых и совместных посевах с райграсом однолетним (2022 г.)

Вариант	Количество головок, шт/м <sup>2</sup>	Количество семян в головке, шт.	Масса семян с одной головки, г	Масса 1000 шт. семян, г
<i>Клевер луговой</i>				
N <sub>0</sub> P <sub>0</sub> K <sub>0</sub> (контроль)	272	20	0,04	1,71
P <sub>40</sub> K <sub>60</sub> (фон)	345	18	0,03	1,77
Фон + N <sub>30</sub>	450	20	0,03	1,34
Фон + Ризофос	371	25	0,04	1,39
Фон + МикроСтим	460	20	0,03	1,52
Фон + Агропон С	350	21	0,03	1,36
Фон + Регоплант	390	22	0,04	1,54
<b>Среднее</b>	<b>377</b>	<b>21</b>	<b>0,03</b>	<b>1,52</b>
<i>Клевер луговой + райграс однолетний</i>				
N <sub>0</sub> P <sub>0</sub> K <sub>0</sub> (контроль)	700	11	0,01	1,33
P <sub>40</sub> K <sub>60</sub> (фон)	561	19	0,03	1,45
Фон + N <sub>30</sub>	680	12	0,01	1,30
Фон + Ризофос	588	16	0,03	1,70
Фон + МикроСтим	687	18	0,03	1,46
Фон + Агропон С	610	13	0,02	1,48
Фон + Регоплант	642	16	0,02	1,24
<b>Среднее</b>	<b>638</b>	<b>15</b>	<b>0,02</b>	<b>1,42</b>

Таблица 2. Элементы структуры урожая клевера лугового  
в одновидовых и совместных посевах с райграсом однолетним (2023 г.)

Вариант	Количество головок, шт/м <sup>2</sup>	Количество семян в головке, шт.	Масса семян с одной головки, г	Масса 1000 шт. семян, г
<i>Клевер луговой</i>				
N <sub>0</sub> P <sub>0</sub> K <sub>0</sub> (контроль)	214	55	0,09	1,62
P <sub>40</sub> K <sub>60</sub> (фон)	230	54	0,08	1,68
Фон + N <sub>30</sub>	224	61	0,07	1,65
Фон + Ризофос	245	59	0,10	1,63
Фон + МикроСтим	263	58	0,09	1,64
Фон + Агропон С	248	60	0,10	1,62
Фон + Регоплант	235	54	0,09	1,72
<b>Среднее</b>	<b>214</b>	<b>55</b>	<b>0,09</b>	<b>1,62</b>
<i>Клевер луговой + райграс однолетний</i>				
N <sub>0</sub> P <sub>0</sub> K <sub>0</sub> (контроль)	287	52	0,09	1,37
P <sub>40</sub> K <sub>60</sub> (фон)	294	58	0,10	1,40
Фон + N <sub>30</sub>	341	46	0,11	1,52
Фон + Ризофос	318	48	0,10	1,72
Фон + МикроСтим	380	56	0,11	1,36
Фон + Агропон С	342	51	0,12	1,56
Фон + Регоплант	308	60	0,10	1,40
<b>Среднее</b>	<b>324</b>	<b>53</b>	<b>0,10</b>	<b>1,48</b>

Таблица 3. Элементы структуры урожая клевера лугового  
в одновидовых и совместных посевах с райграсом однолетним (2022–2023 гг.)

Вариант	Количество головок, шт/м <sup>2</sup>	Количество семян в головке, шт.	Масса семян с одной головки, г	Масса 1000 шт. семян, г
<i>Клевер луговой</i>				
N <sub>0</sub> P <sub>0</sub> K <sub>0</sub> (контроль)	243	38	0,07	1,67
P <sub>40</sub> K <sub>60</sub> (фон)	288	36	0,06	1,73
Фон + N <sub>30</sub>	337	41	0,05	1,50
Фон + Ризофос	308	42	0,07	1,52
Фон + МикроСтим	362	39	0,06	1,58
Фон + Агропон С	299	41	0,07	1,52
Фон + Регоплант	313	38	0,07	1,63
<b>Среднее</b>	<b>296</b>	<b>38</b>	<b>0,06</b>	<b>1,59</b>
<i>Клевер луговой + райграс однолетний</i>				
N <sub>0</sub> P <sub>0</sub> K <sub>0</sub> (контроль)	494	32	0,05	1,35
P <sub>40</sub> K <sub>60</sub> (фон)	428	39	0,07	1,43
Фон + N <sub>30</sub>	511	29	0,06	1,41
Фон + Ризофос	453	32	0,07	1,71
Фон + МикроСтим	534	37	0,07	1,41
Фон + Агропон С	476	32	0,07	1,52
Фон + Регоплант	475	38	0,06	1,32
<b>Среднее</b>	<b>481</b>	<b>34</b>	<b>0,06</b>	<b>1,45</b>

В среднем за два года исследований в вариантах без подсева райграса однолетнего максимальное количество головок (362 шт/м<sup>2</sup>) наблюдалось после применения микроудобрения МикроСтим (табл. 3). Наибольшее количество семян в головке (41 и 42 шт.) отмечено в вариантах с Агропоном С и Ризофосом. Некорневые подкормки микроудобрениями существенно не повлияли как на массу семян с одной головки, так и на массу 1000 семян.

В совместных посевах максимальное количество головок сформировалось в варианте с МикроСтимом (534 шт/м<sup>2</sup>). Подкормки микроудобрениями не оказали влияния на количество семян в головке и массу семян с одной головки. Максимальная масса 1000 семян (1,71 г) отмечена в варианте с Ризофосом.

Основной целью проводимых исследований была возможность получения семян клевера лугового в одновидовых и совместных посевах с райграсом однолетним. Так, в 2022 г. урожайность семян клевера лугового в одновидовых посевах находилась в прямой зависимости от количества головок в травостое (рис. 1).

Семенная продуктивность культуры отмечена в пределах 0,9 – 1,4 ц/га (табл. 4), и в среднем она составила 1,2 ц/га. Некорневые подкормки способствовали росту урожая семян. Подкормка микроудобрением МикроСтим повысила урожайность семян клевера лугового на 0,3 ц/га по сравнению с фоном РК.

В совместных посевах с райграсом однолетним установлена прямая высокая ( $r^2 = 0,86$ ) корреляционная связь урожайности клевера лугового с массой семян в одной головке (рис. 2). Средняя урожайность семян клевера лугового составила 1,4 ц/га. Применение удобрений и биостимуляторов повысило урожайность семенных посевов, максимальная прибавка (0,3 ц/га) по отношению к РК-фону получена после некорневой подкормки микроудобрением МикроСтим.

В среднем по опыту в совместных посевах с райграсом однолетним семенная продуктивность клевера лугового была на 0,2 ц/га выше, чем в одновидовых посевах. Наиболее эффективным было внесение в качестве некорневой подкормки микроудобрения МикроСтим.

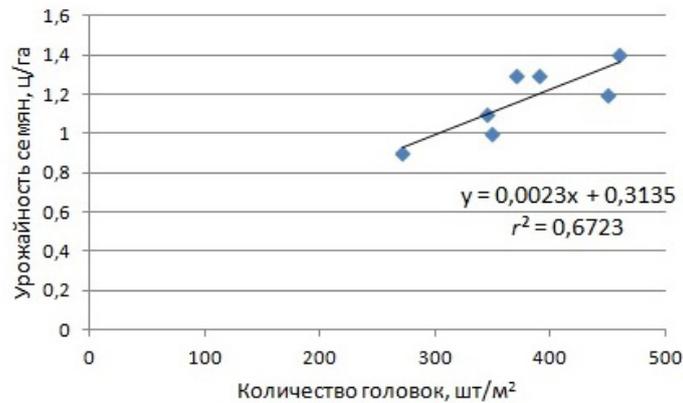


Рис. 1. Зависимость урожайности семян клевера лугового в одновидовых посевах от количества головок (2022 г.)

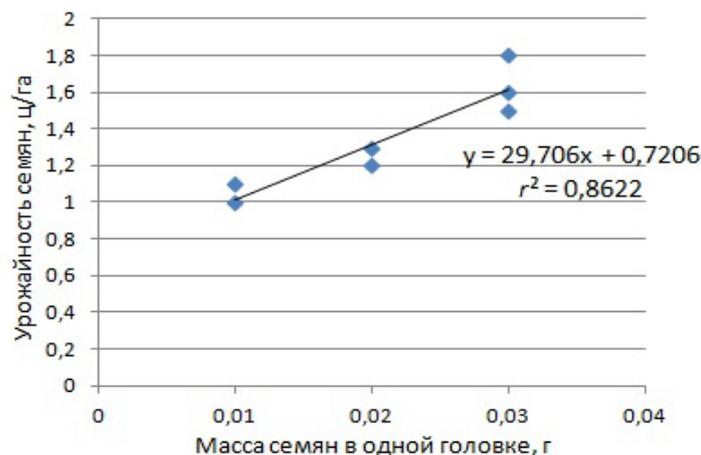


Рис. 2. Зависимость урожайности семян клевера лугового в совместных посевах от массы семян в одной головке (2022 г.)

Таблица 4. Урожайность семян клевера лугового в одновидовых и совместных посевах с райграсом однолетним (2022–2023 гг.)

Вариант	Урожайность семян, ц/га			Прибавки к фону	
	2022 г.	2023 г.	среднее	ц/га	%
<i>Клевер луговой</i>					
N <sub>0</sub> P <sub>0</sub> K <sub>0</sub> (контроль)	0,9	2,1	1,5	–	–
P <sub>40</sub> K <sub>60</sub> (фон)	1,1	2,3	1,7	–	–
Фон + N <sub>30</sub>	1,2	2,4	1,8	0,1	5,9
Фон + Ризофос	1,3	2,5	1,9	0,2	11,8
Фон + МикроСтим	1,4	2,7	2,1	0,4	23,5
Фон + Агропон С	1,0	2,6	1,8	0,1	5,9
Фон + Регоплант	1,3	2,4	1,9	0,2	11,8
<b>Среднее</b>	<b>1,2</b>	<b>2,4</b>	<b>1,8</b>	–	–
<i>Клевер луговой + райграс однолетний</i>					
N <sub>0</sub> P <sub>0</sub> K <sub>0</sub> (контроль)	1,0	2,1	1,6	–	–
P <sub>40</sub> K <sub>60</sub> (фон)	1,5	2,4	2,0	–	–
Фон + N <sub>30</sub>	1,1	2,4	1,8	–0,2	–10,0
Фон + Ризофос	1,6	2,6	2,1	0,1	5,0
Фон + МикроСтим	1,8	2,9	2,4	0,4	20,0
Фон + Агропон С	1,2	2,7	2,0	0	0,0
Фон + Регоплант	1,3	2,6	2,0	0	0,0
<b>Среднее</b>	<b>1,4</b>	<b>2,5</b>	<b>2,0</b>	–	–

В 2023 г. урожайность семян клевера лугового в одновидовых посевах находилась в высокой зависимости ( $r^2 = 0,89$ ) от количества головок в травостое (рис. 3). Семенная продуктивность культуры отмечалась в пределах 2,1–2,7 ц/га и в среднем составила 2,4 ц/га. Применение удобрений и регуляторов роста способствовало увеличению урожая семян на 0,1–0,4 ц/га по сравнению с фоном РК. Наиболее результативным было внесение микроудобрения МикроСтим.

В совместных с райграсом посевах формирование урожая семян клевера лугового также зависело от количества головок в травостое (рис. 4). Средняя урожайность семян клевера лугового – 2,5 ц/га. Некорневые подкормки повышали урожайность семенных посевов на 0,2–0,5 ц/га по сравнению с фоном РК, максимальная прибавка получена после внесения микроудобрения МикроСтим.

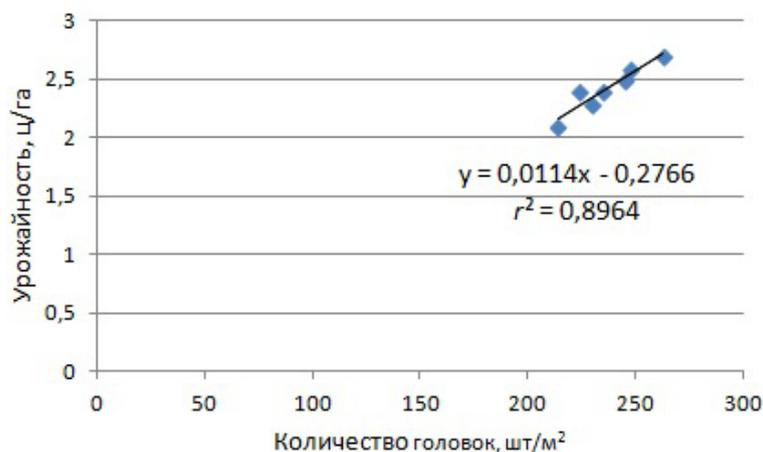


Рис. 3. Зависимость урожайности семян клевера лугового в одновидовых посевах от количества головок (2023 г.)

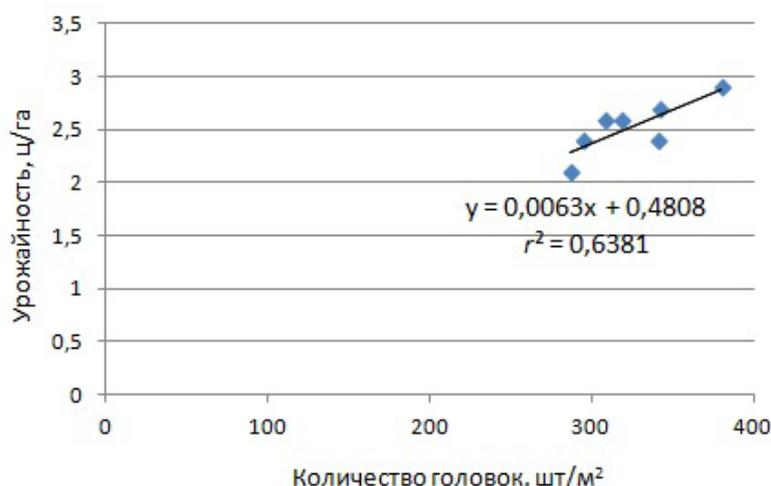


Рис. 4. Зависимость урожайности семян клевера лугового от количества головок в совместных посевах (2023 г.)

### Заключение

На основании полученных результатов можно сделать следующие выводы: максимальная урожайность семян клевера лугового (2,1 ц/га) без подсева райграса однолетнего в среднем за 2022–2023 гг. получена после вне-

сения микроудобрения МикроСтим, прибавка составила 23,5 %.

В посевах, совместных с райграсом однолетним, наибольшая урожайность (2,4 ц/га) также отмечена в варианте с МикроСтимом; прибавка составила 20,0 %.

### Библиографический список

1. Кормопроизводство и основы земледелия : учеб. пособие / Б. В. Шелюто [и др.]; под ред. Б. В. Шелюто. – Минск : РИПО 2013. – 419 с.
2. Растениеводство. Кормовые травы полевого травосеяния / С. С. Камасин, В. Г. Таранухо. – Горки : БГСХА, 2015. – 64 с.

Поступила 6 марта 2025 г.

## ДЕЙСТВИЕ АЗОТНЫХ УДОБРЕНИЙ НА РОСТ РАСТЕНИЙ КУКУРУЗЫ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ПОГОДНЫХ УСЛОВИЯХ

**В. Н. Костеневич, соискатель**

РУП «Научно-практический центр НАН Беларуси по земледелию»,  
г. Жодино, Беларусь

### Аннотация

В 2022–2024 гг. на окультуренной связносупесчаной почве изучено действие карбамида-аммиачной смеси (КАС), карбамида и подстилочного навоза на динамику роста растений кукурузы, выращиваемой в севообороте и повторно, в зависимости от складывающихся погодных условий года. Установлено, что при засушливых условиях в мае – июне высота растений снижается в 1,4–1,5 раза, а высокие дозы азота (более 90 кг/га) не влияют на их рост. При обильных осадках в июне увеличение норм внесения азота и проведение азотных подкормок положительно сказываются на росте кукурузы. Применение органических удобрений способствует лучшему приросту растений, особенно при достаточной влагообеспеченности в период их интенсивного роста. Опрыскивание растений КАС в фазу 7–8 листьев кукурузы даже при разбавлении до 8%-й концентрации азота вызывает сильные ожоги листьев, что приводит к снижению их высоты, а карбамид при разбросном внесении, напротив, способствует ее увеличению.

**Ключевые слова:** кукуруза, высота растений, азотные удобрения, погодные условия, предшественник.

### Abstract

**V. N. Kostenevich**

### THE EFFECT OF NITROGEN FERTILIZERS ON THE GROWTH OF MAIZE PLANTS UNDER VARIOUS CONDITIONS

In 2022–2024, the effect of carbamide-ammonia mixture (CAS), carbamide and farmyard manure on the growth dynamics of corn plants grown in crop rotation and repeatedly, depending on the prevailing weather conditions of the year, was studied on cultivated cohesive sandy soil. It was found that under arid conditions in May – June, plant height decreases by 1.4–1.5 times, and high doses of nitrogen (more than 90 kg/ha) do not affect their growth. With heavy rainfall in June, an increase in nitrogen application rates and nitrogen top-dressing have a positive effect on maize growth. The use of organic fertilizers contributes to a better growth of plants, especially with sufficient availability during their intensive growth. Spraying of CAS plants in the 7–8 phase of maize leaves, even when diluted to 8 % nitrogen concentration, causes severe burns of the leaves, which leads to a decrease in their height, and carbamide, when broadcast application of fertilizer, on the contrary, contributes to its increase.

**Keywords:** maize, plant height, nitrogen fertilizers, weather conditions, preceding crop.

### Введение

Основным элементом питания, лимитирующим урожайность кукурузы на всех типах почв, является азот [1–3]. Он потребляется кукурузой в течение всего периода вегетации, но более значительно – за 2–3 недели до выметывания, когда она достигает максимума в фазы выметывания и цветения [4].

Потребность в азоте в значительной степени зависит от погодных условий. Основное условие

высокой эффективности азотных удобрений – достаточное обеспечение влагой [5], а в засушливые годы растения кукурузы слабо отзываются на их внесение [6–13]. Это отражается не только на урожайности, но и на росте растений [14, 15]. В начальный период роста и развития растений кукурузы четкой закономерности влияния удобрений на их высоту и надземную массу не наблюдается [16].

### Материалы и методы исследований

Полевые опыты проводили в Научно-практическом центре НАН Беларуси по земледелию в 2022–2024 гг. на связных пылеватых (лессовидных) супесях дерново-палево-подзолистой супесчаной почвы, подстилаемой моренным суглинком с глубины 0,4–0,9 м с прослойка-

ми песка на контакте; содержание в пахотном слое гумуса – 2,24–2,70 %,  $P_2O_5$  – 180–200 мг,  $K_2O$  – 257–286 мг/кг, pH – 6,05–6,14.

Подготовка почвы включала дискование, зяблевую вспашку, весеннее дискование, культивацию с боронованием и предпосевную об-

работку агрегатом АКШ. Калийные удобрения ( $K_{120}$ ) в виде хлористого калия и фосфорные ( $P_{45}$ ) в виде аммонизированного суперфосфата вносились перед зяблевой вспашкой.

В опыте № 1, схема которого приведена в табл. 1, изучалась эффективность различных видов азотных удобрений и доз их применения при повторном возделывании кукурузы с использованием последствия навоза. Посев семян гибрида Дарьян, протравленных препаратами Максим XL, 1 л/т + Табу, 5 л/т, осуществлялся 4 мая 2022 г., 20 апреля 2023 г. и 12 апреля 2024 г.; всходы появились соответственно 22, 12 и 7 мая. Фаза 5–6 листьев, в течение которой проводились подкормки, отмечалась 14 июня 2022 г., 30 мая 2023 г. и 29 мая 2024 г., 7–8 листьев – 22, 19 и 10 июня соответственно.

В опыте № 2 дозы и сроки внесения карбамида при возделывании кукурузы после ячменя изучались на двух фонах: без органических

удобрений и с применением подстилочного навоза крупного рогатого скота (50 т/га), который вносили перед зяблевой вспашкой. Схема опыта включала 9 вариантов: контроль без удобрений, 4 варианта с разовым внесением 60, 90, 120 и 150 кг/га д. в. азота до сева и 4 варианта с дробным применением азота: по 30 кг/га до сева + 30, 60, 90 или 120 кг/га в фазу 7–8 листьев кукурузы вразброс. Посев этого же гибрида осуществлялся 4 мая 2022 г., 21 апреля 2023 г. и 11 апреля 2024 г.; всходы появились соответственно 22, 12 и 6 мая. Подкормка проводилась в те же сроки, что и в опыте № 1.

Площадь опытных делянок 29,4 м<sup>2</sup>, повторность четырехкратная. Норма высева семян в опытах составляла 100 тыс. шт/га. Способ сева широкорядный, ширина междурядий 70 см. В фазу 2–3 листьев кукурузы применялся гербицид Люмакс, 3,5 л/га + Дублон, 0,2 л/га.

Таблица 1. Схема опыта по изучению эффективности различных видов азотных удобрений и доз их применения при повторном возделывании кукурузы

№ варианта	Схема применения удобрений, кг/га д. в.				
	А – КАС до сева	Б – опрыскивание 8%-м раствором КАС в фазу 5–6 листьев	В – опрыскивание 8%-м раствором КАС в фазу 7–8 листьев	Г – внесение КАС в междурядье в фазу 7–8 листьев	Д – карбамид вразброс в фазу 7–8 листьев
1	0	–	–	–	–
2	60	–	–	–	–
3	30	–	30	–	–
4	30	–	–	30	–
5	30	–	–	–	30
6	90	–	–	–	–
7	30	30	30	–	–
8	30	–	–	60	–
9	30	–	–	–	60
10	60	–	30	–	–
11	60	–	–	–	30
12	120	–	–	–	–
13	60	30	30	–	–
14	60	–	–	60	–
15	60	–	–	–	60

В 2022 г. апрель и май были на 2,1 °С холоднее нормы, а июнь на столько же превысил этот показатель. В июле температурный и водный режимы находились в пределах многолетних значений, что благоприятно сказалось на росте и развитии растений. Растения кукурузы начали остро ощущать дефицит влаги в почве через 3 недели после цветения, то есть в начале августа (рис. 1). Во второй декаде августа установилась жаркая погода, осадки отсутствовали, что привело к отмиранию листьев.

В 2023 г. среднесуточная температура воздуха в апреле оказалась на 1,3 °С выше многолетнего значения. Осадков выпало 25,7 мм, или 62 % от нормы. В мае среднесуточная температура воздуха была близка к норме (13,3 и 13,2 °С соответственно), а осадки составляли лишь 8 % относительно среднеемноголетнего значения. В июне было тепло, осадков выпало 32 % от нормы, что к концу месяца привело к сильному снижению содержания влаги в почве до уровня мертвого запаса. В июле погода была умеренно теплой с удовлетворительным выпадением и распределением осадков (80 % от нормы), что способствовало хорошему формированию початка. Однако дефицит влаги сохранялся до конца вегетационного периода, что вызвало преждевременное усыхание растений.

В 2024 г. первая и вторая декады апреля оказались теплыми (превышение нормы на 6,4 °С и 1,2 °С соответственно). Третья декада

характеризовалась обильными осадками и холодной погодой. В итоге температура месяца оказалась на 2,2 °С выше среднеемноголетнего значения, при этом норма осадков была превышена в 2,3 раза. В первой половине мая температурные условия приближались к многолетним значениям, а осадков выпало меньше нормы. Особенно засушливой оказалась вторая декада месяца. В целом за май осадки были зафиксированы на уровне 13,4 мм (21 % от нормы) при среднесуточной температуре воздуха на 1,8 °С выше многолетнего значения. Июнь был теплее обычного на 1,5 °С, осадки обильны (+ 38 %). Такая погода благоприятствовала хорошему росту растений кукурузы. В июле среднесуточная температура воздуха составила 20,8 °С (превышение нормы на 2,0 °С). В августе жаркая погода с высокими дневными температурами и существенным дефицитом осадков обусловила интенсивное усыхание кукурузы, когда зерно достигло фазы восковой спелости.

Сумма эффективных температур (выше 10 °С) с мая по сентябрь 2022 г. составила 915 °С; в 2023 г. она равнялась 1148 °С; в 2024 г. – 1288 °С (при норме 896 °С). По данным метеостанции «Борисов», с мая по сентябрь 2022 г. выпало 352 мм осадков, в 2023 г. их было лишь 180 мм, а в 2024 г. – 281 мм (при норме 370 мм). Гидротермический коэффициент составил 3,1; 0,9; 1,3 соответственно по годам исследований.

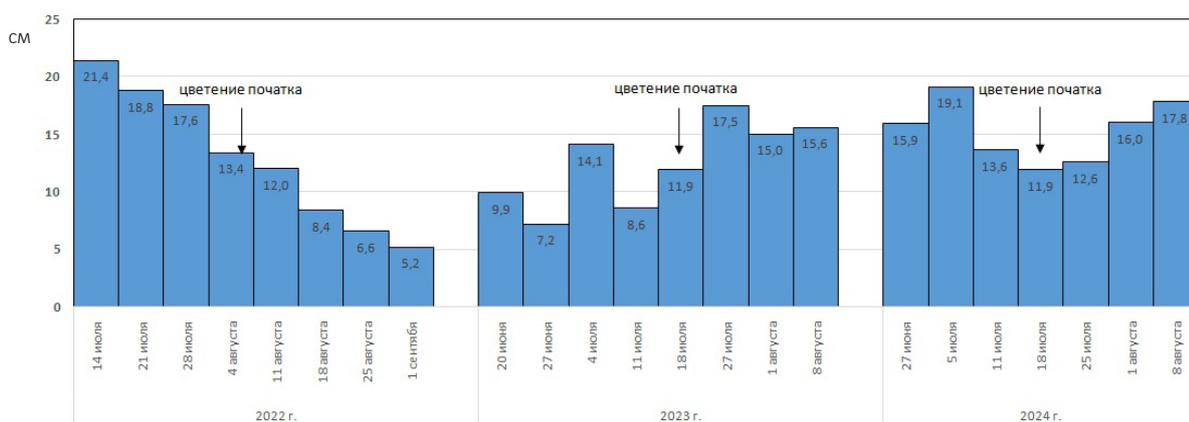


Рис. 1. Динамика влажности почвы в критический период роста кукурузы, %

### Результаты исследований и их обсуждение

В 2022 г., при повторном размещении кукурузы после внесенных в предыдущем году органических удобрений, высота растений через 36 сут. после всходов колебалась в пределах 53–63 см и не зависела от дозы внесен-

ного азота (см. рис. 2). Между тем уже через 5 суток суточный прирост растений в высоту после опрыскивания 8%-й КАС снизился, составив в среднем 1,58 см. В других вариантах применения азотных удобрений он равнялся

1,66 см, в том числе при использовании карбамида – 1,64 см. Во втором учетном периоде (с 27 июня по 11 июля) суточный прирост растений был соответственно 6,59 см, 6,67 и 6,78 см. Таким образом, КАС, вызвав ожоги листьев, снизила темп роста растений, а карбамид, наоборот, его увеличил.

Стабильное и достаточное количество влаги в почве до окончания цветения початков способствовало хорошему росту растений кукурузы. В контрольном варианте они достигали в высоту

294 см, а удобренные азотом – 297–310 см. Эти данные приведены на рис. 2, а расшифровка вариантов опыта – в табл. 1. Только в начале выметывания, когда высота растения стала более 2 м, в варианте 1 (без азота) наблюдалось ее снижение. В дальнейшем при внесении 60 кг/га азота в один прием или дробно (варианты 2–4) отмечено меньшее значение высоты растений. Исключение составил вариант 5 с внесением 30 кг/га д. в. КАС в основную заправку + 30 кг/га д. в. карбамид в фазу 7–8 листьев взрброс.

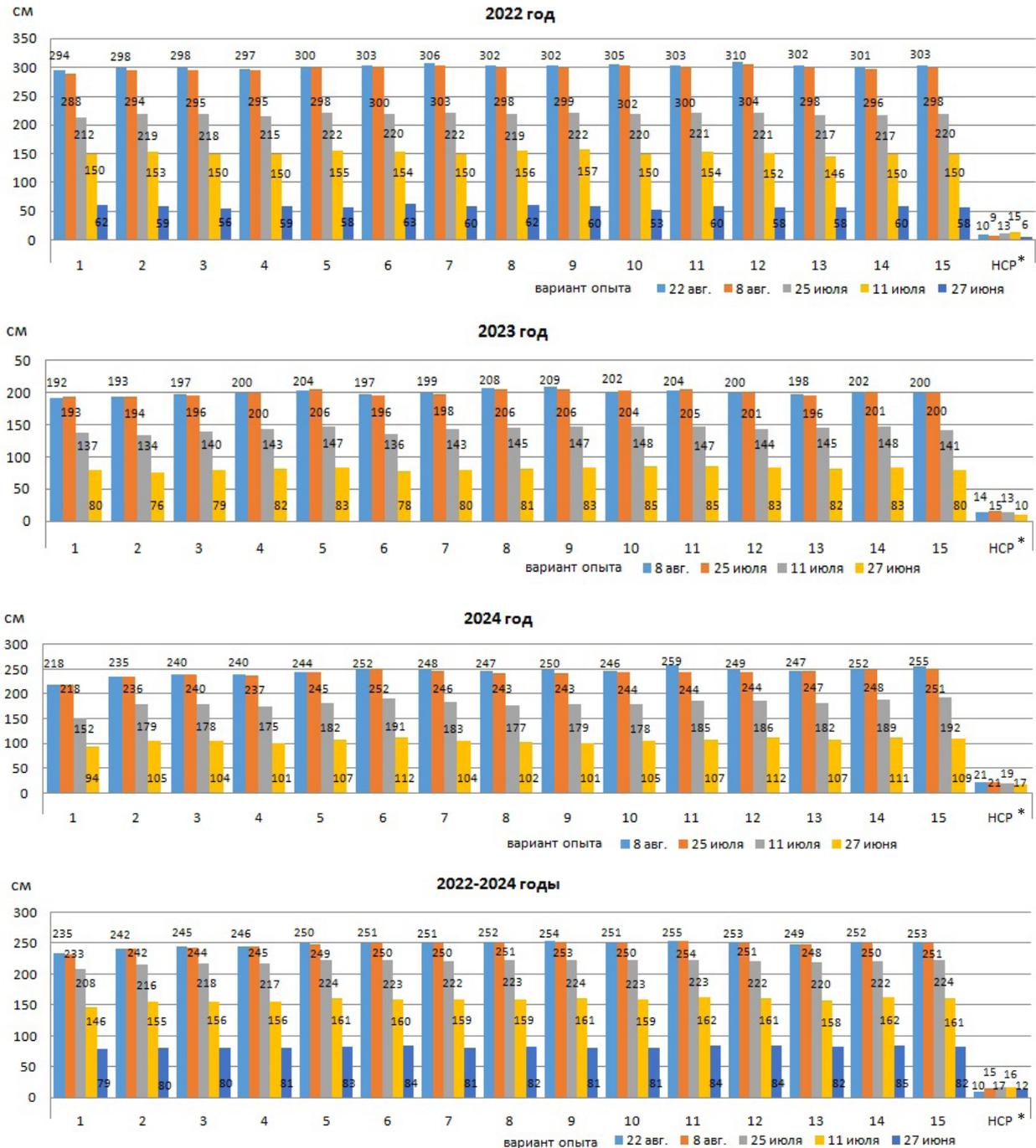


Рис. 2. Динамика роста растений гибридов кукурузы в зависимости от доз и сроков внесения азотных удобрений в 2022–2024 г.

\* НСР — наименьшая существенная разница

В 2023 г. на начальном этапе интенсивного роста по состоянию на ту же дату (27 июня) растения кукурузы оказались выше по сравнению с данными 2022 г. Их высота колебалась в пределах 76–85 см. Если в прошедшем году растения в варианте 10 (60 кг/га КАС до сева + 30 кг/га опрыскивание в фазу 7–8 листьев) были самыми низкорослыми, то в 2023 г. они вместе с вариантом 11 (60 кг/га КАС до сева + 30 кг/га карбамида вразброс в вышеуказанную фазу) оказались в числе самых высоких. Это еще раз подчеркивает тот факт, что на рост растений кукурузы в ранний период ее развития почвенное питание оказывает большее влияние, чем доза внесенного минерального азота.

Несмотря на то что по состоянию на 27 июня 2023 г. растения были более рослыми, чем в предыдущем году, их суточный прирост различался не столь существенно. Среднее по всем вариантам значение составило 1,77 и 1,64 см соответственно, что объясняется более длительным периодом вегетации (46 и 36 сут.). В период 27 июня – 11 июля (в течение которого в 2022 г. был зафиксирован самый высокий суточный прирост растений в высоту) он составил только 4,07–4,64 см. Меньшее значение имел контрольный вариант, большее – с дробным внесением по 60 кг/га КАС: до сева и в междурядья в фазу 7–8 листьев.

В третий учетный период, который совпал с критическим периодом для растений, их прирост в высоту снизился еще больше (с 4,40 до 4,08 см в сутки), хотя количество осадков приближалось к норме и температура воздуха была комфортной (18,4 °С при норме 19,0 °С). Это можно объяснить тем, что, несмотря на выпадение осадков, содержание влаги в пахотном слое почвы находилось в нижних пределах оптимума (8–11 %), что недостаточно для активной микробиологической деятельности почвы и оптимального поступления питательных элементов в растения вместе с влагой. Кроме того, после фазы цветения початков рост растений обычно ослабевает. В итоге, по сравнению с 2022 г. высота растений в среднем по опыту оказалась в 1,5 раза ниже. Их рост прекратился уже в третьей декаде июля сразу после цветения початков, хотя в 2022 г. он продолжался до третьей декады августа, то есть до начала молочной спелости. Более высокие среднесуточные температуры воздуха в летние

месяцы при дефиците осадков снизили эффективность вносимых азотных удобрений. Если в 2022 г. наибольшая высота растений (301–310 см) отмечалась во всех вариантах (6–15) с дозой азота 90–120 кг/га, то в 2023 г. – только в отдельных вариантах (5, 8, 9) с дозой 60–90 кг/га при дробном внесении (204–209 см).

В 2024 г., несмотря на самую большую продолжительность первого учетного периода (51 сут.), отмечена не только самая большая высота растений (94–112 см), но и суточный прирост (1,84–2,20 см). В отличие от предыдущих лет самые низкие показатели зафиксированы на контрольном варианте 1 без удобрений. При этом закономерных изменений высоты растений по вариантам внесения азота не наблюдалось, так как на это, как отмечалось выше, влияло почвенное плодородие.

В последующий учетный период, с 27 июня по 11 июля 2024 г., суточный прирост растений в высоту (4,14–5,93) превышал показатель 2023-го г. (4,04–4,64 см), но уступал приросту 2022-го г. (6,29–6,93 см) с самыми низкими значениями в контрольном варианте. Этот период является наиболее важным для роста растений, и по его завершении характеристики заняли промежуточное положение: высота растений колебалась от 218 см в варианте без азота до 255–259 см при внесении 120 кг/га дробно (60 кг/га в виде КАС до сева + 60 кг/га вразброс в виде мочевины в 7–8 листьев) или 90 кг/га дробно, когда в подкормку норма азота была вдвое меньше. Обилие осадков в июне 2024-го г. способствовало вымыванию азота, поэтому его большое количество до сева обеспечило лучший рост растениям. Это хорошо заметно на примере варианта 6, когда вносилось 90 кг до сева в сравнении с 30 кг (варианты 7–9).

В среднем за 3 года высота растений на контроле составила 235 см и возрастала по мере увеличения дозы азота, однако самое большое значение (255 см) получено при внесении 60 кг/га д. в. КАС до сева + 30 кг/га д. в. в виде карбамида в фазу 7–8 листьев вразброс. Вместе с тем, судя по наименьшей существенной разнице, только контрольный вариант и разовое внесение 60 кг/га азота до сева (варианты 1, 2) показали достоверное снижение высоты. Дробное внесение невысоких доз азота (60 и 90 кг/га) приводило к незначительному

увеличению высоты растений по сравнению с разовым. Этот прирост находится в пределах ошибки опыта. КАС, ежегодно вызывавшая сильные ожоги листьев, несмотря на разбавление до 8%-й концентрации азота, при внесении путем опрыскивания в фазу 7–8 листьев во всех случаях приводила к снижению высоты растений, а карбамид при разбросном внесении – напротив, к ее увеличению.

На основании трехлетних данных можно отметить, что в первые 44 дня вегетации суточный прирост растений гибрида Дарьян (ФАО 210) составляет 1,77–1,88 см и сильно возрастает до максимального значения в следующие 14 дней (с 27 июня по 11 июля) – до 4,83–5,69 см (табл. 2). В этот период удобренные азотом варианты заметно обгоняют в росте контрольный, после которого разница нивелируется, а суточный прирост снижается.

Во втором опыте изучалось влияние органических удобрений, доз и сроков внесения карбамида под кукурузу, выращиваемую в

севообороте после ячменя. Измерение высоты растений в 2022 г. показало (см. рис. 3), что последовательное увеличение на 30 кг/га д. в. карбамида перед севом с 60 до 150 кг/га приводило к уменьшению суточного прироста растений от всходов (22 мая) до первого учета (27 июня). На безнавозном фоне он составил 1,44 см, 1,39, 1,36 и 1,33 см. На фоне 50 т/га навоза такой закономерности не отмечено. Органические удобрения на протяжении всего роста растений обеспечивали их большую высоту по сравнению с минеральным фоном. Относительно благоприятные условия водного режима в этот период способствовали тому, что и на контрольном варианте высота растений была такой же (318 см), как и при внесении минерального азота в дозах 60–150 кг/га (310–319 см).

На безнавозном фоне картина иная: в контрольном варианте высота растений по окончании их роста составила 293 см, на удобренных азотом вариантах – 297–312 см.

Таблица 2. Средний суточный прирост растений кукурузы в высоту в зависимости от азотных удобрений и погодных условий (2022–2024 гг.), см

№ варианта	Схема применения удобрений, кг/га					Учетный период				
	А	Б	В	Г	Д	от всходов по 27.06	с 27.06 по 11.07	с 11.07 по 25.07	с 25.07 по 8.08	с 8.08 по 22.08
1	0	–	–	–	–	1,77	4,83	4,38	1,79	0,14
2	60	–	–	–	–	1,78	5,38	4,36	1,74	0,10
3	30	–	30	–	–	1,77	5,45	4,43	1,86	0,07
4	30	–	–	30	–	1,80	5,38	4,38	1,97	0,05
5	30	–	–	–	30	1,84	5,62	4,50	1,74	0,05
6	90	–	–	–	–	1,88	5,43	4,45	1,93	0,07
7	30	30	30	–	–	1,82	5,52	4,52	2,00	0,07
8	30	–	–	60	–	1,83	5,55	4,52	2,02	0,10
9	30	–	–	–	60	1,82	5,69	4,47	2,07	0,07
10	60	–	30	–	–	1,79	5,55	4,57	1,95	0,07
11	60	–	–	–	30	1,87	5,57	4,38	2,21	0,07
12	120	–	–	–	–	1,87	5,45	4,38	2,07	0,14
13	60	30	30	–	–	1,83	5,38	4,45	1,98	0,10
14	60	–	–	60	–	1,88	5,55	4,26	2,00	0,12
15	60	–	–	–	60	1,83	5,62	4,47	1,95	0,12
<b>Среднее</b>						<b>1,83</b>	<b>5,46</b>	<b>4,43</b>	<b>1,95</b>	<b>0,09</b>

Примечание. Схема применения удобрений: А – КАС до сева; Б – опрыскивание 8%-м раствором КАС в 5–6 листьев; В – опрыскивание 8%-м раствором КАС в 7–8 листьев; Г – внесение КАС в междурядье в 7–8 листьев; Д – карбамид вразброс в 7–8 листьев.

Лучший рост растений при внесении органических удобрений связан с соответствующими показателями водно-физических свойств пахотного слоя почвы. Например, по состоянию на 14 июля в ней содержалось 258 м<sup>3</sup>/га воды, тогда как на безнавозном фоне – 246; объемная масса почвы составляла 1,28 и 1,32 г/см<sup>3</sup>; объем твердой фазы почвы – 40,6 и 41,0 % соответственно.

В 2023 г. на одну и ту же дату (27 июня) на начальном этапе интенсивного роста растения кукурузы оказались более высокими по сравнению с прошлым годом. Их высота колебалась в пределах 88–98 см на фоне без навоза и 92–99 см с его использованием. И хотя продолжительность данного периода была на 10 суток длиннее, среднесуточный прирост растений в высоту значительно превысил прошлогодний показатель. В среднем по всем вариантам опыта на безнавозном фоне он равнялся 1,39 см в 2022 г. и 2,04 см в 2023 г., на навозном – 1,50 и 2,13 см соответственно. Причем если в 2022 г. контрольный вариант на обоих фонах не уступал некоторым другим, удобренным азотом, то в 2023 г. уже на начальном этапе интенсивного роста он оказался самым низкорослым.

По окончании роста растений их высота в данном варианте на безнавозном фоне составляла 201 см, с его применением – 219 см. Азотные удобрения повышали этот показатель на 8–26 см и 9–17 см соответственно. Лучший рост растений обеспечили N<sub>30+60</sub> на обоих фонах и N<sub>30+120</sub> при внесении навоза. Засушливые условия первой половины вегетации кукурузы привели к тому, что по сравнению с 2022 г. высота растений в среднем по опыту оказалась в 1,4 раза ниже. Их рост прекратился уже в третьей декаде июля сразу после цветения початков, хотя в 2022 г. он продолжался до третьей декады августа, то есть до начала фазы молочной спелости.

В 2024 г. влияние навоза на рост растений от появления всходов до первого измерения (проводившегося 27 июня) было самым сильным в течение трех лет исследований: его эффективное действие можно объяснить достаточной влажностью почвы, когда за указанный период выпало 118 мм осадков. Суточный прирост составил 2,1 см и превзошел показатель безнавозного фона на 12,3 %, тогда как в засушливом 2023 г. превышение составляло

только 4,4 %; в 2022 г. – 7,9 %. Азотное удобрение тоже способствовало лучшему приросту растений на начальном этапе их развития. Так, на безнавозном фоне суточный прирост в первом учетном периоде на контрольном варианте составлял 1,67 см, удобренных – 1,85–1,92 см, на навозном фоне – 1,92 см и 2,09–2,19 см соответственно.

По состоянию на 27 июня высота растения кукурузы в контрольном варианте на безнавозном фоне равнялась 87 см, навозном – 100 см, а при внесении 150 кг/га азота она была еще большей: 100 и 114 см соответственно. По окончании роста на безнавозном фоне самые высокорослые растения (249 см) отмечены в варианте с подкормкой максимальной дозой азота, а на навозном фоне (257 см) – с вдвое меньшей его нормой (60 кг/га). И в целом дробное внесение азота способствовало лучшему росту растений в сравнении с однократным в такой же дозе.

В среднем за 3 года внесение 50 т/га подстильного навоза крупного рогатого скота по окончании роста растений кукурузы способствовало повышению их высоты на 5,2 % – с 252 до 265 см. На безнавозном фоне прирост высоты растений от внесения азотных удобрений составил 3,8–8,9 %. Наибольшим он был в вариантах внесения карбамида по схеме: 30 + 60 кг/га, 150 кг/га разово или 30 + 120 кг/га д. в. азота, где высота растений достигала 258 см. На фоне навоза прирост был меньший (2,0–4,7 %), а максимальным – в вариантах 30 + 60 и 30 + 120 кг азота на 1 га. В них высота растений равнялась 269 см.

Трехлетние исследования показали, что до конца июня растения кукурузы при внесении только минерального азота, независимо от срока и дозы, имеют приблизительно одинаковый суточный прирост (1,79–1,81 см), что на 0,12–0,14 см больше, чем без него (см. табл. 3). При использовании 50 т/га подстильного навоза суточный прирост возрастает как в контрольном варианте (1,82 см), так и на удобренных азотом (1,91–1,98 см). В разрезе вариантов на этом фоне отмечена уже большая разница: максимальное значение достигнуто при применении 150 кг/га разово или дробно.

В дальнейшем, во втором учетном периоде на безнавозном фоне, зафиксированы заметные различия между разовым и дробным внесением азота в пользу последнего. Суточный

прирост в первом случае составлял 5,52 см, во втором – 5,72 см при 5,40 см в контрольном варианте. Максимальное значение (5,83 см) получено в варианте N<sub>30+60</sub>. На фоне внесения навоза суточный прирост значительно бóльший, но разница по срокам внесения азота, напротив, меньшая. Так, при его использовании до сева средний суточный прирост растений с 27 июня по 11 июля составил 6,20 см, а с дробным примени-

ем – 6,24 см; в контроле – 6,02 см. В следующий 14-дневный период суточный прирост снизился до 4,10–4,24 см в контрольных вариантах, а при внесении минерального азота на навозном фоне он был даже ниже, чем на безнавозном, составляя 4,20 и 4,34 см соответственно. В дальнейшем прирост растений снижался еще значительно и при засушливых условиях августа (что случается часто) практически прекратился.

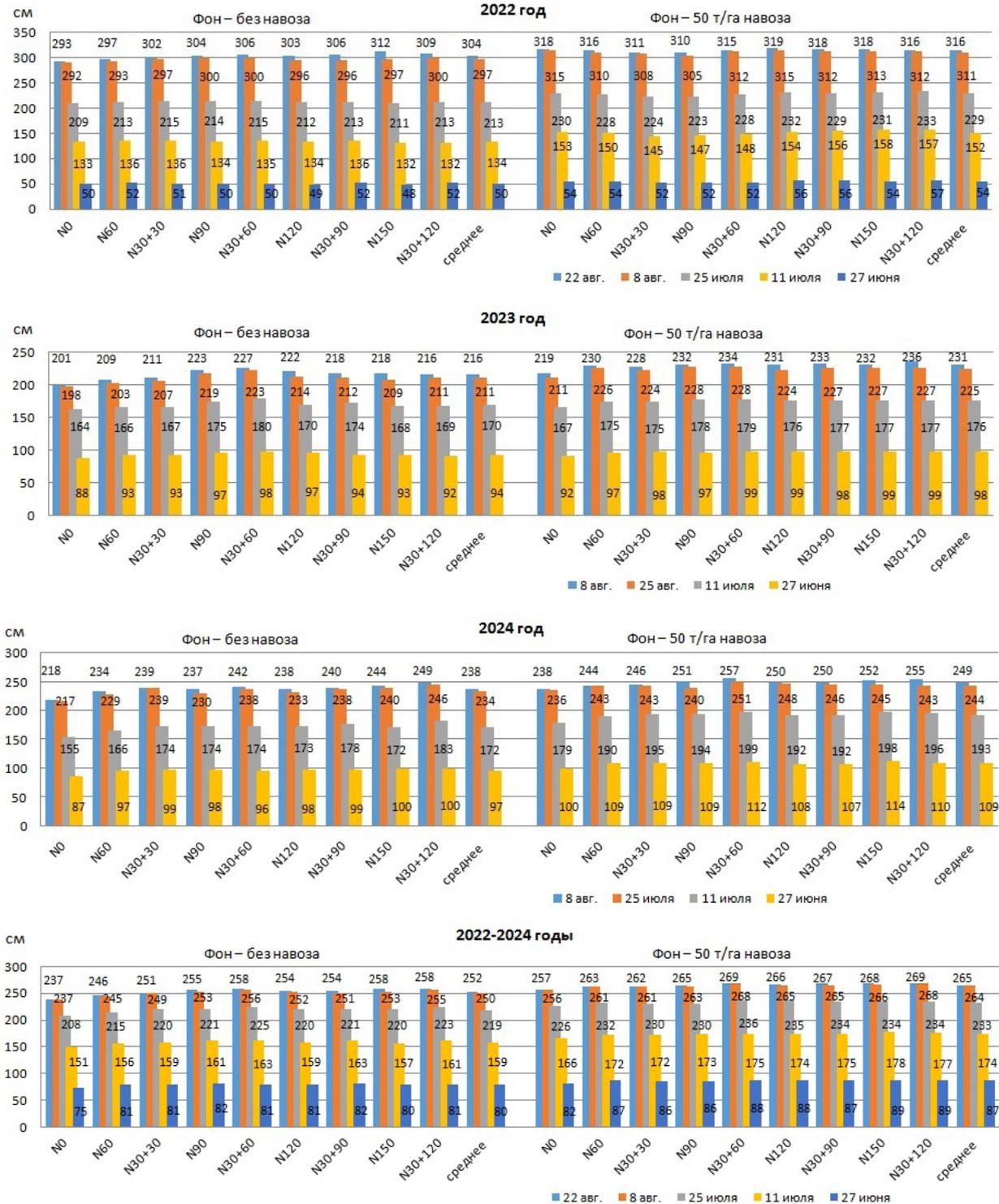


Рис. 3. Динамика роста растений кукурузы в зависимости от доз карбамида и сроков его внесения

Таблица 3. Суточный прирост растений кукурузы в высоту в зависимости от азотных удобрений в среднем за 2022–2024 гг., см

№ варианта	Доза азота, кг/га	Без навоза					Навоз 50, т/га				
		Учетный период									
		1-й	2-й	3-й	4-й	5-й	1-й	2-й	3-й	4-й	5-й
1	0	1,67	5,40	4,10	2,07	0,00	1,82	6,02	4,24	2,19	0,07
2	60	1,79	5,38	4,21	2,17	0,07	1,93	6,07	4,33	2,07	0,14
3	30 + 30	1,80	5,57	4,38	2,05	0,14	1,92	6,10	4,19	2,17	0,07
4	90	1,81	5,67	4,29	2,31	0,14	1,91	6,21	4,10	2,31	0,14
5	30 + 60	1,81	5,83	4,45	2,21	0,14	1,95	6,26	4,31	2,29	0,07
6	120	1,81	5,55	4,33	2,31	0,14	1,94	6,19	4,33	2,19	0,07
7	30 + 90	1,81	5,79	4,17	2,17	0,21	1,93	6,29	4,21	2,21	0,14
8	150	1,79	5,50	4,48	2,36	0,36	1,98	6,33	4,05	2,24	0,14
9	30 + 120	1,81	5,71	4,43	2,26	0,14	1,97	6,29	4,12	2,38	0,07
Среднее		1,79	5,60	4,32	2,21	0,15	1,93	6,20	4,21	2,23	0,10

Примечание. Учетные периоды: 1-й – от всходов по 27 июня, 2-й – с 27 июня по 11 июля; 3-й – с 11 по 25 июля; 4-й – с 25 июля по 8 августа; 5-й – с 8 по 22 августа.

### Заключение

1. На дерново-подзолистой связносупесчаной почве, подстилаемой моренным суглинком с глубины 0,4–0,9 м, содержащей в пахотном слое 2,24–2,70 % гумуса, рост растений кукурузы до фазы начала интенсивного роста (9–11 листьев), во многом зависит от почвенного плодородия, а не от дозы внесения минерального азота.

2. Наибольший прирост растений в высоту отмечается с конца июня до середины следующего месяца. В этот период влага является фактором, определяющим высоту растений кукурузы: если в мае – июне выпадает 20 % осадков от нормы, высота растений в 1,4–1,5 раза ниже.

3. При обильных осадках в июне, на 1/3 превышающих норму, растения кукурузы в период вегетации положительно отзываются на подкормки повышением их высоты. В су-

хие годы внесение высоких доз азота (более 90 кг/га разово или дробно) не приводит к увеличению высоты растений кукурузы независимо от предшественника и применения органических удобрений.

4. Опрыскивание растений КАС в фазу 7–8 листьев кукурузы даже при разбавлении до 8%-й концентрации азота вызывает сильные ожоги листьев, что обуславливает снижение их высоты, а карбамид при разбросном внесении, напротив, способствует ее увеличению.

5. Органические удобрения (50 т/га подстильного навоза крупного рогатого скота) содействуют лучшему росту растений независимо от влагообеспеченности вегетационного периода. Наибольший прирост высоты от их внесения наблюдается при выпадении большого количества осадков в июне.

### Библиографический список

1. Агафонов, Е. В. Применение удобрений под гибриды разного срока созревания / Е. В. Агафонов, А. А. Батаков // Кукуруза и сорго. – 2000. – № 3. – С. 6–7.

2. Агеев, В. В. Системы удобрения в севооборотах Юга России : учеб. пособие / В. В. Агеев, А. И. Подколзин. – 2-е изд., перераб. и доп. – Ставрополь : СГСХА, 2001. – 352 с.

3. Кукуруза. Агротехнические основы возделывания на черноземах Западного Предкавказья / Т. Р. Толорая [и др.]. – Краснодар : Краснодар. науч.-исслед. ин-т с. х. им. П. П. Лукьяненко, 2003. – 310 с.
4. Интенсивность поступления основных макроэлементов в растения кукурузы в онтогенезе / С. М. Крамарев [и др.] // Агрохимия. – 2002. – № 12. – С. 21–30.
5. Михайлов, Н. Н. Дозы минеральных удобрений под кукурузу на черноземных почвах с разными запасами подвижных форм питательных веществ / Н. Н. Михайлов, А. А. Ефремов // Действие минеральных удобрений на урожай зерновых, технических и других культур в основных зонах страны. – Москва, 1974. – С. 169–178.
6. Крамарёв, С. М. Эффективность применения азотных удобрений в агрофитоценозах кукурузы / С. М. Крамарёв, С. В. Красненков, И. В. Макаренко // Вісн. Дніпропетров. держ. аграр. ун-ту. – 2003. – № 2. – С. 36–40.
7. Кошен, Б. Н. Сортовая агротехника кукурузы в борьбе с засухой / Б. Н. Кошен // Кукуруза и сорго. – 2001. – № 6. – С. 5–6.
8. Таран, Д. А. Влияние приемов ухода за посевами и погодных условий на производство зерна кукурузы / Д. А. Таран, Р. В. Ласкин, А. И. Супрунов // Молодые ученые в решении актуальных проблем науки : материалы II-й Международ. науч.-практ. конф., 14 марта 2011 г. : в 2 ч. – Владикавказ, 2011. – Ч. 1. – С. 498–500.
9. Стулин, А. Ф. Влияние видов удобрений на урожайность кукурузы в условиях Воронежской области / А. Ф. Стулин // Кукуруза и сорго. – 2012. – № 1. – С. 19–24.
10. Чепелева, А. В. Урожайность и качество зерна кукурузы при применении минеральных удобрений в условиях Амурской области / А. В. Чепелева, Г. П. Чепелев // Вестн. КрасГАУ. – 2019. – № 10 (151). – С. 49–56.
11. Hollinger, S. E. Influence of weather on yeatro-year yield response of corn to ammonia fertilization / S. E. Hollinger, R. G. Hoefl // Agronomy Journ. – 1986. – Vol. 78. – P. 818–823. <https://doi.org/10.2134/agronj1986.00021962007800050015x>
12. Sharifi, R. S. Response of maize (*Zea mays* L.) cultivars to different levels of nitrogen fertilizer / R. S. Sharifi, R. Taghizadeh // Journ. of Food Agriculture and Environmen. – 2009. – Vol. 7, № 3–4. – P. 518–521.
13. Corn response to nitrogen is influenced by soil texture and weather / N. Tremblay [et al.] // Agronomy Journ. – 2012. – Vol. 104, Iss. 6. – P. 1658–1671. <https://doi.org/10.2134/agronj2012.0184>
14. Крамарёв, С. М. Удобрение кукурузы на черноземах обыкновенных степной зоны Украины / С. М. Крамарёв. – Днепропетровск : Новая идеология, 2010. – 632 с.
15. Продуктивность гибридов кукурузы в зависимости от удобрений и густоты стояния растений / Л. П. Бельтюков, Е. К. Кувшинова, И. М. Тюрин, В. А. Козлов. – зерноград : Азово-Черномор. инженер. ин-т ФГБОУ ВПО ДГАУ, 2015. – 182 с.
16. Мышко, М. Н. Урожайность и качество кукурузы в зависимости от удобрений на выщелоченном черноземе Кубани : дис. ... канд. с.-х. наук : 06.01.04 / Марина Николаевна Мышко. – Краснодар, 2004. – 174 л.

Поступила 20 декабря 2024 г.

УДК 631.67

## ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПРУДОВ-НАКОПИТЕЛЕЙ ЖИВОТНОВОДЧЕСКИХ СТОКОВ ПРИ УДОБРИТЕЛЬНОМ ОРОШЕНИИ

**Ю. А. Мажайский**<sup>1</sup>, доктор сельскохозяйственных наук  
**М. И. Голубенко**<sup>2</sup>, заслуженный изобретатель Российской Федерации  
**С. М. Курчевский**<sup>3</sup>, кандидат сельскохозяйственных наук  
**А. В. Стрелюхин**<sup>3</sup>, кандидат технических наук

<sup>1</sup>Мещерский филиал ФГБНУ «ФНЦ ВНИИГиМ имени А. И. Костякова», г. Рязань, Россия

<sup>2</sup>ООО «Мещерский научно-технический центр», г. Рязань, Россия

<sup>3</sup>Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Беларусь

### Аннотация

Приведено описание пруда-накопителя животноводческих стоков для утилизации на полях орошения за счет предварительного аккумуляирования, основанного на технологии почвенной очистки в процессе внесения стоков и в качестве удобрительного орошения. Это позволит включить в биологический круговорот биогенные элементы стоков и снизить экологическое состояние окружающей среды вокруг крупных животноводческих комплексов. Однако для реализации данной технологии требуется строительство дренажной сети.

**Ключевые слова:** животноводческие стоки, пруд-накопитель, орошение, увлажнение, регулирование водного режима, плодородие почвы.

### Abstract

**Yu. A. Mazhayskiy, M. I. Golubenko, S. M. Kurchevskiy, A. V. Strelukhin**

### ENSURING ENVIRONMENTAL SAFETY OF LIVESTOCK WASTE WATER STORAGE PONDS WITH FERTILIZER IRRIGATION

The article describes a pond-storage for livestock stocks for utilization in irrigation fields due to preliminary accumulation, based on the stock technology of soil cleaning in the process of additional irrigation and as fertilizing irrigation. This will allow to include biogenic elements in the biological cycle and worsen the ecological state of the environment around large livestock complexes. However, the implementation of this technology requires the construction of a drainage network.

**Keywords:** livestock wastewater, storage pond, irrigation, humidification, water regime regulation, soil fertility.

### Введение

Навозные стоки животноводческих комплексов являются экологически опасными отходами. В связи с этим животноводческие стоки (например, свиноводческие) вначале необходимо подвергать биологической очистке на промышленных очистных сооружениях (аэротенках), а после, в естественных условиях, – на ирригационных полях утилизации (ИПУ), что представляет собой сложный химико-биологический процесс.

Загрязнение жидкими органическими удобрениями полей утилизации (удобрительное орошение) и нагрузка на их состав в прудах-накопителях негативно сказываются на экологической безопасности свинокомплекса ЗАО «Владимирское», где проходило исследование.

Следует отметить, что экологическая безопасность также связана с технологией дождевания и использованием закрытого дренажа,

поэтому изучение воздействия свиноводческих стоков на окружающую среду – весьма актуальная задача. Сброс сточных вод в водные объекты загрязняет их, а в ряде случаев

### Основная часть

Объектом исследований являются пруды-накопители свиноводческих стоков.

Метод исследования – анализ способов эксплуатации прудов-накопителей животноводческих стоков и их экологической безопасности.

Подготовка жидкой фракции навоза (стоков) для орошения проводится на очистных сооружениях свинокомплекса.

Нагрузка на поля фильтрации зависит от многих факторов: климатических условий региона, структуры почвы и ее фильтрационной способности, уровня залегания грунтовых вод, характера загрязнения сточных вод и их концентрации. Поэтому основными определяющими показателями загрязнений являются требования к качеству сточной жидкости, направляемой на поля орошения, и допустимая нагрузка на единицу орошаемой площади.

В связи с этим Экспертный центр при Государственном научном центре РФ «НИИ ВОДГЕО» в 2023 г. дал заключение по безопасности прудов-накопителей (№ 6 и 7) сточных вод для свиноводческого комплекса ЗАО «Владимирское» (г. Владимир). На землях комплекса, а именно на площади 1143 га, была запроектирована и построена оросительная система для утилизации навозных стоков до 600 тыс. м<sup>3</sup>/год с применением дождевальной техники ДКН-80 и ДКН-100. Проект разработан в 1981 г. специалистами ПИО ЗАО «Владимирагроводстрой».

Для оценки безопасности гидротехнических сооружений (ГТС) на прудах-накопителях № 6 и 7 использовались исходные материалы и данные натурных наблюдений, а также показатели фактического состояния ГТС и соответствие их нормативным параметрам. Нами было проведено моделирование возможных аварий, предполагающее сценарии развития гидродинамической аварии, анализ опасностей и риска чрезвычайных ситуаций (имеются в виду определение границ возможного зато-

приводит к нарушению процессов самоочищения. Подобная проблематика и пути решения исследователями рассматривались и ранее [1, 2].

пления в случае гидродинамической аварии, оценка безопасности ГТС).

Обследования безопасности эксплуатации прудов-накопителей показали, что объекты № 6 и 7 являются связующим звеном между комплексом очистных сооружений и системой подачи стоков на поля. Они аккумулируют сток не только в зимний, но и в летний период, когда сточные воды одновременно подаются на ИПУ.

Схема расположения гидротехнических сооружений на прудах-накопителях № 6 и 7 состоит из двух прудов, двух водовыпусков, одной накопительной камеры, двух перепускных трубопровода и водоотводящей канавы.

*Технические характеристики прудов-накопителей следующие:* полный объем двух прудов – 600 тыс. м<sup>3</sup>; площадь зеркала при нормальном подпорном уровне (далее – НПУ) каждого сооружения – 9,52 га; средняя длина при НПУ – 494,5 м; средняя ширина при НПУ – 192,5 м.

*Дамбы прудов-накопителей:* конструкция – земляная, насыпная, однородная, с экраном из полиэтиленовой пленки толщиной 0,2 мм; длина по гребню насыпной дамбы – 230 м; ширина по гребню насыпной дамбы – 6 м; максимальная высота дамбы – 4,5 м; заложение откосов дамбы – 3,0; крепление откосов – железобетонные плиты толщиной 0,1 м; отводящая труба пруда-накопителя диаметром – 820 мм (стальная), с задвижкой диаметром 800 мм.

*Защита пруда-накопителя от перенаполнения* с выпавшим осадком ила представляет собой одну из разновидностей метода решения более общей задачи – поддержание горизонта стоков в прудах-накопителях при заданной отметке в течение всего года, удлинение срока службы и осуществление санитарных попусков расходов в сторону перекачивающей насосной станции.

Пруды-накопители № 6 и 7 расположены на слаборасчлененной плоской флювиогляци-

альной равнине поздней стадии московского оледенения с остатками моренного рельефа (Нерльско-Клязменная низина). На поверхности залегают четвертичные отложения мощностью до 20 м (пески, супеси), подстилаемые пермскими глинами. В песках развит верхне-четвертичный водоносный горизонт; глубина залегания грунтовых вод – от 1,5 до 3,0 м.

Пруды располагаются на водоразделе, однако часть примыкает к истоку р. Денисовка. В случае аварии сточные воды попадут в реку, а затем в торфяное болото Лаптевское площадью 502 га (оно разработано в 1936 г.; с 2003 г. торф на нем не добывается). Из болота вода вытекает на север р. Суйма. Данное болото является буфером безопасности в ходе эксплуатации прудов-накопителей: оно может предотвращать от затопления близлежащие объекты свиноводческого комплекса, задерживать сточные воды в случае возникновения непредвиденных опасных ситуаций.

Для наблюдения за качеством грунтовых вод были предусмотрены наблюдательные скважины.

Пруды-накопители сточных вод запроектированы из расчета на 108 тыс. голов сви-

### Материалы исследования

Стоки заполняют сначала пруд № 6, затем через перепускную трубу – пруд № 7. На дне каждого пруда на момент проведения обследования (2003 г.) находилось отложение ила (100 тыс. м<sup>3</sup>). На этом основании было установлено: общая емкость прудов-накопителей уменьшилась на 150 тыс. м<sup>3</sup>, что создало дополнительное напряжение при эксплуатации.

Животноводческие стоки по железобетонному трубопроводу диаметром 800 мм поступали в накопительный пруд, далее подачу осуществляли забором насосной станции на поля удобрительного орошения. Орошаемые поля в основном состояли из многолетних трав площадью 1140 га; на них включались

### Основная часть

Владимирская область Российской Федерации относится к зоне умеренного, но неустойчивого увлажнения. Выпадение осадков за вегетационный период в среднем составляет 304 мм, что вполне достаточно для выращивания сельскохозяйственных культур. При

ней, они являются связующим звеном между очистными сооружениями комплекса и системой подачи стоков на поля орошения для их доочистки. Накопление стоков в этих прудах начинается в осенне-зимний период, когда прекращается орошение полей стоками. Концентрация аммиака в них достигает 498 мг/л (наполнение одного пруда – 300 тыс. м<sup>3</sup>). Степень риска надежности прудов-накопителей  $R_a = 0,206$ .

Функционирование таких прудов-накопителей обусловлено климатическими условиями и необходимостью длительного выдерживания в них сточных вод. После их опорожнения в летне-осенний период и накануне нового заполнения на зиму проводится общий осмотр сооружений, дамб, оценивается состояние временно неработающего сооружения (при его наличии); водовыпускные трубы очищаются от посторонних предметов, препятствующих свободному пропуску стоков, и т. д. Данное правило обязательно для персонала, занимающегося эксплуатацией сооружений прудов-накопителей и обеспечивающего выполнение задач по технической безопасности подобных сооружений.

дождевальными машинами ДКН-80 и ДКН-100. Протяженность трассы распределительных трубопроводов – 51 км.

Анализ подготовленной фракции стоков на орошение и норм внесения проводился по наличию калия 800 м<sup>3</sup>/га для заданной расчетной площади. Соотношение азота, фосфора и калия при годовой норме внесения составило: азот – 76,6 кг/га; фосфор – 57,5 кг/га; калий – 159,9 кг/га. С урожаем многолетних трав выносятся 160 кг/га азота; 80 кг/га фосфора; 160 кг/га калия.

Оросительная норма и площадь орошения жидкими стоками рассчитываются по выносу питательных элементов из урожая.

этом на полях орошения имеется закрытый дренаж.

С учетом требования об обязательной утилизации подготовленной жидкой фракции стоков первый полив осуществляется в апреле перед вегетацией многолетних трав, а послед-

ний (с целью опорожнения прудов-накопителей на зимний период) – в сентябре. Удобрительное орошение проводят с оросительной нормой 600 м<sup>3</sup>/га в 3 полива (по 200 м<sup>3</sup>/га). При широком применении дождевания для орошения стоками сельскохозяйственных культур необходимо принимать во внимание специфику этого вида орошения, используя его в балансе с природными условиями орошаемых участков.

При поливе дождевальной техникой (параметры которой должны соответствовать почвенным условиям орошаемых участков) возникают ирригационная эрозия, лужи, поверхностный сток. Эти факторы негативно влияют на физические свойства почв, снижают их плодородие и урожайность сельскохозяйственных культур.

Установлено, что качественный состав вод в прудах-накопителях оказывает существенное влияние на дренажно-сбросные воды ИПУ. В связи с этим необходимо предпринять ряд мер для достижения таких характеристик мелиоративного объекта, которые бы удовлетворяли требованиям, нормам и правилам рациональной охраны окружающей среды.

Сточные воды попадают на ИПУ в соответствии с разработанным графиком полива из регулирующих прудов-накопителей и распределяются с помощью отрегулированных поливных трубопроводов в поливной сети, подключенных через гидранты-стояки к дождевальным машинам. Жидкие стоки содержат около 30 газовых соединений, принадлежащих к группе аминов, амидов, спиртов, дисульфидов, меркаптанов, помимо классических газов CH<sub>4</sub>, NH<sub>3</sub>, H<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>. Газы определяют запах навоза и оказывают физическое воздействие на человека, а также на животных.

По данным сертификата соответствия и результатам проверки на соответствие требованиям СанПиН 2.3.2.560-96, на свинокомплексе для определения экологически безопасной площади утилизации в прудах-накопителях жидкая фракция может содержать по показателям предельно допустимой концентрации: водородный показатель (рН) – 6,6–8,5 мг/л; азот аммонийный – 0,39 мг/л; азот нитратов – 9,1 мг/л; азот нитритов – 0,02 мг/л; сухой остаток – 100 мг/л; сульфиды – 100 мг/л; хлориды – 300 мг/л; фосфор – 0,2 мг/л.

Таким образом, указанная техническая задача и технический результат обеспечивают необходимость повышения гумусообразования и плодородия почвы.

Анализ работы прудов-накопителей и мероприятия по снижению техногенной нагрузки на ИПУ позволили создать ряд новых технических решений на уровне патентов [3–13].

Принципиальная схема конструкции прудов-накопителей подробно описана исследователями [3, 12]. Глубина прудов не превышает 4 м; объем заранее рассчитывают по проекту от количества животных на комплексе. Стоки, поступающие в зимний период в пруд-накопитель, заполняют его, и их хранение производится при помощи подачи теплого воздуха, что позволяет в этот период интенсивно насыщать воздух кислородом, активно воздействующим на жизнедеятельность микроорганизмов для разложения ила, поступающего со сточной водой. Благодаря этому пруд-накопитель круглосуточно подвергается процессу аэрации в районе подачи. Затем он эксплуатируется на полях орошения в летний период, что сохраняет устойчивость экологической обстановки и безопасность сооружения, независимо от климатических и других условий его использования, с последующим применением органических удобрений при поливе на животноводческих комплексах.

В результате хранения стоков (в основном в течение 7–8 месяцев в холодный период времени, когда отсутствует поливной сезон) процесс аэрации пруда достигает наиболее высокого качества перед началом поливного сезона. Кроме того, по акватории пруда известными методами ведется наблюдение за его состоянием. Поэтому предпочтение отдается изменению аэрационных свойств путем подачи сжатого теплого воздуха в толщу заполняемого стоками пруда.

Схемы реализации способа промывки пруда-накопителя показаны на рис. 1 и 2.

Ил, накопленный в зимний период эксплуатации пруда-накопителя 8 (рис. 1), приводится во взвешенное состояние с использованием компрессора 19 (рис. 2), подающего сжатый воздух воздухомagnetательными устройствами 14 и 15 через перфорированные отверстия трубопроводов 16, уложенных на дно пруда-накопителя 8.

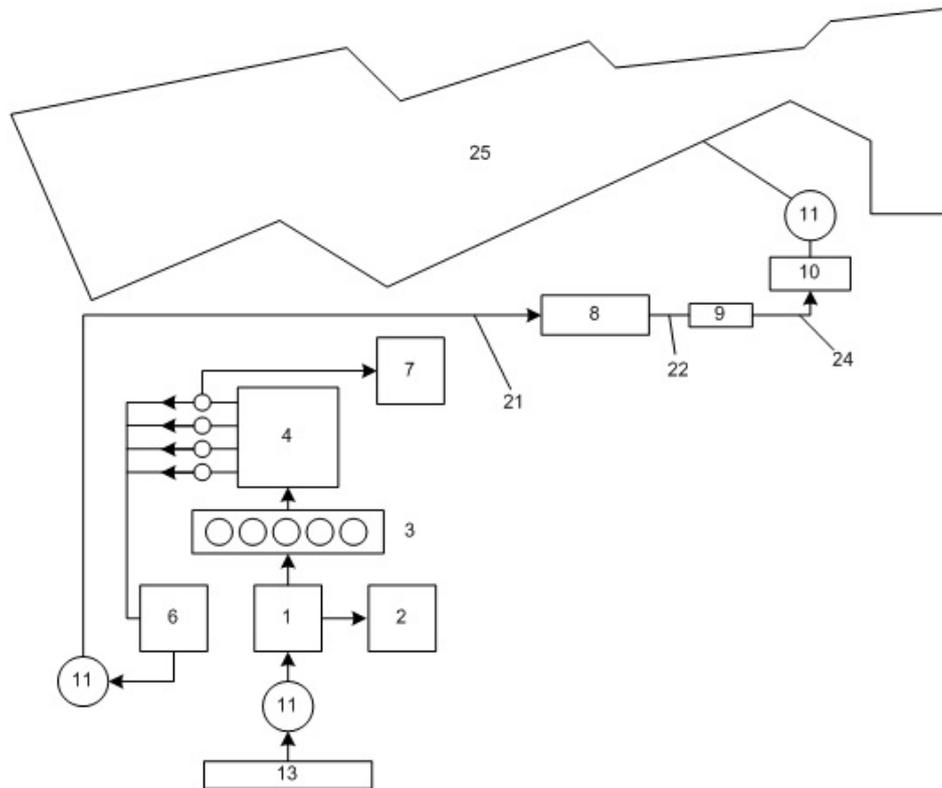


Рис. 1. Ситуационная схема промывки пруда-напителя свиноводческого комплекса:  
 1 – цех отделения твердой фракции; 2 – бетонированная площадка хранения твердой фракции;  
 3 – вертикальные отстойники; 4 – аэротенк; 5 – вторичный отстойник; 6 – карантинная емкость;  
 7 – иловые карты; 8 – пруды-напители стоков; 9 – водоприемник стоков; 10 – стокоприемная камера;  
 11 – насосная станция; 12 – ограждающая дамба; 13 – животноводческий комплекс; 21 – трубопровод  
 подачи стоков; 22 – водозаборный трубопровод; 23 – задвижка; 24 – самотечный трубопровод;  
 25 – поля утилизации

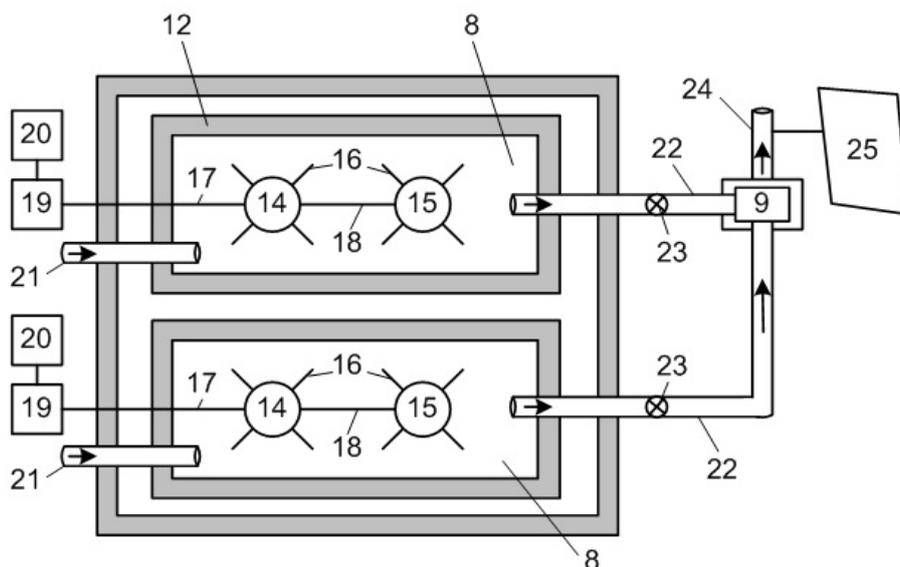


Рис. 2. Схема промывки пруда-напителя с устройствами на орошаемом поле [3]:  
 8 – пруды-напители стоков; 9 – водоприемник стоков; 12 – ограждающая дамба; 14, 15 –  
 воздуходувные устройства; 16 – перфорированный трубопровод; 17, 18 – подводящие  
 трубопроводы; 19 – компрессор; 20 – реле времени; 21 – трубопровод подачи стоков; 22 – водоза-  
 борный трубопровод; 23 – задвижка; 24 – самотечный трубопровод; 25 – поля утилизации

Благодаря этому отложения ила размываются и приходят во взвешенное состояние по всей площади объема стоков пруда-накопителя 8. В результате забора стоков в отводящий водозаборный трубопровод 22 ил интенсивно перемещается в него, далее – в водоприемник 9. Необходимая скорость воздушного потока для взмучивания накопленного ила по поперечному сечению пруда-накопителя 8 захватывает область всего поступившего жидкого навоза, приводит его в поступательное движение в отводящем водозаборном трубопроводе 22. Это связано с тем, что существует перепад отметок дна данного трубопровода и дна самотечного трубопровода 25, соединенного по длине в конце со стокоприемной камерой 10, таким образом образуя наполнение камеры 10 жидким навозом перед перекачивающей насосной станцией 11. Далее идет поступление навоза на ИПУ 25 к дождевальным машинам (на рисунках не показано).

Формирование, разработка и транспортировка такого стока (потока) с илом осуществляются активно по всей длине и ширине пруда-накопителя 8, что сокращает время работы пруда-накопителя 8 в период вегетации ИПУ 25, освобождению и подготовке пруда-накопителя 8 к зимнему периоду эксплуатации в режиме его наполнения животноводческими стоками [3]. В результате сохраняется устойчивость экологической обстановки и безопасность сооружения.

Известен также иной вариант выполнения промывки прудов-накопителей с применением плавучей платформы [3]. В данном случае участок акватории разбивают по полосам. Шланг укладывается и перемещается в процессе работы плавучей платформы. Таким образом, при размыве осадка ила в пруду про-

изводятся периодические промеры с целью определения размера осадка ила в данной зоне (конструкция устройства описана в [3]). Разрыхление и взмучивание осадка ила осуществляется струей воздуха через перфорированные отверстия насадка, соединенного с металлическим стволом путем подсоединения его к напорному шланговому воздуховоду. Давление воздуха может создаваться в пределах 0,3–0,5 МПа (то есть 3–5 кг/см<sup>2</sup>).

Такой вариант выполнения может быть использован в том случае, если пруд-накопитель уже построен и эксплуатируется без учета особенностей подготовки жидкой фракции навоза на основном комплексе, что не было учтено при проектировании.

Применение прудов-накопителей животноводческих стоков и вышеописанных схем промывки позволит упростить забор стоков, независимо от горизонтов в пруду-накопителе и его загрязнения (наличия осадочного ила). В данном случае ил периодически взмучивается, и его можно утилизировать на удобрильных полях орошения с применением дождевальных машин. Это будет препятствовать завалу илом пруда-накопителя.

Таким образом, новые технические решения, защищенные патентами, обеспечивают реализацию основных направлений: надежность и долговечность работы прудов-накопителей животноводческих стоков в естественных условиях для их биологической очистки, бесперебойную работу дождевальной техники на подготовленных земледельческих полях орошения с целью выращивания безопасных сельскохозяйственных культур, а также эффективность функционирования комплекса сооружений для утилизации сточных вод.

### Заключение

Состав вод в прудах-накопителях для снижения негативного воздействия на удобрильные поля орошения должен соответствовать требованиям нормам технологического проектирования систем удаления свиноводческих стоков и подготовки к их использованию.

В результате исследований выявлено, что для почвенной доочистки жидкой фракции стоков требуется подготовить удобрильные поля орошения. Для предупреждения загряз-

нения подземных вод и улучшения водно-воздушного режима почв строится закрытый дренаж. Весь дренажный сток сначала отводится в открытые коллекторы, далее он аккумулируется в специально построенные пруды-накопители дренажных вод обслуживаемого поля.

Сброс дренажных вод производят весной, во время паводка и интенсивного таяния снега, что контролируется органами, ответственными за экологическую обстановку. В небла-

гоприятные маловодные годы или в летний период дренажные стоки могут быть поданы повторно на увлажнительные поливы для выращивания многолетних трав и других сельскохозяйственных культур. Так соблюдаются экологические требования к качеству воды, сбрасываемой через дренажные коллекторы и водотоки. Описанные процессы почвообразования ведут к соблюдению научно обоснованных норм внесения на поля

илового остатка и жидкой фракции, что согласуется с выводами ранее проведенных исследований.

Разработанные новые технические решения, защищенные патентами, обеспечивают реализацию основных направлений исследований, связанных с вопросами экологической безопасности прудов-накопителей животноводческих стоков и их эксплуатации при удобрительном орошении.

### Библиографический список

1. Агроэкология техногенно загрязненных агроландшафтов / Ю. А. Мажайский [и др.]. – Смоленск : Маджента, 2003. – 382 с.
2. Использование бесподстилочного навоза на мелиорированных агроландшафтах Нечерноземья / В. И. Желязко [и др.]. – Рязань : Мещерский ф-л Всеросс. НИИ гидротехники и мелиорации им. А. Н. Костякова, 2006. – 304 с.
3. Патент RU № 2552358, МПК E02B 8/02(2006.01), E02B 11/00(2006.01), C02F 1/74(2006.01), C02F 3/02E 02 B 9/04. Способ промывки пруда-накопителя животноводческих стоков (варианты) : № 2 552 358(13)C1 : заявлено 14.01.2014 : опубл. 10.06.2015 / Голубенко М. И. – URL: <https://patents.google.com/patent/RU2552358C1/ru> (дата обращения: 17.08.2020).
4. Патент RU № 2555813, A 01 G 25/00, E 02 B 8/02. Биологический стабилизационный пруд-накопитель (варианты) : № 2 555 813(13)C1 : заявлено 17.03.2014 : опубл. 10.07.2015 / Голубенко М. И. – URL: <https://patentdb.ru/patent/2555813> (дата обращения: 10.02.2024).
5. Патент RU № 2542246, МПК B08B9/027, A01G25/02. Способ защиты поливного трубопровода от заиления при внесении жидких удобрений на оросительной системе : № 2013150731/05 : заявлено 15.11.2013 : опубл. 20.02.2015 / Голубенко М. И. – URL: <https://patentdb.ru/patent/2542246> (дата обращения: 11.05.2023).
6. Патент RU № 2547406, МПК E02B11/00, E03F9/00. Дренажная система : № 2013159309/13 : заявлено 30.12.2013 : опубл. 10.04.2015 / Голубенко М. И. – URL: <https://patentdb.ru/patent/2547406> (дата обращения: 12.06.2024).
7. Патент RU № 2496306, МПК A01G25/16. Устройство для регулирования внесения жидких удобрений на оросительной системе : № 2012106052/13 : заявлено 20.02.2012 : опубл. 27.10.2013 / Голубенко В. М., Голубенко М. И., Биленко В. А. – URL: [https://i.moscow/patents/ru2496306c1\\_20131027](https://i.moscow/patents/ru2496306c1_20131027) (дата обращения: 12.06.2024).
8. Патент RU № 2556893, МПК A01G25/00, A01C21/00, A01C23/04, A01B 79/02, C05F 7/00. Способ полива при вспашке на дерново-подзолистых супесчаных почвах Центрального Нечерноземья : № 2014133327/13 ; заявлено 12.08.2014 : опубл. 20.07.2015 / Голубенко М. И. – URL: [https://yandex.ru/patents/doc/RU2556893C1\\_20150720](https://yandex.ru/patents/doc/RU2556893C1_20150720) (дата обращения: 12.06.2024).
9. Патент RU № 2637654, МПК E02B11/00, B09C1/00, A01B79/02. Способ контроля за состоянием грунтовых вод при поливе животноводческими стоками : № 2 637 654(13) C1 ; заявлено 20.03.2017 : опубл. 06.12.2017 / Голубенко М. И. – URL: <https://patenton.ru/patent/RU2637654C1> (дата обращения 14.09.2024).
10. Патент RU № 2622244, МПК E02B11/00. Способ контроля работы закрытой осушительно-увлажнительной системы с использованием животноводческих стоков : № 2016108385 ; заявлено 09.03.2016 : опубл. 13.06.2017 / Голубенко М. И. – URL: <https://patentdb.ru/patent/2622244> (дата обращения 14.09.2024).
11. Патент RU № 2608218, МПК E03F5/00. Устройство для выпуска и аэрации очищенных животноводческих стоков в стокоприемную камеру: № 2016101976 ; заявлено 21.01.2016 :

опубл. 17.01.2017 / Голубенко М. И. – URL: <https://patenton.ru/patent/RU2608218C1> (дата обращения 14.09.2024).

12. Патент RU № 2621751, МПК C02F3/20, C02F103/20, C02F1/74, B01F3/04. Способ аэрации животноводческих стоков пруда-накопителя : № 2016101976 ; заявлено 10.06.2016 : опубл. 06.07.2017 / Голубенко М. И. – URL: <https://patenton.ru/patent/RU2621751C1> (дата обращения 14.09.2024)

13. Патент RU № 2609382. Устройство для выпуска очищенных животноводческих стоков в русловые водотоки : № 2016100969 ; заявлено 13.01.2016 : опубл. 01.02.2017 / Голубенко М. И. – URL: <https://patenton.ru/patent/RU2609382C1> (дата обращения 18.07.2024).

Поступила 11 февраля 2025 г.

## АНАЛИЗ ОБЪЕМОВ ОСАДКОВ СТОЧНЫХ ВОД, ОБРАЗУЮЩИХСЯ В РЕЗУЛЬТАТЕ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

*И. И. Полоз, кандидат сельскохозяйственных наук*

*А. И. Чухольский, научный сотрудник*

*С. Н. Рожко, научный сотрудник*

*Институт жилищно-коммунального хозяйства НАН Беларуси,  
г. Минск, Беларусь*

### Аннотация

Представлен анализ объемов осадков сточных вод, образующихся в результате деятельности основных отраслей промышленности Республики Беларусь. Рассмотрены ключевые источники загрязнения. Установлено, что основную массу образующихся осадков составляют осадки производственных сточных вод предприятий пищевой промышленности: от общего объема осадков в 2019 и 2020 гг. это составило 50,0 и 70,7 % соответственно. Наименьший объем осадков приходится на горнодобывающую промышленность – 2,2 т (или 0,003 %).

**Ключевые слова:** *сточные воды, осадок сточных вод, промышленность, объемы образования, экологический мониторинг, производственные отходы, статистический анализ.*

### Abstract

*I. I. Poloz, A. I. Chukhol'skiy, S. N. Rozhko*

### ANALYSIS OF SEWAGE SLUDGE VOLUMES RESULTING FROM THE ACTIVITIES OF INDUSTRIAL ENTERPRISES OF THE REPUBLIC OF BELARUS

An analysis of the volumes of sewage sludge generated as a result of the activities of the main industries of the Republic of Belarus presents. Key sources of pollution are considered. It was established that the bulk of the sludge generated in the republic is sludge from industrial wastewater of food industry enterprises, which amounted to 50.0 and 70.7% of the total sludge volume in 2019 and 2020, respectively. The smallest volume of sludge comes from the mining industry, 2.2 tons, which is 0.003%.

**Keywords:** *sewage, sewage sludge, industry, generation volumes, environmental monitoring, industrial waste, statistical analysis.*

### Введение

Охрана окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов приобретает в наши дни все большее значение. Увеличение количества образующихся отходов, в том числе и осадков сточных вод (далее – ОСВ), их безопасное размещение в окружающей среде является актуальной задачей как для коммунальных систем очистки сточных вод (далее – СВ), так и для производственных и перерабатывающих предприятий различных форм собственности. Образование ОСВ связано с различными процессами, происходящими в производстве, и может оказывать негативное воздействие на окружающую среду и здоровье населения.

За период с 2016 по 2019 гг. объем воды, использованной промышленными предприятиями Беларуси, составил от 190 до 196 миллионов кубических метров [1], что свидетельствует о необходимости повышения эффективности

процессов обработки СВ, так как их очистка и утилизация представляют собой ключевые элементы управления водными ресурсами.

Одним из основных видов отходов, возникающих в процессе очистки СВ, являются осадки. ОСВ очистных сооружений принадлежит к числу крупнотоннажных и ежедневных отходов городских населенных пунктов. Под ОСВ следует понимать твердую фракцию СВ, состоящую из органических и минеральных веществ, выделенных в процессе очистки СВ методом отстаивания (сырой осадок), и комплекса микроорганизмов, участвовавших в процессе биологической очистки СВ и выведенных из технологического процесса (избыточный активный ил) [2]. Годовой объем образования ОСВ в Беларуси превышает 2 млн тонн [3]. Весь этот объем (95–96 %) практически не вовлекается в хозяйственный оборот, накапливаясь на площадках очистных

сооружений или специально отведенных территориях [4]. В настоящее время наблюдается критическая ситуация: большинство иловых площадок переполнены, и дальнейшее расширение площадей под складирование ОСВ практически невозможно [5]. По состоянию на конец 2023 г. накоплено не менее 13,7 млн тонн влажных ОСВ, что делает экологический мониторинг объемов образования, а также разработку и внедрение эффективных и экологически безопасных технологий их переработки особенно актуальной задачей [6].

Накапливаясь в больших объемах на иловых картах, осадки формируют крупные очаги загрязнения прилегающих территорий, явля-

### Материалы и методы исследований

Объем образования ОСВ определяли по данным от основных отраслей промышленности Республики Беларусь за 2019 и 2020 гг. Государственная статистическая отчетность (форма отчетности 1-отходы (Минприроды) «Отчет об обращении с отходами производства») за 2019–2020 гг. использована в качестве первичного источника данных, полученных из официального архива Республиканского научно-исследовательского унитарного предприятия Бел НИЦ «Экология». Обработка ма-

### Основная часть

В Беларуси учет ОСВ ведется на уровне субъектов хозяйствования, на уровне территориальных образований и республики в целом. На основании Общегосударственного классификатора Республики Беларусь 021-2019 (далее – ОКРБ) организован учет образующихся отходов, проводится инвентаризация отходов производства, разрабатываются инструкции по обращению с отходами, выдаются разрешения на хранение и захоронение отходов производства, а также составляется государственная статистическая отчетность в области обращения с отходами [7].

При организации учета ОСВ на предприятиях как одного из видов отходов в соответствии с действующим ОКРБ 021-2019 необходимо руководствоваться положениями Технического кодекса установившейся практики 17.02-12-2014 «Охрана окружающей среды и природопользование. Порядок ведения учета в области охраны окружающей среды

ясь стабильными источниками органических, минеральных и биологических загрязнений всех компонентов биосферы, включая поверхностные и подземные воды [4]. Различные виды загрязнителей (химические элементы и их соединения, микробные агенты) оказывают воздействие на водную биоту и трансформируют сообщества гидробионтов.

Объемы образования ОСВ от основных отраслей промышленности Республики Беларусь требуют тщательного анализа и мониторинга. Поэтому целью данного исследования является определение объема образования ОСВ от основных отраслей промышленности нашей страны.

Материалов проводилась с использованием программного обеспечения *Microsoft Excel 2019*.

Расчет доли каждой отрасли промышленности в общем объеме образования ОСВ для каждого года определяли по формуле (1):

$$W_i = (V_i / \Sigma V) \cdot 100\%, \quad (1)$$

где  $W_i$  – доля  $i$ -й отрасли в общем объеме образования ОСВ;

$V_i$  – объем ОСВ, образуемый в  $i$ -й отрасли;

$\Sigma V$  – суммарный объем образования ОСВ по всем рассмотренным отраслям.

и заполнения форм учетной документации в области охраны окружающей среды» (далее – ТКП 17.02-12-2014) [8].

На основании информации, которая заносится в журналы учета соответствующих предприятий по формам ПОД-9, ПОД-10 ТКП 17.02-12-2014, представляется форма государственной статистической отчетности 1-отходы (Минприроды) «Отчет об обращении с отходами производства», утвержденной Постановлением № 103 Национального статистического комитета Республики Беларусь от 10 октября 2018 г.

Для анализа количества образующихся и накопленных ОСВ руководствуются данными, поданными собственниками, эксплуатирующими очистные сооружения СВ, и отраженными в вышеназванной государственной статистической отчетности.

Госстатотчетность 1-отходы представляют юридические лица, обособленные подразде-

ления юридических лиц, имеющие отдельный баланс, осуществляющие деятельность, связанную с обращением с отходами производства (кроме юридических лиц, обособленных подразделений юридических лиц, имеющих отдельный баланс, у которых образуются только отходы производства, подобные отходам жизнедеятельности населения, незагрязненные отходы бумаги и картона от канцелярской деятельности и делопроизводства, отходы упаковочных бумаги, картона, гофрокартона, отработанные люминесцентные трубки и ртутные лампы – при общем объеме таких отходов 50 и менее т в год).

В отчете отражаются объемы отходов, образующихся как в собственном производстве, так и отходов, полученных от других организаций в соответствии с ОКРБ 021-2019.

Юридические лица, обособленные подразделения юридических лиц, имеющие отдельный баланс, составляют отчет, включая данные по входящим в их структуру подразделениям, не имеющим отдельного баланса, расположенным на одной с ними территории (в районах, городах областного подчинения, Минске).

Юридические лица, обособленные подразделения юридических лиц, имеющие отдельный баланс, в структуре которых имеются подразделения, не имеющие отдельного баланса, расположенные на других территориях (в районах, областных городах и столице Беларуси), составляют отдельный отчет по всем структурным подразделениям, не имеющим отдельного баланса, находящимся в пределах одной территории, при этом в реквизите «Сведения о респонденте» по строке «Территория нахождения структурного подразделения» указывается фактическое место нахождения данных подразделений (район, город областного подчинения, г. Минск).

Анализ информации, представленной РУП «Бел НИЦ «Экология», охватывает основные отрасли, такие как пищевая промышленность, легкая промышленность, нефтехимическая промышленность, горнодобывающая промышленность, деревообрабатывающая и прочие (машиностроение, производство строительных материалов и медицина).

На сегодняшний день Беларусь является одним из ведущих мировых экспортеров *про-*

*довольствия*; она занимает самые высокие места по поставкам отдельных его видов: в частности, в 2019 г. – четвертое место в мире по экспорту сухого обезжиренного молока, седьмое место – по экспорту масла животного, девятое место – по экспорту сухого цельного молока, десятое место – по экспорту сыров и творога. За 2020 г. экспорт сельскохозяйственной продукции и продуктов питания составил 5,8 млрд долл. США, а доля этой продукции в общем объеме экспорта Беларуси составила 19,9 %. В настоящее время производственные предприятия пищевой промышленности выпускают мясную и молочную продукцию, шоколад, детское питание, сахар, соки, алкоголь, солод [9]. Основные загрязняющие вещества от данной промышленности включают органические соединения, жиры и белки.

*Нефтехимическая промышленность* на территории нашей страны представлена производственной деятельностью по изготовлению кокса, продуктов нефтепереработки, химических продуктов, производству резиновых и пластмассовых изделий, которую осуществляет ряд предприятий, объединенных в концерн «Белнефтехим». Организации, входящие в его состав, формируют около 20 % промышленной продукции Беларуси, производят более 500 видов нефтехимической и химической продукции, которая экспортируется почти в 95 стран мира [10]. Основные компоненты осадков включают тяжелые металлы и токсичные органические соединения.

Общая структура *лесопромышленного комплекса* Республики Беларусь представлена следующими отраслями: лесозаготовительная (13,5 % от общего объема выпуска продукции), деревообрабатывающая (69,5 %), целлюлозно-бумажная (16,4 %) и лесохимическая промышленность (0,6 %). Основные районы заготовок древесины расположены в Витебской, Гомельской, Минской и Брестской областях. Так, государственный концерн «Беллесбумпром» объединяет 49 различных предприятий, которые обеспечивают около 70 % переработки древесины и примерно 45 % мебельного производства в стране. Важной частью лесопромышленного комплекса является и фанерное производство. Производство древесностружечных и древесноволокнистых плит сосредоточено на предприятиях, распо-

ложенных в Бобруйске, Витебске, Борисове, Пинске, Мостах, Речице, Ивацевичах [11].

*Отрасль легкой промышленности* Беларуси – это почти 2 тыс. организаций с общей численностью более 82 тыс. сотрудников (по предварительным данным за 2023 г.) [12]. На этих предприятиях образуется не только осадок от биологической очистки производственных сточных вод, но и осадки сетей хозяйственно-фекальной канализации. По уровню потребления населением продукция легкой промышленности занимает третье место после продовольственных товаров и расходов на транспорт.

*Горнодобывающая промышленность* – это вид экономической деятельности в промышленности, который включает добычу полезных ископаемых, встречающихся в природе в виде твердых пород (уголь и руда), в жидком состоянии (нефть) или в газообразном состоянии (природный газ). Добыча полезных ископаемых может осуществляться способами подземной и открытой разработки месторождений, а также путем эксплуатации скважин [13].

При добыче полезных ископаемых лишь около 3 % руд используется как конечный продукт. Остальные 97 % добываемого сырья – отходы и промышленные сбросы, которые хранятся на территории горнодобывающих предприятий в виде отвалов. Они создают экологическую опасность для почв, поверхностных и подземных вод за счет миграции химических элементов.

В связи с осушением месторождений и сбросом дренажных и сточных вод (отходов переработки полезных ископаемых) в поверхностные водоемы и водотоки резко изменяются гидрогеологические и гидрологические условия в районе месторождения, ухудшается качество подземных и поверхностных вод [14].

Основными химическими веществами, входящими в состав подотвальных вод, являются сульфаты, чье высокое содержание снижает эффективность работы очистных сооружений, приводит к регулярно возникающим гипсовым отложениям в оборудовании, а также загрязнению водоемов и почв из-за сложного процесса очистки.

Анализ объемов образования производственных ОСВ от основных отраслей промыш-

ленности Республики Беларусь за 2019 г. показал, что основную массу осадков составляют ОСВ предприятий пищевой промышленности – 44 535,03 тонны, что составляет 58, 0% от общего объема образования осадков (см. рис. 1). Это свидетельствует о значительном объеме сточных вод, генерируемых пищевой промышленностью, и, следовательно, о потенциально высокой антропогенной нагрузке на окружающую среду. Наименьший объем осадков приходится на горнодобывающую промышленность – 2,2 тонны (0,003 % от общего объема). Нефтехимическая и деревообрабатывающая промышленность занимают промежуточное положение, на их долю приходится 21,5 и 20,1 % соответственно. Группа «Прочие отрасли промышленности» (машиностроение, производство строительных материалов и др.) составляет незначительную долю – 0,297 %.

Анализ результатов оценки количества образованных осадков производственных СВ по основным видам промышленности за 2020 г. в Беларуси показал, что их основную массу, как и в 2019 г., составляют осадки производственных СВ предприятий пищевой промышленности – 44 729,82 т, или 70,7 % от общего объема образования осадков за 2020 г. (см. рис. 2).

Наименьший объем осадков, как и в 2019 г., приходится на горнодобывающую промышленность, – 2,2 т (0,003 %). На нефтехимическую и деревообрабатывающую промышленность приходится по 15,8 и 13,1 % соответственно от общего объема образования осадка производственных сточных вод; на прочие отрасли промышленности – 0,107 % ОСВ.

В целом проведенный анализ позволяет сделать вывод о необходимости дальнейшего мониторинга и совершенствования системы управления ОСВ в Республике Беларусь, а также о разработке и реализации программ по снижению объемов и степени загрязнения сточных вод от основных отраслей промышленности.

Для дальнейшего снижения объемов образования ОСВ от основных отраслей промышленности в нашей стране необходимо внедрять современные технологии очистки СВ, стимулировать предприятия к использованию ресурсосберегающих технологий и повышению уровня ответственности за состояние окружающей среды.



Рис. 1. Анализ образования осадков сточных вод по основным отраслям производства в Республике Беларусь (2019 г.), %



Рис. 2. Анализ образования осадков сточных вод по основным отраслям производства в Республике Беларусь (2020 г.), %

### Заключение

Результаты исследования показали, что наиболее значительными источниками загрязнения являются пищевая, нефтехимическая и деревообрабатывающая промышленности, которые вносят основной вклад в образование осадков, содержащих опасные для экологии вещества.

Анализ объемов ОСВ, образующихся в результате деятельности промышленных предприятий Республики Беларусь, показал, что в 2019 и 2020 гг. осадки, образующиеся на предприятиях пищевой промышленности, составили 50,0 и 70,7 % от общего объема осадков

соответственно. В то же время горнодобывающая промышленность внесла наименьший вклад в образование осадков, составив всего 2,2 тонны, что эквивалентно 0,003 % от общего объема как в 2019-м, так и в 2020 году.

Эти данные подчеркивают необходимость разработки эффективных стратегий управления ОСВ, особенно в секторах с высоким уровнем их образования. Поэтому мониторинг и контроль за состоянием СВ и образованием осадков должны стать приоритетными направлениями в области охраны окружающей среды.

## Библиографический список

1. Состояние природной среды Беларуси / Р. В. Михалевич [и др.]; под общ. ред. М. А. Ересько. – Минск : РУП «Бел НИЦ «Экология», 2020. – 101 с.
2. Охрана природы. Почвы. Требования к свойствам осадков сточных вод при использовании их в качестве удобрений : ГОСТ Р 17.4.3.07–2001. – Введ. 23.01.2001. – Москва : Стандартинформ, 2008. – 5 с.
3. Вага, И. И. Утилизация органических отходов в ЖКХ / И. И. Вага // Наука и инновации. – 2022. – № 5 (231). – С. 17–21.
4. Ануфриев, В. Н. Оценка перспектив утилизации осадков сточных вод для получения биотоплива на основе выращивания древесных энергетических культур / В. Н. Ануфриев, О. И. Родько, П. Н. Захарко // Природопользование и экологические риски : материалы науч.-пр. конф., 5 июня 2019 г., г. Минск / Белорус. гос. технолог. ун-т. – Минск, 2019. – С. 84–88.
5. Марцуль, В. Н. Обращение с осадками очистных сооружений канализации в Республике Беларусь / В. Н. Марцуль, И. В. Войтов // Новые технологии рециклинга отходов производства и потребления : материалы докл. Междунар. науч.-техн. конф., 19–21 окт. 2016 г., г. Минск / Белорус. гос. технолог. ун-т ; гл. ред. И. В. Войтов. – Минск, 2016. – С. 5–8.
6. Басалай, Е. Н. Пригодность осадков сточных вод, образующихся в городах Беларуси, для использования в качестве удобрений / Е. Н. Басалай // Охрана окружающей среды – основа безопасности страны : материалы Междунар. науч. эколог. конф., посвящ. 100-летию КубГАУ, 29–31 марта 2022 г., г. Краснодар / Кубан. гос. аграр. ун-т им. И. Т. Трубилина; редкол.: А. Г. Коцаев. – Краснодар, 2022. – С. 19–21.
7. Классификатор отходов, образующихся в Республике Беларусь / М-во природ. ресурсов и охраны окружающей среды Респ. Беларусь. – Минск : Энергопресс, 2019. – 286 с.
8. Охрана окружающей среды и природопользование. Порядок ведения учета в области охраны окружающей среды и заполнения форм учетной документации в области охраны окружающей среды : ТКП 17.02-12-2014 (02120). – Введ. 03.03.2014. – 29 с.
9. Пищевая промышленность. Производство продуктов питания, напитков и табачных изделий [сайт]. – Минск, 2025. – URL: <https://president.gov.by/ru/belarus/economics/osnovnyye-otrasli/promyshlennost/pishhevaya> (дата обращения: 10.01.2025).
10. Нефтехимическая промышленность [сайт]. – Минск, 2025. – URL: <https://president.gov.by/ru/belarus/economics/osnovnyye-otrasli/promyshlennost/neftehimicheskaja> (дата обращения: 10.01.2025).
11. Деревообработка [сайт]. – Минск, 2025. – URL: <https://zavodfoto.livejournal.com/6513790.html> (дата обращения 10.11.2024).
12. Лёгкая промышленность [сайт]. – Минск, 2025. – URL: <https://president.gov.by/ru/belarus/economics/osnovnyye-otrasli/promyshlennost/liogkaya> (дата обращения 10.11.2024).
13. Шавель, А. Н. Горнодобывающая промышленность Беларуси / А. Н. Шавель // География производственных комплексов Республики Беларусь : сб. ст. / БГУ, географ. ф-т ; сост.: А. Н. Шавель. – Минск, 2018. – С. 12–21.
14. Шимова, О. С. Проблемы оценки экологизации производства и потребления / О. С. Шимова // Белорус. эколог. журн. – 2005. – № 1. – С. 21–24.

Поступила 27 февраля 2025 г.

# НАШИ ЮБИЛЯРЫ



---

---

## ГЕННАДИЙ МИХАЙЛОВИЧ ЛЫЧ (к 90-летию)

---

---

*Геннадий Михайлович Лыч родился 25 февраля 1935 г. в деревне Могильное Узденского р-на Минской обл. в семье колхозников.*

*Окончил Могильнянскую среднюю школу, а затем отделение экономики сельского хозяйства Белорусского государственного института народного хозяйства имени В. В. Куйбышева (ныне – Белорусский государственный экономический университет).*

*В 1958–1961 гг. работал младшим научным сотрудником, заведующим отделом на Брестской областной сельскохозяйственной опытной станции Минсельхоза БССР (г. Пружаны).*

*В 1961 г. поступил в аспирантуру Всесоюзного научно-исследовательского института гидротехники и мелиорации имени А. Н. Костякова (г. Москва). В 1964 г. успешно защитил кандидатскую диссертацию, в которой применил качественно новый подход по определению экономической эффективности осушительных мелиораций в зоне неустойчивого и избыточного увлажнения. Эти исследования позволили Г. М. Лычу существенно уточнить оценку экономической эффективности крупномасштабного осушения болот и заболоченных земель, которое проводилось в те годы.*

*С 1964 г. работал заведующим отделом в Белорусском НИИ экономики и организации сельскохозяйственного производства Минсельхоза БССР, а с 1967 г. – заведующим отделом экономики Белорусского НИИ мелиорации и водного хозяйства Минводхоза СССР.*

*Геннадий Михайлович посвятил проблемам эффективности мелиорации следующие 10 лет своей научной деятельности. В 1973 г. защитил докторскую диссертацию на тему «Экономическая эффективность осушительных мелиораций». В 1977–1988 гг. работал заместителем директора по научной работе Белорусского НИИ экономики и организации сельскохозяйственного производства Госагропрома БССР. После аварии на Чернобыльской АЭС принимал активное участие в проведении широкомасштабных научных исследований, которые предусматривали разработку системы мероприятий по преодолению последствий катастрофы. Под его научным руководством и при непосредственном участии были разработаны методы анализа и оценки социально-экономических убытков, причиняемых крупными техногенными авариями народному хозяйству, также выполнены соответствующие расчеты. Результаты исследований Г. М. Лыча по проблеме Чернобыля отражены в двух его монографиях.*

*В 1977 г. Г. М. Лычу было присвоено научное звание профессора, а в 1980 г. – заслуженного деятеля науки Белорусской ССР. Круг научных интересов Геннадия Михайловича неизменно*

расширялся, но главное направление его работы оставалось прежним – экономическая эффективность капитальных вложений в сельское хозяйство, в том числе в мелиорацию земель, совершенствование механизма хозяйствования АПК. Кроме того, Геннадий Михайлович исследовал проблемы экономического суверенитета, межгосударственной экономической интеграции, международных экономических отношений, а также социально-экономические аспекты безопасности и устойчивости экономики Беларуси.

Признание Геннадия Михайловича Лыча как одного из ведущих экономистов-аграрников, специалиста по вопросам повышения экономической эффективности капитальных вложений и основных фондов в сельскохозяйственном производстве, подтвердилось избранием его в 1986 г. членом-корреспондентом АН БССР.

С 1988 г. Г. М. Лыч перешел на работу в систему АН БССР, став заведующим отделом; в 1989 г. он директор Института экономики, с 1992 по 1998 гг. одновременно – академик-секретарь Отделения гуманитарных наук и искусства.

В 1992 г. Геннадий Михайлович был избран академиком АН БССР. С 1999 г. работал главным научным сотрудником Института экономики НАН Беларуси, с 2007 г. – профессором Белорусского государственного аграрного технического университета, где занимался проблемами микроэкономики, в частности, рыночных реформ.

Г. М. Лыч уделял большое внимание подготовке научных кадров. Под его руководством выполнены и успешно защищены 15 кандидатских и 2 докторские диссертации. Он автор ряда научно-популярных книг, посвященных актуальным вопросам общественно-политического, социального и национально-культурного развития. Всего академиком опубликовано более 330 научных работ, в том числе 17 монографий. Наиболее известны его труды: «Экономическая эффективность сельскохозяйственного производства», Минск, 1988; «Чернобыльская катастрофа: социально-экономические проблемы и пути их решения», Минск, 1999 (в соавторстве); «Рыночное формирование экономики Беларуси : Итоги и перспективы», Минск, 2000; «Глобализация и адаптация к ней экономики Беларуси», Минск, 2010.

# • ЧТОБЫ ПОМНИЛИ •



---

## ГРИГОРИЙ ИВАНОВИЧ АФАНАСИК (к 90-летию)

---

*Григорий Иванович Афанасик родился 5 января 1935 г. в д. Иванковичи Барановичского р-на Брестской обл. В 1958 г. окончил Белорусскую сельскохозяйственную академию (гидромелиоративный факультет) и получил специальность инженера-гидротехника.*

*Трудовой путь начал с должности мастера УНР-15 Солигорского треста Минстроя БССР, затем работал старшим инженером Ланьского МУОС Минводхоза БССР.*

*В 1960 г. поступил в аспирантуру БелНИИ мелиорации и водного хозяйства. Окончив аспирантуру в 1963 г., Григорий Иванович прошел путь от младшего, затем старшего научного сотрудника до заведующего лабораторией агрофизики мелиорированных почв (1971), переименованной в 1976 г. в лабораторию моделирования и управления факторами внешней среды, далее – мелиорации торфяных почв (1983), восстановления загрязненных радионуклидами земель (1992), мелиорации и интенсификации земледелия на торфяных почвах (1996).*

*В 1965 г. защитил кандидатскую диссертацию, в 1983 г. стал доктором технических наук, а через 6 лет – профессором. В 1980 г. Григорию Ивановичу было присуждено почетное звание заслуженного мелиоратора Белорусской ССР.*

*В 1992 г. Г. И. Афанасик был избран членом-корреспондентом Академии аграрных наук Республики Беларусь, членом экспертного совета ВАК Беларуси. Опубликовал 168 научных работ, в том числе 3 монографии, 10 методических и нормативных документов; он автор 6 изобретений СССР.*

*Григорий Иванович первым предложил методику расчета оптимальных режимов уровней грунтовых вод и влажности корнеобитаемого слоя почвы для условий гумидной зоны; разработал технологические схемы комплексного управления водно-воздушным, тепловым и пищевым режимами, обеспечивающие получение высоких урожаев при рациональном использовании водных ресурсов и удобрений, а также методы восстановления загрязненных радионуклидами переувлажненных земель и способы снижения загрязненности сельскохозяйственной продукции, получаемой на этих землях.*

*За годы работы в Белорусском НИИ мелиорации и водного хозяйства Григорий Иванович оказывал большую помощь в профессиональном становлении многих специалистов-мелиораторов: подготовил 8 кандидатов наук, был рецензентом и оппонентом многих диссертационных и научных работ. Он являлся членом ученого совета РУП «Институт мелиорации», совета по защите докторских и кандидатских диссертаций при институте.*

*Г. И. Афанасик награжден орденом Дружбы народов, Почетными грамотами Минводхоза СССР, Минводхоза БССР, БелНИИМиВХ, медалями ВДНХ СССР и дипломами ВДНХ БССР.*

*Коллеги всегда помнят Григория Ивановича Афанасика и хранят память о нем как о талантливом исследователе, ответственном руководителе научных проектов, заботливым человеке и прекрасном учителе.*

## 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 14 тыс. печатных знаков, включая пробелы между словами, знаки препинания, цифры и др., но не более 40 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.
12. Электронный вариант следует набирать в *Microsoft Word*, формулы – в формульном редакторе *Office*. Вставку символов выполнять через меню «Вставка\Символ». Выключку вверх и вниз (Н2, Н1) выполнять через меню «Формат\Шрифт\Верхний индекс», «Формат\Шрифт\Нижний индекс». Латинские буквы набираются курсивом. Греческие буквы и другие математические знаки следует брать из гарнитуры *Symbol*. Математические формулы ( $\lim$ ,  $\sum$ ,  $\ln$ ,  $\sin$ ,  $\operatorname{Re}$ ,  $\operatorname{Im}$  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.



