

ISSN 2070-4828

# МЕЛИОРАЦИЯ

Научный журнал

№ 1(87)

Основан в 1951 году  
Выходит 4 раза в год

Январь – март, 2019



Минск, 2019

## **СВИДЕТЕЛЬСТВО № 411**

### **УЧРЕДИТЕЛЬ ЖУРНАЛА:**

Республиканское научное дочернее унитарное предприятие «Институт мелиорации»

### **ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР:**

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

### **РЕДКОЛЛЕГИЯ:**

д-р с.-х. наук, проф. **А. С. Мееровский** (зам. гл. редактора)

д-р техн. наук, проф. **В. Н. Кондратьев**

д-р с.-х. наук, проф. **Ю. А. Мажайский**

д-р техн. наук, проф. **Э. И. Михневич**

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

д-р с.-х. наук **В. И. Желязко**

д-р с.-х. наук **П. Ф. Тиво**

канд. техн. наук **Н. К. Вахонин**

канд. техн. наук **А. С. Анженков**

канд. техн. наук **Э. Н. Шкутов**

*Журнал рецензируется.*

*Журнал включен в перечень научных изданий Республики Беларусь для опубликования результатов диссертационных исследований.*

*Журнал включен в Перечень научных изданий ВАК Российской Федерации для опубликования результатов диссертационных исследований (распоряжение Министерства образования и науки Российской Федерации от 12 февраля 2019 г. № 21-р) по следующим группам научных специальностей:*

*06.01.02 – мелиорация, рекультивация и охрана земель;*

*06.01.06 – луговое хозяйство и лекарственные эфирно-масличные культуры*

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

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

Редакция не несет ответственности за возможные неточности по вине авторов.

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

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

### **Журнал «МЕЛИОРАЦИЯ»**

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

**748562** — для предприятий и организаций

Подписку можно оформить во всех отделениях связи.

Редактор, корректор **М. Ю. Мошкова**

Компьютерная верстка, дизайн **М. Ю. Мошкова**

Перевод **М. Ю. Мошкова**

---

Подписано к печати 27.03.2019 г. Формат 60x84 1/8. Бумага офсетная № 1.  
Гарнитура Arial Narrow. Уч.-изд. л. 6,61. Усл. печ. л. 10,16. Заказ 107. Тираж 100 экз.

Адрес редакции: 220040, г. Минск, ул. Некрасова, 39-2

тел. (017) 331-49-03

E-mail: [info@niimel.basnet.by](mailto:info@niimel.basnet.by) <http://niimel.by>

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

© РУП «Институт мелиорации», 2019

# Содержание Contents

## Мелиорация ● Land improvement



*Н. Н. Погодин, А. С. Анженков, В. А. Болбышко*  
**Очистка линейных гидротехнических сооружений от заиления гидродинамическим способом**  
*N. N. Pogodin, A. S. Anzhenkov, V. A. Bolbyshko*  
**Cleaning of the linear hydro-technical constructions from siltation by the hydrodynamic method**

5



*Г. Г. Круглов, О. В. Немеровец, Д. В. Казмирук*  
**Сопряжение бьефов за трубчатыми водосбросами и водоспусками**  
*G. G. Kruglov, O. V. Nemerovets, D. V. Kazmiruk*  
**Conjugation water steps in pipe spillways and waterways**

12



*В. И. Желязко*  
**Осушение сельскохозяйственных земель с учетом мезоформы рельефа**  
*V. I. Zhelyazko*  
**Agricultural drainage according to the relief mesoform**

17

## Земледелие и растениеводство ● Agriculture and plant growing



*Н. М. Авраменко*  
**Изменение физических свойств осушенной торфяной залежи в процессе ее осадки**  
*N. M. Avramenko*  
**Changes in the physical properties of drained peat deposit in the process of its sedimentation**

24



*Б. В. Шелюто, М. А. Пастухова*  
**Рост и развитие силфий пронзеннолистной в зависимости от почвенных разновидностей в условиях Брестской области**  
*B. V. Shelyuto, M. A. Pastukhova*  
**Growth and development of *Silphium perfoliatum* L. depending on soil type in Brest region**

38



*Н. К. Вахонин*  
**Пространственно-временной анализ изменчивости и зонирование по территории Беларуси агрометеорологических факторов и урожайности сельскохозяйственных культур на основе ГИС и БД**  
*N. K. Vakhonin*  
**Spatio-temporal analysis of variability and zoning across the territory of Belarus of agrometeorological factors and crop yields on the basis of GIS and database**

43

## Орошение ● Irrigation



*Т. Н. Мыслыва, Т. Н. Ткачева*  
**Влияние длительного орошения животноводческими сточными водами на фитотоксичность дерново-подзолистой почвы**

**57**

*T. N. Myslyva, T. N. Tkacheva*  
**Influence of long-term irrigation by livestock wastewater on the phytotoxicity of the sod-podzolic soil**



*П. Ф. Тиво*  
**Загрязнение окружающей среды тяжелыми металлами, содержащимися в животноводческих стоках**

**63**

*P. Ph. Tivo*  
**Environmental pollution by heavy metals contained in livestock manures**



*Е. В. Мелихова*  
**Система поддержки принятия решений при выборе режима орошения сельскохозяйственных культур**

**73**

*E. V. Melikhova*  
**Creation of a system of supporting decision-making in the choice of the regime of agricultural culture irrigation**



*Л. А. Журавлева, В. А. Соловьев*  
**Совершенствование технологических приемов полива дождевальными машинами кругового действия «Каскад»**

**78**

*L. A. Zhuravleva, V. A. Soloviev*  
**The improvement of technological methods of irrigation by sprinkling machines of circular actions "Cascaid"**

## Наши юбиляры ● Our anniversaries

Семененко Николай Николаевич (к 80-летию со дня рождения) **83**

Леуто Иван Эдвардович (к 85-летию со дня рождения) **84**

Желязко Владимир Иосифович (к 70-летию со дня рождения) **85**

## Чтобы помнили ● To be remembered

Руденко Евгения Владимировна (к 90-летию со дня рождения) **86**

Кулаковская Тамара Никандровна (к 100-летию со дня рождения) **87**

# МЕЛИОРАЦИЯ

УДК 631.3:626:862.91

## ОЧИСТКА ЛИНЕЙНЫХ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ ОТ ЗАИЛЕНИЯ ГИДРОДИНАМИЧЕСКИМ СПОСОБОМ

*Н. Н. Погодин, кандидат технических наук, доцент*

*А. С. Анженков, кандидат технических наук*

*В. А. Болбышко, кандидат технических наук*

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

### **Анотация**

Представлены технологии и разработано оборудование для размыва отложений в линейных гидротехнических сооружениях гидродинамическим способом. Проведена апробация и выработаны наиболее эффективные методы работ. Приведены приблизительные нормы времени на выполнение технологических операций с применением разработанного оборудования.

**Ключевые слова:** *размыв отложений, линейные гидротехнические сооружения, очистка, технология, устройство, трудозатраты.*

### **Abstract**

**N. N. Pogodin, A. S. Anzhenkov,  
V. A. Bolbyshko**

### **CLEANING OF THE LINEAR HYDRO-TECHNICAL CONSTRUCTIONS FROM SILTATION BY THE HYDRODYNAMIC METHOD**

Technologies and equipment for scouring silting in linear hydro-technical constructions by the hydrodynamic method are presented. The approbation was carried out and the most effective methods of work were developed. The approximate time norms for performing technological operations using the developed equipment are given.

**Keywords:** *scouring, linear hydro-technical constructions, cleaning, technology, device, labor costs.*

### **Введение**

Эффективность действия мелиоративной системы в основном зависит от нормального функционирования закрытого дренажа и, в частности, пропускной способности водорегулирующих и переездных сооружений на проводящих каналах. Для обеспечения требуемого водного режима на мелиорируемых сельскохозяйственных землях используется обширный комплекс гидротехнических сооружений. На проводящих каналах длиной 156 тыс. км расположено 24,4 тыс. труб-регуляторов и 52,4 тыс. труб-перездов. Очистка от наносов данных сооружений обычно выполняется ручным способом. Она особенно затруднена при наличии воды в канале и диаметре водопропускных сооружений менее 1 м. Разработка гидродинамического способа очистки от наносов данных сооружений во многом повысит

производительность, улучшит условия труда, а также снизит трудоемкость и себестоимость работ.

### **Обсуждение и результаты.**

При наличии воды в каналах существенно снизить трудоемкость работ (10–30 %) при очистке линейных водопропускных сооружений позволяет технология гидродинамической очистки посредством размыва отложений с использованием разработанной в РУП «Институт мелиорации» установки УПК-30 (рис. 1) [1].

Размыв отложений осуществлялся как с применением промывочного рукава из ПВХ, оснащенного головкой прямоточной, так и использованием пожарного рукава диаметром 50 мм и длиной 20 м, оснащенного стволом пожарным при диаметре насадка 13 мм.



Рисунок 1 – Установка промывки устьевой части коллектора УПК-30

Техническая характеристика установки УПК-30 приведена в табл. 1.

Однако применение способа очистки от наносов водопропускных сооружений на базе установки УПК-30, наряду с положительным эффектом, показал также необходимость совершенствования оборудования, а именно: для более эффективной транспортировки пульпы при размыве отложений нужно применять более высокорасходную размывающую струю воды, а также обеспечить возможность управления струей воды, исходящей из насадка, посредством гидромонитора.

Следует также учитывать, что в ряде случаев используемая для размыва отложений вода из канала содержит минеральные включения, в связи с чем мотопомпа должна обеспечивать возможность забора и использования загрязненной воды.

С целью увеличения расходных характеристик оборудования и возможности маневрирования струей воды была разработана установка промывки трубопроводов УПТ-75 (рис. 2).

Установка состоит из двух тележек, на одной из которых установлена мотопомпа МП-90С, выпускаемая Гомельским моторостроительным заводом, а на второй закреплен гидромонитор, соединенный с мотопомпой посредством пожарного рукава.



Рисунок 2 – Установка промывки трубопроводов УПТ-75

Мотопомпа МП-90С предназначена для перекачки загрязненной воды с твердыми включениями до 20 мм, что обеспечивает возможность применения оборудования при высокой мутности и низком уровне воды в канале.

Техническая характеристика мотопомпы МП-90С приведена в табл. 2.

Таблица 1 – Техническая характеристика установки УПК-30

Наименование показателей	Значение
Диаметр коллекторов, мм	75–250
Степень заиления, %	до 100
Промывочный армированный рукав из ПВХ	
– длина, м	30
– внутренний диаметр, мм	35
Заборный резиновый армированный рукав	
– длина, м	8
– внутренний диаметр, мм	50
Головка прямоточная, диаметр, мм	50
Головка промывочная, диаметр, мм	60
Модель мотопомпы	HONDA WB20XT
Производительность максимальная, л/мин (м <sup>3</sup> /ч)	до 600 (36)
Давление, МПа	до 0,3
Высота всасывания, м	8
Мощность, л.с., тах	4
Расход топлива АИ-92, л/ч	1,1
Масса оборудования, кг	80
Обслуживающий персонал, чел.	2

Таблица 2 – Техническая характеристика мотопомпы МП-90С

Наименование показателя	Значение
Производительность максимальная, л/мин (м <sup>3</sup> /ч)	1400 (84)
Высота подъема, м, не менее	28
Высота всасывания, м, не менее	6
Допустимый размер твердых включений, мм	20
Двигатель, модель	ДК-7
Мощность, кВт	6,6
Удельный расход топлива, кг/ч, не более	2,1
Заборный рукав:	
– длина, м	8
– внутренний диаметр, мм	75
Промывочный напорный рукав:	
– длина, м	20
– внутренний диаметр, мм	75
Габаритные размеры, мм, не более:	
– длина	640
– ширина	510
– высота	570
Масса, кг, не более	63
Обслуживающий персонал, чел.	2

Гидромонитор ГМ-1 предназначен для создания мощной компактной струи воды, используемой для размыва отложений, а также для маневрирования направлением создаваемой струи (рис. 3).

Гидромонитор состоит из рамы 1, установленной на колесах 2, дышла 3, опоры 4, площадки 5, на которой размещается оператор гидромонитора. На раме 1 на вертикальной оси закреплена вилка 6, в которой установлен корпус 7 со стволом 8 с возможностью поворота.

На корпусе 7 закреплен рычаг 9, позволяющий отклонять ствол относительно вертикальной и горизонтальной осей на 30 градусов. Для фиксации ствола 8 в необходимом положении предусмотрены зажимы. К стволу присоединяется пожарный рукав 10. В комплект оборудования входит также опора, на которой при необходимости устанавливается корпус 7 со стволом 8.

При работе гидромонитора с установкой УПТ-75 на ствол 8 устанавливается пожарный рукав

диаметром 75 мм, а при использовании установки УПК-30 – пожарный рукав диаметром 50 мм. Применяются стандартные пожарные рукава длиной 20 м.

Основные характеристики гидромонитора ГМ-1 при работе с установкой УПТ-75 и УПК-30 приведены в табл. 3.

При работе установки УПТ-75 с пожарным рукавом диаметром 50 мм на выходной патрубке мотопомпы МП-90С устанавливается головка переходная ГП-80×50-1,6МП.

Сечение струи воды, исходящей из насадка, не одинаково по всей длине. Чем больше расстояние от обреза насадка, тем больше диаметр струи и угол ее конусности, но тем меньше скорость полета, а следовательно, и сила удара струи. Струю воды принято разбивать на три участка: начальную (компактную), раздробленную (с раздробленной сплошностью течения) и распыленную (с незначительными скоростью и давлением) (рис. 4).

Таблица 3 – Основные характеристики гидромонитора ГМ-1

Марка установки	Диаметр, мм			Габаритные размеры, мм			Масса, кг
	входного отверстия	насадка		длина	ширина	высота	
УПК-30	50	13	23	1930	380	580 (1130)	26
УПТ-75	75	19	40				
	50	13	23				

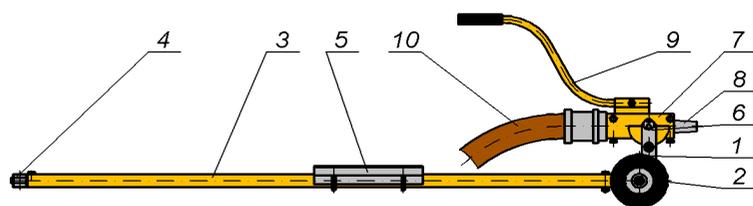


Рисунок 3 – Схема гидромонитора ГМ-1

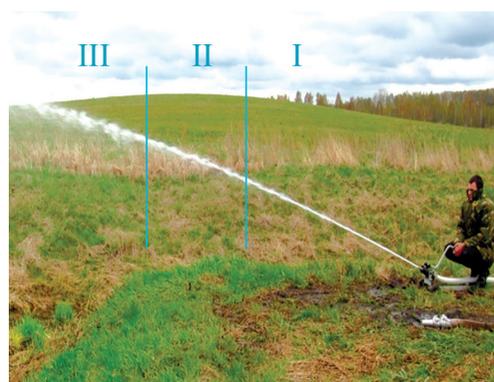


Рисунок 4 – Струя воды, исходящая из насадки гидромонитора ГМ-1

Дальность полета компактного участка струи воды  $L$  (м), обеспечивающей разработку отложений грунта в сооружении, зависит от диаметра насадка, скоростного напора и угла наклона струи к горизонту в начальном сечении [2].

$$L = 0,15\sqrt[3]{\alpha d H^2}, \quad (1)$$

где:  $\alpha$  – угол наклона струи к горизонту, град.;

$d$  – диаметр насадка, мм;

$H$  – скоростной напор в выходном сечении насадка, м.

Скоростной напор  $H$  на выходе из насадка и сила удара струи  $P$  (кг) определяются по формулам:

$$H = \frac{v^2}{2g}; \quad P = \frac{\gamma}{g} w v^2, \quad (2)$$

где:  $v$  – скорость истечения струи, м/с;

$g$  – ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>;

$\gamma$  – объемный вес жидкости, кг/м<sup>3</sup>;

$w$  – площадь сечения струи при выходе из насадка, м<sup>2</sup>.

Установки УПК-30 и УПТ-75 укомплектованы типовыми пожарными стволами с диаметром насадка

соответственно 13 и 19 мм, а также укороченными стволами с диаметром насадка 23 и 40 мм. При работе установки УПТ-75 с пожарным рукавом диаметром 50 мм на выходной патрубке мотопомпы устанавливается типовая головка переходная и применяются пожарные стволы с диаметром насадка 13 или 23 мм.

Основные характеристики установок УПК-30 и УПТ-75 по истечению струи воды из насадка, вычисленные по формулам (2), приведены в табл. 4.

Расход воды, приведенный в данной таблице, получен экспериментальным путем посредством практических замеров.

Сила удара струи, практически измеренная в полевых условиях при испытании установок УПК-30 и УПТ-75, приведена в табл. 5. Сила удара определялась как сила воздействия струи на плоскую поверхность, перпендикулярную ее направлению.

Дальность полета компактного участка струи воды, исходящей из насадка, в зависимости от угла ее наклона к горизонту, определенная по формуле (1), приведена в табл. 6.

Таблица 4 – Основные характеристики установок УПК-30 и УПТ-75 по истечению струи воды из насадка

Марка установки (мотопомпы)	Диаметр насадка, мм	Диаметр пожарного рукава, мм	Расход воды, исходящей из насадка, л/мин	Скорость струи, м/с	Скоростной напор, м	Сила удара струи, кг
УПК-30 (HONDA 20XT)	13	50	163	20,5	21,4	5,7
	23	50	375	15,0	11,5	9,6
УПТ-75 (МП-90С)	19	75	267	15,7	12,6	7,1
	40	75	750	9,9	5,0	12,7
	13	50	164	20,6	21,0	5,7
	23	50	427	17,1	15,0	12,4

Таблица 5 – Сила удара струи воды при работе установок УПК-30 и УПТ-75 в зависимости расстояния от насадки

Марка установки (мотопомпы)	Диаметр насадка, мм	Диаметр пожарного рукава, мм	Расстояние, м	
			5	10
			Сила удара струи, кг	
УПК-30 (HONDA 20ХТ)	13	50	6...9	5...7
	23	50	8...11	7...9
УПТ-75 (МП-90С)	19	75	10...11	4...7
	40	75	12...13	–
	13	50	8...9	6...7
	23	50	12...13	10...11

Таблица 6 – Дальность полета компактного участка струи воды, исходящей из насадки, в зависимости от угла ее наклона к горизонту

Марка установки (мотопомпы)	Диаметр насадка, мм	Диаметр пожарного рукава, мм	Угол наклона струи воды к горизонту, град.				
			2	4	6	8	10
			Дальность полета струи, м				
УПК-30 (HONDA 20ХТ)	13	50	9,4	11,9	13,6	15,0	16,1
	23	50	7,6	9,5	10,9	12,2	12,9
УПТ-75 (МП-90С)	19	75	7,5	9,5	10,8	11,9	12,9
	40	75	5,2	6,6	7,6	8,3	9,0
	13	50	9,5	12,0	13,7	15,1	16,3
	23	50	9,0	11,3	13,0	14,3	15,4

При очистке водопропускного сооружения от отложений необходимо в первую очередь учитывать его диаметр, дальность полета струи, силу ее удара и расход подаваемой воды. При диаметре водопропускного сооружения до 1,0 м наиболее эффективно применение установки УПК-30 с диаметром насадка 13 мм и установки УПТ-75 с диаметром рукава 75 мм и насадка 19 мм, а при диаметре рукава 50 мм – насадка с диаметром 13 мм. При диаметре высокопропускного сооружения более 1,0 м и возможности доступа к нему со стороны как нижнего, так и верхнего бьефов и достаточным расходом воды в канале целесообразно размыть отложений осуществлять при максимальном расходе воды – 375, 750 и 427 л/мин. – и соответственно применять с обеспечением данного расхода насадки (см. табл. 4).



Рисунок 5 – Размыв отложений в полости сооружения с применением гидромонитора ГМ-1 при нижнем уровне расположения ствола

При выборе марки установки необходимо учитывать, что мотопомпа HONDA 20ХТ предназначена для перекачки чистой, а мотопомпа МП-90С – загрязненной воды.

При недостаточном расходе воды для аккумуляции необходимого ее объема в русле канала на расстоянии 1–2 м от понура устанавливается мягкая плотина [1].

Размыв отложений в полости водопропускного сооружения обычно начинается со стороны его выходного отверстия. В зависимости от уровня воды в канале и технологических условий работы ствол гидромонитора устанавливается в двух положениях: первое – на расстоянии 0,25 м от поверхности основания (рис. 5); второе – на опоре с расстоянием 0,65 м от поверхности основания (рис. 6).



Рисунок 6 – Промывка отложений в полости трубы-переезда при установке гидромонитора ГМ-1 на опоре

Эффективный размыв отложений происходит на расстояние дальности полета компактного участка струи воды (см. табл. 6). При невозможности полного размыва отложений со стороны рисбермы последующий размыв выполняется со стороны понура.

Смытые отложения распределяются в предварительно углубленный канал на глубину 0,2...0,3 м и длиной, соответствующей объему наносов, находящихся в сооружении. Вариантом утилизации наносов является их подчистка экскаватором, оборудованным циркульным ковшом.

В ряде случаев отложения в водопропускных сооружениях содержат камни, ветки, а при расположении объектов в населенных пунктах часто встречаются также бытовые отходы. Полностью извлечь данные предметы из полости сооружения с помощью промывки иногда не представляется возможным, в связи с чем необходимо применять багор (рис. 7).

Багор состоит из трех свинчивающихся между собой отрезков трубы диаметром  $\frac{1}{2}$  или  $\frac{3}{4}$  дюйма. Рабочая часть включает в себя две части, на одной из которых приварен багор, а на второй – скребок.

Удаляя или добавляя среднюю часть багра можно регулировать длину устройства.

При невозможности полной очистки трубчатых переездов диаметром до 0,6 м с применением гидромонитора ГМ-1 при их доочистки может применяться следующая технология.

На пожарный промывочный рукав диаметром 75 мм закрепляется головка промывочная диаметром 80 мм (рис. 8).

Вид струй воды, исходящих из промывочной головки, представлен на рис. 9.

Пожарный рукав с промывочной головкой вручную продвигается в полость трубопровода на расстояние 3–4 м, и в процессе промывки рабочий частично его вытаскивает, чтобы обеспечить очистку данного участка. Затем операция по промывке повторяется, но рукав продвигается уже на 4–8 м и т. д. до полной очистки сооружения.

Примерные нормы времени на размыв отложений в трубах-регуляторах и трубах-переездах гидродинамическим способом с использованием установки УПТ-75 с гидромонитором ГМ-1 приведены в табл. 7.

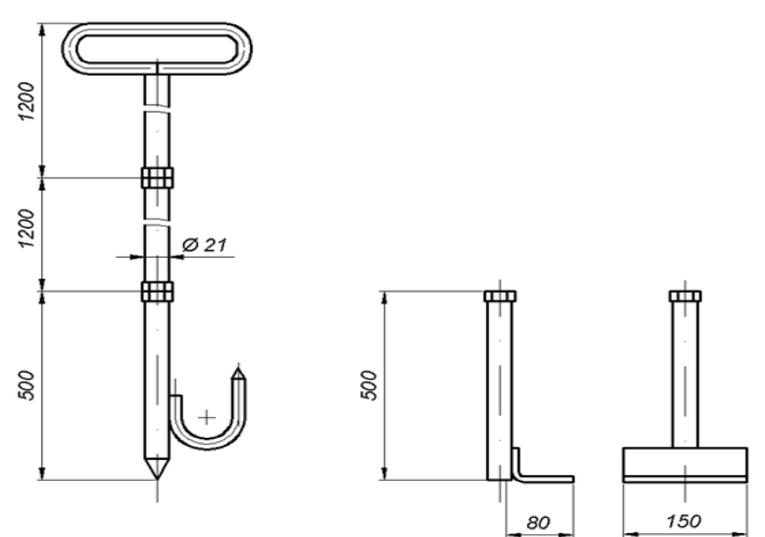


Рисунок 7 – Схема багра



Рисунок 8 – Установка головки промывочной на пожарном рукаве



Рисунок 9 – Струи воды, исходящие из головки промывочной

Таблица 7 – Затраты труда на очистку трубчатых водопропускных сооружений от заиления с применением установки УПТ-75 по сравнению с очисткой ручным способом

Наименование технологий	Номер расценок, элементы затрат	Диаметр трубчатых переездов, м				
		0,6	0,8	1,0	1,2	1,5
		Затраты труда на очистку трубчатых переездов длиной 10 м, чел.-ч.				
Действующая (ручная) очистка	Е 71-25 Очистка от наносов трубчатых переездов длиной 10 м	4,23	5,39	7,30	9,20	11,90
	Объем наносов, м <sup>3</sup>	1,70	2,10	2,50	2,74	3,10
Очистка посредством размыва с применением установки УПТ-75	Очистка от наносов трубчатых переездов посредством размыва с применением установки УПТ-75	3,59	4,43	5,55	6,08	6,88
Снижение затрат по предлагаемой технологии по сравнению с действующей, %		15,1	17,8	24,0	33,9	42,2

Как следует из табл. 7, затраты труда на очистку трубчатых водопропускных сооружений от заиления с применением установки УПТ-75 по сравнению с очисткой ручным способом снижаются на 15–42 %.

### ВЫВОДЫ

1. При наличии воды в каналах эффективным способом очистки от заиления труб-переездов и труб-регуляторов является их промывка с применением разработанных в РУП «Институт мелиорации» установок УПК-30 и УПТ-75.

2. Применение установок УПК-30 и УПТ-75 повышает производительность труда при очистке труб-переездов и труб-регуляторов.

### Библиографический список

1. Технологический регламент очистки от наносов труднодоступных элементов линейных и гидротехнических сооружений на открытой и закрытой мелиоративной сети с использованием средств малой механизации / РУП «Институт мелиорации». – Минск, 2016. – 39 с.

2. Киселев, П. Г. Справочник по гидравлическим расчетам / П. Г. Киселев. – Ленинград : Госэнергоиздат, 1961. – С. 47-49.

Поступила 01.02.2019

## СОПРЯЖЕНИЕ БЬЕФОВ ЗА ТРУБЧАТЫМИ ВОДОСБРОСАМИ И ВОДОСПУСКАМИ

*Г. Г. Круглов, кандидат технических наук*

*О. В. Немеровец, преподаватель-стажер*

*Д. В. Казьмирук, студент*

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

### **Аннотация**

Башенные водосбросы нашли широкое применение в составе низко- и средненапорных речных гидроузлов. Их гидравлический расчет заключается в определении их пропускной способности и сопряжении бьефов. Как показали расчеты сопряжения бьефов за башенными водосбросами, а также данные лабораторных исследований, существующие рекомендации по определению сжатой глубины дают значительные погрешности в нахождении длины водобоя за водосбросом. Анализ результатов лабораторных исследований позволил выявить функциональную зависимость сжатой глубины от диаметра трубы и глубин воды в верхнем и нижнем бьефах и получить эмпирическую зависимость, пользуясь которой, в рамках оговоренных граничных условий, можно определять величину сжатой глубины и получать достоверные параметры крепления в нижнем бьефе башенного водосброса.

**Ключевые слова:** башенный водосброс, напорная труба, сопряжение бьефов, сжатая глубина, водобой.

### **Abstract**

**G. G. Kruglov, O. V. Nemerovets,  
D. V. Kazmiruk**

### **CONJUGATION WATER STEPS IN PIPE SPILLWAYS AND WATERWAYS**

Tower spillways are widely used in the low-pressure and medium-pressure waterworks. Their hydraulic calculation is to determine their capacity and conjugation water steps. Conjugation water steps calculations for tower spillways as well as research data showed that existing recommendations for determination of compressed depth gave significant errors in finding the length of the apron on spillway. Analysis of laboratory test results have identified functional dependence of compressed depth on the pipe diameter and the headwater and tailwater depth, and get an empirical relationship. Usage of it within the specified boundary condition can determine the quantity of compressed depth and obtain reliable fixing parameters in the tailwater at the tower spillway.

**Keywords:** tower spillway, standpipe, conjugation water steps, compressed depth, apron.

### **Введение**

Трубчатые водопропускные сооружения в составе речных напорных гидроузлов могут выполнять следующие функции:

- пропуск паводковых расходов в нижний бьеф;
- подача воды к водопотребителям и водопользователям;
- пропуск санитарных расходов в нижний бьеф;
- опорожнение водохранилища в случае аварийной ситуации;
- удаление наносов, отложившихся в верхнем бьефе.

Устройство бетонных, железобетонных или металлических труб в теле земляной плотины всегда связано с опасностью возникновения контактной фильтрации и фильтрационных деформаций грунта тела плотины. Однако они нашли широкое применение в составе низко- и средненапорных гидроузлов в связи с тем, что существенно упрощают пропуск расходов воды в реке в период строительства ги-

дрозла и не требуют устройства дополнительных временных сооружений для этих целей.

В зависимости от конструкции входной части трубчатые водопропускные сооружения бывают башенными, безбашенными и ковшовыми. Наибольшее распространение во многих странах ближнего и дальнего зарубежья получили башенные водосбросы (рис. 1).

Так эти сооружения представлены на большинстве водохранилищ Туниса (Сиди-Салем, Сиди-Саад, Джумин и Сиди эль-Баррак и др. на реках Меджерда и Мелег), на гидроузлах Украины (Карловский гидроузел на р. Волчья, гидроузел на р. Завадовка, Маячковский гидроузел на р. Сухая Ольховатая и др.), на белорусских водохранилищах («Стародворское» на р. Бездонница Витебской области (рис. 2), «Меркуловичи» на р. Чечера Гомельской области (рис. 3), «Зельва» на р. Зельвянка Гродненской области (рис. 4) и др.)

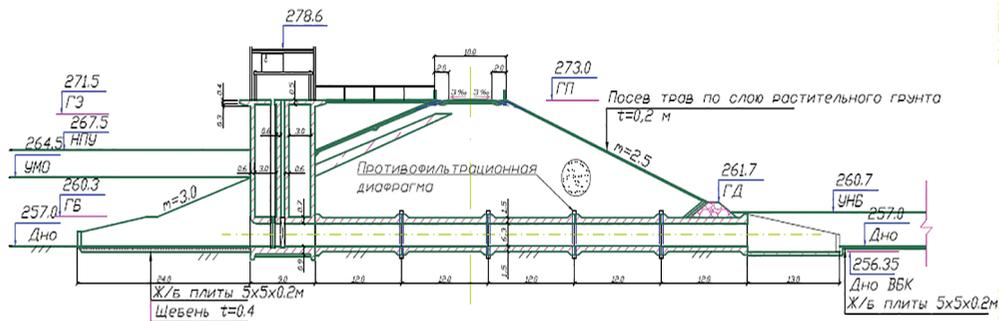


Рис. 1 – Продольный разрез по башенному водосбросу



Рис. 2 – Башенный водосброс водохранилища «Стародворское»



Рис. 3 – Башенный водосброс водохранилища «Меркуловичи»



Рис. 4 – Башенный водосброс водохранилища «Зельва»

Гидравлические расчеты трубчатых сооружений могут выполняться по двум схемам: для длинных трубопроводов и коротких труб [1, 2]. Короткими считаются трубы, у которых длина не оказывает влияния на пропускную способность. Как правило, башенные водосбросы относятся к коротким трубам.

Гидравлический режим в трубе может быть безнапорным, полупапорным и напорным. Гидравлический расчет состоит в определении размеров и количества отводящих труб, необходимых для

пропуска расчетных расходов, а также в расчете сопряжения бьефов за водосбросом.

Расчет заключается в определении сжатой глубины  $h_c$  за водосбросом, которая принимается за первую сопряженную глубину  $h'_c = h_c$ , нахождении второй сопряженной глубины  $h''$  и определении конструкции и параметров крепления нижнего бьефа.

Основной проблемой в расчетах сопряжения бьефов за башенными водосбросами является определение сжатой глубины. При напорном режиме

в трубе предлагается за сжатую глубину принимать глубину на выходе из трубы. Ее рекомендуется принимать или равной высоте трубы [3, 4, 5], или  $0,85 h_k$  [6, 7], где  $h_k$  – критическая глубина, которая незначительно отличается от высоты трубы.

Выполненные по этим рекомендациям многочисленные расчеты сопряжения бьефов показали, что при напорах 8–20 м и диаметрах труб 1,5–3,0 м длина водобоя не превышала 3–6 м.

Очевидно, что для мощной, концентрированной струи, выходящей из напорной трубы, такой длины водобоя недостаточно для гашения избыточной кинетической энергии потока. Действительно, длина водобоя за башенными водосбросами на действующих украинских гидроузлах (Карловском, Завадовском, Краснопавловском, Анновском и др.) колеблется в интервале 17–20 м, что подтверждает ошибочность предлагаемой методики расчета.

Таким образом, основной задачей исследования было изучение режимов сопряжения бьефов и нахождение экспериментальной зависимости для определения сжатой глубины, использование которой при расчетах сопряжения бьефов давало бы результаты, согласующиеся с реальными параметрами действующих сооружений.

#### Лабораторные исследования

С этой целью в лаборатории кафедры гидротехнического и энергетического строительства Белорусского национального технического университета были выполнены исследования режимов сопряжения бьефов за тремя трубами диаметром 3,5 см, 4,5 и 6,5 см.

В основу гидравлических исследований потока в нижнем бьефе башенного водосброса положен метод физического моделирования. Для правильного воспроизведения физической природы явлений необходимо обеспечить механическое, кинематическое и динамическое подобие изучаемых явлений, которые выражаются в геометрическом подобии форм, распределении скоростей, давлении и других физических констант [8, 9].

При моделировании безнапорных турбулентных потоков, которые характеризуются наличием свободной поверхности, где движение происходит с преобладанием сил тяжести, определяющим является равенство критериев Фруда. При этом режимы движения потока на модели и в натуре должны быть подобны, что проверяется выполнением условия:

$$R_e > R_{екр} \quad (1)$$

Критическое значение числа Рейнольдса для открытых русел составляет:  $R_{екр} = 800 \dots 900$ . Кроме того, для модели и натуре должны быть равны значения коэффициентов гидравлического трения.

Для исследованного на модели диапазона глубин в нижнем бьефе 2,1...9,05 см числа Рейнольдса изменялись в пределах 2500...3500, что соответствовало условию (1).

Для соблюдения подобия коэффициентов гидравлического трения коэффициент шероховатости материала модели должен быть в  $\lambda$  ( $\lambda$  – масштаб моделирования) раз меньше коэффициента шероховатости натуре.

Дно нижнего бьефа башенного водосброса крепится бетонными и железобетонными плитами, для которых коэффициент шероховатости принимается равным 0,014...0,017. Для геометрического подобия модели в  $\lambda$  раз меньше натуре коэффициент шероховатости модели также должен быть в  $\lambda$  раз меньше коэффициента шероховатости натуре. При масштабе моделирования  $\lambda = 60 \dots 70$  коэффициент шероховатости модели будет составлять 0,007...0,008. Согласно [8, 9] такие поверхности могут быть изготовлены из тщательно отструганных досок, покрытых эмалевой краской.

Трубы устанавливались в гидравлическом зеркальном лотке шириной 16 см и длиной 250 см (рис. 5), с деревянным, окрашенным дном.



Рис. 5 – Общий вид опытной установки

Для измерения отметок уровней воды в верхнем и нижнем бьефах использовалась передвижная мерная игла, установленная на бортах лотка. Точность измерения отметок уровней воды с помощью мерной иглы составляла 0,1 мм.

Регулирование расхода воды, поступающего на модель, осуществлялась с помощью задвижки на подающем трубопроводе, а регулирование уровней воды в нижнем бьефе – с помощью жалюзи на выходе из лотка.

Исследования выполнялись в следующем порядке. В верхнем бьефе перед трубой устанавливалась максимальная глубина. Труба работала в напорном режиме. В нижнем бьефе с помощью жалюзи устанавливался режим отогнанного гидравлического прыжка (рис. 6). При установившемся режиме истечения измерялись глубина в верхнем бьефе  $H_1$ , в нижнем бьефе за прыжком  $H_2$ , соответствующая бытовой

глубине  $h_6$ , и глубина воды в сжатом сечении  $h_c$ . После этого изменялись глубины в верхнем и нижнем бьефах, и повторялись все измерения.

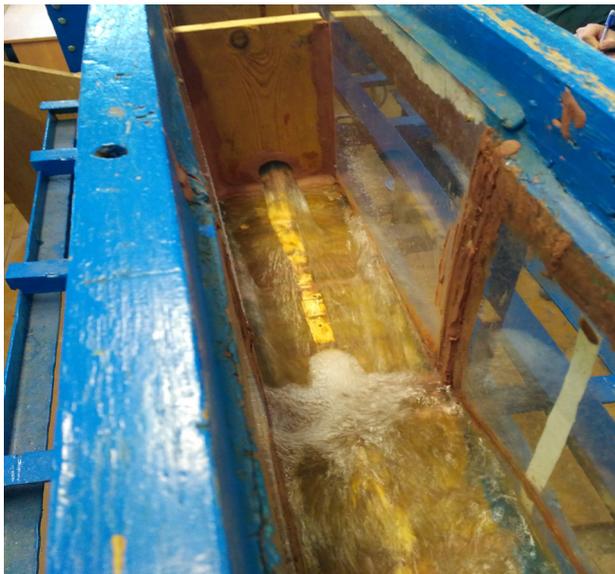


Рис. 6 – Режим отогнанного прыжка за трубчатым водосбросом

Результаты исследований приведены в табл. 1.

Таблица 1 – Опытные значения сжатой глубины

$D$ , см	$H_1$ , см	$H_2$ , см	$h_c$ , см
6,5	27,55	8,20	1,60
	17,90	8,00	4,50
	20,05	8,65	3,45
	20,00	9,05	4,50
	23,65	2,10	1,00
	23,65	8,70	2,60
	19,10	7,35	2,60
	11,20	6,20	3,20
4,5	23,45	6,10	0,90
	25,90	6,60	0,85
	21,85	8,30	1,60
	13,05	5,30	2,40
	17,95	6,70	2,20
3,5	21,80	4,00	0,70
	16,10	2,70	0,60
	14,65	3,80	0,86
	22,45	6,20	1,20
	16,6	6,10	1,90

Как видно, во всех опытах сжатая глубина значительно меньше диаметра трубы, следовательно, использование вышеприведенных рекомендаций по определению сжатой глубины приводит

к значительным погрешностям в определении длины водобоя, что и показали выполненные многочисленные расчеты сопряжения бьефов за башенными водосбросами.

Проведенный анализ опытных данных показал, что сжатая глубина является функцией трех переменных:

$$h_c = f(H_1, H_2, D). \quad (2)$$

При выводе эмпирического уравнения регрессии, описывающего зависимость (2), использовались не абсолютные величины переменных, а относительные, что значительно упростило применение полученного уравнения. В связи с этим были введены относительные величины  $\frac{H_1}{D}$  и  $\frac{h_c}{H_2}$ , характеризующие связи между сжатой глубиной, диаметром дрены и глубинами воды в верхнем и нижнем бьефах.

В результате обработки опытных данных был получен график (рис. 7), устанавливающий связь между включенными в зависимость (2) переменными.

Расчеты, связанные с определением коэффициентов эмпирического уравнения регрессии методом наименьших квадратов [10, 11], дисперсионным анализом по проверке гипотезы линейности эмпирического уравнения, позволили получить зависимость:

$$\frac{h_c}{H_2} = 0,679 - 0,088 \frac{H_1}{D}, \quad (3)$$

теснота связи переменных в которой характеризуется коэффициентом корреляции  $r = 0,824$ .

Пользуясь зависимостью (3), при граничных условиях

$$\frac{H_1}{D} = 1,7...6,5 \text{ и } \frac{H_2}{D} = 0,7...1,8$$

и области применения  $0,12 < \frac{h_c}{H_2} < 0,56$  можно

определять сжатую глубину за башенным водосбросом, работающем в напорном режиме.

Выполненные расчеты сопряжения бьефов с использованием зависимости (3) дают длину водобоя в интервале 10–16 м, что согласуется с параметрами действующих башенных водосбросов.

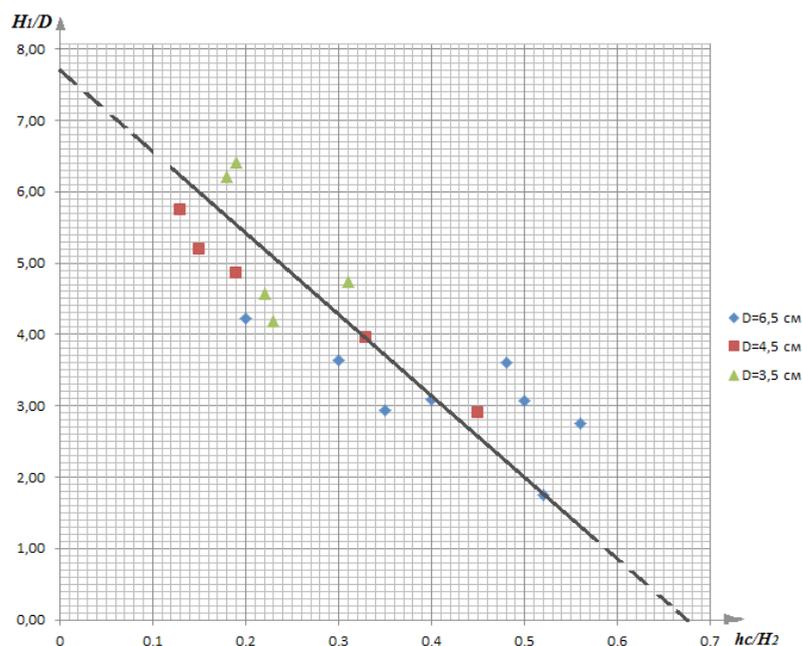


Рис. 7 – Графики зависимости  $\frac{h_c}{H_2} = f\left(\frac{H_1}{D}\right)$

### Выводы

1. Показана существенная погрешность существующей методики определения сжатой глубины при расчете сопряжения бьефов за бешенными водобросами, работающими в напорном режиме.

2. Опытным путем получена зависимость для определения сжатой глубины. Ее использование для расчета сопряжения бьефов дает результаты в определении длины водобоя, хорошо согласующиеся с параметрами действующих сооружений.

### Библиографический список

1. Гидравлические расчеты водосбросных гидротехнических сооружений : справочное пособие / Д. Д. Лаппо [и др.]. – М. : Энергоатомиздат, 1988. – 624 с.
2. Богославчик, П. М. Проектирование и расчеты гидротехнических сооружений / П. М. Богославчик, Г. Г. Круглов. – Минск : Вышэйшая школа, 2018. – 367 с.
3. Волков, И. М. Проектирование гидротехнических сооружений / И. М. Волков, П. Ф. Кононенко, И. К. Федичкин. – М. : Колос, 1968. – 464 с.
4. Недрига, В. П. Гидротехнические сооружения: справочник проектировщика / В. П. Недрига. – М. : Стройиздат, 1983. – 543 с.
5. Гидротехнические сооружения комплексных гидроузлов : учеб. пособие / П. М. Богославчик [и др.]; под ред. Г. Г. Круглова. – Минск : БНТУ, 2006. – 585 с.
6. Нестеров, Н. В. Гидротехнические сооружения : учеб. пособие / Н. В. Нестеров. – Минск : Новое знание, 2006. – 616 с.
7. Примеры гидравлических расчетов : учеб. пособие для вузов / Н. М. Константинов [и др.]; под ред. Н. М. Константинова. – М. : Транспорт, 1987. – 440 с.
8. Леви, И. И. Моделирование гидравлических исследований / И. И. Леви. – Ленинград : Энергия, 1967. – 210 с.
9. Шарп, Дж. Гидравлическое моделирование : пер. с англ. / Дж. Шарп. – М. : Мир, 1984. – 280 с.
10. Айвазян, С. А. Статистическое исследование зависимостей / С. А. Айвазян. – М. : Metallургия, 1968. – 227 с.

## ОСУШЕНИЕ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ЗЕМЕЛЬ С УЧЕТОМ МЕЗОФОРМЫ РЕЛЬЕФА

**В. И. Желязко**, доктор сельскохозяйственных наук, доцент

Белорусская государственная сельскохозяйственная академия,  
г. Горки, Могилевская область, Беларусь

### Аннотация

Целью работы являлось обобщение результатов производственных исследований по совершенствованию способов осушения лессово-западинных земель при атмосферном типе водного питания. Подведя итоги, на данном этапе можно рекомендовать следующие наиболее приемлемые по технико-экономическим показателям способы осушения. Во-первых, засыпку замкнутых понижений с устройством через седловину ложбин стока без дополнительных мероприятий. Во-вторых, организацию экологических ниш путем аккумуляции поверхностного стока в водоемах-копанях с одновременной засыпкой соседних западин и применения одной копани на площади не менее 10 га при отсутствии дренажа. Предложены конструкции сооружений, устраиваемых на осушительной сети для отвода поверхностных вод.

**Ключевые слова:** осушение земель, способы осушения, ложбины стока, водоемы-копани, колодцы-поглотители, колонка-поглотитель.

### Abstract

#### V. I. Zhelyazko AGRICULTURAL DRAINAGE ACCORDING TO THE RELIEF MESOFORM

The aim of the work was to generalize the results of industrial research on the improvement of methods for drying loess-and-sink lands under the atmospheric water supply type. To summarize, at this stage it is recommended the following drying methods, most suitable for technical and economic factors. Firstly, it's backfilling of closed depressions with the device through the saddle of the drainage gullies without additional measures. Secondly, it's the organization of ecological niches by accumulation of surface runoff in water reservoirs with simultaneous backfilling of adjacent valleys and the use of one digging in an area of at least 10 hectares in the absence of drainage.

The designs of the structures arranged on the drainage network for the removal of surface waters are proposed.

**Key words:** land drainage, drainage methods, drainage gutters, water bodies-digging, sinkholes, absorbing column.

### Введение

Природно-мелиоративное районирование, выполненное на основе анализа структуры почвенного покрова с выделением территорий объектов мелиорации, которые отличаются между собой реакцией на осушения, требует различных способов регулирования водно-воздушного режима.

На территории Восточно-Белорусской провинции выделены пять ландшафтных районов, которые по разнообразию ландшафтной структуры объединены в две группы. Первую группу, не имеющую аналогов на территории Республики Беларусь, составляют районы с преобладанием возвышенных лессовых ландшафтов. Например, Горецко-Мстиславский ландшафтный район, расположенный на северо-востоке провинции. Он характеризуется преобладанием волнисто-западных природно-территориальных комплексов (ПТК). Особенностью его рельефа является обилие западин, образовавшихся в результате суффозионных процессов на лессовидных суглинках и лессах. В отдельных случаях количество западин в расчете на 100 га

достигает 100. Площадь отдельной западины колеблется в пределах 0,01–0,6 га, а глубина достигает 2 м. Ее форма блюдцеобразная, овальная, контуры четкие. Западины часто расположены цепочками. Более 70 % их имеют площадь до 0,2 га и глубину 0,2–1,0 м. Такие земли характеризуются неоднородным водно-воздушным режимом. Это связано с тем, что в западинах за вегетационный период застаивается поверхностная вода в течение 2–3 и более месяцев. По этой причине расположенные на дерново-глееватых суглинистых почвах западины закустарены и не используются в сельском хозяйстве [1, 2, 3].

Наличие земель с западным рельефом является серьезным препятствием для применения высокопроизводительной сельскохозяйственной техники. В зависимости от характера работ ее производительность снижается на 12–33 %.

### Основная часть

Первые предложения по осушению лессово-западных земель в Беларуси появились в середине 1960-х гг., и к настоящему времени разработан ряд

способов их мелиорации. Среди них особое место отведено мероприятиям, направленным на ускорение поверхностного стока избыточных вод и регулирование водного режима. Это создает условия для эффективной работы сельскохозяйственной техники и гарантирует получение высоких урожаев сельскохозяйственных культур.

Проведенные исследования показали, что при осушении лесово-западных земель можно применять ликвидацию (раскрытие) западин и понижений. При этом западины глубиной до 0,15 м и площадью до 0,05 га засыпаются в процессе выполнения планировки мелиорируемых земель длиннобазовым планировщиком. При глубине западин 0,15–0,50 м и площадью более 0,05 га предусматривается их раскрытие искусственными ложбинами стока или устройством колодцев-поглотителей с отводным закрытым коллектором.

Для отвода поверхностных вод из раскрываемых замкнутых понижений (западин) устраивают искусственные ложбины стока – при глубине западин 0,15 м и более, а также по естественным тальвегам и незамкнутым понижениям поверхности мелиорируемых земель. Глубина ложбин может составлять 0,2–0,6 м, уклон дна – не менее 0,002 м. Как правило, эти западины засевают многолетними травами. В отдельных случаях под дном засеваемой тальвеговой ложбины целесообразно устраивать подложбинный коллектор с колонками-поглотителями для отвода поверхностных вод, задерживающихся в неглубоких понижениях и растительном покрове дна и откосов ложбины.

Для осушения замкнутых понижений при невозможности или экономической нецелесообразности их засыпки или раскрытия понижений ложбинами

применяют различные приемы и используют сооружения, разработанные учеными РУП «Институт мелиорации» НАН Беларуси [4, 5, 6, 7].

Из замкнутых понижений с плоским дном при слое поверхностной воды менее 0,15 м и технической невозможности или экономической нецелесообразности их раскрытия или засыпки отвод воды предусматривается закрытыми собирателями (дренажем) с устройством колонок-поглотителей, т. е. пунктирной засыпкой дренажной траншеи песчано-гравийной смесью.

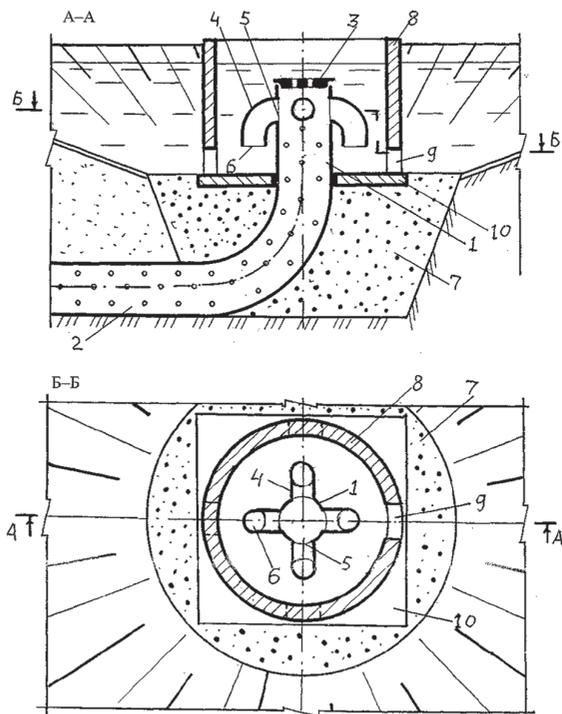
В качестве локальных водоприемников для сброса поверхностного и дренажного стока западных земель можно устраивать водоемы-копани. При наличии относительно компактной группы из нескольких западин на месте наиболее низкой из них устраивается водоем-копань, грунт из которого используется для засыпки остальных близлежащих западин. При осушении пашни и пастбища с большим объемом стока в комплексе с водоемами предусматриваются сооружения для сброса воды в гидрографическую сеть в случае переполнения водоема в период весеннего половодья и обильных летне-осенних дождей.

Учитывая сложность мелиоративного и сельскохозяйственного освоения лесово-западных земель с преобладающим атмосферным типом водного питания, в рассматриваемом регионе на основании предложений и разработок РУП «Институт мелиорации» была построена опытная мелиоративная система «Мелиорация земель с западным рельефом в СПК «Мазоловский» Мстиславского района Могилевской области». Она включает девять отдельных участков с различными способами мелиорации земель (табл. 1).

*Таблица 1 – Способы мелиорации земель на объекте «Мазоловский» Мстиславского района Могилевской области*

№ варианта	Способы мелиорации земель по вариантам	Площадь варианта, га
1	Отвод поверхностных вод колодцами-поглотителями различных конструкций	5,0
2	Засыпка замкнутых понижений с устройством через седловину ложбины стока без дополнительных мероприятий	13,6
3	То же, с устройством выборочного гончарного дренажа	6,7
4	То же, с устройством пластмассового дренажа	11,9
5	То же, с устройством фашинного дренажа	14,3
6	Отвод поверхностных вод закрытыми собирателями с устройством фильтрующей засыпки и колонок-поглотителей	3,6
7	Отвод поверхностных вод из замкнутых понижений ложбинами с устройством подложбинных коллекторов	16,8
8	Устройство отвода поверхностных вод по тальвегам путем устройства тальвеговой ложбины с подложбинным коллектором	8,7
9	Устройство выборочного дренажа в сочетании с аккумуляцией поверхностного и дренажного стока в водоемах-копанях и устройством сбросных коллекторов	10,7

Как следует из табл. 1, одним из способов мелиорации является отвод поверхностных вод колодцами-поглотителями. Натурные наблюдения, проведенные на этом варианте, и последующий анализ работоспособности колодцев-поглотителей позволили разработать усовершенствованные конструкции (рис. 1).



1 – фильтрующий элемент; 2 – отводящий коллектор; 3 – заглушка; 4 – фильтрующий водопоглощающий элемент из перфорированных труб; 5 – соединительные муфты; 6 – бандаж; 7 – обсыпка из материала с высокой водопроницаемостью; 8 – железобетонное кольцо; 9 – водоприемные отверстия; 10 – опорная плита

Рисунок 1 – Облегченная конструкция колодца-поглотителя поверхностных вод [8]

Разработанная конструкция состоит из основного фильтрующего элемента 1, который выполнен из перфорированной трубы, защищенной фильтрующим материалом и соединенной с отводящим коллектором 2. Основной фильтрующий водопоглощающий элемент в верхней части закрыт перфорированной заглушкой 3. Дополнительный фильтрующий водопоглощающий элемент 4 выполнен из отрезков перфорированных труб, заглушенных с обоих концов соединительных муфт (создающих гидравлическую связь между основным и дополнительным фильтрующими элементами), и бандажа 6 (который обеспечивает крепление дополнительного фильтрующего водопоглощающего элемента к основному).

Для увеличения поглотительной способности вокруг основания основного фильтрующего водопоглощающего элемента устраивается обсыпка из

материала, обладающего высокой водопроницаемостью, например из щебня, гравия или песчано-гравийной смеси.

Для защиты водопоглощающих элементов от случайных повреждений вокруг них устанавливается ограждение в виде железобетонного кольца с водоприемными отверстиями. Это ограждение опирается на опорную плиту или каменную наброску. В некоторых случаях установка ограждающего кольца не требуется, поэтому можно ограничиться сигнальным столбиком.

Колодец-поглотитель работает следующим образом. Вода с поверхности почвы фильтруется через обсыпку и через нее передается в основной фильтрующий водопоглощающий элемент и далее – в отводящий коллектор, по которому отводится за пределы участка.

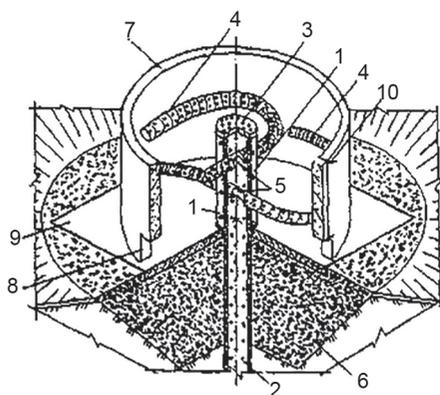
При увеличении расходов и уровней часть воды через перфорацию поступает непосредственно в основной фильтрующий водопоглощающий элемент. Если уровень воды продолжает повышаться, то вода, кроме этого, передается в него через отрезки перфорированных труб и соединительные муфты дополнительного фильтрующего элемента. При дальнейшем повышении уровня она поступает также и через перфорацию заглушки.

Такой режим работы обеспечивает поглотительную способность колодца, равную пропускной способности отводящего коллектора.

Колодец-поглотитель поверхностного стока, показанный на рис. 2, состоит из основного и дополнительного фильтрующих водопоглощающих элементов из перфорированных труб, заглушенных с обоих концов. Основной фильтрующий водопоглощающий элемент выполнен из перфорированной трубы диаметром, не превышающим диаметр отводящего коллектора. Наличие дополнительного фильтрующего элемента увеличивает пропускную способность и уменьшает вероятность поступления плавающего мусора в полость водоотводящего коллектора.

В процессе работы вода с поверхности почвы фильтруется через обсыпку 6 из материала с высокой водопроницаемостью и через нее передается в основной фильтрующий водопоглощающий элемент 1 и далее в отводящий коллектор 2, по которому отводится за пределы участка.

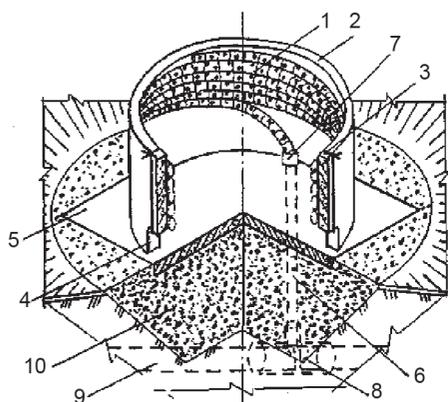
При увеличении расхода и уровня поверхностной воды часть ее поступает непосредственно в основной фильтрующий водопоглощающий элемент 1 через его перфорацию. При дальнейшем повышении уровня воды она не только поступает непосредственно в основной фильтрующий водопоглощающий элемент 1, но и частично передается в него через отрезки перфорированных труб 4 дополнительного фильтрующего элемента.



1 – основной фильтрующий водопоглощающий элемент; 2 – отводящий коллектор; 3 – перфорированная заглушка; 4 – дополнительный фильтрующий водопоглощающий элемент; 5 – водоприемные отверстия; 6 – обсыпка из материала с высокой водопроницаемостью; 7 – ограждающее железобетонное кольцо; 8 – водопропускные отверстия; 9 – опорная плита; 10 – бандаж

Рисунок 2 – Конструкция колодца-поглотителя поверхностных вод с пластмассовым водоприемным элементом [9]

Отличительной особенностью колодца-поглотителя поверхностного стока, конструкция которого показана на рис. 3, является наличие объемного фильтрующего элемента, выполненного из перфорированной трубы и уложенного в виде спирали, которая закреплена на внутренней стенке ограждающего железобетонного кольца.



1 – фильтрующий водопоглощающий элемент; 2 – ограждающее железобетонное кольцо; 3 – бандаж; 4 – водопропускные отверстия; 5 – опорная плита; 6 – отводящий коллектор; 7 – соединительная муфта; 8 – тройник; 9 – отводящий коллектор высшего порядка; 10 – обсыпка из материала с высокой водопроницаемостью

Рисунок 3 – Конструкция колодца-поглотителя поверхностных вод с объемным водоприемным элементом [10]

Для отвода воды из колодцев-поглотителей необходимо предусматривать сбросные коллекторы. В условиях западного рельефа и значительных уклонов поверхности для уменьшения протяженности открытой сети, увеличения площади контуров сельскохозяйственных угодий и коэффициента земельного использования целесообразно с помощью колодцев-поглотителей отводить поверхностный сток из придорожных кюветов, небольших оградительных каналов и распластанных тальвегов по закрытым отводящим коллекторам в открытую проводящую сеть.

Кроме колодцев-поглотителей, в комплекс сооружений по организации поверхностного стока входят колонки-поглотители и дрены с засыпкой траншей местным хорошо водопроницаемым грунтом. Они обеспечивают отвод воды из замкнутых понижений в проводящую сеть или в водоемы-копани. Данный тип сооружений является составной частью мелиоративных систем и проектируется в увязке с остальными ее элементами – водоприемником, открытой и закрытой проводящей сетью, подпорными и переездными сооружениями, регулирующей сетью, дорогами.

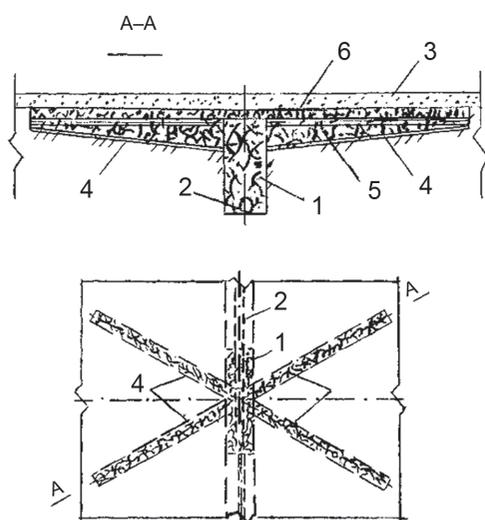
Наиболее часто применяют колонки-поглотители, в которых поверхностные воды по пахотному горизонту поступают в дренажные трубы. Их выполняют в виде отрезков траншейной засыпки, используя для этого материал с высокой водопроницаемостью.

Недостатком такой конструкции, как показали производственные испытания, является неравномерность осушения площади поля. Колонка-поглотитель с наибольшей эффективностью отводит воду с поверхности и из почвенных слоев, расположенных над ней и в непосредственной близости от нее. Поэтому колонки-поглотители устраивают в пониженных элементах рельефа. Однако даже при проведении планировочных работ в процессе обработки почвы микропонижения (глубиной до 15 см) постоянно перемещаются по площади поля, сдвигаясь на 5–10 м и более. При выпадении осадков они заполняются водой, которую необходимо отводить в нормативные сроки (0,5–2 сут.) на большие расстояния, причем, в основном, по пахотному слою почвы. Учитывая то, что коэффициент фильтрации пахотного слоя для тяжелых почв обычно не превышает 2 м/сут., это резко снижает эффективность работы известных колонок-поглотителей поверхностного стока.

Кроме того, часть избыточной воды, протекающей по поверхности почвы, способствует эрозийным процессам. Следует также отметить, что поглотительная способность известной конструкции значительно ниже, чем, например, у закрытых собирателей, т. к. у нее меньшая площадь

фильтрующего элемента. Чтобы повысить равномерность осушения площади поля и эффективность работы колонок-поглотителей, приходится уменьшать расстояние между ними. Это, в свою очередь, резко увеличивает стоимость мелиоративной системы, т. к. основные затраты идут на укладку дренажных труб и устройство засыпки из материала с высокой водопроницаемостью.

Для устранения отмеченных недостатков была разработана усовершенствованная колонка-поглотитель, которая состоит из вертикального фильтрующего элемента, выполненного из материала с высокой водопроницаемостью и соединяющего закрытую дренажную трубу с пахотным слоем почвы. Ее принципиальная схема приведена на рис. 4.



- 1 – вертикальный фильтрующий элемент;  
2 – закрытая дренажная труба; 3 – пахотный слой почвы;  
4 – дополнительный фильтрующий элемент;  
5 и 6 – слои дополнительного фильтрующего элемента

Рисунок 4 – Принципиальная схема усовершенствованной колонки-поглотителя

В процессе осушения вода с поверхности почвы фильтруется через пахотный слой почвы 3, попадает в дополнительные фильтрующие элементы 4 и вертикальный фильтрующий элемент 1, а через них передается в закрытую дренажную трубу 2 (или закрытый коллектор) и отводится за пределы участка.

Благодаря наличию дополнительных фильтрующих элементов и расположению их в плане в виде отрезков, расходящихся от вертикального фильтрующего элемента под углом к закрытой дренажной трубе, значительно уменьшается путь фильтрации по пахотному слою почвы из любой точки поля до фильтрующих элементов, а также путь движения воды по поверхности поля. Это сокращает время отвода воды с поверхности и пахотного слоя почвы и увеличивает равномерность осушения поверхности поля.

По мере приближения к вертикальному элементу водосборная площадь каждого дополнительного фильтрующего элемента возрастает, поэтому повышается и расход воды, проходящей по нему. Для обеспечения оптимальных условий пропуска расходов дополнительные фильтрующие элементы выполняют с площадью поперечного сечения, увеличивающейся по мере приближения этого сечения к вертикальному фильтрующему элементу. При этом нижняя граница дополнительного фильтрующего элемента выполняется с уклоном в сторону вертикального фильтрующего элемента. Это увеличивает скорость движения воды и в целом водоотводящую способность колонки-поглотителя поверхностного стока, способствуя уменьшению времени отвода воды с поверхности и пахотного слоя почвы.

Дополнительные фильтрующие элементы колонки-поглотителя выполняют многослойными с наибольшей водопроницаемостью в их середине и нижней части, т. е. образуют обратный фильтр, препятствующий заилению дополнительных фильтрующих элементов при поступлении в них воды из пахотного слоя почвы.

Для увеличения срока службы конструкции верхний слой фильтрующих элементов, контактирующий с пахотным слоем почвы, устраивают из материала, не подверженного деструкции в этом слое, например из крупнозернистого песка. Это значительно увеличивает сроки разложения древесины и других органических материалов [11].

Следует также учитывать то, что эта конструкция допускает простую и технологичную замену дополнительных фильтрующих элементов без переустройства вертикального фильтрующего элемента, который находится в лучших условиях с точки зрения долговечности работы, а кроме того, может быть выполнен из более долговечных материалов.

В 2015–2016 гг. были проведены производственные испытания разработанной колонки-поглотителя. В табл. 2 приведены результаты наших наблюдений за формированием стока осушительной системы в вариантах опыта с традиционными и усовершенствованными колонками-поглотителями.

Как следует из приведенных данных, общая площадь затопленных понижений в варианте с традиционными поглотителями колебалась от 25,8 до 31,7 м<sup>2</sup>/га. В среднем за период вегетации она составила 28,2 м<sup>2</sup>/га, в то время как в варианте с усовершенствованными поглотителями – 19,6 м<sup>2</sup>/га, что на 43,9 % меньше. Более существенное влияние на площадь затопленных микропонижений оказывало состояние поверхности поля. При густой растительности многолетних трав воздействие рельефа на величину стока снижалось. Особенно значимым было влияние трав второго и третьего годов пользования.

Таблица 2 – Площадь микропонижений, заполненных поверхностной водой

Период наблюдений	Площадь микропонижений, заполненных поверхностной водой, м <sup>2</sup> /га	
	Вариант с традиционной колонкой-поглотителем	Вариант с усовершенствованной колонкой-поглотителем
Предпосевной период	27,0	18,9
Летние дождевые паводки	25,8	20,8
Осенние паводки	31,7	19,3
В среднем за вегетационный период	28,2	19,6
% по отношению к варианту 1	–	43,9

Согласно производственным наблюдениям, применение предлагаемой конструкции позволяет существенно увеличить расстояние между колонками-поглотителями поверхностного стока. Учитывая то, что основные затраты идут на устройство дренажных линий и вертикальных фильтрующих элементов, конструкция позволяет существенно снизить стоимость мелиоративной системы за счет повышения эффективности ее работы.

### Заключение

На основе анализа специальной литературы и выполненных исследований при атмосферном водном питании рекомендуется засыпка замкнутых понижений с устройством через седловину ложбины стока без дополнительных мероприятий. Кроме того, можно посоветовать организацию экологических ниш путем аккумуляции поверхностного стока в водоемах-копанях с одновременной засыпкой соседних западин.

Для увеличения эффективности и срока действия ложбин землепользователю необходимо проводить за ними постоянный уход. Для этого трассу ложбины (дно и откосы) выравнивают после пахоты (либо засевают травами), с тем чтобы исключить застой воды. Этого можно достичь путем боронования, планировки, прикатывания. При засеве трав ложбины периодически обкашивают.

Из неглубоких западин, когда застой воды в них наблюдается весной или во время летних дождей, удалить ее можно бороздованием на глубину

0,2–0,3 м с отводом воды в водоприемник. Борозды ликвидируются во время вспашки, а нарезаются при образовании луж.

При более глубоких западинах (до 0,5–1,0 м) рекомендуется применять устройства экологических ниш. Для этого определяют группу западин, расположенных на небольшом расстоянии друг от друга (до 200–300 м). В западине, расположенной в самом пониженном месте, устраивают водоем-копань. Вынимаемый грунт используют для засыпки близлежащих западин, предварительно сняв в них растительную почву и переместив ее в специальные отвалы за пределами зоны строительных работ. После завершения работ растительный грунт разравнивается (возвращается) на местах, затронутых строительством. Засыпка понижений контролируется нивелировкой. Если после выполнения этих работ западины засыпаны частично, воду из них отводят в созданный водоем по ложбинам. Размер водоема зависит от водосборной площади западин, из которых удаляют воду. Построенные искусственные водоемы-копани имеют длину до 60–80 м, ширину до 10–40 м, среднюю глубину – до 3 м. Глубина воды должна быть не менее 1 м для предотвращения развития водно-болотной растительности. Объем воды, который аккумулируется в водоеме, необходимо рассчитывать на сбор талой воды с водосброса, охваченного мелиорацией. Западины, из которых удаляется вода, должны систематически обрабатываться, окультуриваться с внесением в них повышенных доз минеральных удобрений.

### Библиографический список

1. Природная среда Беларуси : монография / под ред. В. Ф. Логинова; НАН Беларуси, Ин-т пробл. использ. природ. ресурсов и экологии. – Минск: НО ООО «БИП – С», 2002. – 424 с.
2. Лихацевич, А. П. Мелиорация земель в Беларуси / А. П. Лихацевич, А. С. Мееровский, Н. К. Вахонин. – Минск : БелНИИМил, 2001. – 308 с
3. Мелиорация и рациональное использование переувлажненных минеральных земель Нечерноземья России и Беларуси : монография / под общ. ред. А. П. Лихацевича, Н. Г. Ковалева, Б. М. Кизяева. – Рязань : ГНУ ВНИИГиМ Россельхозакадемии, 2009. – 499 с.
4. Митрахович, А. И. Использование мелиорантов-структурообразователей для фильтрующих засыпок / А. И. Митрахович, В. М. Макоед // Мелиорация. – 2016. – № 3. – С. 21-26.

5. Макоед, В. М. Исследование работоспособности дренажных фильтров из геотекстиля на слабоводопроницаемых почвогрунтах / В. М. Макоед, А. И. Митрахович, И. Ч. Казьмирук // Мелиорация. – 2017. – № 3. – С. 16-28.

6. Митрахович, А. И. Водопоглощающие устройства – как основа осушения тяжелых почв / А. И. Митрахович, В. М. Макоед, Н. А. Заяц // Мелиорация. – 2018. – № 1. – С. 30–37.

7. Повышение эффективности работы дренажа на базе новых конструктивных элементов / А. И. Митрахович, И. Ч. Казьмирук, В. Н. Кондратьев, Н. М. Авраменко // Мелиорация. – 2018. – № 2. – С. 5-12.

8. Колодец-поглотитель поверхностного стока : пат. 8950. Респ. Беларусь, МПК Е 02 В 11 /00 / М. В. Нестеров, В. И. Желязко, Д. В. Желязко, Н. Н. Михальченко. – Оpubл. 28.02.2013.

9. Колодец-поглотитель поверхностного стока : пат. 8951 Респ. Беларусь, МПК Е 02 В 11/00 / М. В. Нестеров, В. И. Желязко, Д. В. Желязко, Н. Н. Михальченко. – Оpubл. 02.11.2012.

10. Колодец-поглотитель поверхностного стока : пат. 8952 Респ. Беларусь, МПК Е 02 В 11 / 00 / М. В. Нестеров, В. И. Желязко, Д. В. Желязко, Н. Н. Михальченко. – опубл. 02.11.2012.

11. Копытовский, В. В. Расчет бессточного дренажа на полях утилизации животноводческих стоков / В. В. Копытовский // Мелиорация и водное хозяйство. – 2005. – № 4. – С. 37.

Поступила 14.02.2019

# Земледелие и растениеводство

УДК 631.6: [631.445: 544.77.052.5]

## ИЗМЕНЕНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ОСУШЕННОЙ ТОРФЯНОЙ ЗАЛЕЖИ В ПРОЦЕССЕ ЕЕ ОСАДКИ

**Н. М. Авраменко**, кандидат технических наук

Государственное предприятие «Полесская опытная станция»,  
пос. Полесский, Лунинецкий район, Брестская область, Беларусь

### Аннотация

Характеристикой послойной осадки осушенной торфяной залежи может служить коэффициент сжатия (уплотнения). Показателем уплотнения торфяной залежи является изменение объемной массы. Установлено, что дальнейшее (после 56 лет) уплотнение осушенной торфяной залежи мощностью 150–200 см будет в основном происходить в остаточных верхних слоях с первоначальными глубинами 0,5 и 1,0 м. В работе предложены методики определения прогнозных величин объемной массы в этих уплотненных слоях торфяной залежи с использованием ее величины на начало расчетного периода и величины коэффициента сжатия в конце этого периода. Применение предложенных методик позволяет определить показатель уплотнения верхних слоев осушенной торфяной залежи (объемную массу) с ошибкой, не превышающей в среднем 0,021 г/см<sup>3</sup>. Расчеты по полученным в результате исследований зависимостям показывают, что переход верхнего полуметрового слоя осушенной торфяной залежи в зону постторфяных почв (объемная масса 0,6 г/см<sup>3</sup>) произойдет через 79–83 года после осушения, а верхнего метрового – через 159–173 года при исходной (до осушения) мощности торфяной залежи 150–200 см.

**Ключевые слова:** торфяная залежь, осушение, осадочная площадка, послойная осадка торфяной залежи, осадочные реперы, объемная масса, коэффициент сжатия (уплотнения).

### Abstract

#### **N. M. Avramenko** CHANGES IN THE PHYSICAL PROPERTIES OF DRAINED PEAT DEPOSIT IN THE PROCESS OF ITS SEDIMENTATION

The characteristic of the layer-by-layer precipitation of the drained peat deposit is the compression ratio (compaction). An indicator of the compaction of peat deposits is the bulk density. It is established that further (after 56 years) compaction of the drained peat deposit with a capacity of 150–200 cm will mainly occur in the residual upper layers with initial depths of 0.5 and 1.0 m. The methods for determining the predicted values of the bulk mass in these compacted layers of the peat deposit using its value at the beginning of the calculation period and the value of the compression ratio at the end of this period are proposed. The application of the proposed methods allows to determine the index of compaction of the upper layers of the drained peat deposit (bulk mass) with an accuracy not exceeding an average of 0.021 g/cm<sup>3</sup>. Calculations on the dependences obtained as a result of the studies show that the transition of the upper half-meter layer of the drained peat deposit to the zone of post-peat soils (volume mass 0.6 g/cm<sup>3</sup>) will occur in 79–83 years after drainage, and the upper meter – in 159–173 years at the initial (before drainage) power of the peat deposit 150–200 cm.

**Keywords:** peat deposit, drainage, sediment area, layer-by-layer precipitation of the drained peat deposit, sedimentary benchmarks, volume weight, compression ratio (compaction).

### Введение

Изменение физических свойств осушенной торфяной залежи в процессе ее осадки изучается нами с 1961 г. на стационарных осадочных площадках мелиоративной системы «ПОМС» Лунинецкого района Брестской области. Осадочные площадки расположены между каналом Б-1-4 и осушителем 28

(Е = 200 м) на расстоянии 14, 54 и 100 м от проводящего канала Б-1-4 (ПК 10). Площадки соответственно были представлены следующими начальными глубинами низинного осоково-тростникового торфа: 180, 200 и 150 см. Осадочные площадки прямоугольной формы размером 5,5×2,3 м огорожены по периметру жердяной изгородью. Изначально торфяная

залежь на площадках не подвергалась обработке сельскохозяйственными орудиями. На них произрастает естественная травяная растительность, которая периодически скашивается вручную и убирается. Изучение послойной осадки торфа производится путем периодического нивелирования поверхности площадок и осадочных реперов, заложенных на глубинах 20, 50, 100, 120 и 150 см. Подробная методика исследований на осадочных площадках изложена в работах [1–3].

### Результаты исследований и их обсуждение

Характеристикой послойной осадки осушенной торфяной залежи является коэффициент сжатия (уплотнения),  $K_{сж.}$ :

$$K_{сж.} = \frac{h_i}{h_{i+n}}, \quad (1)$$

где  $h_i$  – толщина торфяного слоя на начало рассматриваемого периода, м;

$h_{i+n}$  – толщина торфяного слоя на конец рассматриваемого периода, м.

Из табл. 1–3 следует, что за период наблюдений (1961–2017 гг.) за послойной осадкой осушенной торфяной залежи мощностью 150–200 см наибольшим коэффициентом сжатия характеризуется граничащий с атмосферой верхний начальный 20-сантиметровый слой. Величина  $K_{сж.}$  по причине происходящих здесь более интенсивных физико-химических процессов составила 6,67–11,11. В результате них этот слой через 56 лет после осушения практически полностью сработался. На втором месте по величине коэффициента сжатия за период осушения оказался начальный верхний 0,5-метровый слой торфяной залежи и на третьем – начальный верхний 1-метровый слой с  $K_{сж.}$  соответственно равными 3,01–3,42 и 2,29–2,38. Из этого следует, что дальнейшее уплотнение торфяной залежи по глубине главным образом будет происходить в верхних слоях с первоначальной глубиной 0,5 и 1,0 м.

Исходный верхний 0,5-метровый слой торфяной залежи на осадочных площадках с исходной мощностью торфа 180, 200 и 150 см уменьшился (уплотнился) к 2017 г. соответственно до 14,6, 16,0 и 16,6 см, а первоначальный верхний 1-метровый слой – соответственно до 43,5, 43,6 и 42,0 см (табл. 1–3).

Показателем уплотнения торфяной залежи является изменение (увеличение) объемной массы. Отбор проб для ее определения на осадочных площадках осуществлялся в 1961, 1987, 1993, 2004, 2009, 2011 и 2017 гг. Отбор проб в 1961 г. осуществлялся через 10 см до глубины 100 см, в остальные годы – в основном до 50 см (табл. 4).

Сопоставим расчетные величины объемной массы в уплотненных 0,5-метровом и 1-метровом верхних слоях осушенной торфяной залежи на осадочных площадках с фактическими. Расчетные ве-

личины объемной массы определим путем умножения ее фактических величин в слое в начале рассматриваемого периода на коэффициент сжатия в конце этого периода. При этом рассмотрим два варианта определения коэффициента сжатия в начальных (1961 г.) 0,5-метровом и 1-метровом верхних слоях торфа.

Первый вариант предусматривает применение коэффициентов сжатия, полученных путем отношения начальной толщины торфяной залежи (мощностью 0,5 или 1,0 м) к ее толщине на дату отбора проб. Во втором варианте используются коэффициенты сжатия на конец периода между смежными отборами.

При расчетах первого варианта используем следующую зависимость

$$a_{p1} = a_{\phi i} K_{1сж.}, \quad (2)$$

где  $a_{p1}$  – расчетная величина объемной массы в уплотненном слое торфяной залежи на конец рассматриваемого периода, г/см<sup>3</sup>;

$a_{\phi i}$  – фактическая величина объемной массы в слое на начало рассматриваемого периода (1961 г.), г/см<sup>3</sup>;

$$K_{1сж.} = \frac{0,5}{h_i} \text{ – коэффициент сжатия (уплотнения)}$$

при расчетах для 0,5-метрового начального слоя торфяной залежи;

$$K_{1сж.} = \frac{1,0}{h_i} \text{ – коэффициент сжатия (уплотнения)}$$

при расчетах для 1-метрового начального слоя торфяной залежи;

$h_i$  – толщина уплотненного слоя торфяной залежи в конце рассматриваемого периода, определенная по данным инструментальных измерений (нивелирования) отметок дневной поверхности и соответствующих осадочных реперов, установленных на глубинах 0,5 и 1,0 м.

При расчетах второго варианта используем зависимость:

$$a_{p2} = a_{\phi i-1} K_{2сж.}, \quad (3)$$

где  $a_{p2}$  – расчетная величина объемной массы в слое на конец периода между смежными отборами, г/см<sup>3</sup>;

$a_{\phi i-1}$  – фактическая величина объемной массы в слое на начало периода между смежными отборами проб, г/см<sup>3</sup>;

$K_{2сж.}$  – коэффициенты сжатия слоя на конец периода между смежными отборами проб, определяемыми по формуле:

$$K_{2сж.} = \frac{h_i}{h_{i+1}}, \quad (4)$$

где  $h_i$  – толщина слоя торфа, определенная по данным инструментальных измерений на начало периода между смежными отборами, м;

$h_{i+1}$  – толщина слоя торфа, определенная по данным инструментальных измерений на конец периода между смежными отборами, м.

Таблица 1 – Изменение толщин слоя торфа и величин коэффициентов сжатия на площадке № 2 ( $H_m = 180$  см) по изучению осадки торфяной залежи, расположенной в 14 м от бровки канала Б-1-4 (ПК-10) мелиоративной системы «ПОМС»

Продолжительность периода от начала осушения, лет	Глубины, см																	
	0–20		20–50		50–100		100–120		120–150		0–50		0–100		0–150			
0	Толщина слоя $h_i$ , м	0,200	0,300	0,500	0,200	0,300	0,500	0,300	0,500	0,300	0,500	1,000	1,500	Уменьшение толщинны слоя $\Delta h$ , м	0,331	0,676	Коэффициент сжатия $K = h_i/h_{i+n}$	1,28
10	Уменьшение толщинны слоя $\Delta h$ , м	0,071	0,110	0,100	0,179	0,021	0,179	0,029	0,319	0,029	0,181	0,719	0,331	Уменьшение толщинны слоя $\Delta h$ , м	0,281	0,565	Коэффициент сжатия $K = h_i/h_{i+n}$	1,39
20	Толщина слоя $h_i$ , м	0,119	0,150	0,351	0,170	0,254	0,269	0,254	0,269	0,017	0,050	0,620	1,044	Уменьшение толщинны слоя $\Delta h$ , м	0,099	0,125	Коэффициент сжатия $K = h_i/h_{i+n}$	1,16
30	Уменьшение толщинны слоя $\Delta h$ , м	0,008	0,018	0,033	0,160	0,010	0,160	0,009	0,243	0,009	0,026	0,561	0,966	Уменьшение толщинны слоя $\Delta h$ , м	0,059	0,078	Коэффициент сжатия $K = h_i/h_{i+n}$	1,11
40	Толщина слоя $h_i$ , м	0,070	0,131	0,306	0,160	0,233	0,230	0,230	0,230	0,012	0,042	0,507	0,900	Уменьшение толщинны слоя $\Delta h$ , м	0,054	0,066	Коэффициент сжатия $K = h_i/h_{i+n}$	1,11
50	Уменьшение толщинны слоя $\Delta h$ , м	0,021	0,002	0,014	0,160	0,000	0,160	0,000	0,230	0,003	0,023	0,470	0,860	Уменьшение толщинны слоя $\Delta h$ , м	0,037	0,040	Коэффициент сжатия $K = h_i/h_{i+n}$	1,08
56	Толщина слоя $h_i$ , м	0,018	0,128	0,289	0,159	0,230	0,230	0,230	0,230	0,000	0,032	0,146	0,824	Уменьшение толщинны слоя $\Delta h$ , м	0,035	0,036	Коэффициент сжатия $K = h_i/h_{i+n}$	1,08
0–56		0,182	0,172	0,211	0,211	0,041	0,159	0,070	0,230	0,070	0,354	0,435	0,824		0,565	0,676		1,82

Таблица 2 – Изменение толщин слоя торфа и величин коэффициентов сжатия на площадке № 3 ( $H_{\text{г}} = 200 \text{ см}$ ) по изучению осадки торфяной залежи, расположенной в 54 м от бровки канала Б-1-4 (ПК-10) меллоративной системы «ПОМС»

Продолжительность периода от начала осушения, лет	Глубины, см																							
	0–20			20–50			50–100			100–120			120–150			0–50			0–100			0–150		
	Толщина слоя $h_i$ , м	Уменьшение толщин слоя $\Delta h_i$ , м	Коэффициент сжатия $K = h_i/h_{i+n}$	Толщина слоя $h_i$ , м	Уменьшение толщин слоя $\Delta h_i$ , м	Коэффициент сжатия $K = h_i/h_{i+n}$	Толщина слоя $h_i$ , м	Уменьшение толщин слоя $\Delta h_i$ , м	Коэффициент сжатия $K = h_i/h_{i+n}$	Толщина слоя $h_i$ , м	Уменьшение толщин слоя $\Delta h_i$ , м	Коэффициент сжатия $K = h_i/h_{i+n}$	Толщина слоя $h_i$ , м	Уменьшение толщин слоя $\Delta h_i$ , м	Коэффициент сжатия $K = h_i/h_{i+n}$	Толщина слоя $h_i$ , м	Уменьшение толщин слоя $\Delta h_i$ , м	Коэффициент сжатия $K = h_i/h_{i+n}$	Толщина слоя $h_i$ , м	Уменьшение толщин слоя $\Delta h_i$ , м	Коэффициент сжатия $K = h_i/h_{i+n}$	Толщина слоя $h_i$ , м	Уменьшение толщин слоя $\Delta h_i$ , м	Коэффициент сжатия $K = h_i/h_{i+n}$
0	0,200	0,070	1,53	0,300	0,070	1,30	0,500	0,140	1,39	0,200	0,035	1,21	0,300	0,015	1,05	0,500	0,140	1,39	1,000	0,280	1,39	1,500	0,330	1,28
10	0,130	0,005	1,04	0,230	0,015	1,07	0,360	0,041	1,13	0,165	0,004	1,02	0,285	0,031	1,12	0,360	0,020	1,06	0,720	0,061	1,09	1,170	0,096	1,09
20	0,125	0,014	1,13	0,215	0,031	1,17	0,319	0,027	1,09	0,161	0,003	1,02	0,254	0,012	1,05	0,340	0,045	1,15	0,659	0,072	1,12	1,074	0,087	1,09
30	0,111	0,021	1,23	0,184	0,029	1,19	0,292	0,011	1,07	0,158	0,018	1,03	0,242	0,002	1,01	0,295	0,050	1,20	0,587	0,061	1,12	0,987	0,081	1,09
40	0,090	0,051	2,31	0,155	0,015	1,11	0,281	0,001	1,08	0,140	0,010	1,02	0,240	0,000	1,00	0,245	0,066	1,37	0,526	0,067	1,15	0,906	0,077	1,09
50	0,039	0,014	1,56	0,140	0,015	1,04	0,280	0,004	1,01	0,130	0,000	1,00	0,240	0,000	1,00	0,179	0,019	1,12	0,459	0,023	1,05	0,829	0,023	1,03
56	0,025			0,135			0,276			0,130			0,240			0,160			0,436			0,806		
0–56		0,175	8,00		0,175	2,22		0,224	1,81		0,070	1,54		0,060	1,25		0,340	3,12		0,564	2,29		0,694	1,86

Таблица 3 – Изменение толщин слоя торфа и величин коэффициентов сжатия на площадке № 4 ( $H_m = 150$  см) по изучению осадки торфяной залежи, расположенной в 100 м от бровки канала Б-1-4 (ПК-10) мелиоративной системы «ПОМС»

Продолжительность периода от начала осушения, лет	Глубины, см																								
	0–20		20–50		50–100		100–120		120–150		0–50		0–100		0–150										
	Толщина слоя $h_i$ , м	Уменьшение толщины слоя $\Delta h$ , м	Толщина слоя $h_i$ , м	Уменьшение толщины слоя $\Delta h$ , м	Толщина слоя $h_i$ , м	Уменьшение толщины слоя $\Delta h$ , м	Толщина слоя $h_i$ , м	Уменьшение толщины слоя $\Delta h$ , м	Толщина слоя $h_i$ , м	Уменьшение толщины слоя $\Delta h$ , м	Толщина слоя $h_i$ , м	Уменьшение толщины слоя $\Delta h$ , м	Толщина слоя $h_i$ , м	Уменьшение толщины слоя $\Delta h$ , м	Толщина слоя $h_i$ , м	Уменьшение толщины слоя $\Delta h$ , м									
		Коэффициент сжатия $K = h_i/h_{i+n}$																							
0	0,200	0,024	1,14	0,300	0,066	1,30	0,500	0,131	1,35	0,200	0,039	1,24	0,300	0,017	1,06	0,500	0,090	1,22	1,000	0,221	1,28	1,500	0,277	1,27	
10	0,176	0,035	1,55	0,234	0,044	1,31	0,369	0,062	1,20	0,161	0,001	1,01	0,410	0,007	1,03	0,410	0,079	1,24	0,779	0,141	1,22	1,223	0,149	1,14	
20	0,141	0,030	1,27	0,190	0,032	1,22	0,307	0,045	1,17	0,160	0,003	1,02	0,276	0,010	1,04	0,331	0,062	1,23	0,638	0,107	1,20	1,074	0,120	1,13	
30	0,111	0,040	1,56	0,158	0,016	1,11	0,262	0,009	1,09	0,157	0,010	1,07	0,266	0,002	1,01	0,269	0,056	1,26	0,531	0,065	1,14	0,954	0,077	1,09	
40	0,071	0,036	2,03	0,142	0,006	1,04	0,253	0,001	1,00	0,147	0,000	1,00	0,264	0,002	1,01	0,213	0,042	1,25	0,466	0,043	1,10	0,877	0,045	1,05	
50	0,035	0,005	1,16	0,136	0,000	1,00	0,252	0,000	1,00	0,147	0,000	1,00	0,262	0,002	1,01	0,171	0,005	1,03	0,423	0,003	1,01	0,832	0,007	1,01	
56	0,030			0,136			0,252			0,147			0,260			0,166			0,420			0,825			
0–56		0,170	<b>6,67</b>		0,164	<b>2,21</b>		0,248	<b>1,98</b>		0,053	<b>1,36</b>		0,040	<b>1,15</b>		0,334	<b>3,01</b>		0,580	<b>2,38</b>		0,675	<b>1,82</b>	

Таблица 4 – Величины объемной массы торфа на площадках по изучению осадки торфяной залежи на мелиоративной системе «ПОМС», г/см<sup>3</sup>

Глу-бина отбора проб, см	Годы																													
	1961				1987				1993				2004				2009				2011				2017					
	2		3		4		2		3		4		2		3		4		2		3		4		2		3		4	
10	0,13	0,14	0,14	0,14	0,26	0,25	0,22	0,27	0,26	0,25	0,25	0,28	0,29	0,29	0,32	0,32	0,32	0,33	0,34	0,34	0,34	0,34	0,35	0,36	0,36	0,36	0,36	0,36	0,36	
20	0,12	0,13	0,13	0,21	0,26	0,24	0,21	0,26	0,25	0,24	0,28	0,29	0,29	0,30	0,31	0,30	0,32	0,32	0,32	0,32	0,33	0,34	0,34	0,34	0,34	0,34	0,34	0,34	0,34	0,35
30	0,12	0,12	0,12	0,20	0,19	0,20	0,20	0,21	0,20	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,23	0,23	0,23	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,26
40	0,12	0,12	0,11	0,18	0,18	0,18	0,19	0,19	0,19	0,20	0,20	0,20	0,20	0,21	0,21	0,21	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,24
50	0,12	0,12	0,11	0,17	0,17	0,17	0,18	0,18	0,18	0,19	0,20	0,20	0,20	0,21	0,21	0,21	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,24
60	0,12	0,12	0,11	-	-	-	-	-	-	-	-	0,21	0,27	0,32	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
70	0,12	0,12	0,11	0,17	-	-	-	-	-	-	0,79	0,21	0,23	0,77	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
80	0,12	0,12	0,10	-	-	-	-	-	-	-	1,54	0,20	0,26	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
90	0,11	0,12	0,10	-	-	-	-	-	-	-	-	0,21	1,57	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
100	0,11	0,12	0,10	-	-	-	-	-	-	-	-	0,22	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Примечание: (0,120)–(0,360) – средняя величина объемной массы в уплотненном верхнем 0,5-метровом слое торфяной залежи; (0,118)–(0,302) – средняя величина объемной массы в уплотненном верхнем 1-метровом слое торфяной залежи.

Сопоставление расчетных величин объемной массы с фактическими для исходного верхнего 0,5-метрового слоя осушенной торфяной залежи мощностью 150–200 см с применением для расчета коэффициентов сжатия  $K_{1сж.}$  и  $K_{2сж.}$  показало, что среднеквадратическое отклонение расчетных величин от фактических составляет в первом случае 0,011–0,028 г/см<sup>3</sup>, во втором – 0,010–0,023 г/см<sup>3</sup> (табл. 5, 7, 9).

Сравнивая расчетные величины объемной массы с фактическими для исходного верхнего 1-метрового слоя торфа осушенной торфяной залежи мощностью 150–200 см с использованием для расчета коэффициентов сжатия  $K_{1сж.}$  и  $K_{2сж.}$ , приходим к выводу, что среднеквадратическое отклонение расчетных величин от фактических при применении  $K_{1сж.}$  составляет 0,016–0,019 г/см<sup>3</sup>, а при  $K_{2сж.}$  – 0,008–0,014 г/см<sup>3</sup> (табл. 6, 8, 10).

Таким образом, использование при расчетах величин объемной массы на начало рассматриваемых периодов и величин коэффициентов сжатия на конец этих периодов позволяет определить показатель уплотнения торфяной залежи (объемную массу) с ошибкой, не превышающей в среднем 0,021 г/см<sup>3</sup>.

Пользуясь частными выражениями формулы (2) и зависимостями коэффициентов сжатия  $K_{1сж.}$  от давности осушения ( $n$ ) для начальных верхних 0,5-метрового и 1-метрового слоев осушенной торфяной залежи, графики которых приведены на рис. 1 и 2, определим время ее перехода в зону постторфяных почв (при  $a = 0,6$  г/см<sup>3</sup>) [4]. Результаты расчетов приведены в табл. 11.

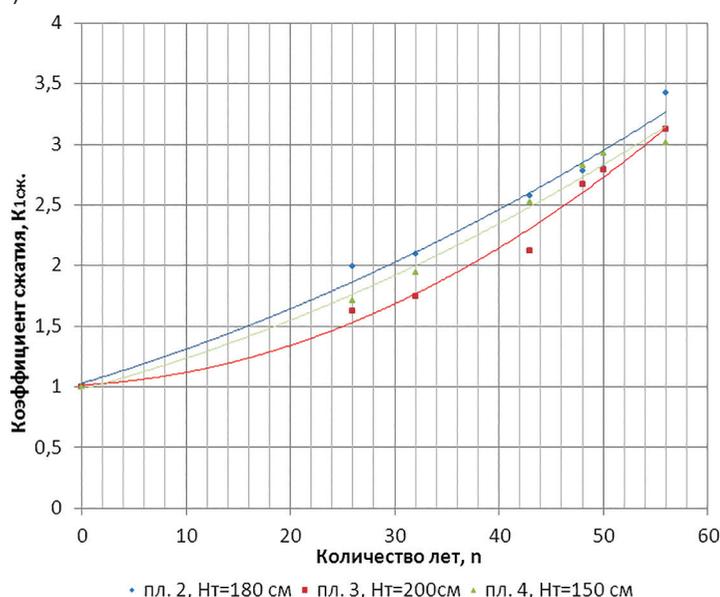


Рисунок 1 – График зависимости коэффициентов сжатия верхнего 0,5-метрового слоя торфяной залежи от давности осушения на осадочных площадках мелиоративной системы «ПОМС»

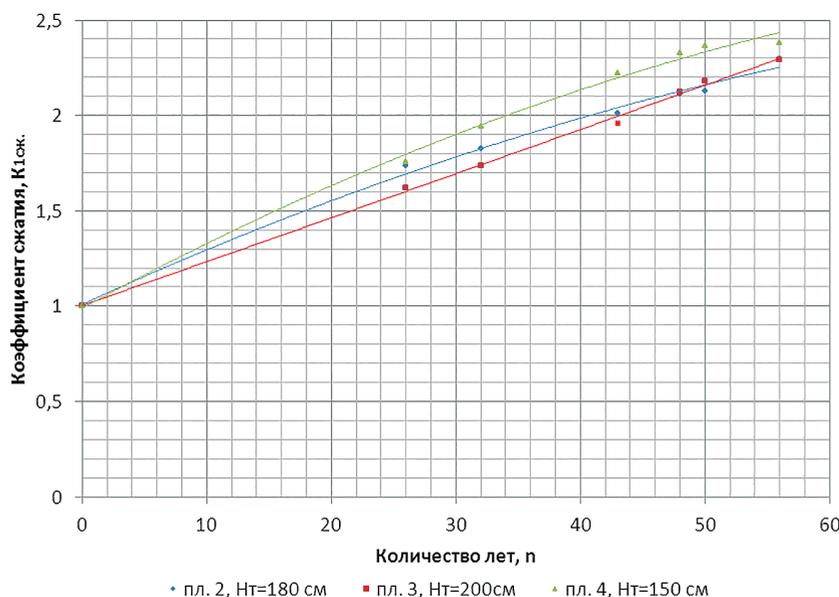


Рисунок 2 – График зависимости коэффициентов сжатия верхнего 1-метрового слоя торфяной залежи от давности осушения на осадочных площадках мелиоративной системы «ПОМС»

Таблица 5 – Определение среднеквадратического отклонения расчетных величин объемной массы от фактических в верхнем 0,5-метровом слое осушенной торфяной залежи на площадке № 2 по изучению осадки торфа на мелиоративной системе «ПОМС» за период с 1961 по 2017 годы

№ п/п.	Показатели	Годы							Среднеквадратическое отклонение расчетных величин объемной массы от фактических, г/см <sup>3</sup>
		1961	1987	1993	2004	2009	2011	2017	
1	Толщина слоя на дату отбора проб почвы, $h_i$ , м	0,500	0,251	0,239	0,194	0,180	0,178	0,146	–
2	Коэффициенты сжатия слоя, полученные путем отношения начальной толщины к толщине на дату отбора проб почвы $K_{1сж.} = \frac{0,5}{h_i}$	1,000	1,992	2,092	2,577	2,778	2,809	3,425	–
3	Коэффициенты сжатия слоя на конец периода между смежными отборами проб почвы $K_{2сж.} = \frac{h_i}{h_{i+1}}$		1,992	1,050	1,232	1,078	1,011	1,219	–
4	Фактическая величина объемной массы в слое $h_i$ , $a_{\phi i}$ , г/см <sup>3</sup>	0,120	0,260	0,265	0,285	0,320	0,340	0,360	–
5	Расчетная величина объемной массы в слое $h_i$ , $a_{p1} = 0,120 K_{1сж.}$ , г/см <sup>3</sup>	0,120	0,239	0,250	0,309	0,333	0,337	0,411	–
6	Расчетная величина объемной массы в слое $h_i$ , $a_{p2} = a_{\phi i-1} K_{2сж.}$ , г/см <sup>3</sup>		0,239	0,273	0,0,326	0,307	0,303	0,378	–
7	Отклонения $a_{p1} - a_{\phi i}$		-0,021	-0,015	+0,024	+0,013	-0,003	+0,051	0,028
8	Отклонения $a_{p2} - a_{\phi i}$		-0,021	+0,008	+0,041	+0,007	-0,007	+0,018	0,023

Таблица 6 - Определение среднеквадратического отклонения расчетных величин объемной массы от фактических в верхнем 1-метровом слое осушенной торфяной залежи на площадке № 2 по изучению осадки торфа на мелиоративной системе «ПОМС» за период с 1961 по 2017 годы

№ п/п.	Показатели	Годы							Среднеквадратическое отклонение расчетных величин объемной массы от фактических, г/см³
		1961	1987	1993	2004	2009	2011	2017	
1	Толщина слоя на дату отбора проб почвы $h_i$ , м	1,000	0,576	0,548	0,497	0,474	0,470	0,435	-
2	Коэффициенты сжатия слоя, полученные путем отношения начальной толщины к толщине на дату отбора проб почвы $K_{1сж} = \frac{0,5}{h_i}$	1,000	1,736	1,825	2,012	2,110	2,128	2,299	-
3	Коэффициенты сжатия слоя на конец периода между смежными отборами проб почвы $K_{2сж} = \frac{h_i}{h_{i+1}}$		1,736	1,051	1,103	1,049	1,009	1,080	-
4	Фактическая величина объемной массы в слое $h_i$ , $a_{\phi i}$ , г/см³	0,118	0,214	0,222	0,238	0,265	0,280	0,295	-
5	Расчетная величина объемной массы в слое $h_i$ , $a_{p1} = 0,120 K_{1сж}$ , г/см³	0,118	0,205	0,215	0,237	0,249	0,251	0,271	-
6	Расчетная величина объемной массы в слое $h_i$ , $a_{p2} = a_{\phi i-1} K_{2сж}$ , г/см³		0,205	0,225	0,245	0,250	0,259	0,283	-
7	Отклонения $a_{p1} - a_{\phi i}$		-0,009	-0,007	-0,001	-0,016	-0,029	-0,024	0,019
8	Отклонения $a_{p2} - a_{\phi i}$		-0,009	+0,003	+0,007	-0,015	-0,021	-0,012	0,014

Таблица 7 – Определение среднеквадратического отклонения расчетных величин объемной массы от фактических в верхнем 0,5-метровом слое осушенной торфяной залежи на площадке № 3 по изучению осадки торфа на мелиоративной системе «ПОМС» за период с 1961 по 2017 годы

№ п/п.	Показатели	Годы								Среднеквадратическое отклонение расчетных величин объемной массы от фактических, г/см <sup>3</sup>
		1961	1987	1993	2004	2009	2011	2017		
1	Толщина слоя на дату отбора проб почвы $h_i$ , м	0,500	0,308	0,286	0,226	0,187	0,179	160	–	
2	Коэффициенты сжатия слоя, полученные путем отношения начальной толщины к толщине на дату отбора проб почвы $K_{1сж.} = \frac{0,5}{h_i}$	1,000	1,623	1,748	2,212	2,674	2,793	3,125	–	
3	Коэффициенты сжатия слоя на конец периода между смежными отборами проб почвы $K_{2сж.} = \frac{h_i}{h_{i+1}}$	1,623	1,077	1,265	1,208	1,045	1,119	–		
4	Фактическая величина объемной массы в слое $h_i$ , $a_{фi}$ , г/см <sup>3</sup>	0,126	0,227	0,237	0,275	0,320	0,340	0,360	–	
5	Расчетная величина объемной массы в слое $h_i$ , $a_{p1} = 0,120 K_{1сж.}$ , г/см <sup>3</sup>	0,126	0,204	0,220	0,279	0,337	0,352	0,394	–	
6	Расчетная величина объемного веса в слое $h_i$ , $a_{p2} = a_{фi-1} K_{2сж.}$ , г/см <sup>3</sup>		0,204	0,244	0,300	0,332	0,334	0,355	–	
7	Отклонения $a_{p1} - a_{фi}$		-0,023	-0,017	+0,004	+0,017	+0,012	+0,034	0,022	
8	Отклонения $a_{p2} - a_{фi}$		-0,023	+0,007	+0,025	+0,012	-0,006	-0,005	0,017	

Таблица 8 – Определение среднеквадратического отклонения расчетных величин объемной массы от фактических в верхнем 1-метровом слое осушенной торфяной залежи на площадке № 3 по изучению осадки торфа на мелиоративной системе «ПОМС» за период с 1961 по 2017 годы

№ п/п.	Показатели	Годы								Среднеквадратическое отклонение расчетных величин объемной массы от фактических, г/см³
		1961	1987	1993	2004	2009	2011	2017		
1	Толщина слоя на дату отбора проб почвы $h_p$ , м	1,000	0,617	0,576	0,511	0,471	0,459	0,436	–	
2	Коэффициенты сжатия слоя, полученные путем отношения начальной толщины к толщине на дату отбора проб почвы $K_{1сж.} = \frac{h_i}{0,5 h_i}$	1,000	1,621	1,736	1,957	2,123	2,179	2,294	–	
3	Коэффициенты сжатия слоя на конец периода между смежными отборами проб почвы $K_{2сж.} = \frac{h_i}{h_{i+1}}$		1,621	1,071	1,127	1,085	1,026	1,052	–	
4	Фактическая величина объемной массы в слое $h_p$ , $a_{\phi_i}$ , г/см³	0,123	0,206	0,216	0,240	0,280	0,288	0,302	–	
5	Расчетная величина объемной массы в слое $h_p$ , $a_{p1} = 0,120 K_{1сж.}$ , г/см³	0,123	0,199	0,214	0,241	0,261	0,268	0,282	–	
6	Расчетная величина объемной массы в слое $h_p$ , $a_{p2} = a_{\phi_{i-1}} K_{2сж.}$ , г/см³		0,199	0,221	0,243	0,260	0,287	0,303	–	
7	Отклонения $a_{p1} - a_{\phi_i}$		-0,007	-0,002	+0,001	-0,019	-0,020	-0,020	0,016	
8	Отклонения $a_{p2} - a_{\phi_i}$		-0,007	+0,005	+0,003	-0,020	-0,001	+0,001	0,010	

Таблица 9 – Определение среднеквадратического отклонения расчетных величин объемной массы от фактических в верхнем 0,5-метровом слое осушенной торфяной залежи на площадке № 4 по изучению осадки торфа на мелиоративной системе «ПОМС» за период с 1961 по 2017 годы

№ п.п.	Показатели	Годы							Среднеквадратическое отклонение расчетных величин объемной массы от фактических, г/см <sup>3</sup>
		1961	1987	1993	2004	2009	2011	2017	
1	Толщина слоя на дату отбора проб почвы $h_i$ , м	0,500	0,292	0,258	0,198	0,177	0,171	0,166	–
2	Коэффициенты сжатия слоя, полученные путем отношения начальной толщины к толщине на дату отбора $0,5 \cdot \frac{h_i}{h_{i+1}}$ проб почвы $K_{1сж} = \frac{h_i}{h_{i+1}}$	1,000	1,712	1,938	2,525	2,825	2,924	3,012	–
3	Коэффициенты сжатия слоя на конец периода между смежными отборами проб почвы $K_{2сж} = \frac{h_i}{h_{i+1}}$		1,712	1,132	1,303	1,119	1,035	1,030	–
4	Фактическая величина объемной массы в слое $h_i$ , $a_{\phi i}$ , г/см <sup>3</sup>	0,122	0,210	0,237	0,290	0,330	0,350	0,360	–
5	Расчетная величина объемной массы в слое $h_i$ , $a_{p1} = 0,120 K_{1сж}$ , г/см <sup>3</sup>	0,122	0,209	0,236	0,308	0,345	0,357	0,367	–
6	Расчетная величина объемной массы в слое $h_i$ , $a_{p2} = a_{\phi i-1} K_{2сж}$ , г/см <sup>3</sup>		0,209	0,238	0,309	0,325	0,342	0,350	–
7	Отклонения $a_{p1} - a_{\phi i}$		-0,001	-0,001	+0,018	+0,015	+0,007	+0,007	0,011
8	Отклонения $a_{p2} - a_{\phi i}$		-0,001	+0,001	+0,019	-0,005	-0,008	-0,010	0,010

Таблица 10 – Определение среднеквадратического отклонения расчетных величин объемной массы от фактических в верхнем 1-метровом слое осушенной торфяной залежи на площадке № 4 по изучению осадки торфа на мелиоративной системе «ПОМС» за период с 1961 по 2017 годы

№ п.п.	Показатели	Годы							Среднеквадратическое отклонение расчетных величин объемной массы от фактических, г/см <sup>3</sup>
		1961	1987	1993	2004	2009	2011	2017	
1	Толщина слоя на дату отбора проб почвы $h_p$ , м	1,000	0,569	0,515	0,450	0,429	0,423	0,420	–
2	Коэффициенты сжатия слоя, полученные путем отношения начальной толщины к толщине на дату отбора проб почвы $K_{1сж.} = \frac{h_i}{0,5 h_i}$	1,000	1,757	1,942	2,222	2,331	2,364	2,380	–
3	Коэффициенты сжатия слоя на конец периода между смежными отборами проб почвы $K_{2сж.} = \frac{h_i}{h_{i+1}}$		1,757	1,105	1,144	1,049	1,014	1,007	–
4	Фактическая величина объемной массы в слое $h_p$ , $a_{\text{фп}}$ , г/см <sup>3</sup>	0,113	0,200	0,220	0,257	0,277	0,287	0,302	–
5	Расчетная величина объемной массы в слое $h_p$ , $a_{\text{рп}} = 0,120 K_{1сж.}$ , г/см <sup>3</sup>	0,113	0,199	0,219	0,251	0,263	0,267	0,269	–
6	Расчетная величина объемной массы в слое $h_p$ , $a_{\text{р2}} = a_{\text{фп-1}} K_{2сж.}$ , г/см <sup>3</sup>		0,193	0,221	0,252	0,270	0,281	0,289	–
7	Отклонения $a_{\text{р1}} - a_{\text{фп}}$		-0,001	-0,001	-0,006	-0,014	-0,020	-0,033	0,019
8	Отклонения $a_{\text{р2}} - a_{\text{фп}}$		-0,007	+0,001	-0,005	-0,007	-0,006	-0,013	0,008

Таблица 11 – Расчеты времени перехода верхних слоев осушенной торфяной залежи в зону постторфяных почв

№ площадки	$H_T$ , см	Коэффициенты сжатия $K_{1сж.}$ при $a = 0,6 \text{ г/см}^3$	Расчетные зависимости	$R^2$	Расчетное количество лет, $n$
Начальный 0,5-метровый слой торфяной залежи					
2	180	$K_{1сж.} = \frac{0,6}{0,120} = 5,00$	$K_{1сж.} = 0,0003n^2 + 0,0256n + 1,0282$	0,981	80
3	200	$K_{1сж.} = \frac{0,6}{0,126} = 4,76$	$K_{1сж.} = 0,0006n^2 + 0,0043n + 1,0150$	0,984	79
4	150	$K_{1сж.} = \frac{0,6}{0,122} = 4,92$	$K_{1сж.} = 0,0003n^2 + 0,0227n + 0,9792$	0,979	83
Начальный 1-метровый слой торфяной залежи					
2	180	$K_{1сж.} = \frac{0,6}{0,118} = 5,08$	$K_{1сж.} = 0,0236n + 1,0$	0,979	173
3	200	$K_{1сж.} = \frac{0,6}{0,123} = 4,88$	$K_{1сж.} = 0,0232n + 1,0$	0,998	167
4	150	$K_{1сж.} = \frac{0,6}{0,113} = 5,31$	$K_{1сж.} = 0,0271n + 1,0$	0,979	159

Из табл. 11 следует, что переход исходного верхнего 0,5-метрового слоя осушенной торфяной залежи в зону постторфяных почв произойдет через 79–83 года после проведения осушения, а исходного верхнего 1-метрового слоя – через 159–173 года при мощности торфяной залежи, до осушения равной 150–200 см.

### Выводы

1. С течением времени происходит уплотнение осушенной торфяной залежи. Об этом свидетельствуют уменьшение толщины и увеличение величины объемной массы осушенного торфяного слоя.

2. Процессы уменьшения толщины и увеличения величины объемной массы происходят более интенсивно в верхних слоях осушенной торфяной залежи.

3. Применение предложенных методик для определения прогнозных величин объемной массы в уплотненных верхних 0,5-метровом и 1-метровом слоях торфяной залежи с использованием ее величин на начало расчетного периода и величин коэффициентов сжатия позволяет определить расчетную величину объемной массы с ошибкой, не превышающей  $0,021 \text{ г/см}^3$ .

4. Расчеты по полученным в результате исследований зависимостям показывают, что переход верхнего 0,5-метрового слоя осушенной торфяной залежи в зону постторфяных почв (объемная масса  $0,6 \text{ г/см}^3$ ) произойдет через 79–83 года после осушения, а верхнего 1-метрового – через 159–173 года при исходной (до осушения) мощности торфяной залежи 150–200 см.

### Библиографический список

1. Кушнир, Н. В. Осадка торфа под влиянием осушения и сельскохозяйственного использования / Н. В. Кушнир, И. К. Библиба // Рациональное использование мелиорированных земель. – Минск, 1988. – С. 32-36.
2. Лихацевич, А. П. Закономерности осадки торфяной залежи после осушения / А. П. Лихацевич, Н. М. Авраменко // Вес. Нац. акад. наук Беларусі. Сер. аграр. навук. – 2015. – № 4. – С. 61-71.
3. Авраменко, Н. М. Экспериментальные исследования осадки торфа на мелиоративной системе «ПОМС» Лунинецкого района / Н. М. Авраменко // Мелиорация. – 2018. – № 4 (86). – С. 50-62.
4. Авраменко, Н. М. Трансформация осушенных торфяных почв Полесья / Н. М. Авраменко // Мелиорация. – 2017. – № 4 (82). – С. 12-15.

## РОСТ И РАЗВИТИЕ СИЛЬФИИ ПРОНЗЕННОЛИСТНОЙ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ПОЧВЕННЫХ РАЗНОВИДНОСТЕЙ В УСЛОВИЯХ БРЕСТСКОЙ ОБЛАСТИ

**Б. В. Шелюто**, доктор сельскохозяйственных наук

**М. А. Пастухова**, аспирант

Государственное научное учреждение «Полесский аграрно-экологический институт НАН Беларуси», г. Брест, Беларусь  
УО «Белорусская государственная сельскохозяйственная академия»,  
г. Горки, Беларусь

### Аннотация

В статье представлены результаты двухлетнего опыта возделывания сильфии пронзеннолистной на разных почвенных разновидностях, наиболее типичных для Брестской области. Экспериментальные участки расположены на территории сельскохозяйственных предприятий ОАО «Жабинковский» Жабинковского района и ОАО «Спорово» Березовского района Брестской области. Исследования проводились в рамках проекта инновационного фонда Брестского облисполкома «Внедрение в сельскохозяйственных предприятиях Брестской области новой кормовой культуры сильфии пронзеннолистной».

**Ключевые слова:** почвенные разновидности, кормовая культура, урожайность.

### Abstract

**B. V. Shelyuto, M. A. Pastukhova**  
**GROWTH AND DEVELOPMENT OF**  
**SILPHIUM PERFOLIATUM L. DEPENDING ON**  
**SOIL TYPE IN BREST REGION**

The article presents the results of a two-year experience in the cultivation of *Silphium perfoliatum* L. on different soil types, most typical for Brest region. Experimental sites are located on the territory of agricultural enterprises of Zhabinkovsky (Zhabinkovsky district) and Sporovo (Berezovsky district) in Brest region. The studies were conducted within the framework of the project of the innovation fund of the Brest Regional Executive Committee "Implementation of a new forage crop of *Silphium perfoliatum* L. in agricultural enterprises of Brest region.

**Keywords:** soil types, fodder crop, yield.

### Введение

Сельское хозяйство – одна из наиболее значимых отраслей народного хозяйства в Республике Беларусь. В настоящее время белорусские сельскохозяйственные предприятия имеют необходимый технологический потенциал для производства качественной продукции, однако это не всегда является критерием эффективности действий на рынке.

Сегодня сельскохозяйственное предприятие вынуждено подчиняться все более возрастающим требованиям к уровню хозяйствования. Необходимо отметить, что в настоящее время любой рынок развивается очень динамично, в течение одного – двух лет практически невозможно сохранить неизменным рыночное равновесие. Поэтому необходимо провести анализ использования имеющихся ресурсов в изменяющихся условиях. Для сельскохозяйственного предприятия одной из наиболее значимых задач является рациональное использование сельскохозяйственных угодий, являющихся ограниченным и исчерпаемым фактором производства, – умение их использовать расчетливо, бережливо и с наибольшей отдачей. На сегодняшний

день корма на 60–70 % формируют продуктивность молочных коров; в структуре себестоимости молока в предприятиях с высокими надоями на долю кормов приходится до 50–65 % затрат. Необходимо соотносить желаемый результат с потенциалом ресурса, учитывая и экологические последствия деятельности, в т. ч. деградацию земель. Эта проблема является одной из наиболее актуальных как в Республике Беларусь, так и во всем мире. В последнее десятилетие процессы деградации почв имели тенденцию усиливаться в результате изменения климата и, прежде всего, увеличения частоты проявления засух, заморозков и других экстремальных климатических явлений. С целью сохранения и реабилитации земель назревает необходимость внедрения в хозяйственную деятельность новых кормовых культур. Почвенно-климатические условия юго-запада Беларуси позволяют успешно возделывать большое количество нетрадиционных растений, комплементарных различным видам почв. Одной из таких культур является сильфия пронзеннолистная. Культура представляет интерес в качестве высокоурожайной (до 700 ц/га) силосной культуры многолетнего (до 10–15 лет) использования. Внедрение в производство

сильфии пронзеннолистной наряду с экономическим эффектом может способствовать сокращению масштабов деградации сельскохозяйственных земель вследствие снижения механической нагрузки при ежегодной обработке почвы, реабилитации земель.

В Республике Беларусь экспериментальные исследования проводились в Витебской области В. С. Павловым (1969–1973 гг.). В настоящее время исследовательская работа по изучению культуры выполняется сотрудниками УО «Витебская ордена «Знак почета» государственная академия ветеринарной медицины», УО «Белорусская государственная сельскохозяйственная академия», РУП «Витебский зональный институт сельского хозяйства НАН Беларуси, РУП «Гомельская областная сельскохозяйственная опытная станция», РУНП «Гродненский зональный институт растениеводства» НАН Беларуси».

Полесский аграрно-экологический институт НАН Беларуси (г. Брест) ведет работу с культурой с 2013 г. К настоящему времени сильфия пронзеннолистная представлена на экспериментальных участках сельскохозяйственных предприятий Брестского, Березовского, Малоритского, Каменецкого, Жабинковского, Ивановского, Кобринского районов. Биологические особенности культуры и ее потенциальная хозяйственная ценность изучаются в условиях следующих почвенных разновидностей Брестской области: дерново-подзолистой песчаной, супесчаной, суглинистой почвы; дерново-глеевой песчаной и связнопесчаной; дерново-подзолисто-глееватой карбонатной; торфяно-минеральной; торфяно-болотной антропогенно преобразованной; торфяно-глеевой почв. В данной статье представлены данные исследований, полученных при возделывании сильфии пронзеннолистной на экспериментальных участках (ЭУ) следующих почвенных разновидностей:

1 – дерново-глееватая карбонатная;

2 – торфяно-болотная антропогенно преобразованная;

3 – дерново-глеевая песчаная;

4 – дерново-подзолистая суглинистая.

Морфолого-генетическая характеристика почв экспериментальных участков, анализы по определению водно-физических свойств почв проводились согласно методикам, предложенным Институтом почвоведения и агрохимии, а также по стандартным методикам [1; 2]. Энергия прорастания и лабораторная всхожесть семян определялись согласно [3]. Учет полевой всхожести проводился в конце вегетационного периода первого года жизни культуры. Учет урожайности проводился согласно [4; 5].

В результате исследований экспериментальных участков на момент посева культуры получены показатели водно-физических свойств почв, представленные в табл. 1.

Из полученных данных таблицы видно, что пахотные горизонты исследуемых почв обладают существенными различиями по водно-физическим свойствам. Наименьшей плотностью (объемным весом) характеризуется пахотный горизонт торфяно-болотной антропогенно преобразованной почвы. Уплотненным является пахотный горизонт дерново-подзолистой суглинистой почвы. Низкая плотность торфяно-болотной почвы ( $0,33 \text{ г/см}^3$ ) обусловлена большим содержанием органического вещества. Пахотные горизонты остальных почв относятся к категории хорошо окультуренных или богатых органическим веществом. За счет повышенной плотности сложения дерново-подзолистая суглинистая почва обладает неудовлетворительной пористостью и низкими показателями содержания продуктивной влаги. Пористость остальных почв опыта характеризуется как отличная. Хорошее содержание полезной влаги отмечено в дерново-глеевой песчаной и торфяно-болотной почвах. В остальных почвах экспериментальных участков запасы продуктивной влаги удовлетворительны.

Таблица 1 – Водно-физические свойства пахотного горизонта исследуемых почв

ЭУ	Глубина взятия образца, см	Удельный вес, $\text{г/см}^3$	Плотность (объемный вес), $\text{г/см}^3$	Влажность завядания	Гигроскопическая влажность почвы	Полная влагоемкость	Пористость	Содержание в почве воздуха	Запас полезной влаги (ЗПВ)
1. ОАО «Спорово»	0–20	2,63	0,89	0,94	0,70	74,34	66,16	28,81	36,52
2. ОАО «Спорово»	0–20	1,94	0,33	19,03	14,2	251,48	82,99	14,84	61,87
3. ОАО «Спорово»	0–20	2,59	0,98	2,40	1,79	63,43	62,16	9,03	50,77
4. ОАО «Жабинковский»	0–20	2,63	1,34	0,94	0,70	36,60	49,05	20,01	35,78

Почвенный воздух – источник кислорода для дыхания корневых систем растений и жизнедеятельности аэробных микроорганизмов. Чем выше влажность почвы, тем меньше в ней воздуха. Содержание его в почве колеблется от величины, близкой к общей пористости (порозности), для сухих почв, до нуля – при полном заполнении пор водой.

Принято считать, что при содержании воздуха в почве 8 % и ниже снабжение кислородом корней растений и аэробных микроорганизмов прекращается, корни у мезофитных растений начинают отмирать, в почве развиваются процессы оглеения грунтов.

Содержание воздуха в пахотном горизонте исследуемых почв не достигает критического уровня. Наибольшая величина этого показателя отмечена в дерново-глеевой карбонатной почве. Исследуемые почвенные разновидности существенно отличаются показателем полной влагоемкости почвы. Так, наибольшей влагоемкостью обладает торфяно-болотная почва (251,48 %), дерново-подзолисто-глееватая карбонатная почва (74,34 %), а наименьшей влагоемкостью (36,6 %) – дерново-подзолистая суглинистая почва.

В начале вегетационного периода в почву экспериментальных участков внесены удобрения в следующих количествах: суперфосфат 1 ц/га – на всех ЭУ; хлорид калия в ОАО «Спорово» 1 ц/га, а в ОАО «Жабинковский» – 2 ц/га. Агрохимическая характеристика почв в конце вегетационного периода показана в табл. 2.

Согласно данным табл. 2 оптимальное содержание фосфора и калия соответствует дерново-глеевой карбонатной и дерново-глеевой песчаной почвам экспериментальных участков. На торфяно-болотной почве содержание этих элементов характеризуется [6] как очень низкое. На основании литературных данных предыдущих исследований по отношению к кислотности почв сільфія пронзеннолистяная может быть отнесена ко второй группе полевых культур (рН 5,1–6,0).

Таблица 2 – Агрохимическая характеристика почв

ЭУ	рН	Фосфор, мг/кг	Калий, мг/кг
		конец вегетации	
1	7,56	<u>144</u> +44	<u>126,4</u> +26
2	5,16	<u>36</u> –664	<u>250</u> –350
3	5,53	<u>75</u> +25	<u>148,9</u> +48
4	6,51	<u>125</u> –125	<u>112,9</u> –108

Примечание. В числителе указано содержание элемента в почве, а в знаменателе – его дефицит с учетом гранулометрического состава почв.

Этот показатель выходит за рамки оптимального диапазона значений только на торфяно-болотной почве. Дерново-подзолистая суглинистая почва характеризуется как средне обеспеченная фосфором и низко обеспеченная калием.

Лабораторная всхожесть семян, полученных в 2016 г. на опытных стационарах Полесского аграрно-экологического института НАН Беларуси, составила 85,34 %. Масса 1000 семян – 24 г. Посев осуществлен весной 2017 г. кукурузными сеялками. Схема посадки культуры выглядит следующим образом: 40x70 см; 50x70; 60x70; 70x70 см.

Таблица 3 – Результаты посева сільфіи пронзеннолистяной на экспериментальных участках сельскохозяйственных предприятий

ЭУ	Глубина заделки семян	Всхожесть, %
1	3	80,2
2	3–6	34,5
3	3	79,1
4	3	78,7

Полевая всхожесть культуры находится в пределах 78,7–80,2 %. Низкая полевая всхожесть (34,5 %) на участке торфяно-болотной почвы обусловлена особенностями ее водно-физических свойств. Вследствие весенних торфяных бурь семена оказались местами на глубине до 6 см, прорастая там сразу настоящим листом не вынося семядоли. В конце вегетационного периода сільфія достигла фазы прикорневой розетки листьев (табл. 4).

Таблица 4 – Среднее значение показателей роста и развития растений в фазе розетки листьев (15.09.2017)

ЭУ	Фаза развития растения	Высота, см	Наиболее частое значение в выборке, см
1	розетка	17,9	17,5
2		16,4	16,0
3		19,5	19,2
4		20,7	20,4

В целом, на всех типах почв сільфія пронзеннолистяная к концу вегетации первого года жизни сформировала розетку листьев в пределах 16–20 см. Сохранность культуры весной 2018 г. достигала 98–99 % (рис. 1).

Показатели роста, развития и урожайности сільфіи пронзеннолистяной представлены в табл. 5–7.

К третьей декаде апреля формируется розетка листьев до 20 см. Избыточное увлажнение торфяно-болотной почвы в ранневесенний период задерживает развитие растений.



Рисунок 1 – Начало вегетации сильфии пронзеннолистной (апрель 2018 г.)

В целом схема размещения растений сильфии пронзеннолистной в посевах незначительно влияет на высоту растений второго года жизни. Это можно объяснить относительно малым количеством сформировавшихся стеблей растений (независимо от почвенной разновидности на второй год жизни культура формирует в среднем от 2 до 4 стеблей) и достаточной пока площадью питания. В пределах почвенной разновидности средняя высота растений в вариантах опыта варьирует в пределах 15 см. При оценке развития растений необходимо отметить крайне неблагоприятные для сельскохозяйственных культур метеорологические условия 2018 г. По данным ГУ «Брестоблгидромет» средняя температура третьей декады мая 2018 г. имела значение 19,7 °С, что на 4 °С превышало средний многолетний показатель. При этом в третью декаду мая количество осадков составило всего 0,6 мм (при среднем многолетнем показателе 24 мм), т. е. в 40 раз меньше. Первая и вторая декады июня также отличались повышенной температурой относительно средних многолетних показателей на 2–4 °С и крайне малым количеством осадков. Так, в первую декаду количество осадков составило 54 % от среднего многолет-

него показателя, во вторую – 5 %. Третья декада июня и весь июль средняя температура была близка к средним многолетним значениям и находилась на уровне 18–22 °С. При этом количество осадков превышало средние многолетние значения. Так в третьей декаде июня выпало в 2,2 раза больше осадков, в первую и вторую декаду июля – в 1,5 и 5,3 раза соответственно. В этих условиях наименьшую высоту среди исследуемых почв сильфия сформировала на дерново-подзолисто-глеевой карбонатной почве.

Согласно полученным данным на второй год жизни сильфия пронзеннолистная сформировала относительно небольшую урожайность зеленой массы с учетом метеорологических условий. Во второй год пользования наибольшая урожайность получена на участках со схемой посадки 40x70 см независимо от почвенной разновидности за счет густоты расположения растений. Данные показывают, что даже на экспериментальном участке торфяно-болотной почвы, которая отличалась низким содержанием фосфора и калия, сильфия пронзеннолистная формирует урожайность на уровне, полученном на остальных исследуемых почвенных разновидностях.

Таблица 5 – Среднее значение показателей роста и развития растений в фазе розетки листьев (20.04.2018)

ЭУ	Фаза развития растения	Высота, см	Наиболее частое значение в выборке, см
1	розетка листьев	15,3	15,0
2		12,0	10,0
3		17,2	18,0
4		18,7	18,0

Таблица 6 – Высота растений сильфии пронзеннолистной в фазе стеблевания (01.06.2018)

ЭУ	Фаза развития растения	Схема посадки, см			
		40x70	50x70	60x70	70x70
		Высота, см			
1	стеблевание	64,2	79,3	78,2	65,1
2		76,8	83,1	80,4	83,5
3		87,9	75,0	79,0	77,8
4		75,2	90,2	80,3	79,4

Таблица 7 – Урожайность сільфії пронзеннолістнай в залежнасці ад схемы пасадкі на розных пачвенных разнавіднасцях (01.06.2018)

ЭУ	Фаза развіцця расцены	Схема пасадкі, см			
		40x70	50x70	60x70	70x70
		Урожайнасць, ц/га			
1	стеблеванне	231	201	150	151
2		212	189	146	132
3		221	172	131	143
4		179	128	153	142

Возможно, это связано с тем, что растение сільфії пронзеннолістнай другога года жыцця адрозніваецца добра развітай, мацной карневай сістэмай. Пры дастатковай для двухлетніх расцены плошчы пажыцця карневая сістэма здольна усвоіць мінеральныя элементы пачвы і забяспечыць імі расцены. У цэлым во другога года жыцця культуры вельмі складна вызначыць уплыв грануламетрычнага складу пачвы на яе развіццё.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Опыт возделывания сільфії пронзеннолістнай в розных пачвенных умовах падтвэрджае гэтыя літаратурныя крыніцы аб непахітлівасці культуры. На ўсіх эксперыментальных участках захаванасць пасеваў на другога года жыцця блізка да 100 % (98–99 %), гібель некаторых расцены звязана з тэхналагічнымі элементамі возделывання (проходжанне сельскагаспадарчай тэхнікі па пасевам). Апытання падтвэрджаюць гэтыя літаратурныя крыніцы аб ранняй вегетацыі культуры. Выходы адзначаны в трэцяй дэкадзе сакавіка на участках пасеваў, вызваліўшыхся ад снега. Магчыма яе возделыванне на мелкаконтурных участках з нізкім пачвенным плодороддзем, месцах вымочек, поймах рек, неудобіцах і другіх катэгорыях зямель, падвержаных рыску хуткага разрушэння плодороднага слоя і трэбуючых доўгага перыяду рэабілітацыі, т. к. размяшчэнне там культуры мае і несумненны экалагічны эфект. Полевая выхажнасць сям'яў істотна залежыць ад глыбіні

іх заделкі в пачву. Пры пасеве на глыбіню 2 см на цяжкіх пачвах і да 3 см – на лёгкіх полевая выхажнасць знаходзіцца на ўзроўні 78,7–85,9 %. Пры большай глыбокай заделке сям'яў (5–6 см на торфянай пачве) полевая выхажнасць скарачаецца да 34,5 %. На торфяно-балотнай пачве пасев неабходна праводзіць в больш пазднія тэрміны (трэцяя дэкада сакавіка – маі), каб ухіліцца ад ізрэжанага выхажання ў выніку вясенніх торфяных бурь. Па гэтым катэгорычна не дапусцім пасев сям'яў культуры на глыбіню больш 2–3 см. На ўсіх даследуемых тыпах пачвы да канца вегетацыі першага года жыцця культура фарміруе прыкарневую розетку лісьцяў да 20 см. Урожайнасць культуры в опыце не істотна адрознівалася па варыянтам размяшчэння расцены. Найбольшая урожайнасць атрыманая пры схеме пасадкі 40x70 см.

Предполагается, что многалетнее іспользаванне сільфії пронзеннолістнай на праблемных участках сельскагаспадарчых угоддзяў будзе спрыяць сдэржыванню працэсаў ветравой эрозіі, мінералізацыі арганічнага рэчыва. Возделыванне сільфії пронзеннолістнай больш 10 лет на адным месцажыццёвым будзе ўдасканальваць структуру пачвы дзякуючы мацной карневай сістэме, абгацаць плодородны слой арганічным рэчывам астаткаў лісьцяў, стебляў расцены пасля збору, амершымі часткамі карняў. Немаловажным фактарам з'яўляецца змяншэнне інтэнсіўнасці механічнай апрацоўкі пачвы. Усе гэта в цэлым з'яўляецца рэзервам для забяспечэння ўстойлівасці аграландшафту і вярстання пачвеннага плодороддзя.

### Библиографический список

1. Методические указания по почвенно-геоботаническим и агрохимическим крупномасштабным исследованиям в БССР. – Минск : Ураджай, 1973. – 300 с.
2. Смяян, Н. И. Полевое исследование и картографирование антропогенно-преобразованных почв Беларуси: метод. указания / Н. И. Смяян, Г. С. Цытрон. – Минск : Ураджай, 1990. – 19 с.
3. Семена сельскохозяйственных культур. Методы определения всхожести : ГОСТ 12038-84. – Введ. 01.07.1986. – Министерство сельского хозяйства СССР. – 32 с.
4. Методика опытов на сенокосах и пастбищах ВНИИ / В. Г. Игловиков [и др.]. – М. : ВИК, 1971. – 233 с.
5. Навоселов, Ю. К. Методические указания по проведению полевых опытов с кормовыми культурами / Ю. К. Навоселов, Г. Д. Харьков, Н. С. Шеховцов. – М.: ВИК, 1983. – 198 с.
6. Справочник агрохимика / В. В. Лапа [и др.] ; под ред. В. В. Лапа. – Минск : Белорусская наука, 2007. – 390 с.

## ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОЙ АНАЛИЗ ИЗМЕНЧИВОСТИ И ЗОНИРОВАНИЕ ПО ТЕРРИТОРИИ БЕЛАРУСИ АГРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ И УРОЖАЙНОСТИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР НА ОСНОВЕ ГИС И БД

*Н. К. Вахонин, кандидат технических наук, доцент*

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

### **Аннотация**

В статье осуществлен пространственно-временной анализ изменчивости урожайности сельскохозяйственных культур и урожаяобразующих факторов, используя разработанную автоматизированную систему, базирующуюся на ГИС и БД, в которой собраны данные результатов многолетних мониторинговых наблюдений на гидрометеорологических станциях Гидромета, сортоиспытательных станциях системы госсортоиспытаний и стационарах института по урожайности сельскохозяйственных культур и агрометеорологическим урожаяобразующим факторам. В результате анализа изучены вариабельность величин урожайности и агрометеофакторов на основе построения кривых обеспеченности, изменчивость в разрезе многолетия на основе визуализации трендов с помощью алгоритма скользящего среднего, расчета различных статистических характеристик различного уровня генерализации во времени и осуществления зонирования по территории Беларуси.

**Ключевые слова:** *урожайность, многофакторная модель урожая, урожаяобразующие факторы, температура воздуха, осадки, ГИС, база данных, кривые обеспеченности, тренд, скользящие средние, пространственно-временной анализ, зонирование, адаптация, принятие решений, критерии, смешанные стратегии*

### **Abstract**

**N. K. Vakhonin  
SPATIO-TEMPORAL ANALYSIS OF  
VARIABILITY AND ZONING ACROSS THE  
TERRITORY OF BELARUS OF AGROMETEOROLOGICAL  
FACTORS AND CROP YIELDS  
ON THE BASIS OF GIS AND DATABASE**

The article carried out a spatio-temporal analysis of variability of crop yields and crop-forming factors, using a developed automated system based on GIS and DB, which collected data from the results of long-term monitoring observations at hydrometeorological stations of Hydromet, grades of plants testing stations of the state crop testing system and stations of the Institute for crop yields and agrometeorological crop-forming factors. As a result of the analysis, the variability of yield values and agrometeo-factors based on the construction of probability curves, variability in the context of many years based on the visualization of trends using the moving average algorithm, the calculation of various statistical characteristics of different levels of generalization in time and zoning on the territory of Belarus were studied.

**Keywords:** *productivity, multivariate crop model, yield factors, air temperature, precipitation, GIS, database, security curves, trend, moving averages, space-time analysis, zoning, adaptation, making decisions, criteria, mixed strategies.*

### **Введение**

Для обеспечения конкурентоспособности сельскохозяйственной продукции необходима смена цели сельскохозяйственного растениеводства с валовых на экономические показатели, что требует осуществления оптимизации сельхозиспользования земель на критерии максимума доходов и минимума затрат.

При строгом подходе оптимизация сельхозиспользования базируется на математической постановке задачи, конкретный вид которой определяет алгоритмы решения, соответствующие данному классу задач оптимизации.

Очевидно, что некорректные постановки задач и ошибки, в особенности использование не обоснованных критериев, не надежных зависимостей и недостоверных исходных данных для расчета

приводят к получению неточных, отличающихся от действительно оптимальных решений.

В соответствии с вышесказанным, общую практическую задачу растениеводства можно сформулировать как проблему принятия решений – согласованного выбора альтернатив вида выращиваемых сельскохозяйственных культур (адаптивные стратегии приспособления к имеющимся условиям) и интенсивности их выращивания (активные, являющиеся, как правило, более затратными, но дающие большую отдачу стратегии по изменению природной среды под требования растений), выбор параметров и управлений при регулировании водного режима (тип и параметры мелиоративных систем), химического режима (дозы удобрений, средства защиты растений и т. д.), обеспечивающих max дохода

и мин затрат при соблюдении ограничений по условиям охраны окружающей среды [1, 2].

При использовании в качестве функции цели экономических показателей ключевым звеном, определяющим правильность их расчета, является надежная зависимость (модель) урожайности сельскохозяйственных культур от урожаеобразующих факторов.

Очевидно, что чем более точно используемая в расчетах модель урожайности соответствует реально имеющей место зависимости урожая сельскохозяйственной культуры от урожаеобразующих факторов, тем более близки к оптимальным принимаемые решения. При этом это имеет место в задачах любого иерархического уровня: при планировании вида и интенсивности сельхозиспользования от республики в целом, до отдельного хозяйства и вплоть до оптимизации технологических процессов на каждом конкретном поле, в том числе с дифференциацией по площади – так называемое «точное земледелие».

Таким образом, базисной основой принятия эффективных решений в растениеводстве на любом иерархическом уровне является использование адекватной модели зависимости урожайности различных сельскохозяйственных культур от урожаеобразующих факторов и наличие надежного информационного обеспечения для чего необходимы многолетние ряды статистически однородных многолетних полевых данных по урожайности различных культур и агроклиматическим урожаеобразующим факторам по различным зонам Беларуси, тогда как полевые опыты обычно имеют продолжительность 3-5 лет.

Сельскохозяйственное растениеводство в Беларуси осуществляется на площади более 8 млн га, расположенных в различных природно-климатических условиях, имеющих значительно различающуюся степень благоприятности для выращивания различных культур и, соответственно, их возможной урожайности.

Погодно-климатические условия имеют зональный характер. Поскольку величины гидрометеорологических характеристик имеют вероятностный характер, то величина урожайности сельскохозяйственных культур, определяемая как детерминированными, так и стохастическими переменными урожаеобразующими факторами, также имеет вероятностный характер по годам, причем различающийся по территории Беларуси.

В настоящее время принятие решений при планировании сельскохозяйственного растениеводства, выборе варианта регулирования факторов сельскохозяйственных культур в период их вегетации ориентировано на среднесезонную урожайность, без учета ее стохастичности по годам, при-

чем различающейся по территории и имеющей свои характеристики для каждого вида культур. В результате этого не учитываются риски снижения валовых сборов сельскохозяйственных культур в связи с учетом пространственно-временного характера изменения природно-климатических факторов, что в особенности актуально с учетом отмечаемых [3, 4] климатических изменений в последние десятилетия.

В связи с вышеизложенным разработка методики пространственно-временного анализа урожаеобразующих факторов, урожайности различных сельскохозяйственных культур, анализ оценки их вариабельности является актуальной для решения важнейшей практической проблемы повышения эффективности сельскохозяйственного растениеводства на основе принятия решений с учетом случайного характера и региональных особенностей природно-климатических условий.

Учет пространственно-временных изменений урожайности различных сельскохозяйственных культур в зависимости от случайно формирующихся агрометеорологических характеристик по территории Беларуси позволяет обеспечить возможность задействования бесплатного потенциала адаптивного их размещения, наиболее соответствующего естественно-природным условиям.

Выбор в качестве основы для анализа изменений данных по урожайности сортоиспытательных станций системы Госсортоиспытаний связан с тем, что это наиболее длинные имеющиеся в Беларуси ряды данных по урожайности по различным культурам, причем в различных точках Беларуси. При этом, так как сортоиспытания осуществляются по общей для всех станций методике, то можно полагать, что они являются наиболее статистически однородными среди имеющейся информации по урожайности сельскохозяйственных культур.

### Объекты и методика исследования

Методика исследований основывается на системном анализе проблемы пространственно-временной изменчивости агрометеорологических факторов многофакторности урожайности, геостатистических расчетах и зонировании, базирующихся на разработанных алгоритмах и программных средствах, их реализации, используя многолетние ряды агрометеорологических наблюдений по 48 метеостанциям гидрометслужбы и урожайности различных сельскохозяйственных культур по 42 сортоиспытательным станциям, и зонировании их по территории Беларуси.

### Результаты и обсуждение

В условиях ограниченности финансовых ресурсов, лимитирующих возможности наращивания

интенсивности использования высокозатратных технологических факторов, максимально полно должен задействоваться потенциал природных факторов. Реализация этого основывается на размещении сельскохозяйственных культур, различные виды которых имеют различные требования к водному и тепловому режиму, случайное изменение которых по годам определяется зональными особенностями распределения осадков, температур воздуха и других связанных с ними метеофакторов адаптивно к их распределению по территории Беларуси.

Следствием имеющего место не единообразия погодно-климатических условий по территории является то, что степень благоприятности – экстремальности по сочетанию тепла и влаги (засушливости-переувлажненности и т.п.) периода выращивания растений каждого конкретного года различается по регионам, при этом по разному сказываясь на урожайности разных сельскохозяйственных культур в соответствии с различающимися требованиями их к этим условиям.

Данное обстоятельство обеспечивает наличие альтернативных вариантов при выборе стратегии размещения сельскохозяйственных культур, адаптивно к региональным природно-климатическим условиям.

Эффективность принятия решений в сельскохозяйственном растениеводстве в различных природно-климатических условиях определяется надежностью используемой модели урожая, важнейшей составляющей которой является зависимость урожайности от случайно изменяющихся по годам агрометеорологических условий вегетационного периода.

В связи с предельной сложностью задачи: многофакторностью влияния на урожайность множества взаимосвязанных процессов, стохастичностью входных воздействий, наиболее строго отвечающие действительным физико-биологическим процессам формирования урожая теоретические модели урожайности балансового типа [5–8], требуют идентификации нескольких десятков входящих в них параметров, что невозможно обеспечить для решения практических задач оптимизации размещения сельскохозяйственных культур адаптивно природно-климатическим условиям. Остается возможность использования эмпирических многофакторных моделей зависимости урожайности различных культур от основных агрометеорологических характеристик. Главной проблемой при этом является необходимость в многолетних рядах данных по урожайности различных сельскохозяйственных культур, т. к. полевые опыты по урожайности обычно не превышают 3–5 лет.

В условиях отсутствия в настоящее время надежных зависимостей урожайности сельскохозяйственных культур от зональных условий метеофакторов, минимально гарантированной,

необходимой для решения практических задач растениеводства, является возможность осуществления зонирования урожаеобразующих метеофакторов и урожайности различных культур и их сортов, причем с использованием различных типов статистик (средние, max, min) различного уровня агрегирования данных почасовых измерений (суточных, декадных, месячных, сезонных, годовых, многолетних и т. д.), позволяющего осуществить оценку предпочтительности культур и их сортов в зональном разрезе, пространственно-временной изменчивости их урожайности в условиях происходящих изменений метеофакторов.

Важнейшим условием получения обоснованных выводов, как показали проведенные расчеты, является использование при зонировании статистически однородных данных. Для обеспечения этого многолетние ряды данных по всем метеостанциям внесены в разработанную базу данных, начиная с исходных восьми срочных замеров (что позволило исключить ошибки, вызываемые использованием при осуществлении расчетов данных из разных источников, несогласованно фиксируемых в Гринвичском и местном времени, сокращением числа внутрисуточных измерений на отдельных станциях в зимние периоды или даже в ряде лет и т. д.). Данные по главным, определяющим гидротермические условия, урожаеобразующим метеорологическим факторам – осадкам, температурам, дефицитам влажности воздуха внесены в БД по 48 геопривязанным в ГИС (рис.1) метеостанциям Беларуси с 60–80-х по 2015 г., и экспериментальным стационарам за период наблюдений.

Наиболее подходящим массивом данных по урожайности различных культур, причем соответствующих относительно единообразным технологиям выращивания как по территории, так и по годам, являются данные государственных сортоиспытаний культур. В связи с этим были собраны данные по всем 42 имеющимся в Беларуси Государственным сортоиспытательным станциям (участкам), привязанным в ГИС (рис. 1). Данные с бумажных носителей и находящихся в различных электронных форматах были введены по каждой культуре в нормализованные таблицы, обеспечивающие автоматизированное формирование структур данных, необходимых для пространственно-временного анализа.

Сформированы массивы исходных данных за весь период имеющихся наблюдений по урожайности по всем сортам 36 основных сельскохозяйственных культур, включая озимые и яровые зерновые культуры, технические культуры, злаковые и бобовые травы, за все имеющиеся годы, в результате чего сформированы многолетние временные ряды, начиная с семидесятых годов по настоящее время.



в экстремальные годы для обеспечения продовольственной безопасности.

Для осуществления пространственно-временного анализа использовалась разработанная система автоматизированной обработки больших рядов пространственно-временных мониторинговых данных, реализующая современное направление информационных технологий («big data», «data-mining»), включающая базу данных и комплекс взаимосвязанных программных средств, обеспечивающих ввод, хранение, обработку данных, включая приведение срочных часовых замеров метеоданных от Гринвичского времени к Белорусскому, синхронизацию данных замеров при наличии пропусков для обеспечения их статистической однородности, сглаживание различными функциями, формирование массивов данных различного уровня генерализации во времени (от срочных до многолетних) для осуществления зонирования урожаеобразующих метеофакторов и урожайности сельскохозяйственных культур с представлением временных рядов в любом необходимом табличном и графическом виде [9–11].

Разработанные программные средства обеспечивают осуществление автоматизированных расчетов с большим быстродействием по любому набору лет сортоиспытаний, что дает возможность проведения пространственно-временного анализа изменчивости урожайности в условиях, изменяющихся в многолетнем разрезе метеоусловий.

Разработана, базирующаяся на использовании автоматизированной системы, методика пространственно-временного анализа, включающая использование базовых статистик, алгоритмов построения кривых обеспеченности урожайности сельхозкультур для оценки их вариабельности в связи с различием метеорологических условий лет, расчета скользящих по годам средних величин урожайности и урожаеобразующих факторов, обеспечивающих наглядное представление трендов их изменчивости в течение хронологической последовательности многолетнего ряда, пространственного зонирования в ГИС различных статистик метеофакторов и урожайности сельскохозяйственных культур многолетия.

Используя разработанные программные средства и сформированные ряды данных наблюдений, осуществлен вероятностно-статистический анализ урожайности и урожаеобразующих факторов по территории Беларуси.

В связи со стохастичностью изменения метеоусловий периода вегетации в различные годы случайным образом изменяется по годам урожайность сельскохозяйственных культур. Вариабельность

урожайности в многолетнем разрезе характеризуется кривыми обеспеченности ее величины (вероятности появления меньшего (или наоборот большего) значения в Р% лет из 100), рассчитываемыми по ряду многолетних наблюдений.

Для расчета кривых обеспеченности урожайности различных сельскохозяйственных культур использовались наиболее длинные (до 42 лет) ряды, сформированные по данным многолетних опытов на стационарах, а также сортоиспытательных станциях.

По сортоиспытательным станциям расчеты осуществлялись начиная с отдельных сортов культур. Однако, так как в большинстве случаев испытание сортов не превышает 3–4 лет, то, используя разработанные программные средства, осуществлялась генерализация данных по всем сортам до статистик по культуре в целом. Анализ кривых обеспеченности урожайности (рис. 2, 3) указывает на значительную вариабельность ее величины относительно средних значений: при одних и тех же природных условиях и технологиях выращивания. В зависимости от метеоусловий года, урожайности культур могут изменяться в два и более раз. При этом влияние экстремальных условий на разные культуры влияет по-разному, в результате чего культуры с большей среднемноголетней урожайностью (50 % обеспеченности) могут иметь меньшие равнообеспеченные значения (более резкое падение урожайности) в экстремальные годы, в сравнении с культурами, уступавшими им в среднемноголетнем разрезе. Различна также кривизна участков кривых обеспеченности для разных природных условий: на дерново-подзолистых почвах Пружанского стационара в неблагоприятные годы урожайность снижается более резко, чем на мелкозалежных торфяниках. Схожую вариабельность имеет урожайность трав на Полесской станции.

Для оценки изменчивости временных рядов в последовательность хода лет использован алгоритм их сглаживания скользящими по годам средними. В результате анализа построенных графиков скользящих средних, установлены тренды различных базовых статистик метеофакторов (рис. 4). По всем метеостанциям, начиная с 60-х годов, имеет место устойчивый рост скользящих средних среднесуточных температур воздуха и, соответственно, среднегодовых (рис. 5).

Незначительно изменялись в этот период максимумы температур. Минимумы понижались до конца 70-х годов, а затем происходит их рост.

Однотипна по территории Беларуси внутрисуточная и внутрисуточная изменчивость температур (рис. 6).

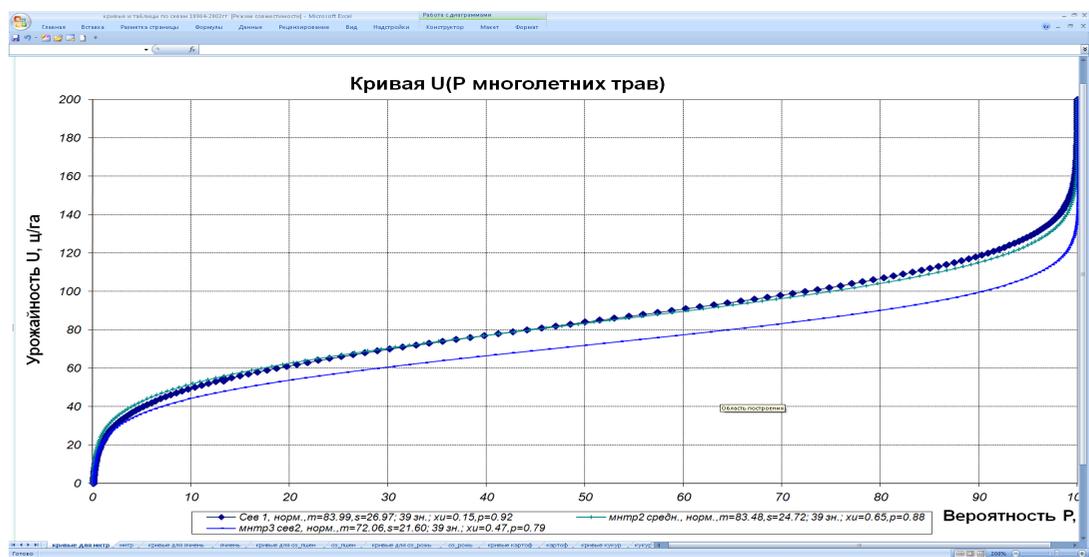
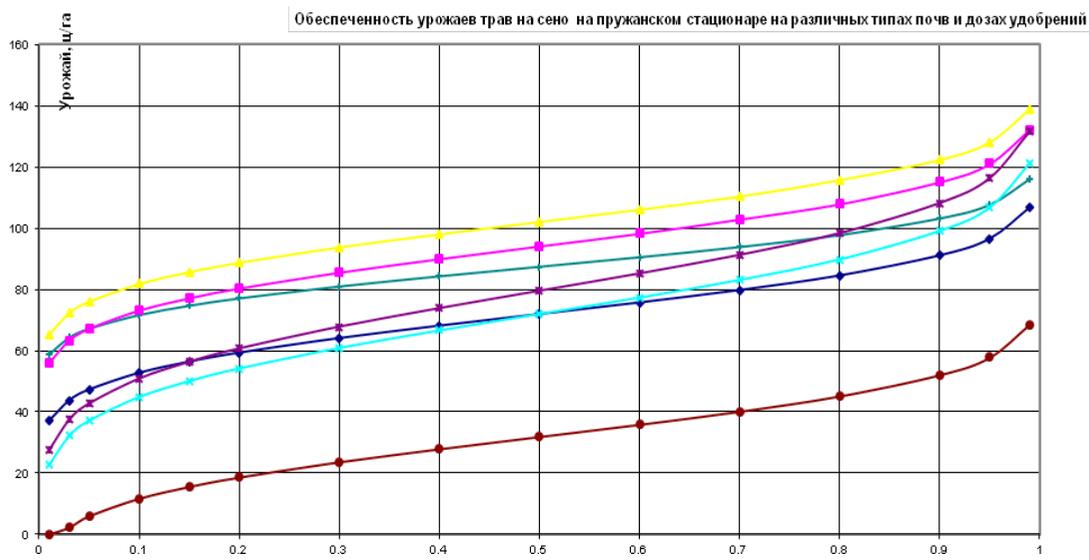


Рисунок 2 – Вариабельность урожайности трав на сено в 40-летних опытах на Пружанском стационаре и ПОСМЗил

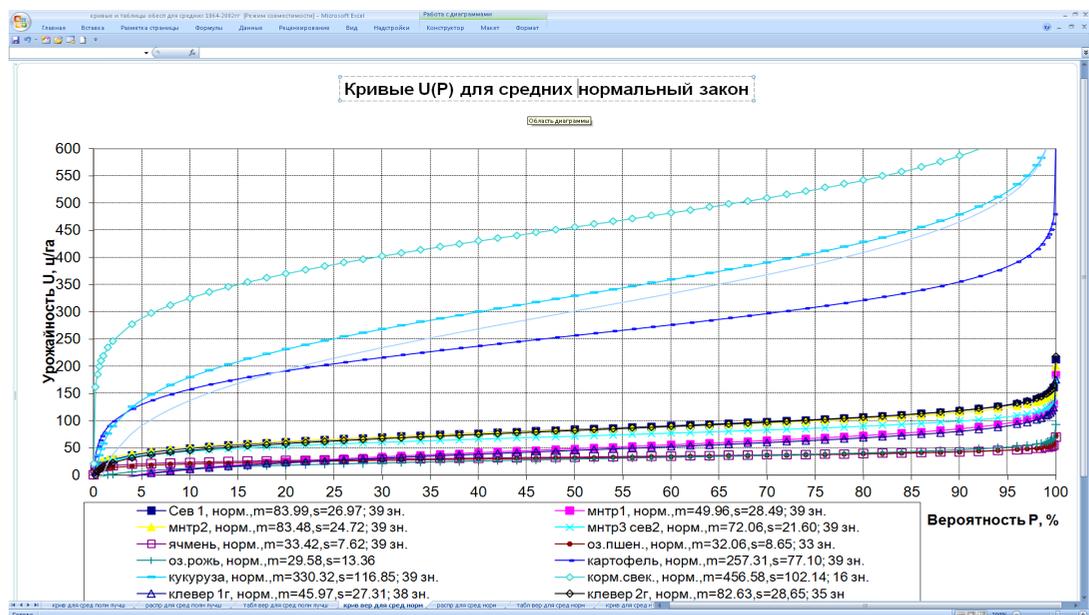


Рисунок 3 – Кривые обеспеченности урожаев различных культур при  $N_{0.60} P_{0.150} K_{150}$  в опытах на ПОСМЗил

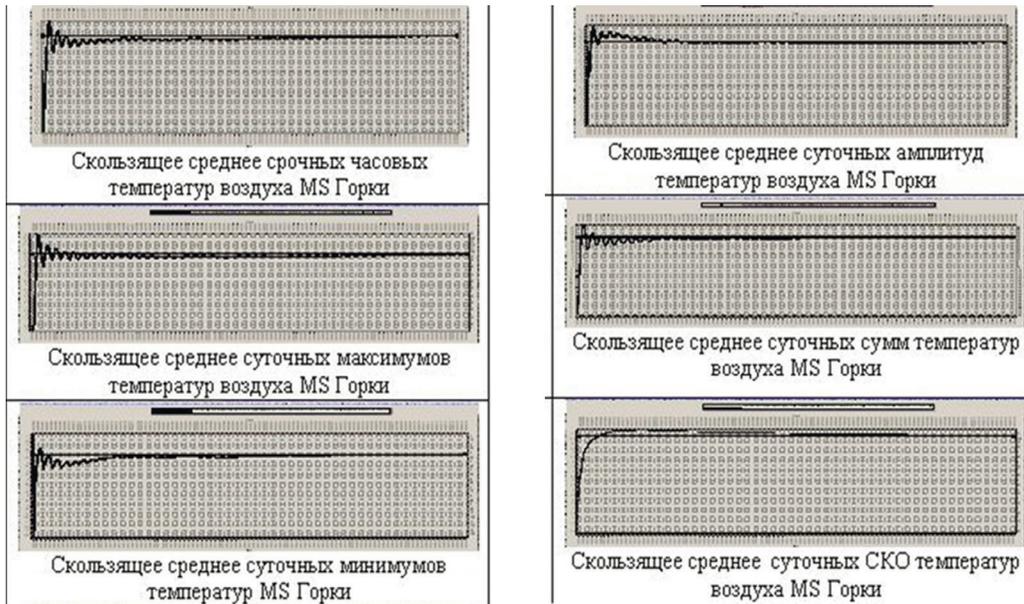
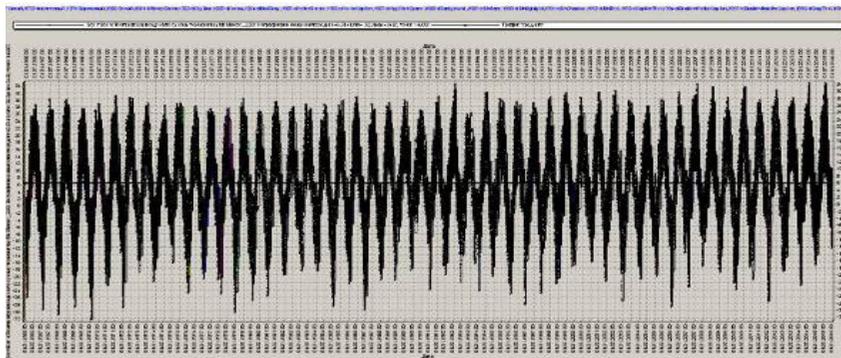


Рисунок 4 – Оценка изменчивости с использованием скользящего среднего вариантов статистических характеристик при агрегировании исходных срочных (8-разовых) измерений температур воздуха по сухому термометру  $h=2\text{м}$  до суточных значений MS Горки



MS Минск температура воздуха срочные измерения

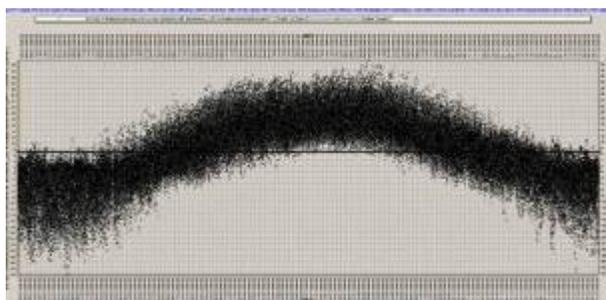


MS Минск температура воздуха скользящее среднее исходных срочных замеров

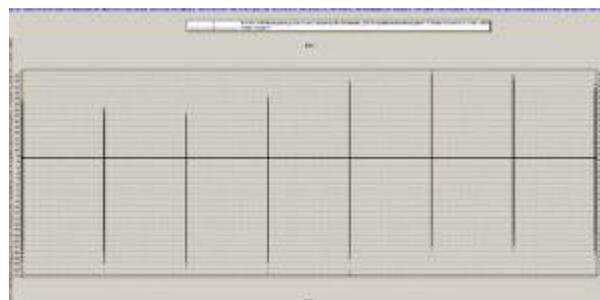


MS Минск температура воздуха скользящее среднее среднегодовых

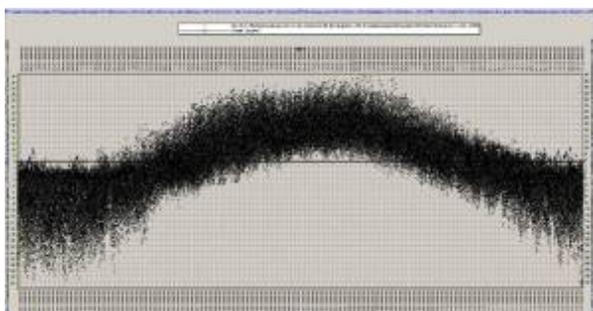
Рисунок 5 – Температуры воздуха и их скользящие средние по дням и годам по метеостанции Минск



Внутригодовая изменчивость температур воздуха  
MS Василевичи



Внутрисуточная изменчивость температур воздуха  
MS Василевичи



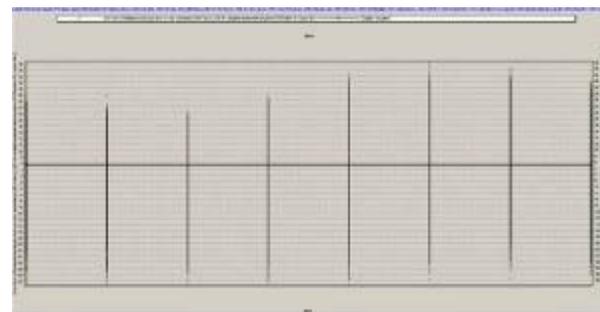
Внутригодовая изменчивость температур воздуха  
MS Верхнедвинск



Внутрисуточная изменчивость температур воздуха  
MS Верхнедвинск



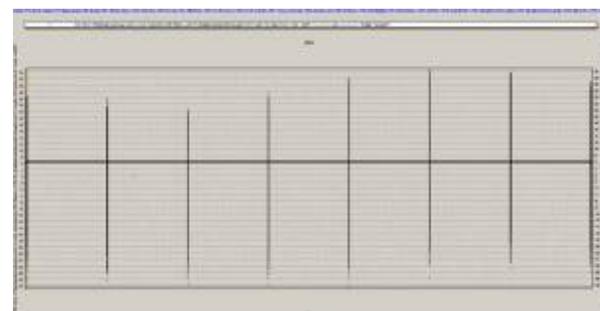
Внутригодовая изменчивость температур воздуха  
MS Горки



Внутрисуточная изменчивость температур воздуха  
MS Горки



Внутригодовая изменчивость температур воздуха  
MS Минск



Внутрисуточная изменчивость температур воздуха  
MS Минск

Рисунок 6 – Внутригодовая и внутрисуточная (8 сроков) изменчивость температур воздуха по метеостанциям Республики Беларусь

Более дифференцирована изменчивость осадков за период наблюдений по различным метеостанциям: по метеостанциям Вилейка, Верхнедвинск, Горки до середины 70-х годов происходило уменьшение осадков, а по метеостанциям Пинск, Полесский оно продолжалось до конца 90-х годов. В последующие годы отмечается устойчивый рост ежегодных осадков и с 2008–2010 гг. их

значения превышают среднемноголетнюю величину периода наблюдений (рис. 7).

В связи с изменчивостью по годам агрометеорологических факторов в многолетнем разрезе могут иметь место разнонаправленные периодические тренды. Их прослеживание обеспечивается с помощью расчета скользящего среднего, сглаживающего резкие колебания ежегодных значений урожайности (см. рис. 4).

Рассчитанные скользящие средние урожайности трав на сено на торфяных почвах на Пружанском стационаре и ПОСМЗиЛ указывают на устойчивый ее характер даже в условиях без переизлучения в течение 20-летнего периода, но при условии внесения достаточных доз удобрений.

Сравнительный анализ, используя скользящие средние в различных точках, на примере урожайности озимой ржи на Молодечненской СС и Ивацевичском ГСУ за период сортоиспытаний показывают незначительный рост в 70-80-е годы, практическую неизменность в 90-е годы и наиболее быстрый рост в первой половине 2000-х (рис. 8).

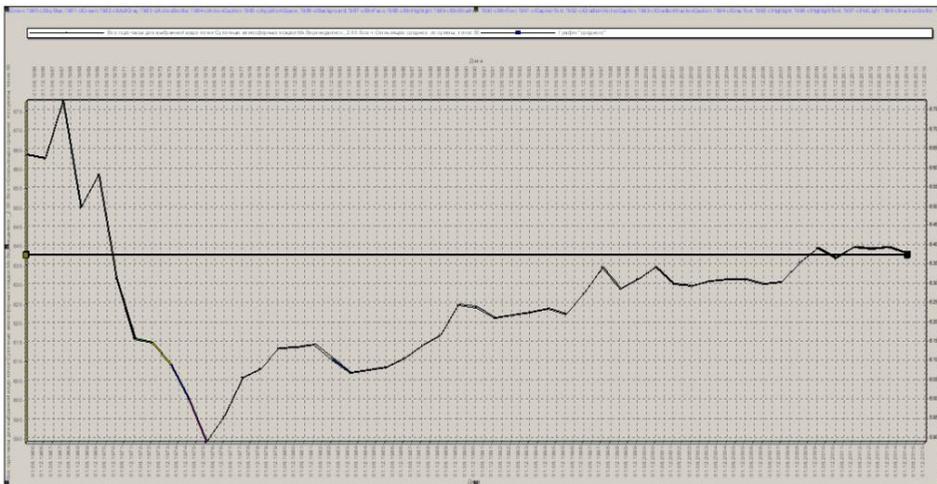
Используя собранные ряды многолетних данных по метеофакторам и разработанные программные средства, осуществлено автоматическое агрегирование урожаяобразующих факторов до многолетних значений, по которым сформированы массивы данных по всем метеостанциям. Аналогичные массивы сформированы по урожайности сель-

скохозяйственных культур по всем станциям сортоиспытаний.

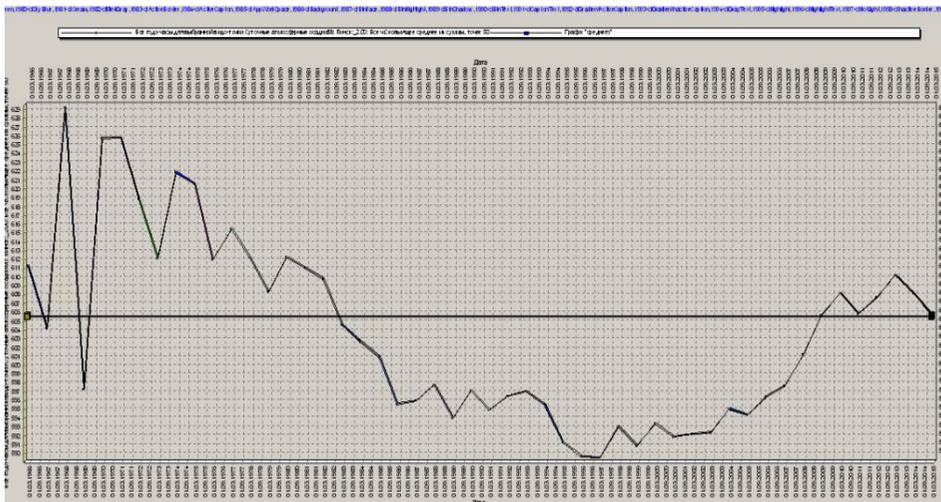
Используя эти ряды, осуществлено зонирование в ГИС различных статистик основных урожаяобразующих метеофакторов: осадков, температур и дефицитов влажности воздуха по территории Беларуси (рис. 9–11).

Проведенный анализ результатов зонирования показал, что характер пространственной изменчивости важнейших, определяющих гидротермические условия произрастания сельскохозяйственных культур метеофакторов: осадков, температур, дефицита влажности воздуха различается между собой. Также различен характер распределения по территории и различных статистических характеристик одного и того же фактора (рис. 9–11).

Распределение среднеемноголетних величин температур воздуха имеет экваториальное направление, возрастая на 3,5 градуса в направлении с севера – северо-востока на юг – юго-запад (рис. 9).



Скольльзящие средние годовых сумм атмосферных осадков MS Верхнедвинск



Скольльзящие средние месячных сумм атмосферных осадков MS Пинск

Рисунок 7 – Оценка многолетней изменчивости суточных измеренных осадков по скользящим средним по дням и годовых сумм MS Верхнедвинск и MS Пинск

Скольльзящие средние урожаи трав на сено 2-го года севообороты 2 и 3 ПОСМЗиЛ

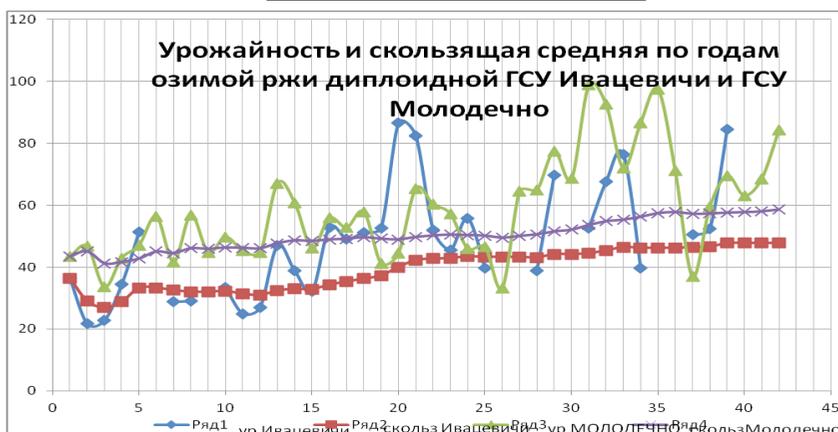
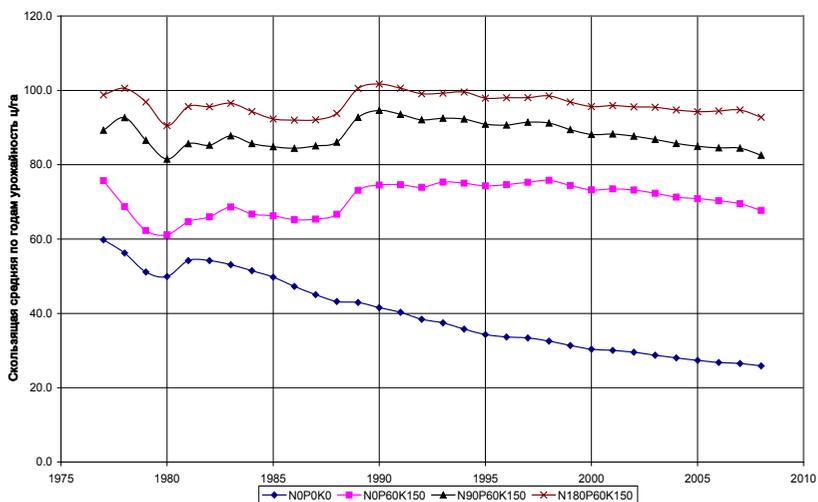
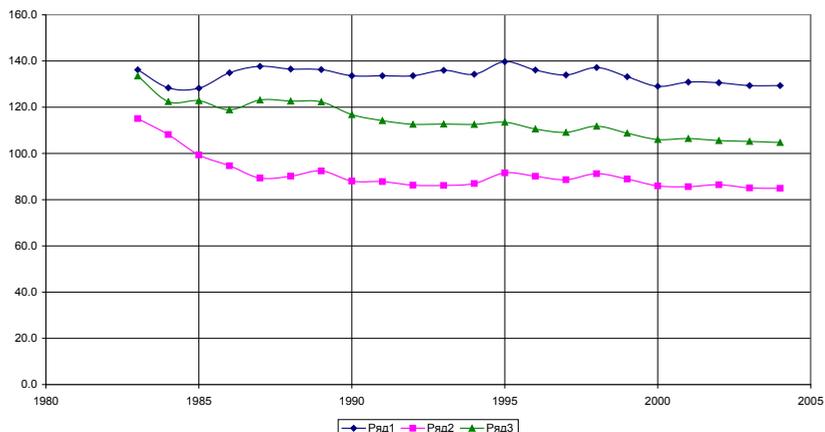


Рисунок 8 – Скользящие средние по годам урожайности трав на сено на мелкозалежном торфянике при различных дозах удобрений на ПОСМЗиЛ и Пружанском стационаре, ржи диплоидной в сортоиспытаниях на Молодечненской СС и Ивацевичском ГСУ

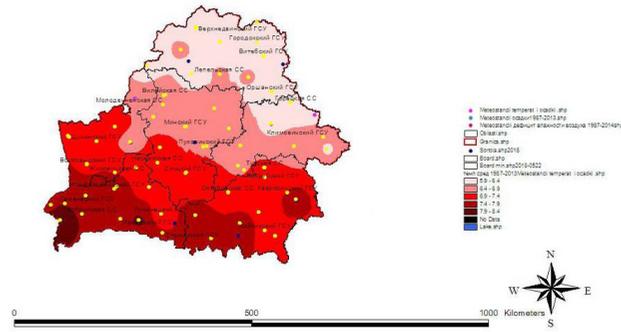
При этом в последние 7 лет имеет место повышение среднемноголетней температуры на 0,5 °С в каждой выделяющейся единообразной температурной полосе с юга на север.

Экстремальные значения максимумов и минимумов температур распределены с запада на восток (в направлении возрастания континентальности).

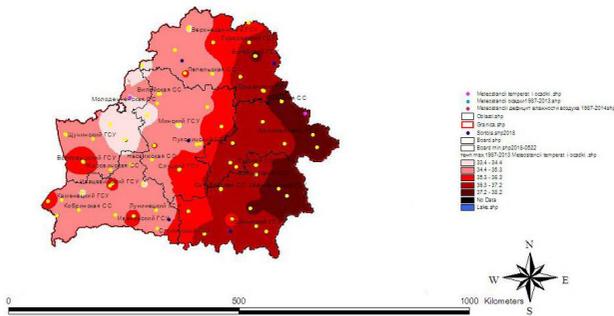
Приблизительно в аналогичном направлении растет также среднемноголетний дефицит

влажности воздуха (рис. 11). Величина среднемноголетних осадков, наоборот, уменьшается с северо-востока на юго-запад приблизительно на 200 мм годового слоя. При этом пространственная изменчивость максимальных за многолетие суточных осадков имеет диаметрально противоположное направление – растет с северо-востока на юго-запад (рис. 10).

Температура воздуха средне многолетняя 1987–2013



Max Tвоз1987-2013



Min Tвоз1987-2013

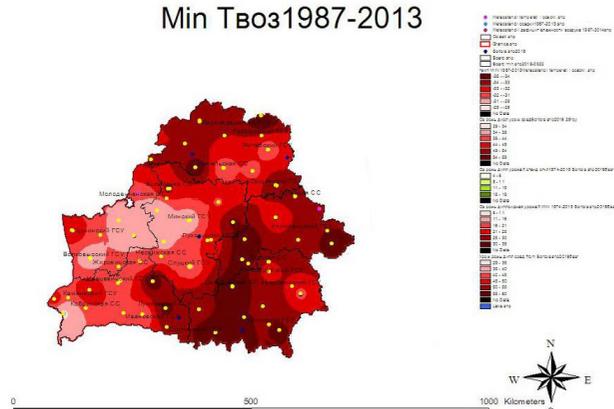
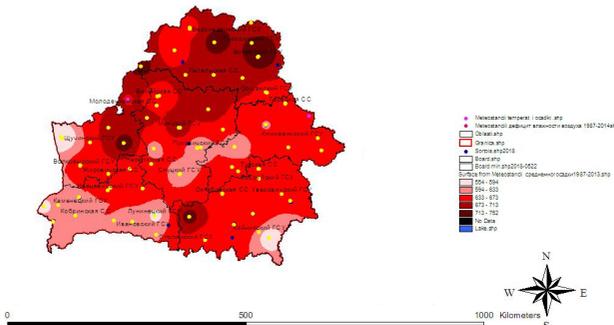


Рисунок 9 – Зонирование температур воздуха по территории Беларуси

Среднегодовые осадки 1987–2013



Максимальные суточные осадки 1987–2013

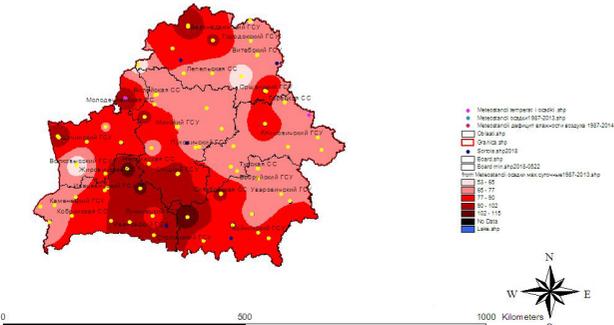
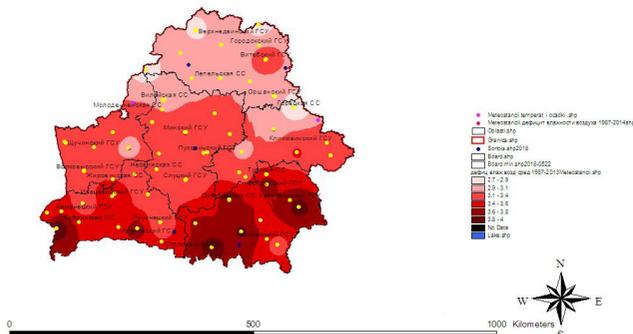


Рисунок 10 – Зонирование осадков по территории Беларуси

Средний дефицит влажности воздуха 1987–2013



Максимальный дефицит влажности воздуха 1987–2013

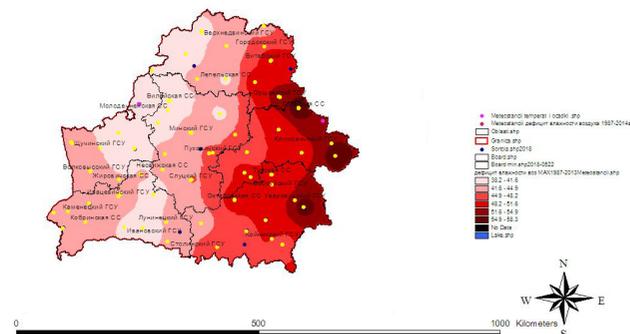


Рисунок 11 – Зонирование дефицита влажности воздуха по территории Беларуси

Наложение одна на другую карт зонирования всех метеофакторов, одновременно по средним и экстремальным величинам каждого из них, образуют пересечения, выделяющие кластеры с различным сочетанием значений урожаяобразующих факторов, в совокупности определяющих величину урожайности сельскохозяйственных культур. При этом характер изменения по территории урожайности различных сельскохозяйственных культур будет формироваться в соответствии с биологическими особенностями отклика каждой из них на всю группу метеофакторов, причем одновременно для средних, максимальных, минимальных их величин, различных в каждом из выделяющихся погодно-климатических кластеров.

К примеру, это подтверждается различным характером распределения по территории величин урожайности озимой ржи диплоидной и яровой пшеницы мягкозерной (рис. 12, 13). При этом следует отметить для каждой из культур различие благоприятных территорий в годы со среднемноголетней урожайностью и в годы минимальной ее величины.

Так, результаты зонирования по территории Беларуси многолетних статистик урожайности озимой ржи диплоидной, рассчитанных по данным 42 летних испытаний на 29 сортоиспытательных станциях, показывают, что наибольшие величины среднемноголетних значений урожайности формируются

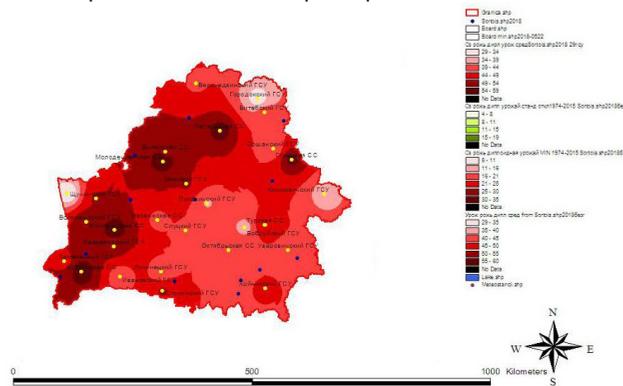
в направлении к западной границе, максимумов урожаев – к западной-юго-западной границе, а наибольшие значения минимальных многолетних урожаев растут к центральной зоне Беларуси. Результаты зонирования урожайности дают возможность оценки эффективности стратегий размещения культур, ориентированных на различные критерии в условиях стохастичности погодно-климатических условий по-разному проявляющихся по территории Беларуси.

Минимальные урожайности ржи диплоидной имеют наибольшие величины в центральной части Беларуси, тогда как яровой пшеницы – в юго-западной.

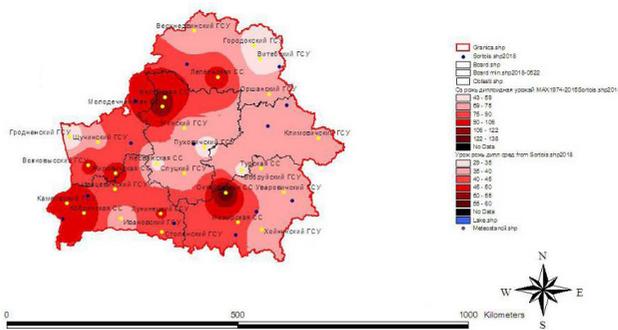
Несовпадение характера территориального распределения величин среднемноголетней урожайности и урожайности при экстремальных условиях свидетельствует о многовариантности возможных стратегий адаптации культур к метеофакторам.

Адаптивность различных культур к природно-климатическим условиям, т. е. зональная специализация хозяйств, может ориентироваться как на среднемноголетние условия, так и на экстремальные годы, что представляет собой кардинально-различающиеся стратегии. При этом предельная адаптация к природно-климатическим условиям наиболее эффективна в среднемноголетнем разрезе, но рискованна в экстремальные годы, а диверсификация и дублирование используемых культур, наоборот, наиболее эффективны в экстремальные годы.

Озимая рожь диплоидная Сред Урожай 1974–2015 г. 29гсц



Оз рожь диплоидная МАХ урожай 1974–2015



Оз рожь диплоидная MIN урожай 1974–2015

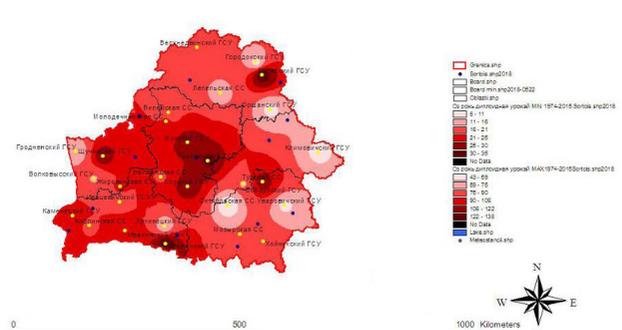
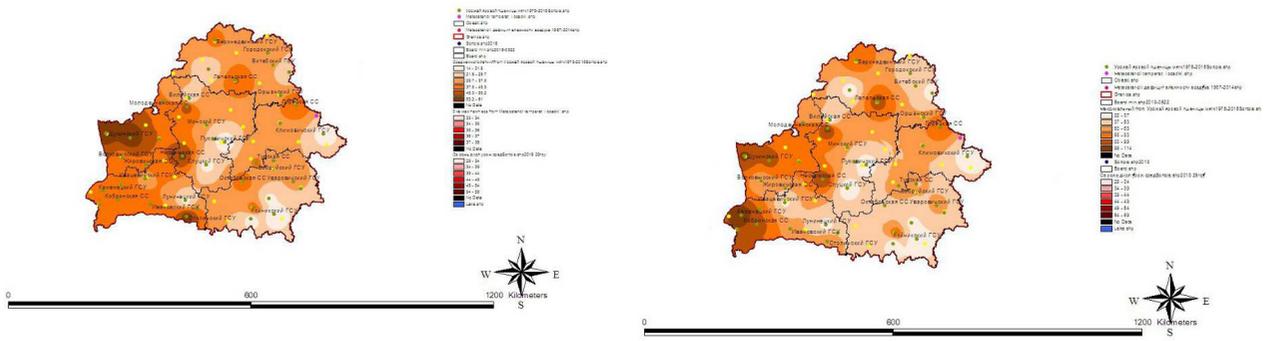


Рисунок 12 – Зонирование урожайности озимой ржи диплоидной по территории Беларуси

Среднегодовое количество осадков в Беларуси



Минимальный урожай яровой пшеницы мягкой 1975–2015

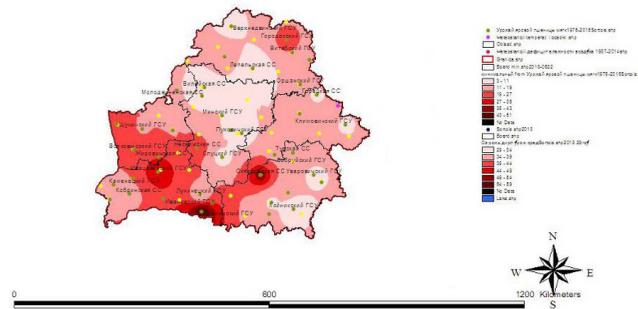


Рисунок 13 – Зонирование урожайности яровой пшеницы мягкозерной по территории Беларуси

Однозначно очевиден выбор варианта для определенного кластера, когда культура имеет в нем наибольшие значения урожайности, как среднегодовое, так и в экстремальные годы, в результате чего стратегии адаптации к погодно-климатическим условиям, ориентированные на максимум эффекта в среднегодовом разрезе, и ориентированные на максимум эффекта в экстремальные годы, совпадают. В кластерах, не согласованных по благоприятности выращивания при среднегодовом и экстремальных условиях, варианты использования культур будут отличаться при стратегии, ориентированной на матожидание урожая (прибыли), и максимальной стратегии, ориентированной на предельно неблагоприятные годы, с соответствующим выигрышем (проигрышем) при появлении в действительности лет, на которые они не ориентированы. Для таких зон может быть целесообразна не предельная адаптация, соответствующая одной, той или иной стратегии, а определенная компромиссная диверсификация набора культур для страховки в различные по условиям годы, в соответствии с предпочтениями лица, принимающего решение.

## Выводы

Проведенные исследования позволяют на качественно более всестороннем уровне рассматривать варианты территориальной адаптации при размещении культур: не только к среднегодовым условиям, но и по критерию Вальда – минимизации потерь в наихудших условиях (снижению рисков не обеспечения продовольственной безопасности) в экстремальные годы в реальных условиях случайного характера урожайности сельскохозяйственных культур из-за изменчивости погодно-климатических воздействий в различные годы. Зонирование урожайности сельскохозяйственных культур может использоваться при выборе сельскохозяйственного использования на уровне агропредприятия, относящегося к конкретному кластеру, а также при совершенствовании размещения культур на республиканском уровне, распределяя культуры по наиболее предпочтительным для них зонам в соответствии с выбираемой стратегией. Использование на практике разработанных подходов дает возможность принятия более эффективных практических решений по сельскохозяйственному использованию в различных регионах в смешанных стратегиях.

Библиографический список

1. Вахонин, Н. К. Методологические основы моделирования и создания систем принятия решений в мелиоративном растениеводстве / Н. К. Вахонин // Математическое моделирование сельскохозяйственных объектов - основа проектирования технологий и машин XXI века : материалы Междунар. науч. конф. / УП БелНИИМСХ. – Минск, 2001. – С. 61-81.
2. Вахонин, Н. К. Методологические принципы формирования задач оптимизации растениеводства / Н. К. Вахонин // Мелиорация переувлажненных земель. – 2007. – № 2(58). – С. 73-79.
3. Логинов, В. Ф. Изменчивость величины трендов температуры на территории белорусского и украинского Полесья / В. Ф. Логинов, Т. Г. Табальчук // Природопользование. – 2016. – Вып. 29. – С. 38-41.
4. Логинов, В. Ф., Хитриков, М. А. Оценка междекадных разностей температуры в центральной части Беларуси за период с 1955 по 2014 год / В. Ф. Логинов, М. А. Хитриков // Природопользование. – 2016. – Вып. 29. – С. 42-48.
5. Бихеле, З. Н. Математическое моделирование транспирации и фотосинтеза растений при недостатке почвенной влаги / З. Н. Бихеле, Х. А. Молдау, Ю. К. Росс. – Л. : Гидрометеиздат, 1980. – 223 с.
6. Моделирование роста и продуктивности сельскохозяйственных культур / Ф. В. Г. Пеннинг де Фриз [и др.]. – Л. : Гидрометеиздат, 1986. – 320 с.
7. Полевой, А. Н. Прикладное моделирование и прогнозирование продуктивности посевов / А. Н. Полевой. – Л. : Гидрометиздат, 1988. – 319 с.
8. Строганова, М. А. Математическое моделирование формирования качества урожая / В. А. Строганова. – Л. : Гидрометеиздат, 1986. – 150 с.
9. Вахонин, Н. К. База данных мониторинговых наблюдений для информационного обеспечения принятия решений / Н. К. Вахонин, Ю. В. Сороговец // Мелиорация переувлажненных земель : сб. науч. работ / БелНИИМил НАН Беларуси. – Минск, 2002. – Т. XLIX. – С. 179-186.
10. Вахонин, Н. К., Краснокутский, Н. Н. Система графического представления временных рядов по различным видам мониторинга / Н. К. Вахонин, Н. Н. Краснокутский // Мелиорация переувлажненных земель. – 2009. – №1 (55). – С. 12-16.
11. Вахонин, Н. К. Автоматизированная система расчёта по многолетним временным рядам гидрометеорологических факторов величин обеспеченности и генерации методом Монте-Карло входных гидрологических воздействий для моделирования осушительного действия мелиоративных систем при многовариантном проектировании реконструкции / Н. К. Вахонин, Е. О. Быкова // Мелиорация. Современные методики, инновации и опыт практического применения : материалы Междунар. науч.-практ.конф., Минск, 19-20 окт. 2017 г. – Минск, 2017. – С. 64-69.

Поступила 15.03.2019

# ОРОШЕНИЕ

УДК 628.381.4:631.416.8:631.445.4

## ВЛИЯНИЕ ДЛИТЕЛЬНОГО ОРОШЕНИЯ ЖИВОТНОВОДЧЕСКИМИ СТОЧНЫМИ ВОДАМИ НА ФИТОТОКСИЧНОСТЬ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ ПОЧВЫ

*Т. Н. Мыслыва, доктор сельскохозяйственных наук, доцент*

*Т. Н. Ткачева, старший преподаватель*

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

### **Аннотация**

Установлено, что длительное орошение животноводческими сточными водами в объеме, эквивалентном 200, 300 и 400 кг/га азота, не оказывает значительного влияния на увеличение фитотоксичности дерново-подзолистой супесчаной почвы для представителей семейств Poaceae, Fabaceae и Brassicaceae. Однако оно способствует увеличению содержания в почве кислоторастворимой меди на 0,13, 0,74 и 0,75 мг/кг соответственно по сравнению с референтной почвой. По устойчивости к длительному орошению навозо-содержащими сточными водами представители семейств Poaceae, Fabaceae и Brassicaceae располагаются в такой убывающий ряд: редька масличная > горох посевной > рожь озимая > овес > рапс яровой > ячмень яровой.

**Ключевые слова:** орошение, сточные воды, почва, фитотоксичность, всхожесть, показатели роста.

### **Abstract**

**T. N. Myslyva, T. N. Tkacheva**  
**INFLUENCE OF LONG-TERM IRRIGATION  
BY LIVESTOCK WASTEWATER ON THE  
PHYTOXICITY OF THE SOD-PODZOLIC SOIL**

It has been established that prolonged irrigation by livestock wastewater with norms equivalent to 200–400 kg/ha of nitrogen does not significantly affect the phytotoxicity of sod-podzolic sandy loam soils for the representatives of the families Poaceae, Fabaceae and Brassicaceae, however, it increases the content of acid-soluble copper in the soil by 0.13, 0.74 and 0.75 mg/kg, respectively, compared to the reference soil. According to the resistance to prolonged irrigation with manure-containing wastewater, the representatives of the families Poaceae, Fabaceae and Brassicaceae are arranged in such a decreasing order: radish olive > peas > winter rye > oats > spring rape > spring barley.

**Keywords:** irrigation, livestock wastewater, soil, phytotoxicity, germination, growth indices.

### **Введение**

В Республике Беларусь ежегодные объемы полужидкого и жидкого навоза, помета, навозных и пометных стоков, образующихся на животноводческих и птицеводческих комплексах, по разным оценкам составляют около 40 млн т [1]. Орошение сточными водами относится к важным комплексным мероприятиям, направленным на охрану от загрязнения водных ресурсов и интенсификацию сельскохозяйственного производства в условиях глобальных изменений климата. Дефицит пресной воды, используемой для мелиоративных целей,

с одной стороны, и прогрессирующее увеличение объемов сточных вод – с другой, обуславливают актуальность орошения сельскохозяйственных культур сточными водами различного происхождения [2]. Однако утилизация животноводческих сточных вод путем использования их в качестве источников орошения и нетрадиционных органических удобрений имеет разноплановые аспекты, связанные не только с сохранением и повышением плодородия почвы, но и экологией и охраной окружающей среды. Безопасность использования отходов сельскохозяйственного производства может быть

обеспечена путем дифференцированного подхода к оценке влияния их химического состава на почву и растения. Привнесение в почву любых веществ – будь то вещества-загрязнители или компоненты минеральных, органических либо органоминеральных удобрений – способно стать причиной токсичности почвы. А это приводит к накоплению в ней вредных для растений веществ, тормозящих их рост и развитие и вызывающих снижение продуктивности культур и качества получаемой сельскохозяйственной продукции [3]. Влияние сточных вод, применяемых для орошения и в качестве нетрадиционных источников органических удобрений, на рост и развитие растений изучается давно и достаточно широко. В частности, в период с 1989 по 2000 гг. была оценена взаимосвязь естественной увлажненности территории, норм орошения многолетних трав стоками со свиноводческого комплекса и природной водой со степенью загрязнения открытых водоемов возвратного стока, расположенных на территории полей орошения земель РСУП СГЦ «Заднепровский» (Оршанский район, Витебская область) [4]. Однако относительно мало работ посвящено исследованию влияния животноводческих стоков на фитотоксичность почвы в условиях Республики Беларусь. Исходя из изложенного, целями исследования были: 1) оценка влияния длительного орошения животноводческими сточными водами на фитотоксичность дерново-подзолистой супесчаной почвы для представителей семейств Poaceae, Fabaceae и Brassicaceae; 2) определение токсикотолерантных культур и культур, пригодных для биологического мониторинга фитотоксичности дерново-подзолистой супесчаной почвы.

**Объекты и методы исследований**

Опытные участки размещались в пределах пахотных земель РСУП СГЦ «Заднепровский» (Оршанский район, Витебская область). Почвы опытного участка – дерново-подзолистые нормального увлажнения супесчаные на лессовидных супесях (гумус – 2,49 %; подвижный фосфор – 241 мг/кг; подвижный калий – 127 мг/кг; pH<sub>KCl</sub> – 5,9). По гидрокли-

матическому районированию территории Беларуси для целей орошения регион проведения исследований относится к северной зоне (зона I). Образцы референтной и орошаемой почвы отбирались в 2017 г. Орошение выполнялось в период с 2006 по 2017 гг. навозосодержащими животноводческими стоками, сведения о среднем химическом составе которых представлены в табл. 1.

Определение фитотоксичности почвы выполнялось согласно требованиям ДСТУ ISO 11269-1:2004 [5] и основывалось на способности проростков растений реагировать на наличие тяжелых металлов в среде, в которой прорастиваются семена. Предварительно пророщенные семена сельскохозяйственных культур выращивались в контролируемых условиях в течение 14 дней. Двумя контрольными средами являлись песок и незагрязненная почва. После окончания периода выращивания у растений измерялись длина корней и длина побегов в обоих контрольных средах и на исследуемой загрязненной почве. Статистически достоверная разница между всхожестью и энергией прорастания семян, а также длиной корней проростков, выросших в исследуемой среде, и длиной корней проростков, выросших на контрольных средах, являлась показателем влияния загрязнения. Для оценки достоверности различий между вариантами опыта использовали критерий Даннетта и определяли значимую разность как произведение соответствующей величины критерия Даннетта на стандартную ошибку [6].

Результаты и обсуждение. Длительное орошение навозосодержащими сточными водами в количестве, эквивалентном 200–400 кг/га азота, не вызывает загрязнения дерново-подзолистой супесчаной почвы такими тяжелыми металлами, как свинец и кадмий (табл. 2). Однако применение животноводческих сточных вод в объемах, эквивалентных 200, 300 и 400 кг/га азота, способствует увеличению содержания в почве кислоторастворимой меди на 0,13, 0,74 и 0,75 мг/кг соответственно, по сравнению с референтной почвой. Очевидно, что данный элемент прежде всего и будет обуславливать токсичность почвы для исследуемых культур.

*Таблица 1 – Качественные характеристики навозосодержащих сточных вод, применяемых при орошении*

Наименование	Название показателя									
	Азот общий, мг/л	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , мг/л	K <sub>2</sub> O, мг/л	pH <sub>KCl</sub>	Содержание, мг/дм <sup>3</sup>					
					Cu	Zn	Cd	Pb	Ca	Mg
Сточная вода	100	125	300	7,53	0,38	0,93	–	0,046	137,2	38,8
ПДК [ТКП 45-3.04-178-2009 (02250)]	250	–	250	6,0–8,5	1,0	1,0	0,001	0,030	500	–

Таблица 2 – Содержание кислоторастворимых форм тяжелых металлов и микроэлементов в дерново-подзолистой супесчаной почве, слой 0–20 см

Вариант опыта	Содержание в почве, мг/кг			
	Cu	Zn	Cd	Pb
Без орошения (контроль)	3,77 ± 0,19	5,69 ± 0,35	0,15 ± 0,010	6,62 ± 0,54
Орошение природной водой	3,72 ± 0,17	5,18 ± 0,16	0,063 ± 0,004	5,05 ± 0,19
Орошение стоками в объеме, эквивалентном 200 кг/га азота	3,94 ± 0,24	6,15 ± 0,44	0,071 ± 0,006	5,43 ± 0,32
Орошение стоками в объеме, эквивалентном 300 кг/га азота	4,51 ± 0,29	6,72 ± 0,51	0,076 ± 0,006	5,42 ± 0,31
Орошение стоками в объеме, эквивалентном 400 кг/га азота	4,52 ± 0,31	7,52 ± 0,53	0,11 ± 0,010	5,69 ± 0,46

Примечание: экстрагирование тяжелых металлов выполнялось 1Н HCl.

Загрязнение почвы химическими веществами, в частности тяжелыми металлами, и, как следствие, поступление их избыточных количеств в растительные организмы вызывает серьезные нарушения обмена веществ и сбои в биохимических и ростовых процессах, что приводит к снижению общей продуктивности растений. Именно показатели интенсивности подавления ростовых процессов, особенно на начальных этапах онтогенеза растительного организма, используют при биотестировании загрязненной почвы для определения степени ее фитотоксичности [7]. Установлено, что длительное применение навозосодержащих сточных вод в изучаемых объемах не оказывает негативного токсического воздействия на величину энергии, прорастания семян озимой ржи сорта Заозерская, поскольку разница с контролем значительно ниже уровня достоверной значимости. Такая же тенденция прослеживается по отношению к длине зеленых проростков и их корней (табл. 3). На высокую токсикотолерантность озимых зерновых культур к воздействию сточных вод указывает и работа [8]. Высокая толерантность ржи к воздействию меди установлена также исследованиями венгерских ученых, выполненными в гидропонных культурах [9].

Для овса сорта Заповет достоверное негативное воздействие на длину корней у проростков установлено при орошении стоками в объемах, эквивалентных 300 и 400 кг/га азота. Аналогичная тенденция отражена и в исследовании [10]: отмечено ингибирующее воздействие водной вытяжки из городских осадков сточных вод (ОСВ) в разведении 1:10 и 1:100 на начальные ростовые процессы проростков семян овса. В работе [11] указывается на токсическое воздействие удобрений, полученных из городских ОСВ, на показатели начального роста и развития овса посевного.

Наименее толерантными к применению длительного орошения сточными водами среди

представителей семейства Poaceae оказались растения ячменя ярового сорта Фэст: при применении норм орошения, эквивалентных 200–400 кг/га азота, фиксировалось достоверное снижение энергии прорастания семян на 14–18 %, а всхожести – на 13–17 %. Однако указанные объемы орошения почвы не оказывали негативного воздействия на показатели начального роста и развития растений ячменя ярового, поскольку зафиксированное уменьшение данных показателей по сравнению с контролем было несущественным. Максимальная фитотоксичность почвы установлена при объеме орошения, эквивалентном 300 кг/га азота. По нашему мнению, негативное воздействие на растения ячменя связано с повышенным в 1,3–1,5 раза содержанием в почве меди. Кроме того, установлено, что токсичность меди для растений ячменя возрастает при pH почвы 6,5 и выше [12]. Это имело место и в наших исследованиях, поскольку на протяжении длительного периода почва орошалась сточной водой с pH 7,5.

Горох посевной проявлял высокую толерантность к применению длительного орошения сточными водами. Более того, у растений сорта Зарянка зафиксировано достоверное увеличение длины корней проростков (2,7 см, или 87 %) при норме орошения, эквивалентной 400 кг/га азота. Причиной этого, на наш взгляд, является то, что для растений гороха наиболее токсичные элементы – цинк и свинец [13], а их содержание в тестируемой почве было более чем в три раза ниже ПДК (цинк) либо не превышало ее (свинец). Токсикотолерантность гороха к меди объясняется биологическими особенностями данной культуры, в состав которой входит большее количество белка по сравнению с остальными исследуемыми растениями. На его синтез непосредственно и влияет медь, которая необходима гороху в больших, чем другим культурам, количествах.

*Таблица 3 – Влияние длительного орошения навозосодержащими сточными водами на фитотоксичность дерново-подзолистой супесчаной почвы*

Вариант опыта	Тест-функция							
	Энергия прорастания семян, %		Всхожесть семян, %		Длина зеленых проростков, см		Длина корней у проростков, см	
	1	2	1	2	1	2	1	2
<b>Озимая рожь, сорт Заозерская</b>								
Без орошения (контроль)	64,2	–	69,5	–	11,3	–	9,0	–
Орошение природной водой	80,2	+16,0	85,3	+15,8	9,1	-2,2	6,3	-2,7
Орошение стоками в объеме, эквивалентном 200 кг/га азота	50,8	-13,4	52,2	-17,3	8,3	-3,0	6,1	-2,9
Орошение стоками в объеме, эквивалентном 300 кг/га азота	52,2	-12,0	50,8	-18,7	12,4	+1,1	10,7	+1,7
Орошение стоками в объеме, эквивалентном 400 кг/га азота	49,5	-14,7	58,8	-10,7	10,5	-0,8	8,5	-0,5
Стандартная ошибка	11,8		13,34		1,56		1,26	
Значимая разность	28,68		32,41		3,77		3,05	
<b>Овес, сорт Заповет</b>								
Без орошения (контроль)	44,8	–	58,2	–	11,0	–	7,0	–
Орошение природной водой	59,9	+15,1	73,8	+15,6	14,0	+3,0	6,3	-0,7
Орошение стоками в объеме, эквивалентном 200 кг/га азота	42,2	-2,6	56,3	-1,9	10,5	-0,5	5,6	-1,4
Орошение стоками в объеме, эквивалентном 300 кг/га азота	26,7	-18,1	40,2	-18,0	10,3	-0,7	5,1	-1,9
Орошение стоками в объеме, эквивалентном 400 кг/га азота	38,2	-6,6	51,5	-6,7	12,7	1,7	5,2	-1,8
Стандартная ошибка	10,4		10,6		1,37		0,63	
Значимая разность	25,73		25,7		3,34		1,54	
<b>Ячмень яровой, сорт Фэст</b>								
Без орошения (контроль)	34	–	40	–	10,6	–	9,6	–
Орошение природной водой	29,2	-4,8	36,2	-3,8	12,1	+1,5	13,2	+3,6
Орошение стоками в объеме, эквивалентном 200 кг/га азота	18,5	-15,5	24,7	-15,3	10,7	+0,1	9,7	+0,1
Орошение стоками в объеме, эквивалентном 300 кг/га азота	15,7	-18,3	22,7	-17,3	7,6	-3,0	7,8	-1,8
Орошение стоками в объеме, эквивалентном 400 кг/га азота	20	-14,0	27	-13,0	8,5	-2,1	6,5	-3,1
Стандартная ошибка	4,08		4,09		1,52		1,79	
Значимая разность	9,93		9,96		3,68		4,36	
<b>Горох, сорт Зарянка</b>								
Без орошения (контроль)	31,2	–	37,8	–	5,6	–	3,1	–
Орошение природной водой	26,8	-4,4	33,5	-4,3	7,6	+2,0	4,4	+1,3
Орошение стоками в объеме, эквивалентном 200 кг/га азота	31,5	+0,3	42,8	+5,0	3,2	-2,4	3,3	+0,2
Орошение стоками в объеме, эквивалентном 300 кг/га азота	40,5	+9,3	46,5	+8,7	5,2	-0,4	3,3	+0,2
Орошение стоками в объеме, эквивалентном 400 кг/га азота	49,2	+18,0	55,8	+18,0	7,5	+1,9	5,8	+2,7
Стандартная ошибка	14,04		14,17		2,55		0,92	
Значимая разность	34,13		34,44		6,16		2,24	
<b>Горох, сорт Соломанка</b>								
Без орошения (контроль)	27,0	–	29,3	–	7,8	–	17,2	–
Орошение природной водой	20,3	-6,7	22,7	-6,6	8,3	+0,5	15,0	-2,2

Продолжение табл. 3

	1	2	1	2	1	2	1	2
Орошение стоками в объеме, эквивалентном 200 кг/га азота	13,7	-13,3	16,0	-13,3	3,2	-4,6	16,0	-1,2
Орошение стоками в объеме, эквивалентном 300 кг/га азота	11,3	-15,7	16,0	-13,3	9,1	+1,3	15,2	-2,0
Орошение стоками в объеме, эквивалентном 400 кг/га азота	32,0	+5,0	35,7	+6,4	10,0	+2,2	20,3	+3,1
Стандартная ошибка	8,79		10,17		2,69		4,27	
Значимая разность	21,37		24,71		6,54		10,38	
<b>Рапс яровой, сорт Смилла</b>								
Без орошения (контроль)	7,0	–	38,5	–	5,7	–	6,4	–
Орошение природной водой	7,3	+0,3	23,0	-15,5	4,0	-1,7	6,3	-0,1
Орошение стоками в объеме, эквивалентном 200 кг/га азота	23,0	+16,0	27,5	-11,0	3,8	-1,9	5,4	-1,0
Орошение стоками в объеме, эквивалентном 300 кг/га азота	29,2	+22,2	47,3	+8,8	3,6	-2,1	2,8	-3,6
Орошение стоками в объеме, эквивалентном 400 кг/га азота	26,8	+19,8	49,5	+11,0	3,3	-2,4	2,6	-3,8
Стандартная ошибка	13,62		14,41		0,79		1,41	
Значимая разность	33,11		35,0		1,93		3,42	
<b>Редька масличная, сорт Ника</b>								
Без орошения (контроль)	7,0	–	11,0	–	4,9	0,0	6,6	0,0
Орошение природной водой	45,7	+38,7	56,0	+45,0	4,0	-0,9	6,7	0,1
Орошение стоками в объеме, эквивалентном 200 кг/га азота	39,3	+32,3	44,0	+33,0	3,5	-1,4	6,0	-0,6
Орошение стоками в объеме, эквивалентном 300 кг/га азота	37,8	+30,8	43,0	+32,0	8,2	+3,3	5,5	-1,1
Орошение стоками в объеме, эквивалентном 400 кг/га азота	33,8	+26,8	45,0	+34,0	8,3	+3,4	5,1	-1,5
Стандартная ошибка	5,93		4,08		1,01		1,20	
Значимая разность	11,77		9,92		2,46		2,38	

Примечание: столбец 1 – фактический показатель; столбец 2 – +/- к контролю.

Среди растений-представителей семейства Brassicaceae высокую чувствительность к токсичности почвы, вызванной длительным орошением сточными водами, проявлял рапс. Более негативное воздействие оказано на начальный рост растений, нежели всхожесть семян. В частности, зафиксировано достоверное снижение длины зеленых проростков рапса при норме орошения, эквивалентной 300 и 400 кг/га азота (на 2,1 и 2,4 см, или 53 и 60 % соответственно). Для длины корней у проростков данные показатели составили 3,6 и 3,8 см (56 и 59 %) соответственно. Повышенная фитотоксичность меди для растений рапса, по нашему мнению, связана с тем, что при избытке Си уменьшается количество корневых волосков и снижается длина корней. Это приводит к неспособности поглощать из почвы воду и элементы питания в необходимом количестве, вследствие чего происходит остановка в развитии растения, что установлено и в других исследованиях, например [14]. На высокую чувствительность рапса к токсическому

воздействию меди на ранних стадиях развития указывается и в работе венгерских ученых [15].

Наивысшую токсикотолерантность к длительному орошению сточными водами продемонстрировала редька масличная сорта Ника. Для нее зафиксировано достоверное увеличение показателей энергии прорастания и всхожести семян при норме орошения, эквивалентной 200–400 кг/га азота, а также длины зеленых проростков при норме орошения, эквивалентной 300–400 кг/га азота. Данный факт позволяет заключить, что редька масличная может быть использована в качестве фиторемедианта на почвах, подверженных токсическому воздействию вследствие орошения сточными водами. Способность редьки масличной произрастать на почвах с сильным загрязнением животноводческими и промышленными стоками, а также экстрагировать из почвы значительное количество биофильных элементов и тяжелых металлов установлена и в исследовании [16]. По устойчивости к длитель-

ному орошению навозосодержащими сточными водами представители семейств Poaceae, Fabaceae и Brassicaceae располагаются в такой убывающий ряд: редька масличная > горох посевной > рожь озимая > овес > рапс яровой > ячмень яровой.

### Заключение

Проведенные исследования дают основания сделать следующие выводы:

1) длительное орошение животноводческими сточными водами в объемах, эквивалентных 200–400 кг/га азота, не оказывает значительного влияния на увеличение фитотоксичности дерново-подзолистой супесчаной почвы для представителей семейств Poaceae, Fabaceae и Brassicaceae;

2) показатели прорастания семян и начального роста проростков достаточно информативны при определении фитотоксичности дерново-подзолистой почвы, длительно орошаемой навозосодержащими стоками;

3) наиболее токсикотолерантной культурой оказалась редька масличная, которую можно использовать в качестве фиторемедианта почв, загрязненных тяжелыми металлами, в частности медью;

4) наименее токсикотолерантную культуру – ячмень яровой – рекомендуется использовать в качестве тест-объекта для биологического мониторинга фитотоксичности дерново-подзолистой супесчаной почвы, длительно орошаемой животноводческими сточными водами.

### Библиографический список

1. Ключенович, В. И. Инновационные подходы в области переработки органических отходов / В. И. Ключенович, В. В. Ходин // Экология на предприятии. – 2014. – № 11 (41). – С. 68-71.
2. Давыдов, А. С. Опыт применения сточных вод для орошения / А. С. Давыдов, А. В. Тиньгаев, В. Б. Шепталов // Вестник АГАУ. – 2008. – № 12 (50). – С. 43-45.
3. Білявський, Ю. А. Фітотоксичність Cu, Pb, Cd і Zn для овочевих культур – представників родини Brassicaceae / Ю. А. Білявський, Т. М. Мислива // Вісн. СНАУ. Сер. Агрономія і біологія. – 2014. – Вип. 3 (27). – С. 73-77.
4. Желязко, В. И. Эколого-мелиоративные основы орошения земель стоками свиноводческих комплексов / В. И. Желязко. – Горки : БГСХА, 2003. – 168 с.
5. Якість ґрунту. Визначання дії забрудників на флору ґрунту. Ч. 1: Метод визначення гальмівної дії на ріст коренів. ДСТУ ISO 11269-1:2004. К. : Держспоживстандарт України, 2005. – 9 с.
6. Dunnett, C. W. A multiple comparison procedure for comparing several treatments with control / C. W. Dunnett // Journal of the American Statistical Association. – 1985, Vol. 50. – № 272. – P. 1096-1121.
7. Мыслыва, Т. Н. Влияние моно- и полиметаллического загрязнения на фитотоксичность серой оподзоленной почвы для представителей семейства Fabaceae / Т. Н. Мыслыва // Вестник Брянской ГСХА. – 2016. – № 6 (58). – С. 3-8.
8. Касатиков, В. А. Влияние компостирования осадков сточных вод на их агроэкологические свойства / В. А. Касатиков, Н. П. Шабардина // Известия ОГАУ. – 2008. – № 2(18). – С. 28-31.
9. Bálint, A. F. Copper tolerance of Aegilops, Triticum, Secale and triticaleseedlings and copper and iron content in their shoots / András F. Bálint, Géza Kovács, József Sutka // Acta Biologica Szegediensis. – 2002. – Vol. 46 (3-4). – P. 77-78.
10. Левин, В. И. Влияние осадка сточных вод на морфофизиологическую изменчивость растений овса в агроценозах / В. И. Левин, Т. В. Хабарова // Вестник Рязанского гос. агротехнол. ун-та им. П. А. Костычева. – 2012. – № 4 (16). – С. 44-47.
11. Яшкина, А. А. Снижение фитотоксичности компостов на основе осадков сточных вод по мере созревания / А. А. Яшкина, О. А. Федорова // Мониторинг. Наука и технологии. – 2016. – № 4 (29). – С. 80-85.
12. Wang, X. Identification of hydroxyl copper toxicity to barley (*Hordeum vulgare*) root elongation in solution culture / X. Wang, Y. Ma, L. Hua, M. J. McLaughlin // Environ Toxicol Chem. – 2009. – 28 (3). – P. 662-667.
13. Mrigakhi, B. Effect of heavy metals on *Pisum sativum* Linn. / B. Mrigakhi, D. Ashalata // I.J.A.B.R. – 2012. – Vol. 2 (2). – P. 314-321
14. Герасимчук, Л. О. Вплив моно- та поліметалічного забруднення на фітотоксичність дерново-підзолистого ґрунту / Л. О. Герасимчук // Вісник Харківського нац. аграр. ун-ту ім. В. В. Докучаєва. Сер. Ґрунтознавство, агрохімія, землеробство, лісове господарство, екологія ґрунтів. – 2010. – № 1. – С. 188-194.
15. Comparing the effects of excess copper in the leaves of *Brassica juncea* (L. Czern) and *Brassica napus* (L.) seedlings: Growth inhibition, oxidative stress and photosynthetic damage / F. Gábor [at al.] // Acta Biologica Hungarica. – 2015. – 66 (2). – P. 205-221.
16. Флесс, Н. А. Фиторемедиация почв, загрязненных жидкими органическими удобрениями перспективность амаранта багряного, редьки масличной и горчицы белой в качестве растений-фиторемедиаторов / Н. А. Флесс. – Lambert Academic Publishing, 2011. – 180 с.

УДК 631.862.2:502

## ЗАГРЯЗНЕНИЕ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ ТЯЖЕЛЫМИ МЕТАЛЛАМИ, СОДЕРЖАЩИМИСЯ В ЖИВОТНОВОДЧЕСКИХ СТОКАХ

*П. Ф. Тиво, доктор сельскохозяйственных наук*

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

### Аннотация

Рассматривается влияние утилизации отходов свиноводческих комплексов на содержание тяжелых металлов в различных типах почв. Приведены предельно (ПДК) и ориентировочно (ОДК) допустимые концентрации этих металлов. Делается вывод о зависимости подвижности соединений от применяемых реагентов при их определении. Наряду с содержанием тяжелых металлов вблизи животноводческих комплексов в грунтовых водах необходимо определять ХПК (химическое потребление кислорода), а также содержание аммония и нитратов.

**Ключевые слова:** медь, цинк, марганец, свинец, кадмий, валовые и подвижные формы, жидкие органические удобрения.

### Abstract

**P. Ph. Tivo**

### ENVIRONMENTAL POLLUTION BY HEAVY METALS CONTAINED IN LIVESTOCK MANURES

The influence of recycling pig-breeding wastes on the contents of heavy metals in the different types of soils is examined. The maximum permissible concentrations (MPC) and approximate permissible concentrations (APC) of these metals are given. It is concluded that the content of the mobility of the compounds depends on the reagents used in their determination. Along with heavy metals, in the vicinity of livestock-breeding complexes it is necessary to determine the COD (chemical oxygen demand), as well as the concentration of ammonium and nitrates in groundwater.

**Keywords:** copper, zinc, manganese, lead, cadmium, gross and movable forms, liquid organic fertilizers.

### Введение

Загрязнение природной среды нередко связывают с проблемой нитратов. Никто не спорит, что качество овощей или картофеля, а также кормов резко ухудшается из-за высокой концентрации этих соединений, хотя оно может снижаться и по другим причинам. Недаром в странах Запада проблема нитратов как бы «отходит» на задний план, уступая место тяжелым металлам и пестицидам. Это обусловлено тем, что последние многократно опаснее нитратов, которые, если можно так сказать, находятся на периферии современной токсикологии [31, 34].

Интерес к тяжелым металлам особенно возрос после сообщений из японских источников о заболеваниях Минаматы и итай-итай. Причиной первого из них, как известно, стало употребление в пищу отравленной ртутью рыбы. При этом наиболее тяжелые случаи заболевания заканчивались параличом, слепотой, расстройством психики и речи. Младенцы подвергались интоксикации еще до появления на свет. Итог оказался печальным: умерли десятки людей, а еще больше продолжали болеть. Не менее опасна и болезнь итай-итай (в дословном переводе «ой-ой»), вызываемая отравлением кадмием. Заболевшие ею люди испытывали страшную боль в суставах, что и определило такое название. Весьма

токсичен и свинец [3, 6, 34]. С отравлением его соединениями нередко связывают слабоумие у детей и другие негативные последствия [32].

Может показаться странным, что к тяжелым металлам отнесены также марганец, цинк, медь, кобальт, молибден, известные под названием микроэлементы. Их физиологическая роль для организма животных и человека научно доказана. Эти элементы являются составной частью ферментативных систем. Они участвуют в переносе кислорода, энергии, передвижении электронов через мембраны клеток, влияют на синтез и передачу наследственной информации, т.е. являются незаменимыми в жизненно важных процессах. Недостаток или полное их отсутствие губительно сказываются на организме. Благодаря этому они нашли широкое применение в сельском хозяйстве и медицине. Их классификация зависит от концентрации: при дефиците в живых организмах эти соединения рассматриваются как микроэлементы, а при избытке – как тяжелые металлы. Иначе говоря, высокая концентрация любого элемента делает его опасным для всего живого. Не являются исключением кобальт, цинк, а также медь [4].

Но существует группа металлов, за которыми закрепилось только одно определение – «тяжелые»,

т. е. токсичные. Это прежде всего ртуть, кадмий, свинец и мышьяк, или, как их называют отдельные авторы, «большая четверка». Среди названных металлов особенно ядовиты для всего живого ртуть и кадмий, хотя и с остальными тоже не все так просто. В общем, «большая четверка», породила и большие экологические проблемы.

По степени опасности химические вещества подразделяют на три класса (согласно ГОСТ 17.4.1.02-83, переизданному в 2008 г.):

- 1 – вещества высокоопасные;
- 2 – вещества умеренно опасные;
- 3 – вещества малоопасные.

К первому классу относятся мышьяк, кадмий, ртуть, селен, свинец, цинк, фтор. Ко второму – бор, кобальт, никель, молибден, медь, сурьма, хром. Третий класс включает барий, ванадий, вольфрам, марганец, стронций.

Однако нужно иметь в виду, что такое деление химических элементов в определенной степени условное. Следует согласиться с мнением [18] о том, что токсичность элемента не противоречит его биологической необходимости, и он при чрезвычайно малых концентрациях может стать полезным. Примерно такого же мнения придерживался в свое время и Б. А. Ягодин [37].

Из 92 встречающихся в природе химических элементов 81 обнаружен в организме человека. Микроэлементы Fe, I, Cu, Zn, Co, Mo, Ni, Se, Mn, As, F, Si, Li признаны эссенциальными, т. е. жизненно необходимыми. Элемент считается таковым, если при его отсутствии или при недостаточном содержании организм перестает расти и развиваться, не может осуществлять свой жизненный цикл, обнаруживает пониженную жизнеспособность [4].

Тяжелые металлы – часть природы. Они входят в состав горных пород, почв, пресных и морских вод, содержатся в растительных и животных организмах. Почему же они стали нашими врагами? Виной всему деятельность людей, значительно изменивших естественные потоки химических элементов. В итоге концентрация тяжелых металлов в окружающей среде постоянно растет. Значительную роль играют выбросы в атмосферу при сжигании топлива, прежде всего каменного угля. Причем на долю автотранспорта приходится в свое время основное количество выбросов свинца. Вносят свою долю в загрязнение заводы и фабрики, особенно гальваническое производство [8, 24].

Наряду с этим тяжелые металлы поступают в почву с атмосферными осадками, минеральными удобрениями, осадками сточных вод и различными компостами из бытового мусора. Свинец попадал на осушенные торфяники в результате внесения медьсодержащих промышленных отходов – пиритных огарков. Ртуть со-

держится в протравителе семян – гранозане, который еще недавно применялся в земледелии.

В определенной мере способствует накоплению тяжелых металлов в почве и растениях внесение бесподстилочного навоза [2, 12]. Объясняется это тем, что комбикорма обогащаются фосфатами, которые содержат в качестве примесей кадмий и другие элементы. Кроме того, в рацион животных, и прежде всего свиней, с целью повышения их продуктивности включаются медь и цинк. Через корма тяжелые металлы попадают в навозные стоки, а затем в почву и растениеводческую продукцию. Не лишены тяжелых металлов также обычный подстилочный навоз и известковые удобрения [5, 20, 25]. Словом, эти соединения распространены в природе гораздо шире, чем считалось ранее.

Содержатся тяжелые металлы также в пище, кормах и воде, для которых установлены их предельно допустимые концентрации (ПДК). Анализ отечественных и зарубежных литературных источников свидетельствует, что эти показатели в различных странах далеко не одинаковы. В большинстве случаев действующие в нашей республике ПДК соответствуют мировому уровню. При их разработке соблюдалось требование Всемирной организации здравоохранения об ограничении поступления с продуктами питания в течение недели свинца – до 3 мг, кадмия – 0,4–0,5, ртути – 0,3 мг, в то время как допустимая норма нитратов для взрослого человека – 1540 мг. Располагая такой информацией, читатель сам может сделать правильный вывод о токсичности тех или иных соединений. Что касается наших ПДК в почвах, то они более строгие, чем нормативы ряда зарубежных стран. Но прямые параллели не всегда правомерны, поскольку часть сельскохозяйственных угодий республики загрязнена радионуклидами. Совместное же действие последних с тяжелыми металлами особенно опасно.

При кажущейся ясности понятия «тяжелые металлы» однозначного его толкования в литературе пока нет. Так, в группу тяжелых металлов часто относят более 40 элементов с атомной массой свыше 50. Советский энциклопедический словарь включает сюда только цветные металлы с плотностью большей, чем у железа. Согласно В. А. Большакову с коллегами [1] – тяжелыми являются металлы с плотностью более 5 г/см<sup>3</sup>. Если исходить из последней цифры, то тяжелыми металлами следует считать 43 элемента. При этом наиболее низкую плотность имеет германий (5,36 г/см<sup>3</sup>), а самую высокую – осмий (22,48 г/см<sup>3</sup>).

Из 43 элементов 10 обладают не только металлическими, но и неметаллическими свойствами. К ним относятся теллур, мышьяк, сурьма, висмут, германий, олово, свинец, галлий, индий, таллий.

Исходя из экологических и токсиколого-гигиенических позиций, не все тяжелые металлы могут быть восприняты однозначно. По мнению И. М. Трахтенберга и др. [32], интерес представляют прежде всего те металлы, которые широко используются в производстве и в результате накопления во внешней среде представляют серьезную опасность с точки зрения их биологической активности и токсических свойств, например кадмий [18]. Тем более, что, в отличие от органических поллютантов, большинство тяжелых металлов не подвержено микробиологической или химической деградации и способно накапливаться в почвах в течение длительного времени. Период полураспада в результате вымывания, потребления растениями, эрозии длится от 13 до 110 лет для кадмия, от 70 до 510 лет – для цинка. Чтобы это произошло для меди, потребуется 310–1500 лет, хотя самый длительный здесь свинец [16]. Аккумуляция в почвах, проникновение в поверхностные и грунтовые воды, попадание в пищевые цепи могут сопровождаться токсичным воздействием на живые организмы.

Среди тяжелых металлов свинец характеризуется высокой токсичностью по отношению к живым организмам. Повышение концентрации этого элемента в почвах вызывает снижение интенсивности процессов минерализации соединений углерода и азота, нитрификации, азотфиксации, активности ряда ферментов. Уменьшается численность и биомасса микроорганизмов. Факультетом почвоведения Московского государственного университета совместно с Институтом гигиены воды, почвы и воздуха (Германия) проведены исследования на дерново-подзолистой суглинистой слабокультуренной почве с целью сравнения микробиологических и биохимических свойств в 4-х вариантах опыта: 1 – контроль; 2 – 125 мг Pb/кг почвы; 3 – 500 мг/кг; 4 – 2000 мг Pb/кг почвы, что соответствует низкому, среднему и высокому уровням загрязнения почв [13].

В этих исследованиях для всех групп бактерий отмечена тенденция снижения их численности в загрязненной почве. Под влиянием тяжелых металлов снижается интенсивность дыхания почв. В опыте под действием свинца вышеназванный показатель уменьшался на 30–60 % по сравнению с контролем. Ферментативная активность почв – чувствительный показатель загрязнения. При содержании свинца в почве в количестве 500 и 2000 мг/кг почвы дегидрогеназная активность почв снизилась соответственно в 2 и 4,5 раза по сравнению с контролем. Активность уреазы снизилась в загрязненной почве в 1,5–10 раз. Денитрифицирующая активность почв уменьшилась в 1,2–1,3 раза при наличии свинца в почве в количестве 125 мг/кг почвы и в 4 раза – при 500–2000 мг/кг почвы. Отрицательное влияние свинца проявилось на азотфиксирующей

активности почв. Отмечено снижение этого показателя в 2–6 раз при минимальном уровне свинца в почве (125 мг/кг), в 3–14 раз – при 500 мг/кг, в 8–35 раз – при максимальном содержании свинца (2000 мг/кг почвы).

Среди групп бактерий наиболее заметное снижение установлено для свободноживущих азотфиксирующих и олиготрофных. Остальные проанализированные виды бактерий (в т. ч. и целлюлозолитические) менее чувствительны к загрязнению почв свинцом. Не изменялась и численность спорообразующих бактерий. Исследования показали нарушение важнейших биохимических процессов в почве в результате загрязнения тяжелыми металлами, что приводит к снижению уровня ее плодородия.

### Основная часть

Отечественный и зарубежный опыт свидетельствуют, что потенциально наиболее опасными для состояния биосферы могут быть органические удобрения, произведенные на основе бытовых и промышленных отходов (твердых бытовых отходов – ТБО; осадков сточных вод – ОСВ; стоков производственных и хозяйственно-бытовых). При неправильном их использовании в почву поступают многочисленные токсические соединения (табл. 1), остаточные количества дезинфицирующих, моющих, медикаментозных, полициклических органических синтетических веществ, болезнетворных микроорганизмов, жизнеспособных яиц гельминтов. Применение некачественно подготовленных органических удобрений на основе твердых бытовых отходов, ОСВ приводит к загрязнению не только почвы, но и грунтовых, поверхностных вод, атмосферного воздуха, снижению биологической ценности и величины урожая, повышению риска заболеваемости животных, человека. Негативный опыт использования различных видов удобрений, произведенных на основе ТБО, ОСВ, в настоящее время ставит под сомнение целесообразность их широкого использования в сельском хозяйстве с целью повышения плодородия почв. Согласно зарубежному опыту предпочтение будет отдаваться технологиям экологически безопасного захоронения ОСВ, ТБО, их утилизации в качестве источников энергии, для формирования ландшафтной эстетики городов. В ФРГ, к примеру, 50 % ОСВ используется в качестве источника энергии, более 10 % – в ландшафтном благоустройстве [28].

Потенциально опасными для окружающей среды могут быть традиционные органические удобрения, приготовленные с использованием экскрементов животных, птицы [27]. Согласно данным Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ), экскременты определены как фактор передачи более 100 видов различных возбудителей

болезней животных, птиц, человека с большим сроком выживаемости (табл. 2). Экологи Европы полагают, что основной причиной образования азотсодержащих кислотных дождей является неудовлетворительная работа с навозом и пометом. В настоящее время в ряде европейских стран приняты законы о необходимости их хранения в закрытых накопителях анаэробного типа, обязательном внутрипочвенном внесении данных удобрений. Значительную опасность для экологической обстановки представляют содержащиеся в навозе остаточные количества дезинфицирующих веществ, различных медикаментозных препаратов, в основном антибиотиков, транквилизаторов, применяемых на фермах и особенно на крупных животноводческих комплексах, птицефабриках в целях санитарной обработки производственных помещений и профилактики заболеваний животных, птицы. Остаточные количества антибиотиков подавляют биологическую активность почвы, процессы гумусообразования. При насыщении почвы навозом от животных, прошедших лечение антибиотиками, ослабляется ее способность к самообеззараживанию. Обычно 90 % патогенных кишечных палочек в данных почвах являются суперрезистентными, устойчивыми к воздействию антибиотиков [28].

Во избежание загрязнения окружающей среды органические удобрения должны быть подготовлены и по своим химическим, физическим, токсиколо-

гическим, санитарно-ветеринарным, гигиеническим характеристикам соответствовать требованиям технических условий – нормативным документам, декларирующим единые требования к качеству производимых удобрений, методам их контроля, условиям хранения, транспортирования и применения. Нарушение регламентов применения органических удобрений может явиться причиной резкого обострения экологической ситуации. Наиболее широко распространенным нарушением технологий применения органических удобрений является их использование в необоснованно высоких дозах. В основном это касается бесподстилочного навоза, помета, ненормированное применение которых усиливает дегумификацию, эрозионные процессы в почве, повышает накопление в ней токсичных соединений, вызывает частичную или полную утрату плодородия почв, химическое и биологическое загрязнение земель, грунтовых, поверхностных вод, продукции растениеводства, воздушного бассейна [28].

В Российской Федерации общая площадь химически и биологически загрязненных земель в зонах расположения крупных животноводческих комплексов и птицефабрик превышает 2,2 млн га. Дегумификация почв вследствие нарушений технологий использования органических удобрений в настоящее время рассматривается в качестве одной из причин повышения в атмосфере концентрации парниковых газов (CO<sub>2</sub>, CO), эмиссируемых сельхозугодьями [28].

Таблица 1 – Поступление на поверхность почвы тяжелых металлов в агроценозах, % [5]

Источник поступления ТМ	Pb	Zn	Cu	Cd	Ni	Cr
с минеральными удобрениями	4,5	2,4	8,4	5,4	3,4	11,2
с фосфоритованием	2,0	2,4	6,3	0,4	3,4	1,9
с известкованием	42,4	12,1	16,5	31,8	27,1	34,8
с органическими удобрениями	23,3	49,9	48,6	45,6	55,7	62,1
- из них с ОСВ	37,6	87,1	93,9	75,4	72,6	89,3
с атмосферными осадками	27,9	33,3	20,4	16,7	9,8	нет данных

Таблица 2 – Сроки выживаемости патогенных микроорганизмов, яиц гельминтов в навозе [27, 28]

Наименование микроорганизмов и яиц гельминтов	Срок выживаемости, лет, более
Микобактерии туберкулеза	25
Бациллы сибирской язвы	60
Сальмонеллы паратифов	2
Сальмонеллы брюшного тифа	3
Листерии	2
Вирус ящура	2
БГКП	2
Яйца аскарид	6,5
Яйца фасциол	2

Увеличение нагрузок на окружающую среду отмечается также при нарушении сроков внесения органических удобрений. В экологическом отношении наиболее опасным является несоблюдение требований зимнего внесения органических удобрений. При высоте снежного покрова более 20 см, температуре воздуха ниже -10 °С, на поля с беспокойным рельефом наблюдаются большие потери удобрений, загрязнение поверхностных и грунтовых вод. Согласно исследованиям ВНИИА, ВНИИОУ вместе с талыми водами из органических удобрений теряется до 25 % азота, свыше 10 % фосфора, 15 % калия, наблюдается также загрязнение почв, артезианских питьевых источников болезнетворными микроорганизмами, яйцами гельминтов.

Умеренное же применение жидких органических удобрений не приводит к интенсивному загрязнению природной среды тяжелыми металлами, что подтверждается нашими исследованиями в Ивановском районе Брестской области. При этом установлено, что эти соединения преимущественно располагаются в пахотном слое (табл. 3). Причем отмеченная закономерность проявляется как на минеральных, так и на торфяных почвах.

Имеет значение и то, какой реагент используется для вытеснения тяжелых металлов из почвы. Меньше всего их извлекалось ацетатно-аммиачным буфером (табл. 4). Это, несомненно, надо учитывать при интерпретации результатов исследований различных авторов. То же нужно сказать и о сезонной динамике тяжелых металлов. В содержании железа, марганца и кадмия прослеживается максимум, совпадающий с осенним переувлажнением почв. В этот период их может быть в несколько раз больше, чем в другие сроки. Однако к середине осени снижается биологическая активность и наблюдается уменьшение содержания в почве подвижного железа, марганца и кадмия. Хорошо прослеживается весенний максимум цинка и меди. Наибольшее количество свинца приходится на начало лета [23]. Недоучет этого положения может исказить истинную картину в поведении таких элементов в почве.

В наших опытах на фоне  $N_{300}$  кг/га навозных стоков ежегодно вносилось кадмия – 8 г/га, цинка – 1180 и меди – 140 г. С учетом выноса урожаем и потерь в результате вымывания положительный баланс составил соответственно 5, 260 и 80 г. В итоге даже после 9-летнего орошения стоками их содержание в торфяно-глеевой почве практически не изменилось.

Таблица 3 – Содержание тяжелых металлов в почвах в зоне влияния свиного комплекса [31]

Слой почвы, см	Cu	Zn	Pb	Cd
	мг/кг почвы			
Торфяно-глеевая почва				
0–20	4,9	15,0	6,5	0,32
20–30	2,3	5,6	2,6	0,20
30–50	1,4	1,3	1,5	0,10
Дерново-подзолистая супесчаная почва				
0–20	2,2	2,5	4,0	0,20
20–40	1,7	1,3	1,5	0,20
40–60	1,4	0,5	0,7	0,13
60–80	1,4	0,8	1,5	0,13

Таблица 4 – Группировка минеральных почв по содержанию подвижных форм тяжелых металлов, мг/кг [29]

Элементы	Группы и градации почв по содержанию тяжелых металлов					
	1-я	2-я	3-я	4-я	5-я	6-я
Марганец (Mn)	200/50*	400/100	600/150	800/200	1000/250	1200/300
Хром (Cr)	30/10	60/20	90/30	120/40	150/50	200/60
Ванадий (V)	20 /10	40/20	60/30	80/40	100/50	120/60
Цинк (Zn)	15/5	30/10	45/15	60/20	75/25	90/30
Никель (Ni)	8/2	16/4	24/6	32/8	40/10	48/12
Медь (Cu)	7/1,5	14/3	21/4,5	28/6	35/7,5	42/10
Свинец (Pb)	5/0,8	10/1,5	15/2,3	20/3,2	25/4,0	30/4,8
Кобальт (Co)	3/0,6	6/1,2	9/1,8	12/2,4	15/2,8	18/3,6
Молибден** (Mo)	1/0,5	2/1,0	3/1,5	4/2,0	5/2,5	6/3,0

\* Перед косой чертой – растворимые в 1 М HCl вытяжке, за чертой – в ацетатно-аммонийном буфере (ААБ) с pH 4,8

\*\* Молибден определяется в оксалатной вытяжке по Григу

Более четкая тенденция к повышению количества ряда тяжелых металлов отмечена в дерново-подзолистой легкосуглинистой почве. На орошаемых полях ситуация осложнялась и наличием микрорельефа. По этой причине в микрозападинах возможно избыточное накопление различных соединений, в том числе свинца, кадмия и цинка. Следует иметь в виду, что сами по себе понижения обогащены илистыми частицами и органическим веществом, с которыми взаимодействуют тяжелые металлы. На таких участках как бы накладываются два процесса. Один из них природный, когда накопление различных элементов в понижениях происходит в результате многовекового смыва с повышений. Другой процесс связан с современным внесением удобрений, имеющих в качестве примесей тяжелые металлы.

Подобное имело место в отношении меди на торфяных почвах (рисунок). То же констатировали другие авторы применительно к свинцу [10]. Ими также установлено, что в дерново-подзолистой легкосуглинистой почве содержание свинца (эстрагент ААБ) было почти в 1,8 раза ниже, чем при его определении в 1 М HCl вытяжке.

Поскольку уровень накопления химических элементов растениями в определенной мере коррелирует с количеством их в почве, считается целесообразным осуществлять нормирование тяжелых металлов в ней, с тем чтобы гарантировать получение гигиенически доброкачественной продукции. Нормирование содержания этих соединений в по-

чвах предусматривает установление их предельно допустимых концентраций (ПДК). Это означает такую концентрацию тяжелых металлов, которая при длительном воздействии на почву и растения не вызывает каких-либо патологических изменений или аномалий в ходе биологических процессов, а также исключает избыточное накопление сельскохозяйственными культурами токсических элементов [14–15].

Установить ПДК непросто, так как сама почва – сложное природное тело, важнейший компонент биосферы, взаимосвязанный с деятельностью растительного и животного миров. По мнению В. Г. Минеева [20], загрязнение почвы сопровождается существенным изменением биоты: уменьшением общего количества бактерий, резким сокращением числа актиномицетов и увеличением количества грибов, падением численности насекомых и дождевых червей. Отмечено также снижение ферментативной активности в почве. Мутагенная активность загрязненной почвы, регистрируемая в меристематических клетках корней растений, в 5–10 раз выше, чем незагрязненной почвы. От избыточного содержания тяжелых металлов больше страдают нитрификаторы, чем аммонификаторы. Многолетние исследования Г. А. Ниязовой и С. В. Летуновой [22] указывают на принципиальную возможность использования азотфиксирующей способности почв в качестве показателя для нахождения ПДК тяжелых металлов в почве.

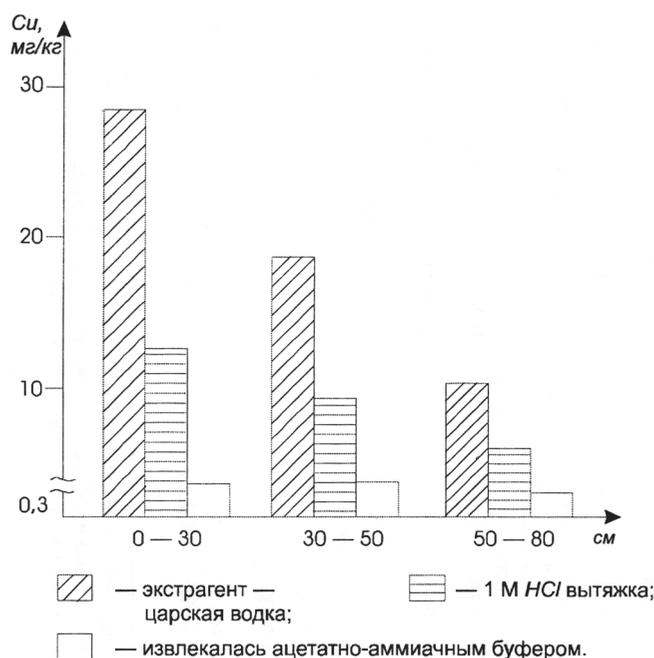


Рисунок. Содержание различных форм меди в торфяных почвах в зависимости от применяемых экстрагентов [31]

К. В. Григорян [11] на основе многочисленных полевых и лабораторных исследований и статистической обработки полученных данных предложил свою градацию степени загрязнения тяжелыми металлами. Согласно ей, к слабозагрязненным отнесены почвы, в которых активность фосфатазы по сравнению с незагрязненными вариантами уменьшается на 25 %, инвертазы – на 20 %, к среднезагрязненным, соответственно, на 25–45 и 20–50 %, к сильнозагрязненным – более чем на 45 и 50 %.

Мониторинг загрязнения тяжелыми металлами иногда проводится в отношении их валового содержания в почве. Допустимые концентрации валовых соединений металлов приведены в нормативном документе [9].

Нормирование загрязнения по валовому содержанию этих элементов следует, очевидно, рассматривать как сугубо ориентировочное. Дело в том, что при равенстве валовых форм любого тяжелого металла в почве степень его подвижности или мобильности может быть разной. В результате этого в пищевую цепь поступит неодинаковое количество токсиканта. Более объективную оценку дает контроль их подвижных соединений. Но главная трудность здесь – выбор экстрагента. По мнению В. Б. Ильина [15], надо определять не столько условно доступное количество тяжелого металла (что достигается применением «мягких» растворителей), сколько его ближайший резерв. В последнем случае пригодны более «жесткие» экстрагенты. Такой подход позволяет предвидеть размер дополнительного поступления тяжелых металлов в растения при экстремальных условиях. Эта ситуация создается, к примеру, при выпадении кислотных дождей или

интенсивной минерализации гумуса, когда элемент-загрязнитель становится подвижнее. Наиболее подходит для таких целей 1 М раствор соляной кислоты. На основе этого экстрагента РУП «Институт почвоведения и агрохимии» разработал соответствующие нормативы (табл. 5).

Наряду с тяжелыми металлами в почве, особенно в природных водах, необходимо контролировать другие показатели [17]. Выполненный мониторинг на территории ОАО «СГЦ «Западный»» Брестского района показал, что на полях орошения навозными стоками свинокомплекса, ХПК (химическое потребление кислорода) и содержание аммония в грунтовых водах превышали ПДК соответственно в 10 и 74 раза [7]. Не лучшая ситуация и на промышленном комплексе ОАО «Агрокомбинат «Калита»» (Киевская область), если судить по загрязнению грунтовых вод нитратами в зоне его действия [21]. Как в первом, так и во втором случаях основная причина этого – переудобренность почвы животноводческими стоками.

В странах же ЕС, особенно Дании, доза азота органических удобрений ограничивается 170 кг/га [30]. В России она дифференцирована следующим образом: для яровых зерновых и однолетних трав – 120–180 кг общего азота; сахарной свеклы – 200–300, столько же и для злаковых и злаково-бобовых многолетних трав; кукурузы на зеленый корм – 200–320; озимых зерновых – 120–140; столового картофеля – 120–200; озимых промежуточных культур – 100–120; кормовой свеклы – 200–320; орошаемого культурного пастбища – 300–360 кг/га [19]. Примерно такие же цифры называют и другие авторы [35].

Таблица 5 – Ориентировочно допустимые концентрации и предельно допустимые уровни тяжелых металлов в дерново-подзолистых почвах, мг/кг [26]

Тяжелый металл	Формы	Почвы		
		песчаные	супесчаные	суглинистые
Кадмий (ОДК)	Валовые	0,3	0,4	0,6
	Подвижные*	0,2	0,3	0,4
Свинец (ОДК)	Валовые	25	35	60
	Подвижные*	10	15	25
Медь (ПДУ)	Валовые	60	70	100
	Подвижные*	10	12	15
Цинк (ПДУ)	Валовые	50	60	80
	Подвижные*	14	16	18

\* 1 М НСІ

**Выводы**

1. Использование животноводческих стоков на орошение – важное водоохранное мероприятие и резерв интенсификации кормопроизводства. Навозные стоки, взаимодействуя с почвой, подвергаются очистке за счет процессов сорбции, механического, физико-химического, биологического поглощения и др. Однако при избыточных нормах нагрузки на поля орошения, превышающих самоочищающую способность почвы, возникает опасность загрязнения окружающей среды.

2. Чтобы исключить загрязнение почвы и грунтовых вод аммонием, нитратами и другими соединениями, необходимо строго контролировать нагрузку навозных стоков на почву. При использовании мобильного транспорта норма жидких органических удобрений в расчете на азот не должна в среднем по севообороту превышать 200 кг/га. На орошаемых злаковых травостоях ее можно увеличить примерно на 25–30 %.

3. Бесподстильный навоз нужно использовать в качестве удобрений лишь при отсутствии в нем патогенной, условно патогенной микрофлоры, а также гельминтов. Если придерживаться научно обоснованных норм полива, то исчезнут опасения по поводу загрязнения почв, природных вод и растений тяжелыми металлами и другими токсикантами.

4. Целесообразно применять на свинокомплексах менее водоемкие технологии навозоудаления, что снизит затраты на утилизацию отходов животных в земледелии и луговодстве. При этом в жидкой фракции бесподстильного навоза и стоков содержание азота составит не менее 500 мг [33], а не 250, как указывается в ТКП 45-3.04-178-2009 (02250). Верхний же предел концентрации общего азота в поливной воде такой: для многолетних бобовых трав и раннего возраста злаковых (спустя 2 месяца после всходов) – 1,0 г/л, кукурузы и зерновых – 0,8, корнеплодов и подсолнечника – 0,5, многолетних злаковых трав 2-го года и последующих лет жизни – 1,5 г/л.

Кроме того, поля утилизации животноводческих стоков не должны иметь высокую плотность корнеобитаемого слоя. В противном случае усилится подвижность тяжелых металлов в почве и их доступность растениям.

5. Будет способствовать экологизации земледелия и стимулирование работ по использованию бесподстильного навоза с учетом природоохранного эффекта, как это делается в Белгородской области Российской Федерации. Там сельскохозяйственным организациям доплачивается по 60 руб. за каждый кубический метр свиностоков, заделанных в почву инъектированием [36].

**Библиографический список**

1. Агротехногенное загрязнение почвенного покрова тяжелыми металлами: источники, масштабы, рекультивация / В. А. Большаков [и др.]. – М. : Почв. ин-т им. В. В. Докучаева, 1993. – 91 с.
2. Агроэкологические режимы и технологии использования стоков животноводческих комплексов при орошении малопродуктивных земель: монография / В. И. Желязко [и др.] // Агроэкологическое обоснование ведения сельскохозяйственного производства на мелиорируемых длительно используемых, нарушенных и загрязненных землях – 2-е изд., дополн. – Рязань : ФГБОУ ВПО РГАТУ, 2015. – С. 217-297.
3. Алексеев, Ю. В. Тяжелые металлы в почвах и растениях / Ю. В. Алексеев. – Л. : Агропромиздат, 1987. – 142 с.
4. Аристархов, А. Н. Оптимизация питания растений и применения удобрений в агроэкосистемах / А. Н. Аристархов ; под ред. В. Г. Минеева. – М. : ЦИНАО, 2000. – 524 с.
5. Баланс тяжелых металлов в агроценозах дерново-подзолистых почв Московской области / С. С. Праздников [и др.] // Плодородие почвы и качество продукции при биологизации земледелия. – М. : Колос, 1996. – С. 305-320.
6. Бутовский, Р. О. Тяжелые металлы как техногенные химические загрязнители и их токсичность для почвенных беспозвоночных животных / Р. О. Бутовский // Агрехимия. – 2005. – № 4. – С. 73-91.
7. Влияние орошения сточными водами свиноводческих комплексов на биогенное загрязнение грунтовых вод (на примере ОАО «СГЦ «Западный»») / А. А. Волчек, О. Е. Чезлова, М. М. Дашкевич [и др.] // Мелиорация. – 2017. – № 2. – С. 51-58.
8. Водяницкий, Ю. Н. Загрязнение почв тяжелыми металлами / Ю. Н. Водяницкий, Д. В. Ладонин, А. Т. Савичев. – М. : Изд-во Почв. ин-та им. В. В. Докучаева РАСХН, 2012. – 304 с.

9. Перечень предельно допустимых концентраций (ПДК) химических веществ в почве. Гигиенические нормативы 2.1.7.12-1-2004. – Минск, 2004. – 26 с.
10. Головатый, С. Е. Содержание миграционно активных форм свинца в дерново-подзолистых и торфяных почвах / С. Е. Головатый, Н. К. Лукашенко, З. С. Ковалевич // Экологический вестник. – 2010. – № 3. – С. 15-22.
11. Григорян, К. В. Методические указания по установлению степени загрязненности почв тяжелыми металлами / К. В. Григорян. – Ереван : Изд-во ЕрГУ, 1988. – 26 с.
12. Желязко, В. И. Использование бесподстилочного навоза на мелиорируемых агроландшафтах Нечерноземья: монография / В. И. Желязко, П. Ф. Тиво, Ю. А. Мажайский. – 2-е изд., допол. и перераб. – Рязань : Мещерский ф-л Всерос. НИИГиМ им. А. Н. Костякова, 2006. – 304 с.
13. Микробиологические и биохимические показатели загрязненной свинцом дерново-подзолистой почвы / Д. Г. Звягинцев [и др.] // Почвоведение. – 1997. – № 9. – С. 1124-1131.
14. Ильин, В. Б. О надежности гигиенических нормативов содержания тяжелых металлов в почве / В. Б. Ильин // Агрохимия. – 1992. – № 12. – С. 78-85.
15. Ильин, В. Б. Тяжелые металлы в системе почва–растение / В. Б. Ильин. – Новосибирск : Наука. Сиб. отд-ние, 1991. – 151 с.
16. Кабата-Пендиас, А. Микроэлементы в почвах и растениях / А. Кабата-Пендиас, Х. Пендиас. – М. : Мир, 1989. – 439 с.
17. Мажайский, Ю. А. Тяжелые металлы в экосистемах водосборов малых рек / Ю. А. Мажайский, Т. М. Гусева. – М. : Изд-во МГУ, 2001. – 138 с.
18. Мельничук, Ю. П. Влияние ионов кадмия на клеточное деление и рост растений / Ю. П. Мельничук. – Киев : Наук. думка, 1990. – 148 с.
19. Методические рекомендации по технологическому проектированию систем удаления и подготовки к использованию навоза и помета : РД-АПК 1.10.15.02-17. – М., 2017. – 167 с.
20. Минеев, В. Г. Химизация земледелия и природная среда / В. Г. Минеев. – М. : Агропромиздат, 1990. – 287 с.
21. Нитратное загрязнение окружающей природной среды животноводческими стоками промышленного свиного комплекса в зоне Полесья / С. Э. Дегодюк [и др.] // Природнае асяроддзе Палесся: асаблівасці і перспектывы развіцця / НАН Беларусі, Палескі аграрна-экалагічны інстытут. – Брэст : Альтернатыва, 2012. – Выпуск 5. – С. 71-73.
22. Ниязова, Г. А. Новые критерии оценки ответных реакций микроорганизмов на загрязнение окружающей среды тяжелыми металлами / Г. А. Ниязова, С. В. Летунова // Известия АН СССР. Сер. биол. наук. – 1986. – № 2. – С. 250-259.
23. Обухов, А. И. Сезонная динамика и пространственная вариабельность содержания тяжелых металлов в почвах и почвенно-грунтовых водах / А. И. Обухов, А. А. Попова // Почвоведение. – 1992. – № 9. – С. 42-51.
24. Позняк, С. С. Экологическое состояние сельскохозяйственных земель в зоне действия крупных промышленных центров : монография / С. С. Позняк. – Минск : МГЭУ им. А. Д. Сахарова, 2010. – 211 с.
25. Селюкова, С. В. Тяжелые металлы в органических удобрениях / С. В. Селюкова // Агрохимический вестник. – 2016. – № 5. – С. 47-51.
26. Система применения удобрений : учебник / В. В. Лапа [и др.] ; под ред. В. В. Лапы. – Минск : ИВЦ Минфина, 2016. – 440 с.
27. Соколов, М. С. Санитарно-эпидемиологические требования к качеству агрохимикатов при их государственной регистрации / М. С. Соколов, Г. А. Жариков, Л. М. Соколова // Агро XXI. – 2003. – № 1–6. – С. 138-142.
28. Тарасов, С. И. Актуальные вопросы загрязнения окружающей среды при использовании органических удобрений / С. И. Тарасов // Экологические проблемы использования органических удобрений в земледелии : сб. науч. тр. – Владимир : ФГБНУ ВНИИОУ, 2015. – С. 284-294.
29. Теоретические основы и пути регулирования плодородия почв / Л.Л. Шишов, Д.Н. Дурманов, И.И. Карманов [и др.]. – М. : Агропромиздат, 1991. – 364 с.
30. Тиво, П. Ф. Опыт ряда стран по утилизации навоза и снижению выбросов аммиака / П. Ф. Тиво, Л. А. Саскевич, Е. А. Бут // Мелиорация. – 2017. – № 1. – С. 62-69.

31. Тиво, П. Ф. Тяжелые металлы и экология / П. Ф. Тиво, И. Г. Быцко. – Минск : ЮНИПОЛ, 1996. – 192 с.
32. Трахтенберг, И. М. Тяжелые металлы во внешней среде: современные гигиенические и токсикологические аспекты / И. М. Трахтенберг, В. С. Колесников, В. П. Луковенко. – Минск : Навука і тэхніка, 1994. – 285 с.
33. Удобрения органические на основе отходов животноводства. Технические условия : ГОСТ 33830-2016. – Введ. РБ 01.01.2018. – Минск. 2017. – 16 с.
34. Шабунин, С. В. Экоотоксиканты, распространение, профилактика и лечение / С. В. Шабунин, В. И. Беляев, С. В. Бузлама // Ветеринария. – 2014. – № 7. – С. 3-8.
35. Экология применения органических удобрений / В. Г. Сычев, О. А. Соколов, А. А. Завалин, Н. Я. Шмырева. – М. : ВНИИА, 2017. – 336 с.
36. Югай, А. Стимулирование работ по восстановлению плодородия сельскохозяйственных земель России / А. Югай // Аграрная экономика. – 2015. – № 6. – С. 52-61.
37. Ягодин, Б. А. Агрохимия / Б. А. Ягодин, Ю. П. Жуков, В. И. Кобзаренко ; под ред. Б. Я. Ягодина. – М. : Колос, 2002. – 584 с.

Поступила 25.01.2019

## СИСТЕМА ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПРИ ВЫБОРЕ РЕЖИМА ОРОШЕНИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР

**Е. В. Мелихова**, кандидат технических наук, доцент

ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный аграрный университет»,  
г. Волгоград, Россия

### Аннотация

В статье рассмотрены основные подходы к автоматизации управления водным режимом орошаемых сельскохозяйственных культур. Проведен анализ некоторых компьютерных программ для автоматизированного расчета параметров режимов орошения на основе ретроспективных данных и результатов мониторинга природно-климатических параметров орошаемых участков. Приведено описание разработанной системы поддержки принятия решения для оперативного управления водным режимом сельскохозяйственных культур при капельном орошении.

**Ключевые слова:** система поддержки принятия решений, режим орошения, компьютерные программы, информационные технологии, сельскохозяйственные культуры, имитационное моделирование

### Abstract

**E. V. Melikhova**

### CREATION OF A SYSTEM OF SUPPORTING DECISION-MAKING IN THE CHOICE OF THE REGIME OF AGRICULTURAL CULTURE IRRIGATION

The article discusses the main approaches to automate the management of the water regime of irrigated crops. The analysis of computer programs for the automated calculation of the parameters of irrigation regimes on the basis of retrospective data and the results of monitoring the climatic parameters of irrigated areas has been carried out. The description of the developed decision support system for the operational management of the water regime of crops under drip irrigation is given.

**Keywords:** decision support system, irrigation regime, computer programs, information technology, crops, simulation modeling

### Введение

Повышение качества и научной обоснованности управления созданием и эксплуатацией мелиоративных систем, предотвращение деградации орошаемых почв невозможно без использования современных программно-информационных средств, предназначенных для анализа данных о природных и техногенных показателях состояния мелиорированных земель и выборки на основе этого анализа эколого-экономически обоснованных решений по возделыванию сельскохозяйственных культур. Для эффективного и рационального использования природных ресурсов необходима поддержка принятия решений по распределению орошаемой воды на поля.

Предотвращение деградации мелиоративных агроландшафтов, обеспечение их стабильного эколого-мелиоративного состояния путем повышения качества управленческих решений в области использования орошаемых земель возможно за счет учета индивидуальных особенностей каждого орошаемого участка. Данный подход требуют применения автоматизированных технологий управления плодородием на каждом поле или орошаемом

участке, позволяющих повысить качество технологических и управленческих решений [1, 6].

Использование информационных технологий (ИТ) в управлении мелиорацией описаны в публикациях А. Г. Болотина, В. В. Бородычева, В. С. Бочарникова, С. М. Васильева, Н. С. Захарченко, П. В. Иванова, В. П. Остапчика, В. В. Корсака, Н. А. Пронько, И. Ф. Юрченко и др. Целью нашего исследования является разработка программы оперативного управления водным режимом сельскохозяйственных культур при капельном орошении.

Автоматизированные технологии управления, включая системы поддержки принятия решения (СППР), по функциональному назначению подразделяются на информационно-справочные, информационно-советующие и информационно-управляющие.

**Информационно-справочные системы** предоставляют информацию об управляемом процессе. При этом ее оценку осуществляет лицо, принимающее решение (ЛПР). **Информационно-советующие системы (ИСС)** характеризуются более высоким уровнем автоматизации управления. Они обеспечивают получение и оценку информации об объекте управления и генерируют допустимые

альтернативы управленческих решений, которые могут приниматься в качестве основы для ЛПР [3]. **Информационно-управляющие системы (ИУС)** обеспечивают следующую ступень автоматизации управления, осуществляя выработку исполняемых управленческих решений [9].

Разнообразие параметров, описывающих состояние орошаемых полей, и факторов, определяющих выбор видов и показателей технологических операций, наличие этапов управления с изменяющимися целями и методами воздействия с учетом различных технологических, экологических и технико-экономических ограничений определяют необходимость разработки автоматизированных технологий возделывания сельскохозяйственных культур с использованием ИСС, включая системы поддержки принятия решения.

Отдельные автоматизированные системы используют спутниковые данные дистанционного зондирования почв и ГИС-технологии [1, 7].

**Основная часть**

В области оросительной мелиорации задача автоматизации управления режимом орошения сельскохозяйственных культур включает выбор способа полива и расчета режима орошения. Выбор способа орошения зависит от следующих основных факторов: необходимости увлажнения почвы, ее гранулометрического состава, потребности регулировать фитоклимат растений, уровня залегания грунтовых вод и уклонов поверхности поля. Рекомендуемая автором блок-схема выбора способа орошения изображена на рис. 1.

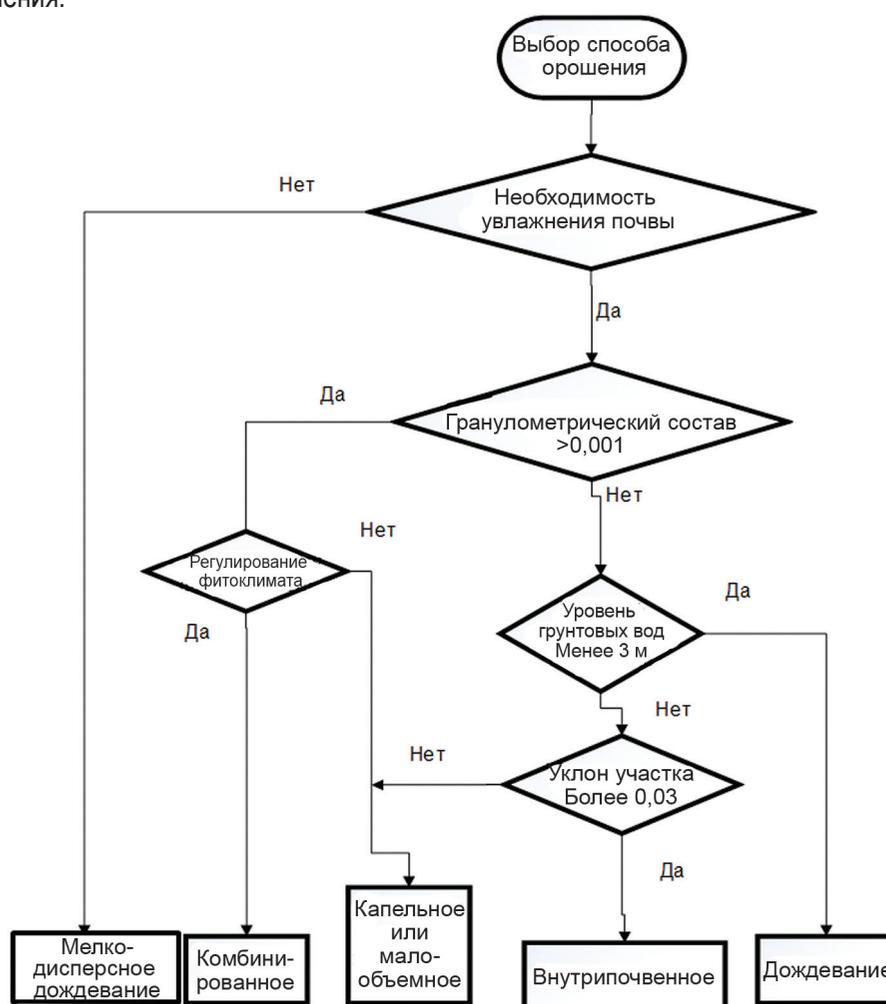


Рисунок 1 – Блок-схема выбора способа орошения

Для формирования режима орошения в мелиорации известны различные подходы [1–6, 9]. В работе [3] предложен алгоритм управления водным режимом почвы при орошении сельскохозяйственных культур, который позволяет: планировать поливной режим, формировать и корректировать потребность в поливах с оценкой вероятности осуществления

прогноза, составлять оперативно-текущие планы, анализировать необходимость проведения полива с использованием накопленной информации. Авторы [3] рассматривают использование современных решений в области мониторинга водного режима почвы в границах орошаемого участка и предлагают метод расчета с использованием

агрометеорологической информации, а также повышение точности прогнозных и ретроспективных расчетов за счет использования многопараметрических моделей определения суммарного водопотребления сельскохозяйственных культур.

Информационно-советующая система управления плодородием орошаемых почв [1, 6] может использоваться как в составе комплексной системы проектирования технологий выращивания культур и оперативного управления ими, так и самостоятельно – для проектирования и управления операциями по внесению органических и минеральных удобрений. При ее разработке использовались реляционные базы данных (БД), что позволило унифицированно использовать различные справочники и наборы процедурных правил оценки почвенно-мелиоративного состояния орошаемого участка, правила и алгоритмы определения видов, доз и сроков внесения удобрений [1, 6]. Система ориентирована на сохранение и повышение плодородия орошаемых участков и эффективное использование ресурсов. Это достигается путем оптимизации состава и параметров технологического процесса внесения органических и минеральных удобрений. Они способны обеспечить получение планируемых урожаев, предотвратить деградацию почвы.

По мнению авторов [4, 5], для управления водным режимом сельскохозяйственных культур необходимо проводить имитационное моделирование развития растений, учитывающее вид культуры, способ полива, агроклиматические условия, включая характеристики почвы, фазы развития растений, связанные с суммой накопленных температур и ФАР и др.

Основой расчета в используемой модели является формула Пенмана–Монтейта для определения суммарного водопотребления [10]:

$$ET_0 = \frac{0,408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{t + 273} U_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0,34U_2)}, \quad (1)$$

где  $ET_0$  – эталонная эвапотранспирация, мм/сут.,

$R_n$  – чистая радиация на поверхности растений, мДж/м<sup>2</sup> в сут.,

$G$  – плотность теплового потока почвы, мДж/м<sup>2</sup> в сут.,

$t$  – среднесуточная температура воздуха на высоте 2 м,

$U_2$  – скорость ветра на высоте 2 м, м/с,  $e_s$  – давление пара насыщения, кПа,

$e_a$  – фактическое давление пара, кПа,

$\Delta$  – уклон кривой давления пара, кПа/°С,

$\gamma$  – психрометрическая постоянная, кПа/°С.

Расчет текущего значения влажности почвы (прогнозирующий режим) производился по формуле (2):

$$W = W_H - Kt * Kt_{\text{попр.}} * St_j * Kof + \frac{P_j}{D}, \quad (2)$$

где  $W$  – текущее значение влагозапасов почвы;

$W_H$  – начальные влагозапасы почвы;

$Kt$  – текущее значение биоклиматического коэффициента суммарного испарения (для текущей накопленной суммы температур);

$Kt_{\text{попр.}}$  – поправочный коэффициент для  $Kt$ ;

$St_j$  – средняя температура для  $j$ -й декады, °С;

$Kof$  – значение коэффициента влагообмена (для текущей накопленной суммы температур);

$P_j$  – осадки для  $j$ -й декады, мм;

$D$  – количество дней в декаде.

Фрагмент блок-схемы программы имитационного моделирования режимов орошения сельскохозяйственных культур представлен на рис. 2 [4].

Для определения поливных норм под планируемую урожайность в среде Borland Delphi 7 разработана компьютерная программа, предназначенная для работы на IBM-совместимых компьютерах под управлением ОС MS Windows и обеспечивающая ведение БД статистических материалов и параметров агроценозов и технологий орошения; составление научно обоснованных планов оросительных работ в диалоговом режиме; сохранение, визуализацию и экспорт результатов работы. Программа включает модули: метеорологический, почвенный, биологический, технический, расчетный.

На первом и втором этапах вводятся название метеостанции и биоклиматические данные за год по месяцам и декадам. На третьем этапе – название, сорт культуры и вид сельскохозяйственной продукции.

Метеорологический блок содержит метеоданные по федеральным округам и метеостанциям по годам, месяцам, декадам: среднюю температуру, °С; осадки, мм; скорость ветра, м/с; влажность, % – которые заносятся в таблицу, позволяющую частично автоматизировать ввод данных. Подекадное представление метеоданных дает возможность контролировать их полноту.

Почвенный блок содержит следующие данные: тип; подтип; плотность, т/м<sup>3</sup>; наименьшую влагоемкость, %; максимальную гигроскопичность, %; объемную массу расчетного слоя почвы, т/м<sup>3</sup>; влажность расчетного слоя почвы, в % от массы сухой почвы; среднюю скорость впитывания за первую единицу времени, м/ч; коэффициент затухания скорости впитывания; удельный расход воды (полив по полосам), л/с; удельный расход воды (полив по бороздам), л/с.

Программа может функционировать в двух режимах: корректирующем и прогнозном. Прогностический позволяет рассчитать значение поливной нормы, продолжительность полива, количество поливов, оросительную норму под планируемую урожайность.

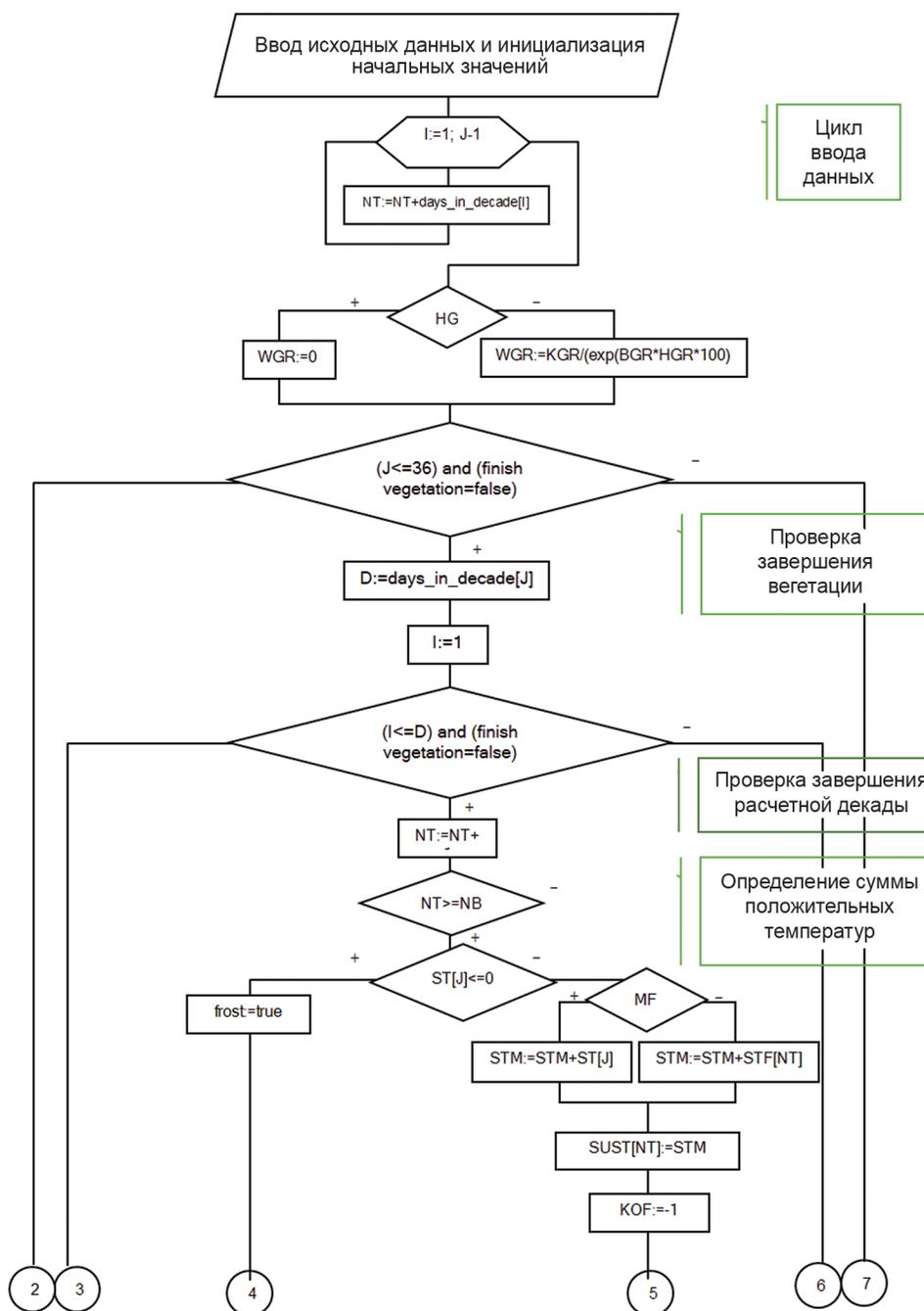


Рисунок 2 – Фрагмент блок-схемы имитационного моделирования режимов орошения

**Заключение**

Разработанная программа использует базу данных (БД), предназначенную для расчета режимов орошения сельскохозяйственных культур с учетом тепло- и влагообеспеченности региона, и включает данные об основных реквизитах решаемой задачи: метеоданные, возделываемые культуры, типы почв, способы орошения, биоклиматические коэффициенты суммарного испарения и др. В БД реализованы элементы бизнес-логики, обеспечивающие целостность данных при операциях актуализации записей, корректную инициализацию значений [5].

Результаты экспериментальной проверки функционирования разрабатываемой на основе описанной ИТ автоматизированной информационной системы для управления мелиоративными процессами, в системе поддержке принятия решения, подтвердили ее эффективность в опытно-производственных условиях. Применение разработанной компьютерной программы повышает устойчивость сельскохозяйственного производства за счет обоснованности его планирования на орошении и эффективности принятых решений в области управления мелиоративной деятельностью.

## Библиографический список

1. Бородычев, В. В. Информационная технология поддержки принятия решений при эксплуатации гидромелиоративных систем / В. В. Бородычев, А. Ф. Рогачев, Д. А. Рогачев // Вестник российской сельскохозяйственной науки. – 2010. – № 5. – С. 24-26.
2. Васильев, С. М. Оценка процессов деградации орошаемых земель в рамках калибровки сервисов мониторинга сельскохозяйственных земель / С. М. Васильев, Л. А. Митяева // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации [Электронный ресурс]. – 2016. – № 4 (24). – С. 70-85. – Режим доступа: [https://elibrary.ru/download/elibrary\\_27320488\\_67297494.pdf](https://elibrary.ru/download/elibrary_27320488_67297494.pdf).
3. Информационно-советующая система управления орошением / В. П. Остапчик [и др.] – Киев : Урожай, 1989. – 248 с.
4. Оптимальное управление поливами на основе современных вычислительных алгоритмов / В. В. Бородычев, М. Н. Лытов, А. С. Овчинников, В. С. Бочарников // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. – 2015. – № 4 (40). – С. 21-28.
5. Параметры для расчета режимов орошения сельскохозяйственных культур с учетом тепловлагообеспеченности региона: номер регистрации (свидетельства): 2017620719 / А. Г. Гагарин, А. Ф. Рогачев, Е. В. Мелихова. – Заяв. № 2017620443 от 11.05.2017. – Дата публикации: 04.07.2017.
6. Пронько, Н. А. Гис-мониторинг мелиоративного состояния орошаемых земель (на примере сухостепного Заволжья) / Н. А. Пронько, В. В. Корсак, Т. В. Корнева // Мелиорация и водное хозяйство. – 2008. – № 6. – С. 26-29.
7. Рогачев, А. Ф. Математическое обеспечение системы поддержки принятия решений на основе ГИС-технологий / А. Ф. Рогачев // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. – 2009. – № 2. – С. 144-151.
8. Александрина, Н. А. Компьютерное моделирование в системе КОМПАС-ГРАФИК. Графическое 2D моделирование : учеб. пособие / Н. А. Александрина, Н. С. Воробьева / ФГБОУ ВПО Волгоградская ГСХА. – Волгоград, 2011. – С. 160.
9. Юрченко, И. Ф. Компьютерная технология поддержки решения как фактор реформирования системы эксплуатации в мелиорации России / И. Ф. Юрченко // Природообустройство. – 2008. – № 1. – С. 34-40.
10. Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements ( FAO Irrigation and drainage) / Richard G. Allen, Luis S. Pereira, Dirk Raes, Martin Smith. – Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 1998. – 326 p.

Поступила 19.02.2019

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРИЕМОВ ПОЛИВА ДОЖДЕВАЛЬНЫМИ МАШИНАМИ КРУГОВОГО ДЕЙСТВИЯ «КАСКАД»

*Л. А. Журавлева, кандидат технических наук*

*В. А. Соловьев, аспирант*

*ФГБОУ ВО «Саратовский государственный аграрный университет имени Н. И. Вавилова»,  
г. Саратов, Россия*

### **Аннотация**

Повышение качества полива требует совершенствования технологии орошения, обеспечивающей рациональное использование воды и энергии, максимальной адаптации к региону применения.

На основании анализа существующей технологии полива электрифицированными дождевальными машинами кругового действия предложены технологические приемы, заключающиеся в корректировке поливных норм в зависимости от обеспеченности почвы влагой при поливе машин с реверсом. Воспользовавшись результатами исследований, можно обеспечить увеличение нормы полива до стока, водосбережение и наиболее щадящий режим полива.

**Ключевые слова:** *дождевальная машина, поливная норма, скорость, время, орошение, сектор.*

### **Abstract**

**L. A. ZHURAVLEVA, V. A. SOLOVIEV**

### **THE IMPROVEMENT OF TECHNOLOGICAL METHODS OF IRRIGATION BY SPRINKLING MACHINES OF CIRCULAR ACTIONS "CASCADE"**

Improving the quality of irrigation requires improvement of irrigation technology to ensure rational use of water and energy, maximum adaptation to the region. Based on the analysis of the existing technology of irrigation with electrified circular sprinkling machines, technological methods are proposed. They are to be adjusted irrigation norms depending on the availability of soil moisture during irrigation of machines with reverse. Using the results of research, it is possible to provide increase in the rate of irrigation to runoff, water conservation and the most gentle irrigation regime.

**Keywords:** *sprinkling machine, irrigation rate, speed, time, irrigation, sector.*

### **Введение**

В большинстве районов Российской Федерации стабильное развитие сельскохозяйственного производства возможно только при дополнительном к естественной влажности орошении.

Повышение технического уровня дождевальных машин требует совершенствования технологии орошения, которая бы обеспечивала рациональное использование воды и энергии, максимальной адаптации к региону применения, гарантирующей экологическую безопасность, сохранение и повышение плодородия орошаемых почв.

Главными показателями качества работы служат равномерность распределения воды по орошаемой площади без образования поверхностного стока и сохранение структуры почвы. При этом стоит задача выдавать поливную норму в наиболее сжатые сроки. Современные электрифицированные дождевальные машины имеют большой диапазон регулирования поливных норм, режимов движения и возможность выдавать заданную по-

ливную норму разными способами или по различным схемам полива.

Оптимальные варианты определяются исходя из ограничивающих условий. В большинстве случаев это величина эрозионно-допустимой поливной нормы или водопотребления орошаемой сельскохозяйственной культуры.

### **Материалы и методы**

Рассмотрим процессы, происходящие в почве при движении машины и выдаче поливной нормы.

В начале вегетационного периода сельскохозяйственных культур исходные влагозапасы ( $W_0$ , м<sup>3</sup>/га) определяются по формуле (1):

$$W_0 = 100h\gamma_{\text{ГР}}\beta_{\text{Н}}, \quad (1)$$

где  $h$  – расчетный слой увлажнения почвы, мм;

$\gamma_{\text{ГР}}$  – плотность почвы в расчетном слое, кг/м<sup>3</sup>;

$\beta_{\text{Н}}$  – влажность почвы, равная наименьшей влагоемкости, % от сухой массы почвы.

Уравнение водного баланса активного слоя применительно к одному поливу определяется из выражения (1, 2):

$$0,1 \cdot Et = (W_0 - W_k) + M + P_{OC} + V_{ГР} - \Pi_0, \quad (2)$$

где  $Et$  – суммарное водопотребление, равное интенсивности водопотребления ( $E$ , мм), за определенный отрезок времени ( $t$ , сут.);

$W_k$  – влагозапасы после воздействия дождя (конечные влагозапасы),  $m^3/ga$ ;

$M$  – поливная норма;

$P_{OC}$  – осадки;

$V_{ГР}$  – подпитка грунтовыми водами;

$\Pi_0$  – потери на сток и фильтрацию,  $m^3/ga$ .

Для упрощения величинами  $P_{OC}$ ,  $V_{ГР}$  и  $\Pi_0$  можно пренебречь или учесть их в поливной норме.

Влагозапас активной зоны ( $W_k$ ,  $m^3/ga$ ) до прохода дождевальная машины (3) равен:

$$W_k = W_0 - Et, \quad (3)$$

где  $t$  – время от начала полива (начальная точка движения последней тележки по окружности, равной радиусу полива) до подхода к конечной точке полива, сут. Конечная точка полива зависит от выбранной схемы движения. При поливе за круг – это время оборота машины. При поливе половины круга с реверсом – время прохождения некоторой части дуги окружности.

Как только суммарное испарение за сутки превысит запас продуктивной влаги, соответствующей влажности в активном слое почвы 80 % НВ, должен быть назначен полив. Норма полива ( $M$ ,  $m^3/ga$ ) рассчитывается по формуле (4):

$$M = 100 h_{ГР} (\beta_{НВ} - \beta_{0,8НВ}), \quad (4)$$

где  $\beta_{НВ}$  – влажность, соответствующая наименьшей влагоемкости в расчетном слое почвы;

$\beta_{0,8НВ}$  – влажность, соответствующая предположному порогу 80 % НВ в активном слое почвы.

Рассмотрим полив поля, засеянного одной культурой, пренебрегая колебаниями водопотребления ( $E$ , мм/сут) за время полива ( $t$ , сут), при отсутствии осадков.

Определяющим условием будет неравенство (1, 2, 3):

$$\beta_H \leq \beta(\varphi, t) \leq 100 \% \text{ НВ}, \quad (5)$$

где  $\beta(\varphi, t)$  – влажность расчетного слоя почвы в точке поля с угловой координатой  $\varphi$  в момент времени  $t$ , % НВ.

Условие выдачи заданной поливной нормы за несколько проходов можно записать в виде (6):

$$M = M_1(\varphi) + M_2(\varphi) + M_3(\varphi) \dots + M_n(\varphi), \quad (6)$$

где  $M$  – заданная поливная норма,  $m^3/ga$ ;

$M_1(\varphi)$  – поливная норма в точке начала поля при движении машины из точки  $\varphi = 0$  (первый проход),  $m^3/ga$ ;

$M_2(\varphi), M_3(\varphi)$  – поливные нормы за второй и третий проходы,  $m^3/ga$ ;

$M_n(\varphi)$  – поливная норма за  $n$ -й проход.

Рассмотрим случай работы машины с реверсом, когда после прохождения полного круга не происходит ее возвращения в исходную точку. То есть машина возвращается в точку  $\varphi$ , двигаясь в обратном направлении реверсивно. В этом случае полив той же нормой в начале возврата вызывает сток, и требуется упрощенная корректировка. Выдача поливной нормы за два прохода показана на рис. 1.

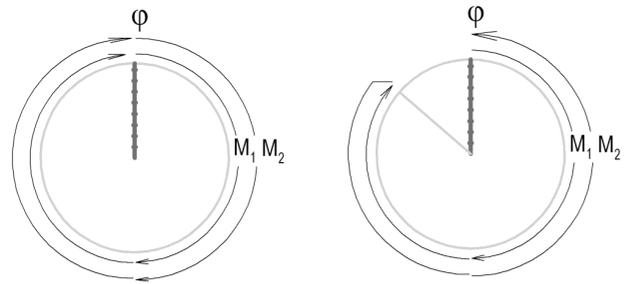


Рисунок 1 – Схема выдачи поливной нормы за два прохода

$$M = M_1(\varphi) + M_2(\varphi). \quad (7)$$

При движении в прямом ходе начальные влагозапасы при  $t = 0$  расчетного слоя  $W_0$  непосредственно перед машиной будут уменьшаться на  $10Et$  (10 – коэффициент перевода миллиметров в  $1 m^3/ga$ ) (2, 3, 4), сут.:

$$t = \frac{1}{1440 K_{СУТ}} \int_0^\varphi \frac{d\varphi}{V_{CP}(\varphi)}, \quad (8)$$

где 1440 – коэффициент перевода минут в сутки ( $60 \times 24$ );

$V_{CP}(\varphi)$  – скорость движения машины, м/мин.;

$K_{СУТ}$  – коэффициент времени.

Слой осадков за проход по кругу равен (9):

$$h = \frac{120 Q_M}{R_M V_{CP}}, \quad (9)$$

Предположим, что дождевальная машина кругового действия должна обеспечить выдачу поливной нормы  $M$  ( $m^3/ga$ ) согласно (2):

$$\frac{M}{10} \equiv h, \quad (10)$$

где  $h$  – слой осадков, мм.

$$M = \frac{1200 Q_M}{R_M V_{CP}}, \quad (11)$$

где  $Q_M$  – расход машины, л/с;

$R_M$  – радиус полива, равный длине машины, м ( $R_M = L_M + R_{КДА}$ );

$R_{\text{КДА}}$  – радиус захвата концевым дождевальным аппаратом (при наличии), м;

$V_{\text{CP}}$  – средняя скорость движения машины;

$T_{\text{ПОЛ}}$  – среднее время полива ДМ за круг, ч.

При прохождении части круга будет полит сектор с площадью  $S_{\text{CEK}}$  (рис. 2).

$$S_{\text{CEK}} = \frac{\pi R_M^2 \varphi_C}{360} = \frac{\ell_{\text{CEK}} R_M}{2}. \quad (12)$$

Расстояние, пройденное тележкой, т. е. часть дуги –  $s$ .

Тогда при прохождении неполного круга:

$$M_1' = 2\pi \frac{1200Q_M}{\ell_{\text{CEK}} V_{\text{CP}}}. \quad (13)$$

При прохождении части круга:

$$t = \xi \int_0^{\varphi} M_1(\varphi) d\varphi, \quad \xi = \frac{s}{432 \cdot 10^3 K_{\text{CVT}} Q_M}. \quad (14-15)$$

Мгновенная интенсивность дождя для машин кругового действия  $\rho_{\text{MG}}$  (мм/мин.) определяется по формуле:

$$\rho_{\text{MG}} = \frac{1200Q_M}{R_M^2 \varphi_C}, \quad (16)$$

где  $\varphi_C$  – угол сектора захвата в данный момент времени.

Изменение влагозапасов в почве перед машиной в прямом ходе при поливе части круга можно представить, как:

$$f_1(\varphi) = W_0 - 10E\xi \int_0^{\varphi} M_1'(\varphi) d\varphi. \quad (17)$$

После прохода машины в момент времени  $t$  влагозапасы будут определяться:

$$W_1 = f_1(\varphi) + M_1'(\varphi). \quad (18)$$

Если при движении в обратную сторону перед машиной влагозапасы в почве представить функцией  $f_2(\varphi)$ , то позади нее они определяются из выражения:

$$W_2 = f_2(\varphi) + M_2'(\varphi). \quad (19)$$

Связь между функциями  $f_1(\varphi)$  и  $f_2(\varphi)$  можно получить исходя из следующих соображений. В точку  $\varphi$  повторно машина попадает через промежуток времени  $\Delta t$ , пройдя путь  $s$ .

В общем виде:

$$\Delta t = \xi \int_{\varphi}^s [M_1'(\varphi) + M_2'(\varphi)] d\varphi = \xi(s - \varphi) M, \quad (20)$$

где  $s$  – путь, проходящий последней тележкой.

Максимальное значение пути, пройденное тележкой в одну сторону, соответствует длине дуги окружности траектории движения тележки:

$$s_{\text{MAX}} = \ell = 2\pi R_M. \quad (21)$$

Частный случай – полив половины окружности.

Время  $\Delta t$  складывается из времени достижения половины дуги окружности в прямом проходе и времени обратного движения:

$$\Delta t = \xi \int_{\varphi}^{s/2} [M_1(\varphi) + M_2(\varphi)] d\varphi = \xi \left( \frac{\ell}{2} - \varphi \right) M. \quad (22)$$

Тогда:

$$f_2(\varphi) = f_1(\varphi) + M_1'(\varphi) - 10E\xi(s - \varphi) M, \quad (23)$$

$$f_2(\varphi) = f_1(\ell) = W_0 = \text{const}, \quad (24)$$

где  $W_0$  – минимально допустимые влагозапасы расчетного слоя почвы, м<sup>3</sup>/га;

$E$  – интенсивность водопотребления, мм/сут.

Дифференцируя выражение (23) и учитывая (17) и (24), получим:

$$\frac{dM_1'(\varphi)}{d\varphi} - 10E\xi M_1'(\varphi) = -10E\xi M. \quad (25)$$

Тогда с учетом выражения (13):

$$M_1'(\varphi) = 2\pi \frac{1200Q_M}{\ell_{\text{CEK}} V_{\text{CP}}(\varphi)} [1 - e^{10E\xi(\varphi-s)}], \quad (26)$$

$$M_2'(\varphi) = 2\pi \frac{1200Q_M}{\ell_{\text{CEK}} V_{\text{CP}}(\varphi)} e^{10E\xi(\varphi-s)}. \quad (27)$$

Таким образом, задавая путь, который проходит последняя тележка, можно определить оптимальное значение нормы при поливе в одну и в обратную сторону. Поскольку конструктивно норма полива меняется при движении не непрерывно, разбиваем общую поливную площадь на сектора, в заданных точках которых будет меняться скорость машины и, следовательно, норма полива.

В зависимости от общего количества секторов и номера сектора, получим:

$$M_i' = 2\pi \frac{1200Q_M}{\ell_{\text{CEK}} V_{\text{CP}}(\varphi)} \left[ 1 - \frac{1}{(1 + 10E\xi \ell_{\text{CEK}})^{i-1}} \right], \quad (28)$$

где  $i$  – номер участка от начала поля,  $i=1, 2, \dots, n$ ;

$n$  – общее количество участков разбиения;

$M_i$  – поливная норма на  $i$ -м участке.

Здесь  $\ell_{\text{CEK}} = 2\pi R_M / n$ .

Величина осадков, подпитка грунтовыми водами и потери на сток и фильтрацию могут быть учтены для специфических условий эксплуатации корректирующим коэффициентом, зависящим от региона местности, климатических и почвенных условий  $\psi$  в границах 0,9–1,1. Его определение требует дополнительных экспериментальных исследований.

$$M_i' = 2\psi \pi \frac{1200Q_M}{\ell_{\text{CEK}} V_{\text{CP}}(\varphi)} \left[ 1 - \frac{1}{(1 + 10E\xi \ell_{\text{CEK}})^{i-1}} \right]. \quad (29)$$

При обратном движении нормы полива отсчитываются таким же образом, только в обратном порядке.

### Результаты исследований

Рассмотрим пример для полива половины поливного круга с реверсом. Условия: задаваемая

поливная норма – 300 м<sup>3</sup>/га, длина машины – 300 м, коэффициент использования времени – 0,8, расход машины – 41 л/с, водопотребление – 7 мм/сут. Оптимизация выдачи поливной нормы при делении на 6 участков отражена на рис. 2.

Исследования проводились на полях УНПО «Поволжье» ФГБОУ ВО Саратовский ГАУ (с. Степное Энгельсского района Саратовской области), УНПК «Агроцентр» СГАУ; ООО «Наше дело» (Саратовская область, Марковский район). Дождевальные машины – «Кубань ЛК1М» («Каскад») и «КАСКАД» – показаны на рис. 3.

Для широкозахватных дождевальных машин (ДМ) кругового действия наиболее опасным

участком в отношении образования поверхностных стоков и ирригационной эрозии является участок, расположенный в конце водопроводящего трубопровода. Здесь дождеватели используют увеличенный диаметр сопел, значительный расход и крупнокапельный дождь.

Средняя интенсивность дождя ДМ – до 0,5 мм/мин. при диаметре капель до 1,0 мм – обеспечивает возможность экологически безопасного полива, позволяет увеличить достоящую поливную норму, повышая, соответственно, несущие свойства почвы в зоне последних тележек.

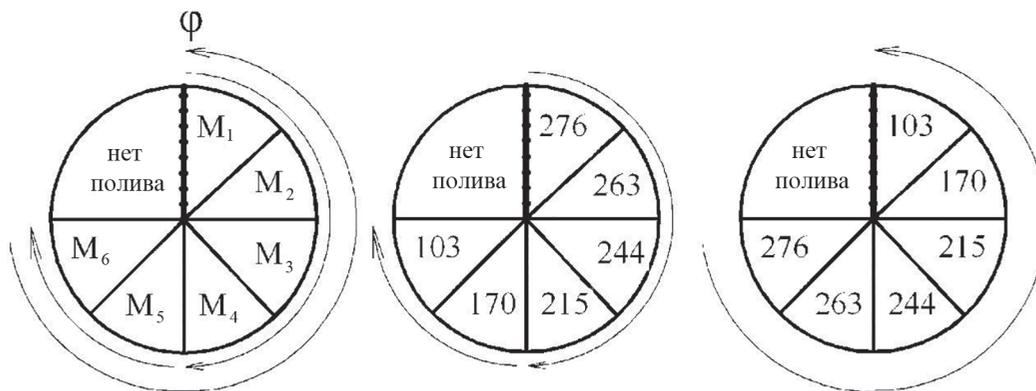


Рисунок 2 – Оптимизация выдачи поливной нормы при делении на 6 участков



Рисунок 3 – Дождевальная машина «КАСКАД»

Из табл. 1 видно также влияние фазы развития растения на величину стока. При росте растений и, соответственно, их защитных свойств для почвы

достоящая норма полива увеличивается. Наиболее щадящий режим полива требуется в начале поливного периода.

Таблица 1 – Характеристики полива

Тип почвы	Марка ДМ	Эффективная норма полива, $m_э$ , м <sup>3</sup> /га	Достоковая норма полива, $m_{дост}$ , м <sup>3</sup> /га	Величина стока $m_{ст}$ под последним пролетом, м <sup>3</sup> /га	Примечание
Чернозем обыкновенный	«Кубань-ЛК1»	305	530	0	
		400	540	0	
		510	535	0	
Темно-каштановый суглинок	«Кубань-ЛК1М» («КАСКАД»)	300	535	0	кукуруза период цветения
		405	540	0	
		495	550	0	
	«Кубань-ЛК1М» («КАСКАД»)	300	380	0	незащищенная растением почва
		405	385	20	
		500	390	110	

### Заключение

В процессе конструирования и эксплуатации ДМ кругового действия необходимо учитывать ряд основных факторов, влияющих на возникновение стока при поливе: расход, скорость движения машины, слой дождя за один проход, интенсивность дождя, характеристики почвы, средний диаметр капель, рельеф местности.

На величину достоковой нормы полива оказывает влияние фаза развития растения. В процес-

се роста растений, при увеличении их защитных свойств по отношению к почве достоковая норма полива увеличивается. Наиболее щадящий режим полива требуется в начале поливного периода.

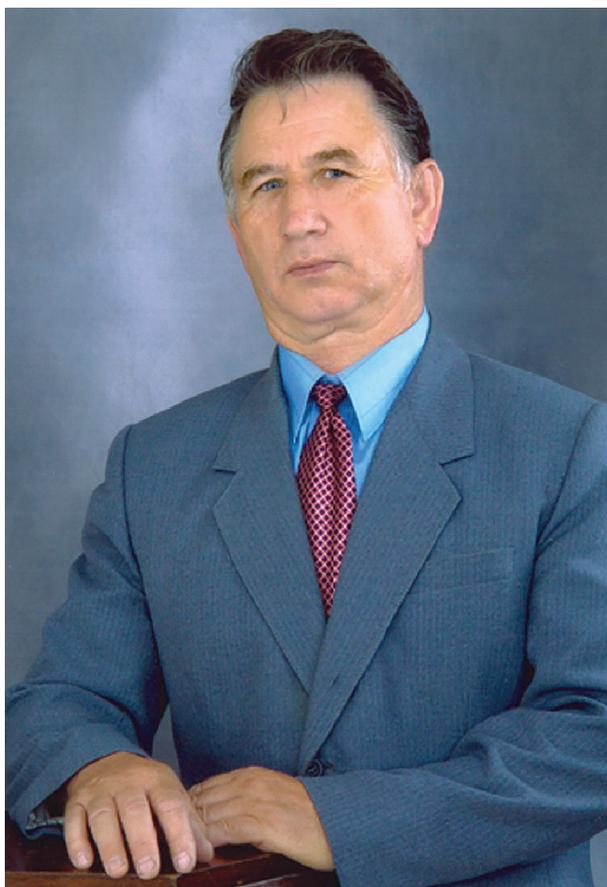
Повышение качества полива может быть обеспечено изменением поливной нормы в соответствии с уровнем влагозапасов участков поля на момент их полива, адаптацией режима полива к изменяющимся в течение поливного периода условиям, повышением экологической безопасности за счет исключения переполива и водной эрозии почв.

### Библиографический список

1. Рекомендации по научно обоснованным технологиям орошения сельскохозяйственных культур кукурузы на зерно, картофеля, лука и моркови современными стационарными широкозахватными круговыми и фронтальными дождевальными машинами Reinke и Valley в условиях центральной орошаемой зоны Ростовской области / под ред. Н. А. Иванова; Новочерк. гос. мелиор. акад. – Новочеркасск, 2013. – 30 с.
2. Фокин, Б. П. Повышение эффективности полива многоопорными дождевальными машинами: дис. ... д-ра техн. наук / Б. П. Фокин. – Ставрополь, 2002. – 313 с.
3. Снопич, Ю. Ф. Интенсификация технологий и совершенствование технических средств орошения дождеванием: дис. д-ра техн. наук / Ю. Ф. Снопич. – Новочеркасск, 2011. – 340 с.
4. Щедрин, В. Н. Оросительные системы России: от поколения к поколению : монография / В. Н. Щедрин, А. В. Колганов. – Новочеркасск, 2013. – 283 с.
5. Лебедев, Б. М. Дождевальные машины / Б. М. Лебедев. – М. : Машиностроение, 1965. – 225 с.

Поступила 06.03.2019

# ● НАШИ ЮБИЛЯРЫ ●



## **Николай Николаевич Семененко (к 80-летию со дня рождения)**

*Родился 4 января 1939 г. в д. Ходоров Славгородского района Могилевской области. Окончив в 1960 г. Жиличский сельскохозяйственный техникум, стал трудиться агрономом колхоза имени Жданова Славгородского района.*

*Карьеру специалиста-агрохимика Николай Николаевич начал в стенах Белорусской сельскохозяйственной академии на факультете агрохимии и почвоведения. Там же после окончания учебы и получения диплома о высшем образовании в 1968–1969 гг. работал старшим инженером-почвоведом, накапливая опыт полевых исследований. С 1970 по 1993 гг. прошел путь становления ученого, начиная с аспиранта, затем – младшего научного сотрудника, до заведующего лабораторией Института почвоведения и агрохимии. В этот период произошли значимые события в карьере ученого: в 1973 г. Николай Николаевич успешно защитил кандидатскую диссертацию, а в 1992 г. стал доктором сельскохозяйственных наук по специальности «Агрохимия».*

*В 1993–2000 гг. Николай Николаевич трудился в должности ученого секретаря отделения земледелия и растениеводства Академии аграрных наук*

*Республики Беларусь*

*В 2001–2016 гг. он продолжил научную карьеру в качестве главного научного сотрудника в Институте мелиорации и луговодства (в настоящее время – Институт мелиорации).*

*Н. Н. Семененко – автор более 250 опубликованных научных работ, в т. ч. 3-х монографий, ряда методических указаний и рекомендаций, отраслевых регламентов, а также нескольких авторских свидетельств и патентов. Его работы посвящены вопросам диагностики минерального питания зерновых культур, разработке систем удобрений, оценке энергетического потенциала торфяных почв различных стадий эволюции.*

*Нельзя не отметить скурпулезность и высокую ответственность профессора Н. Н. Семененко в постановке уникальных полевых опытов, результаты которых по праву входят в золотой фонд аграрной науки Беларуси. Свои лучшие качества ученого-исследователя он активно и успешно передает многочисленным ученикам.*

*В настоящее время Николай Николаевич работает главным научным сотрудником в Институте почвоведения и агрохимии, где продолжил изучение вопросов минерального питания зерновых.*

*Н. Н. Семененко получил признание коллег за высокий профессионализм. Он неоднократно награждался Почетными грамотами Министерства сельского хозяйства и продовольствия, Президиума Академии аграрных наук и Национальной академии наук Республики Беларусь.*

*Пожелаем ему еще многие годы сохранять активность и творческий потенциал. Здоровья Вам, Николай Николаевич, успехов и большого личного счастья!*

*Л. Н. Лученок*



### **Леуто Иван Эдвардович (к 85-летию со дня рождения)**

Родился 4 января 1934 г. в д. Новый Двор Щучинского р-на Гродненской области. Окончил в 1957 г. Гродненский сельскохозяйственный институт (агронимический факультет) и получил специальность ученого агронома.

В течение 5 лет работал агрономом в сельскохозяйственных организациях Гродненской области.

Работая на производстве, интересовался научной литературой по передовой агротехнике возделывания сельскохозяйственных культур, особенно на мелиорированных землях. Это и привело его в аспирантуру нашего института (1961–1964). После ее окончания и защиты кандидатской диссертации продолжал работать в институте. Прошел путь от младшего до старшего научного сотрудника (1964–1972), заведующего лабораторией мелиорации и использования осушенных минеральных земель (1972–2001), ведущего научного сотрудника (с 2001 до ухода на пенсию в 2010 г.).

Кандидат сельскохозяйственных наук (1966). Опубликовал свыше 180 научных работ, в том

числе 4 монографии, учебники, обзоры, ряд технологий и рекомендаций по освоению и использованию мелиорированных земель. Его научная деятельность прежде всего связана с разработкой приемов окультуривания и эффективного использования торфяных месторождений и минеральных осушаемых почв, рекомендаций по формированию высокопродуктивных травостоев на землях со сложным почвенным покровом и неоднородным водным режимом в Поозерье.

Много внимания уделял адаптивному возделыванию сельскохозяйственных культур на связных почвах Витебщины, а также активно исследовал эффективность органических удобрений, включая сапрпель и компосты на его основе.

Кроме научных исследований, успешно занимался общественной деятельностью. На протяжении многих лет был председателем профкома, возглавлял группу народного контроля, являлся неизменным членом ученого совета института. Независимо от занимаемой должности всегда был корректен с сотрудниками, пользовался заслуженным и непререкаемым авторитетом.

Награжден медалями «За доблестный труд. В ознаменование 100-летия со дня рождения В. И. Ленина» и «Ветеран труда», Почетной грамотой Верховного Совета БССР, медалями ВДНХ СССР и Всероссийского выставочного центра, грамотами Минсельхозпрода и КНК Республики Беларусь, почетными грамотами института.

П. Ф. Тиво



## **Желязко Владимир Иосифович (к 70-летию со дня рождения)**

*Родился 1 марта 1949 г. в пос. Красная Слобода Солигорского района Минской области.*

*В 1971 г. окончил гидромелиоративный факультет Белорусской сельскохозяйственной академии. По распределению работал в Речицком СМУ в должности прораба, старшего прораба и начальника участка.*

*После срочной службы в рядах Советской армии, которую завершил в звании сержанта, в 1973 г. вернулся в родную альма-матер на должность ассистента кафедры организации и технологии гидромелиоративных работ. Там же защитил диссертацию на соискание ученой степени кандидата сельскохозяйственных наук.*

*Руководство Академии отметило его стремление к новым знаниям и добросовестный труд продвижением в должностях: он был старшим преподавателем, доцентом, в 1998 г. назначен заведующим кафедрой гидравлики и строительной механики.*

*В это же время сформировалось направление научной деятельности Владимира Иосифовича – мелиорация земель, подвергшихся техногенному загрязнению. Он опубликовал монографию и в 2005 г. защитил диссертацию на соискание ученой степени доктора сельскохозяйственных наук.*

*С 2007 г. заслуженно занимал сложный и ответственный пост декана мелиоративно-строительного факультета Белорусской государственной сельскохозяйственной академии и на протяжении 11 лет отвечал за подготовку сотен специалистов для мелиоративной отрасли. В 2018 г. избран по конкурсу заведующим профилирующей кафедры мелиорации и водного хозяйства.*

*Активная жизненная позиция, энергия и работоспособность позволили ему совместить ряд ответственных постов: председателя Совета мелиоративно-строительного факультета и члена редколлегии журналов, входящих в перечень научных изданий Республики Беларусь, – «Мелиорация» и «Вестник БГСХА».*

*Он автор более 250 научных и учебно-методических работ, включая монографии, учебные пособия, десятки авторских свидетельств и патентов на изобретения.*

*За заслуги в научно-педагогической деятельности Владимир Желязко награжден Почетными грамотами ряда министерств, нагрудными знаками «Отличник образования» и «Ганаровы меліяратар». Его дважды избирали делегатом республиканского Съезда ученых.*

*От имени коллектива Института мелиорации поздравляем Владимира Иосифовича Желязко с 70-летним юбилеем и желаем ему крепкого здоровья, неиссякаемой жизненной энергии и творческого долголетия.*

*Директор РУП «Институт мелиорации»  
Заместитель директора по науке*

*Н. К. Вахонин  
А. С. Анженков*

# ● ЧТОБЫ ПОМНИЛИ ●



## **Руденко Евгения Владимировна (к 90-летию со дня рождения)**

*Родилась 16 января 1929 г. в г. Ставрополе Ставропольского края.*

*В 1946 г. Евгения Руденко с золотой медалью окончила среднюю школу и поступила на химический факультет Ленинградского государственного университета. Однако вскоре по семейным обстоятельствам ей пришлось его покинуть, и она стала студенткой Ставропольского сельскохозяйственного института. После его окончания (1950 г.) и получения специальности ученого агронома она поступила в аспирантуру этого института.*

*В 1953–1957 гг. Евгения Руденко работала ассистентом кафедры растениеводства Ставропольского сельскохозяйственного института. В 1957 г. избрана по конкурсу старшим научным сотрудником Белорусского НИИ земледелия, и с этого времени судьба ее была связана с Беларусью. Она с головой окунулась в работу в отделе луговодства, и уже через три года прозвучало высказывание директора института академика В. И. Шемпеля: «Наше*

*самое ценное приобретение – ставропольская казачка Евгения Руденко».*

*В 1962 г. все исследования по луговодству передали в Белорусский НИИ мелиорации и водного хозяйства, где Е. В. Руденко работала до 1988 г. на должностях старшего научного сотрудника и заведующего сектором отдела луговодства.*

*Кандидат сельскохозяйственных наук (1955), доктор сельскохозяйственных наук (1974), профессор (1980), заслуженный работник сельского хозяйства БССР (1981).*

*Время ее работы в Белорусском НИИ мелиорации и водного хозяйства, а это – 27 лет, совпало с периодом наиболее интенсивного мелиоративного строительства. В эти годы происходила переориентация сельскохозяйственного использования осушенных земель преимущественно под культурные сенокосы и пастбища. Осуществлялась программа создания крупных животноводческих комплексов. Были как никогда востребованы исследования по интенсификации лугового кормопроизводства. Евгения Владимировна стала одним из ведущих специалистов в этой области в Беларуси. Она активно сотрудничала с Министерством сельского хозяйства, ее хорошо знали в хозяйствах.*

*Научное наследие Е. В. Руденко включает более 130 опубликованных работ, в том числе 3 монографии по созданию и повышению продуктивности культурных пастбищ, организации лугового кормопроизводства для обеспечения животноводческих комплексов. Она активно и плодотворно работала по подготовке научных кадров, под ее руководством защищено 10 кандидатских диссертаций.*

*Трудовые заслуги Е. В. Руденко отмечены государственными наградами: орденом «Знак Почета», медалью «За доблестный труд. В ознаменование 100-летия со дня рождения В. И. Ленина».*

*В 1988 г. Е. В. Руденко была отправлена на пенсию в возрасте 59 лет. Она могла еще многое сделать.*

*Евгения Владимировна Руденко ушла из жизни 17 февраля 2010 г., всю трудовую жизнь посвятив изучению зеленых трав. Зеленая трава – символ жизни.*



## Кулаковская Тамара Никандровна (к 100-летию со дня рождения)

Родилась 17 февраля 1919 г. в г. Полоцке Витебской области. В 1936 г. закончила железнодорожную школу в г. Унеча Брянской области, в 1941 г. – Московскую сельскохозяйственную академию имени К. А. Тимирязева.

В 1941–1944 гг. работала в агрохимической лаборатории Челябинской Государственной селекционной станции, в 1945–1949 гг. была аспиранткой Всесоюзного НИИ каучуконосов (г. Москва), в 1949–1957 гг. – старшим научным сотрудником Белорусского НИИ мелиорации и водного хозяйства, в 1957–1962 гг. – доцентом Высшей партийной школы при ЦК КПБ, в 1958–1969 гг. – заведующей лабораторией питания растения Института почвоведения Министерства сельского хозяйства БССР, в 1969–1979 гг. – директором Белорусского НИИ почвоведения и агрохимии Министерства сельского

хозяйства БССР, в 1979–1986 гг. – академиком-секретарем Западного отделения ВАСХНИЛ.

Кандидат сельскохозяйственных наук (1950), доктор сельскохозяйственных наук (1965), профессор (1974), член-корреспондент НАН Беларуси (1969), академик ВАСХНИЛ (1975), заслуженный деятель науки БССР (1974).

Становление и формирование Т. Н. Кулаковской как крупного ученого начиналось в Белорусском научно-исследовательском институте мелиорации и водного хозяйства АН БССР. В 1950-е гг. с увеличением объемов мелиорации болот обострилась необходимость разработки теории питания растений и применения удобрений на торфяных почвах. Урожайность сельскохозяйственных культур на осушенных землях существенно превышала уровень урожайности в стране, и с ними связывались большие надежды на будущее. Эталоном реализации потенциала торфяных почв была Минская болотная опытная станция, которая получала высокие и устойчивые урожаи большинства возделываемых в Беларуси культур. На станции проводились многочисленные опыты, в которых активно участвовала Т. Н. Кулаковская. Она установила особенности фосфатного и калийного режимов в торфяных почвах, усвояемости растениями фосфора и калия. Опубликованные по этим вопросам работы способствовали формированию системы удобрений и использования торфяных почв.

Наибольшую научную значимость и известность имели исследования Т. Н. Кулаковской по проблеме плодородия почв и рационального использования удобрений. Она была пионером изучения зависимости продуктивности сельскохозяйственных растений от агрохимических свойств почв, обосновала основные положения дифференцированного внесения минеральных удобрений под сельхозкультуры, программирования урожаев. Широко известны ее основные научные труды: «Агрохимические свойства почв и их значение в использовании удобрений» (Минск, 1965); «Применение удобрений» (Минск, 1970); «Почвенно-агрохимические основы получения высоких урожаев» (Минск, 1978); «Оптимальные параметры плодородия почв» (М., 1984); «Оптимизация агрохимической системы почвенного питания растений» (М., 1990).

Общее научное наследие Т. Н. Кулаковской составляет около 350 работ. Более 60 книг и сборников издано под ее редакцией.

В 1976 г. за цикл работ по изучению почв Белорусской ССР удостоена Государственной премии БССР в области науки, в 1977 г. ей присуждена премия имени Д. Н. Прянишникова, в этом же году она была награждена медалью имени С. И. Вавилова.

Награждена орденами Трудового Красного Знамени (1966), Октябрьской Революции (1971). В 1979 г. за большие заслуги в развитии сельскохозяйственной науки и подготовки научных кадров Т. Н. Кулаковской присвоено звание Героя Социалистического Труда с вручением ордена Ленина и золотой медали «Серп и молот».

Тамара Никандровна Кулаковская ушла из жизни 15 ноября 1986 г.

А. С. Мееровский

## ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ

1. В журнале печатаются оригинальные материалы, не опубликованные ранее в других печатных изданиях.
2. Объем статьи должен составлять не менее 0,35 авторского листа (14 тыс. печатных знаков, включая пробелы между словами, знаки препинания, цифры и др.), но не более 0,5 авторского листа (20 тыс. печатных знаков), включая текст, иллюстрации, таблицы, библиографию.
3. К статье необходимо приложить: экспертное заключение о возможности опубликования; краткие сведения об авторах: фамилия, имя и отчество автора полностью, ученое звание, ученую степень, должность или профессию, полное название учреждения (организации), телефон и адрес для связи с автором. Если авторов несколько, то сведения представляются по каждому автору отдельно.
4. Представляемые материалы должны включать следующие элементы: индекс по Универсальной десятичной классификации (УДК); ключевые слова на русском и английском языках; аннотацию на русском и английском языках (500 знаков); введение; основную часть, включающую графики и рисунки; заключение, завершаемое четко сформулированными выводами; список цитированных источников. Согласно Постановлению ВАК Беларуси от 22.02.2006 №2 (глава 5 Инструкции по оформлению диссертации, автореферата и публикации по теме диссертации).
5. В разделе «Введение» должен быть дан краткий обзор литературы по исследуемой проблеме, указаны нерешенные ранее вопросы, сформулирована и обоснована цель работы.
6. Основная часть статьи должна содержать описание методики, объектов исследования и подробно освещать содержание исследований, проведенных автором (авторами). Полученные результаты должны быть обсуждены с точки зрения их научной новизны и сопоставлены с соответствующими известными данными.
7. В разделе «Заключение» должны быть в сжатом виде сформулированы основные полученные результаты с указанием их новизны, преимуществ и возможностей применения.
8. Библиографический список оформляется в соответствии с ГОСТ 7.1–2003, располагается в конце текста, нумеруются согласно порядку цитирования в тексте и заключаются внутри квадратных скобок (например: [1], [2]). Обязательно указывается общее количество страниц в книге или номера страниц от начала до окончания статьи. Ссылки на неопубликованные работы не допускаются.
9. Иллюстрации, формулы, уравнения и сноски, встречающиеся в статье, должны быть пронумерованы в соответствии с порядком цитирования в тексте.
10. Тексты статей набираются кеглем 11, шрифт – Arial Narrow, междустрочный интервал – 1,2, отступ – 1. Обязательно прилагаются распечатанные на бумажных листах 2 экземпляра статьи, подписанные авторами.
11. Электронный вариант следует набирать в Microsoft Word, формулы — в формульном редакторе Office. Вставку символов выполнять через меню «Вставка\Символ». Выключку вверх и вниз (H2, H1) выполнять через меню «Формат\Шрифт\Верхний индекс», «Формат\Шрифт\Нижний индекс». Латинские буквы набираются курсивом. Греческие буквы и другие математические знаки брать из гарнитуры «Symbol». Математические формулы ( $\lim$ ,  $\sum$ ,  $\ln$ ,  $\sin$ ,  $\operatorname{Re}$ ,  $\operatorname{Im}$  и т. д.) и цифры набираются прямым начертанием.
12. Рисунки предоставляются 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 мм.
13. Размерность всех величин, используемых в статьях, должна соответствовать Международной системе единиц измерения (СИ), за исключением температуры, которую допускается приводить в °С.
14. Редакция оставляет за собой право сокращать текст и вносить редакционную правку.

*Уважаемые читатели!*

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

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

*Адрес электронной почты: [info@niimel.basnet.by](mailto:info@niimel.basnet.by).*