

ISSN 2070-4828

# МЕЛИОРАЦИЯ

Научный журнал

№ 2(88)

Основан в 1951 году  
Выходит 4 раза в год

Апрель – июнь, 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. Семененко**

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 26.06.2019 г. Формат 60x84 1/8. Бумага офсетная № 1.  
Гарнитура Arial Narrow. Уч.-изд. л. 10,9. Усл. печ. л. 8,84. Заказ 246. 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*  
**Анализ способов и средств механизации очистки закрытой дренажной сети от заиления**  
*N. N. Pogodin, A. S. Anzhenkov, V. A. Bolbyshko*  
**Analysis of the methods and means of mechanization cleaning the closed drainage system from silt**

5



*А. И. Митрахович, В. М. Макоед, А. П. Сергееня, С. М. Лавушев*  
**Из опыта применения на осушительных системах коллекторов из труб большого диаметра**  
*A. I. Mitrakhovich, V. M. Makoed, A. P. Sergeenya, S. M. Lavushev*  
**From the experience of large diameter pipes usage for drainage systems**

13



*А. П. Лихацевич, Г. В. Латушкина, И. А. Романов*  
**Управление режимом орошения сельскохозяйственных культур в условиях Беларуси**  
*A. P. Likhatshevich, G. V. Latushkina, I. A. Romanov*  
**Management of crop irrigation regime in Belarus**

18



*В. И. Петроченко, А. В. Петроченко*  
**Оптимизация проектных решений защиты от паводков в речных бассейнах**  
*V. I. Petrochenko, A. V. Petrochenko*  
**Optimization of design solutions for flood protection in river basins**

26



*Н. М. Авраменко, Е. Н. Яцушкевич*  
**Ресурсоэкономный технологический регламент скашивания и удаления травяной и водной растительности по берегам и руслам каналов в Полесье**  
*N. M. Avramenko, E. N. Yatsushkevich*  
**Resource-saving technological regulation mowing and removal of grass and water vegetation along the banks and beds of channels in Polesie**

34

## Земледелие и растениеводство

## Agriculture and plant growing



*А. И. Митрахович, В. М. Макоед, А. П. Сергееня, С. М. Лавушев*  
**Особенности применения широкозахватной сельскохозяйственной техники на мелиоративных объектах**  
*A. I. Mitrakhovich, V. M. Makoed, A. P. Sergeenya, S. M. Lavushev*  
**Features of the use of large-scale agricultural equipment at land-reclamation facilities**

42



*П. Ф. Тиво, Л. А. Саскевич, Е. А. Бут*  
**О конвейерном производстве кормов на мелиорированных минеральных почвах в условиях зернотравянопропашного севооборота**  
*P. Ph. Tivo, L. A. Saskevich, E. A. But*  
**On the conveyor production of feed on the reclaimed mineral soils in terms of grain and grass-growing crop rotation**

47

**Экология ● Ecology**



*В. А. Касатиков, Н. П. Шабардина*  
**Последствие мелиоративных доз осадка городских сточных вод в сочетании с известкованием на агробиологические свойства дерново-подзолистой супесчаной почвы**  
*V. A. Kasatikov, N. P. Shabardina*  
**The aftereffect of reclamation doses of sludge of municipal wastewater in combination with liming on the agrobiological properties of sod-podzolic sandy loam soil**

59



*И. В. Гопчак, Т. А. Басюк, А. В. Яцык*  
**Оценка антропогенной нагрузки на бассейн р. Припять в пределах Западного Полесья Украины**  
*I. Gopchak, T. Basiuk, A. Yatsyk*  
**An assessment of the anthropogenic load upon the Pripyat river basin within the Western Polesie of Ukraine**

64



*В. В. Лепеско, Л. П. Рыбашлыкова*  
**Современное состояние и эколого-мелиоративное значение древесно-кустарниковых экосистем на закрепленных песках Астраханского Заволжья**  
*V. Lepesko, L. Rybashlykova*  
**The current condition and ecological ameliorative value of tree and shrub ecosystems on the fixed sands of the Astrakhan region**

69

**Чтобы помнили ● To be remembered**

Андрей Федорович Печкуров (к 120-летию со дня рождения)

73

Андрей Игнатьевич Ивицкий (к 115-летию со дня рождения)

74

Петр Иосифович Закржевский (к 90-летию со дня рождения)

75

# • МЕЛИОРАЦИЯ •

УДК 631.3:626:862.91

## АНАЛИЗ СПОСОБОВ И СРЕДСТВ МЕХАНИЗАЦИИ ОЧИСТКИ ЗАКРЫТОЙ ДРЕНАЖНОЙ СЕТИ ОТ ЗАИЛЕНИЯ

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

*А. С. Анженков, кандидат технических наук*

*В. А. Болбышко, кандидат технических наук*

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

### **Анотация**

Проанализированы способы и технические средства очистки закрытой дренажной сети от заиления. Выполнена классификация устройств очистки по типу, виду рабочего органа и конструктивным особенностям. Определены области эффективного применения средств механизации.

**Ключевые слова:** *закрытый дренаж, средства механизации, дренажпромывочные устройства, способы очистки.*

### **Abstract**

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

**ANALYSIS OF THE METHODS AND MEANS OF  
MECHANIZATION CLEANING THE CLOSED DRAIN-  
AGE SYSTEM FROM SILT**

The methods and technical means of cleaning the closed drainage system from silt were analyzed. The classification of cleaning devices by type, type of working body and design features was performed. The areas of effective use of mechanization were identified.

**Keywords:** *closed drainage, means of mechanization, drain cleaning machines, methods of cleaning.*

### **Введение**

Одной из важнейшей задач эксплуатации закрытой дренажной сети является ее очистка от заиления и окисных соединений железа. В результате изучения патентных материалов и научно-технической литературы были обобщены известные к настоящему времени методы очистки внутренней поверхности дренажных трубопроводов.

Анализ способов очистки и соответствующих устройств для их осуществления позволил произвести классификацию по характеру воздействия на отложения, типу рабочего устройства, виду рабочего органа и его конструктивным особенностям. Исходя из этой классификации выделены следующие способы очистки: гидродинамический, гидромеханический, гидравлический, вакуумный, механический, химический.

Наибольшее применение при очистке дренажных трубопроводов от заиления получил

механизированный гидродинамический способ. Он основан на разрушении отложений в трубопроводе путем воздействия на них высокоскоростных струй воды. Рабочим органом устройств, действующих по этому способу, является гидродинамическая промывочная насадка, вода к которой подается от насоса по гибкому шлангу. Передвижение насадки осуществляется или за счет реактивной тяги, возникающей при истечении из ее струи воды, или посредством механического толкающего механизма. Некоторые типы промывочных насадок имеют вращающиеся детали, которые в зависимости от решаемой задачи обеспечивают воздействие струй по всему периметру полости промываемого трубопровода или оснащаются механическими рыхлителями, предназначенными для разрушения трудноразмываемых отложений. В последнем случае их можно было бы отнести также к гидромеханическим устройствам.

**Обсуждение и результаты**

В мелиоративной отрасли устройством, основанным на гидродинамическом способе, является дренапромывочная машина. В 1958 г. голландская фирма «Барт» разработала дренаочистительный агрегат, представляющий собой прицепную к трактору одноосную тележку, на которой установлен трехцилиндровый насос, развивающий давление до 8,4 МПа, и барабан с гибким резиновым шлангом. На конце шланга закреплена насадка с одним фронтальным и двумя тыльными соплами. Продвижение шланга по трубопроводу обеспечивается за счет реактивной тяги струй воды, исходящих из тыльных сопел [1].

На принципе действия дренапромывочной машины фирмы «Барт» голландская фирма «Штеенберг» основала конструкцию машины «АНС». Агрегат смонтирован на прицепе к трактору и оборудован насосом, развивающим давление до 10 МПа [2].

В Ганновере (ФРГ) выпускали дренаочистительную машину «Diema», по принципу действия аналогичную голландской. На прицепной к трактору тележке смонтирован насос, развивающий давление до 1 МПа и приводящийся в действие от 2-тактного бензинового двигателя мощностью 2,6 л.с. Установка могла размывать наносы в дрене струями воды, исходящими из головки, и одновременно очищать их с помощью специальных резиновых шайб, надетых на насадку [3].

Опытная станция по изучению болот в Инфельде и фирма Holz (Wangen/Allgau) при разработке машины для гидравлической очистки дрен пошла по другому пути. На платформе трактора мощностью 30 л.с. устанавливался насосный агрегат, вода к ко-

торому подавалась из прицепной цистерны. Подачу воды в дрена осуществляли посредством гибкого шланга длиной в несколько метров с конической обрезиненной насадкой на конце. Перед очисткой насадку плотно вставляли в устьевое отверстие дрены, затем включали насос, который нагнетал воду под давлением 0,2 МПа. Образующийся в дренажной трубе скоростной поток воды размывал наносы, а при снятии насадки отложения извлекались из трубопровода посредством гравитационного потока. Производительность установки при очистке дренажных систем составляла до 10 га в рабочую смену при расстоянии между дренами 10 м [4].

В Шлезвиг-Гольштейне для очистки дрен длиной до 200 м использовали голландскую машину фирмы «Барт», на насадке которой дополнительно устанавливали сменные нейлоновые щетки диаметром от 4 до 10 см, облегчающие разрушение и вынос наносов из дрены [5].

В ГДР в 1963 г. была разработана машина марки RSO-II, которая представляющая собой прицепную тележку, на которой был смонтирован насос, развивающий давление 3 МПа, и барабан с двумя бухтами пластмассовых шлангов с внутренним диаметром 25 и 32 мм (рис. 1). На концах шлангов длиной 120 и 150 м устанавливались насадки с одним фронтальным и несколькими тыльными соплами, которые дополнительно оснащались щетками, предназначенными для механического разрушения плотных наносов и облегчения их выноса из дрен [6, 7].

В СССР серийно выпускалось на опытном заводе ВНИИЗеммаша дренапромывочная машина Д-910, по конструктивным особенностям аналогичная RSO-II.

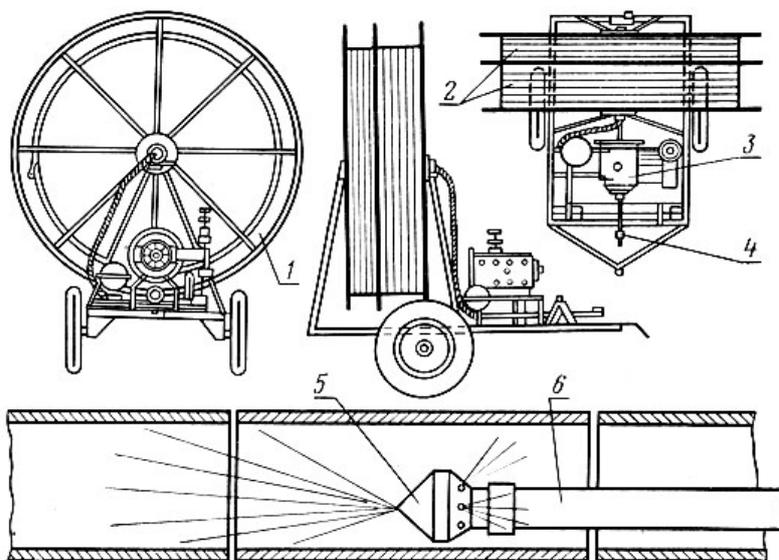


Рисунок 1 – Дренапромывочная машина RSO-II: 1 – барабан для шлангов; 2 – сцепленные шланги; 3 – водяной насос; 4 – карданный привод водяного насоса

Дреноочиститель Д-910 состоял из прицепа, на котором смонтирована насосная станция с промывочным оборудованием. Насосная станция включала четырехтактный карбюраторный двигатель мощностью 8,0 л.с. и поршневой трехплунжерный насос с рабочим давлением 2 МПа. Напорный шланг диаметром 26 мм предназначался для промывки дрен, а диаметром 32 мм – для промывки коллекторов. Длина шлангов составляла по 120 м [8, 9].

Основным недостатком машины Д-910 являлось низкое давление питательного водного насоса и отсутствие толкающего механизма, что не обеспечивало эффективную очистку дренажного трубопровода длиной более 30 м, особенно при значительном заиливании дрен. Последнее вызывало необходимость отрывки большого количества шурфов на дренажной линии.

В целях повышения эффективности очистки в БелНИИМВХ разработана дренопромывочная машина ДП-10А с насосом, создающим давление 10 МПа. При таком давлении размывающая головка развивала большую реактивную тягу и высокие размывающие скорости воды, обеспечивающие размыв плотных отложений при любой степени заиливания трубопровода протяженностью до 150 м (рис. 2) [10].

Дренопромывочная машина ДП-10А представляла собой прицеп на балансирной четырехколесной тележке, агрегируемой с трактором МТЗ-80/82.

С помощью регулирующего устройства при промывке коллекторно-дренажной сети давление насоса устанавливалось в пределах 5 МПа, а при промывке сетей промышленной и бытовой канализации – 10 МПа. Преимуществом машины являлось агрегатирование насоса и емкости для воды объемом 4,0 м<sup>3</sup> на одной тележке, а также наличие вакуумного насоса, что обеспечивало снижение времени на заполнение цистерны водой и доставку ее к месту промывки. Недостатком ДП-10А была высокая металлоемкость, соответственно и стоимость оборудования, а также отсутствие механизма пода-



Рисунок 2 – Дренопромывочная машина ДП-10А

чи напорного шланга в очищаемый трубопровод, что обеспечило бы увеличение длины очищаемого трубопровода с одной стоянки.

Дренопромывочную машину ДМ-250 с такими же техническими характеристиками, как у машины ДП-10А, разработал российский институт ВНИИГиМ. Отличием данной установки явилось только устройство по обратному использованию воды [11].

При эксплуатации машин с высоким давлением водяного насоса возникает опасность размыва фильтров, образующихся на наружной поверхности стыков дренажных трубок. В связи с этим фирма «Хомбург» (Нидерланды) запатентовала низконапорную технологию промывки дренажа при давлении водяного насоса 5 МПа. Для обеспечения передвижения напорного шланга используется специальный толкающий механизм роликового типа [12]. По данному патенту фирма «Хомбург» выпускает дренопромывочную машину «Сениор», которая применяется почти во всех европейских странах [13].

По образцу голландской дренопромывочной машины «Сениор» на Пинском заводе средств малой механизации в 2005 г. была изготовлена и стала серийно выпускаться установка промывки дренажа УПД-120 (рис. 3).

На раме устройства УПД-120 смонтирован насос с давлением 5 МПа и барабан с промывочным напорным шлангом длиной 300 м и внутренним диаметром 15 мм. Установка навешивается на навесное устройство трактора МТЗ-80/82. Привод насоса реализуется через карданный вал от вала отбора мощности трактора [14]. Продвижение напорного промывочного шланга по трубопроводу в установке УПД-120 предусматривается осуществлять посредством роликового подающего устройства через направляющее, закрепленное на манипуляторе. Однако подача шланга в большинстве случаев выполняется вручную по причине частых задержек промывочной насадки в местах частичного смещения дренажных трубок.



Рисунок 3 – Установка промывки дренажа УПД-120

Для облегчения подачи шланга в коллектор имеются конструкции выносных толкающих ролико-шестеренчатых механизмов, которые устанавливаются возле дренажного устья или в смотровом колодце. Данное устройство позволяет отказаться от направляющего, однако оно сложно в обслуживании и в основном применяется в зоне орошения [15].

Одним из основных элементов дренопромывочной машины является ее рабочий орган – насадка. От эффективности ее конструкции и точности расчета основных параметров зависит оценка ее экономической характеристики. В общей постановке насадка должна обеспечивать равномерную очистку внутренней поверхности дренажного трубопровода, а также обеспечивать транспортирование пульпы, образовавшейся в дренажном трубопроводе.

По функциональному назначению различают следующие основные виды гидродинамических промывочных насадок: проходные, реверсивные, ротационные. Проходные насадки являются самыми простыми и надежными, в связи с чем они получили наибольшее применение при очистке дренажных трубопроводов. Они имеют в основном одно переднее сопло и несколько задних, причем суммарная реактивная сила передних водяных струй меньше суммарной реактивной силы задних. Под действием тыльных струй, создающих реактивную тягу, насадка продвигается по трубопроводу, размывая отложения и увлекая за собой рукав. Вынос размытых наносов из трубопровода происходит в основном под действием задних струй, создающих высокотурбулентный поток воды, направленный вдоль промывочного рукава.

В некоторых устройствах к проходным насадкам подводят сжатый воздух, что по мнению изобретателей должно интенсифицировать процессы разрушения и транспортирования отложений [16]. Однако такие решения значительно усложняют конструкцию устройств и, применительно к очистке дренажных трубопроводов, малоэффективны, т. к. отложения в большей степени размываются водяными струями, а при большой длине промываемых трубопроводов влияние воздуха на транспортирование отложений незначительно.

Наибольшее разнообразие насадков по видам и конструктивным особенностям наблюдается в коммунальном хозяйстве. На рис. 4 приведены схемы каналопромывочных насадков, выпускаемые фирмой «Доркомтехника». Они применяются на каналочистительных машинах, оборудованных насосами с давлением 8–16 МПа [17].

Проходные насадки, приведенные на рис. 4, обозначаются как: «пуля» (1); «граната» (2); «бомба» (3); «копье» (4). Первые три типа отличаются в порядке возрастания габаритов и массы, соответствующих габаритам очищаемой трубы.

Проходные насадки типа «копье» имеют четыре передних сопла (одно из них центральное) и несколько задних. Данные насадки особенно эффективны для постепенного размыва существенно заиленных трубопроводов.

Конфигурация насадки «бомба» рационально подходит для промывки керамического дренажа, т. к. дает возможность прохода насадки без задержек при частичном смещении дренажных трубок.

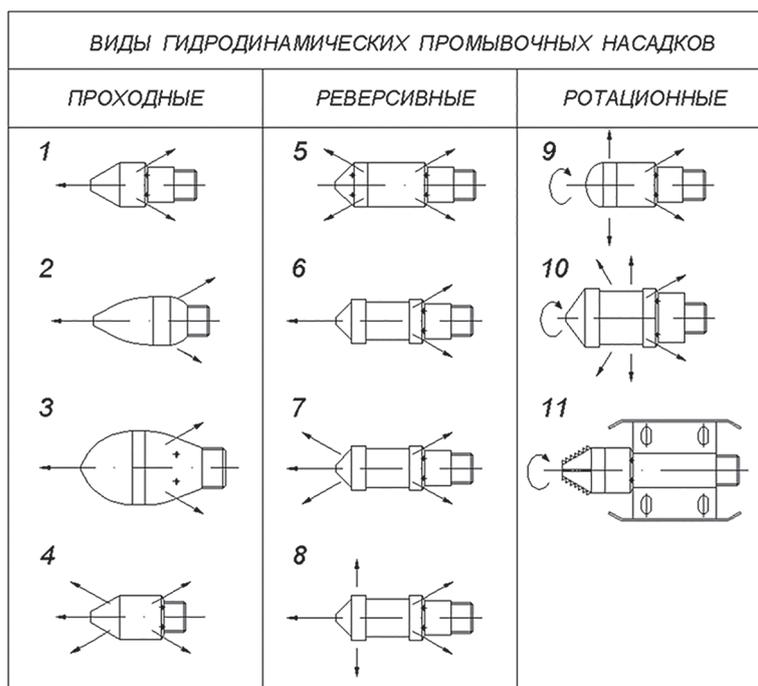


Рисунок 4 – Схемы гидродинамических промывочных насадков, применяемых на каналочистительных машинах

Реверсивные насадки – эффективное устройство для размыва и ликвидации существенных аварийных отложений в трубопроводе за счет дистанционного переключения задних, передних, поперечных струй в месте засора. При этом они являются достаточно универсальными и применяются для чистки труб задними струями. Реверсивные насадки имеют достаточно сложную конструкцию и в основном используются в коммунальном хозяйстве. Их применение на дренапромывочных мелиоративных установках не отмечено.

Ротационные насадки, кроме традиционных задних, имеют поперечные моющие струи, которые при движении насадки вдоль трубы с большой скоростью вращаются реактивной силой ротора. При этом поперечные струи равномерно обрабатывают внутреннюю поверхность трубы. Ротационная насадка (патент РФ № 2081714) применяется также на дренапромывочном устройстве АДПН-250, используемым для очистки закрытых дренажных сетей в зоне орошения [15].

Очистку труб от существенных отложений и корней растений проводят с помощью более сложных насадок с гидромеханическими рабочими органами, которые совмещают промывку с фрезерной обработкой (11). Очистку трубопровода с данной насадкой можно отнести к гидромеханическому способу, который характеризуется воздействием на отложения одновременно потока напорных струй воды и механических рыхлителей различного типа.

Для очистки дренажных труб в СевНИИГиМе разработан насадок фрезерный НПФ к дренапромывочной машине Д-910А [18]. В нем часть энергии подводимой воды расходуется на фрезерование грунта. При этом основной массе воды, используемой на выходе тыльных тангенциально расположенных отверстий, придается вращательное движение.

Как правило, гидромеханический способ требует высоких значений статического давления воды и гладкой внутренней поверхности очищаемых трубопроводов, поэтому он нашел применение в основном в коммунальном хозяйстве.

Гидравлическим способом условно назван способ очистки (промывки) трубопровода потоком воды (жидкости), протекающей непосредственно по промываемому трубопроводу. Различают следующие виды осуществления данного способа очистки дренажных трубопроводов: посредством периодического перекрытия дренажного трубопровода при наличии дренажного стока; откачки дренажного стока при высоком уровне стояния грунтовых вод; закачки воды в дренажную сеть и естественного ее оттока; подачи воды в дренажную сеть с последующей ее откачкой.

По первому способу (автор – Х. Я. Ярвела) [19] очистку дренажного трубопровода выполняют в период низких уровней грунтовых вод на осушенном массиве и в канале, когда устье трубопровода не затоплено, но имеется дренажный сток. Согласно данному способу дренажную систему периодически перекрывают в устьевой части на время ее заполнения фильтрующей водой. При снятии заглушки скорость течения воды в дренажных трубопроводах резко возрастает, в результате чего отложения размываются и в виде пульпы выносятся в канал. Данный способ может найти применение для удаления рыхлых легко размываемых отложений. Его преимущество заключается в обеспечении самоочистки дренажных трубопроводов без применения дорогостоящих устройств и механизмов.

В БелНИИМ и ВХ (авторы – П. И. Закржевский, Н. К. Вахонин, В. С. Куль) разработан способ, согласно которого очистку трубопроводов предлагается осуществлять в период весеннего половодья, когда уровни грунтовых вод на осушаемом массиве и в каналах высокие, а устье дренажных трубопроводов подтоплено. Для достижения данной цели устье изолируют от канала установкой вокруг него инвентарной перемычки, врезанной в откос канала, после чего из зоны канала, ограниченной перемычкой, откачивают воду [20].

При откачке воды из зоны перемычки в устье трубопровода создается пониженный напор, распространяющийся по всей его длине. Действующий перепад напоров в грунте и дренажном трубопроводе становится значительным, что ведет к резкому увеличению притока к нему грунтовых вод и соответственно – повышению скоростей потока воды в дренажном трубопроводе, обеспечивающего размыв и вынос наносов.

Очистка дренажа этим способом эффективна, однако операция по установке инвентарной перемычке в затопленном русле канала весьма трудоемка.

Следует также отметить, что напорный, эффективно размывающий отложения поток воды происходит только в период времени, когда трубопровод работает полным сечением. В условиях, когда приточность воды в дренажную систему меньше объема ее оттока, в особенности при расположении дренажа в грунтах с низкой фильтрационной способностью, происходит обычная очистка гравитационным потоком воды при незатопленном устье. Качество очистки трубопровода в значительной степени зависит от его уклона.

Пример способа очистки дренажного трубопровода от заиливания путем закачки воды под давлением через специальное устройство, установленное в устье коллектора, и дальнейшего выноса

отложений посредством скоростного гравитационного потока воды – разработка опытной станции по изучению болот в Инфельде [4], о которой говорилось ранее.

В институте ВНИИ «Водполимер» (Латвийская ССР) разработан способ очистки дренажных трубопроводов путем закачки в дренажную сеть воды с использованием машин для внесения жидких органических удобрений типа РЖТ-4, РЖТ-8 [21, 22]. При этом большое количество воды подается самотеком или под небольшим давлением (до 0,1 МПа) из цистерны в полость коллектора через устье, дренажный колодец или шурф. Данный способ может найти применение для удаления рыхлых легкоразмываемых отложений, когда имеется достаточное количество промывной воды, расход которой в данном случае очень большой.

Способ очистки дренажного трубопровода от заиливания путем подачи воды в дренажную сеть с последующей откачкой (автор – Н. К. Вахонин) заключается в следующем. При низких естественных уровне грунтовых вод и уровне воды в дренажном трубопроводе осуществляется подъем уровня воды над устьем дренажного трубопровода путем установки в русле канала перемычки. После заполнения дренажной системы водой, размыв и вынос отложений осуществляется посредством ее откачки в первом и последующих колодцах от канала или вырытых шурфах [23].

Данный способ может найти применение при расположении дренажной системы вблизи и выше подпорного сооружения и наличии на коллекторе смотровых колодцев, расположенных на незначительном удалении от канала.

Сущность вакуумного способа очистки заключается в создании в трубопроводе таких скоростей, которые размывали бы наносы при подаче воды под напором, а при сбросе – под действием вакуума в устье трубопровода. Возникающий при этом гидравлический удар взрыхляет отложения, способствуя их выносу.

В БелНИИМ и ВХ очистку дренажных систем вакуумным способом выполняли на базе дреноочистителя МДВ-10. Его технические характеристики такие же, как у дренопромывочной машины ДП-10А, которые ранее приводились в тексте. Очистку дренажных трубопроводов от заиливания вакуумным способом при наличии дренажного стока выполняли без закачки воды в систему. Сущность технологии заключалась в следующем. Заправочную штангу с всасывающим трубопроводом, установленным на дреноочистителе, подводили к устью коллектора, где соединяли с пневмозатвором, предварительно введенным и зафиксированным в устье. После создания в емкости

вакуума 0,05–0,06 МПа открывали шаровой затвор, что вызывало интенсивное распространение вакуума в полости коллектора и сообщающимся с ним дреноосушителем. Под действием вакуума резко возрастала скорость потока в дренажных трубопроводах, и образовавшаяся пульпа поступала в емкость дреноочистителя. При отсутствии дренажного стока предусматривалась предварительная подача воды в дренажную сеть под давлением в пределах 0,2 МПа. Очистка выполнялась через коллекторные устья, а также смотровые колодцы [24].

Аналогичный (вакуумный) способ очистки дренажных трубопроводов с использованием установки МВО-1 разработан в СевНИИГиМ. Установка работала в водооборотном режиме, подавая с помощью насоса воду из расходного бака на размыв отложений и очищая ее при заборе в седиментаторе [25].

К недостаткам данного способа можно отнести достаточно высокую металлоемкость, а соответственно и стоимость оборудования, а также определенную сложность установки пневмозатвора.

Механический способ применяется в основном при очистке трубопроводов на незначительное расстояние и для удаления неразмываемых корневых пробок. При этом используются активные и пассивные рабочие органы в виде скребков, ершей, спиралей и т. п. с ручным и механическим приводом. [6, 7, 11].

Для очистки устьевой части коллекторов в РУП «Институт мелиорации» разработаны специальные насадки. Грунтовые отложения удаляются совковой и винтовой насадками [26, 27], а корни растительности, расположенные как в устье коллектора, так и по его трассе, – корневой [28]. Насадки закрепляются или на телескопической штанге общей длиной до 3,0 м, или устройстве ОД-100, используемом для оценки внутреннего состояния, а при наличии дренажного стока – очистки трубопроводов от заиливания с применением специальных насадок [29, 30].

Химический способ в мелиоративной отрасли применяется в основном для очистки дренажных трубопроводов от окисных соединений железа. В очищаемый трубопровод вводятся реактивы в жидком или газообразном состоянии, которые вызывают растворение отложений, образовавшихся в результате химических реакций. Для этой цели используют растворы серной кислоты, бисульфита натрия, сернистый газ и проч. [6, 31]. Химический способ очистки дренажной сети от окисных соединений железа не нашел широкого практического применения как по причине несоответствия требованиям охраны окружающей среды, так и по технологической сложности его применения.

### Заключение

Проанализировав средства механизации и способов очистки закрытой дренажной сети от заиления, можно сделать вывод, что при ее техническом обслуживании (уходные работы, текущий ремонт) и наличии дренажного стока эффективным является механический способ с использованием устройства ОД-100. При выполнении работ по капитальному ремонту и реконструкции дренажной сети основной способ очистки – гидродинамический с применением дренапромывочных машин.

При оценке промывочных насадок наибольший интерес представляют решения, направленные на

повышение размывающей способности путем создания импульсных струй, совершенствование конструктивных и гидродинамических форм, а также транспортирующей способности с помощью установки дополнительных устройств.

Вопросы повышения размывающей и транспортирующей способностей размывающей насадки, а также совершенствования отдельных конструктивных элементов будут служить основой для совершенствования дренапромывочной машины УПД-120, широко используемой в настоящее время для очистки закрытых дренажных трубопроводов.

### Библиографический список

1. Farmer Stock–Breeder, 75, 3714:92, 1961.
2. Brouer B. Selsbsttätige Tiefenregelung, an Dranmaschinen, – Lohnunternehmen in Land – Forstwirt, 11:258, 1967.
3. Diefel U. Dranspulgerat «Diema». – Wasser Boden, 15, 1:31, 1963.
4. Kuntze H. Bericht über die Verfahren zur Sauberung verockerter Drananlagen. – Zt. Kulturtechn., 4, 1:31, 1963.
5. Tiele H. Die Reinigung von Dranrohren mit einfachen Mitteln. – Lohnunternehmen in Land-Forstsch., 21, 4:102-104, 1966.
6. Эггесман, Р. Руководство по дренажу / Р. Эггесман. – М. : Колос, 1978. – С. 220-225.
7. Механизация строительства и эксплуатации закрытого дренажа за рубежом. – М. : ВНИИИ и ТЭ исследований по сельскому хозяйству. Н 71. – С. 69-97.
8. Машины для строительства и содержания осушительных дрен / В. А. Скотников [и др.]. – М.: Машиностроение, 1973. – С. 133-155.
9. Временные рекомендации по промывке дренажа с применением машины Д-910 // Латвийский НИИГиМ. – Елгава, 1969. – 17 с.
10. Восстановление работоспособности закрытой мелиоративной сети посредством промывки : рекомендации. – Минск: Институт мелиорации, 2010. – 40 с.
11. Ремонтно-восстановительные работы на оросительных и осушительных сетях и сооружениях. Информационный обзор. ГУЦНТЦ «Мелиоводинформ». М., 2000- с. 131-159.
12. Трубоочиститель: пат. GB 2037392 кл. В 08 В 9/06. – Оpubл. 15.11.1979.
13. Экскаваторы-дреноукладчики и машины для очистки дренажных систем из пластмассовых и гончарных труб. – М., 1994. – С. 3. – (Серия 1,5,6 ЦНИИ информатики и ТЭ исследований по строительству, дорожному и коммунальному машиностроению).
14. Методические указания по выполнению уходных и ремонтных работ на мелиоративных системах. Выполнение технического ухода за дренажной сетью с использованием малозатратных технологий. – Минск: Институт мелиорации, 2015. – Ч. 2. – 96 с.
15. Михеев, А. В. Усовершенствованная дренапромывочная машина ДПМ-1 / А. В. Михеев // Мелиорация и водное хозяйство. – 2013. – № 3 – С. 41-43.
16. Способ промывки трубопроводов. А. С. 229126. кл. 47 с., 1/60., 17.8.1968.
17. Зенитов, Н. А. Современная каналоочистительная техника / Н. А. Зенитов // Жилищно-коммунальное хозяйство. – 2000. – № 12 – С. 14-17.
18. Насадок фрезерный НФП к дренапромывочной машине Д-910А // СевНИИГиМ, л., 1984-4 с.
19. Ярвела, Х. А. Способ очистки дренажного трубопровода / Х. А. Ярвела. – А.с. № 402607.-Б.И., 1973, № 42.
20. Закржевский, П. И. Способ очистки дренажного трубопровода от заиления: а. с. № 1006594.-Б.И. / П. И. Закржевский, Н. К. Вахонин, В. С. Куль. – 1983, № 11.
21. Правила технологии гидравлической очистки закрытой коллекторно-дренажной сети без протаскивания шланга // РСН 12-85, Минводхоз Латв. ССР. – Рига, 1985.

22. Струбергс, Ю. Э. Гидравлическая очистка закрытой коллекторно-дренажной сети / Ю. Э. Струбергс, В. Ю. Шульц, И. В. Слагис // Гидротехника и мелиорация. – 1986 № 1 – с. 50-51.
23. Вахонин, Н. К. Способ очистки дренажного трубопровода от заиливания: пат. ВУ 21961 / Н. К. Вахонин. – 2015.06.04.
24. Хухряков, В. А. Промывка дренажных систем с использованием вакуума / В. А. Хухряков, Ф. А. Лебедько, А. В. Лукьянов // Мелиорация и водное хозяйство. – 1989. – № 3 – С. 47-49.
25. Эффективность гидродинамических способов очистки дренажных трубопроводов // Мелиорация и водное хозяйство. – 1991. – № 6 – С. 23-25.
26. Болбышко, В. А. Инструмент для очистки трубопровода: пат. ВУ 11298 / В. А. Болбышко, Н. Н. Погодин. – 2017.02.28.
27. Технологический регламент очистки от наносов труднодоступных элементов линейных и гидротехнических сооружений на открытой и закрытой мелиоративной сети с использованием средств малой механизации – Минск: Институт мелиорации, 2016. – 39 с.
28. Погодин, Н. Н. Устройство для очистки трубопроводов: пат. ВУ 9411 / Н. Н. Погодин, В. А. Болбышко. – 2013.08.30.
29. Погодин, Н. Н. Устройство для очистки трубопроводов: пат. ВУ 7219 / Н. Н. Погодин, В. А. Болбышко. – 2011.04.30.
30. Болбышко, В. А. Устройство для очистки трубопроводов: пат. ВУ 11583 / В. А. Болбышко, Н. Н. Погодин. – 2018.02.28.
31. Маслов, Б. С. Заиливание дренажей железистыми соединениями: природа и способы борьбы / Б. С. Маслов // Гидротехника и мелиорация. – 1972. – № 10. – С. 34-41.

Поступила 30.05.2019

## ИЗ ОПЫТА ПРИМЕНЕНИЯ НА ОСУШИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМАХ КОЛЛЕКТОРОВ ИЗ ТРУБ БОЛЬШОГО ДИАМЕТРА

**А. И. Митрахович**, кандидат технических наук, доцент

**В. М. Макоед**, ведущий научный сотрудник

**А. П. Сергееня**, инженер

**С. М. Лавушев**, инженер

РУП «Институт мелиорации»,  
г. Минск, Беларусь

### Аннотация

В статье рассматриваются актуальные и перспективные вопросы применения полимерных труб большого диаметра для использования на мелиоративных системах взамен части открытых каналов, что позволит уменьшить контурность полей, оставить в сельскохозяйственном обороте значительные площади, отводимые под каналы. При этом создаются нормальные условия для работы широкозахватной сельскохозяйственной техники и снижаются эксплуатационные расходы на содержание открытой сети. Приводится информация по применению труб большого диаметра и оценка их экономической эффективности при замене каналов полиэтиленовыми гофрированными трубами диаметром от 200 до 400 мм. Дана номенклатура полиэтиленовых гофрированных труб диаметром от 160 до 500 мм, которые могут быть использованы на мелиоративных объектах, с их стоимостью.

**Ключевые слова:** мелиоративная система, контурность полей, канал, коллектор, трубопровод, дренаж, зашление, модуль стока, гофрированные трубы, откосы канала.

### Abstract

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

### FROM THE EXPERIENCE OF LARGE DIAMETER PIPES USAGE FOR DRAINAGE SYSTEMS

The article discusses current and future issues of large diameter polymer pipes using on land-reclamation systems instead of part of open channels, which allows to reduce the contour of the fields, to leave large areas allocated for channels in agricultural circulation. At the same time, normal conditions are created for the operation of wide-range agricultural machinery and reduced operating costs for maintaining an open network. Provides information on the usage of large diameter pipes and an assessment of their economic efficiency when replacing channels with polyethylene corrugated pipes with a diameter of 200 to 400 mm. The nomenclature of polyethylene corrugated pipes with a diameter of 160 to 500 mm, which can be used on land improvement facilities, with their cost, is given.

**Keywords:** ameliorative system, field contour, channel, collector, pipeline, drainage, silting, runoff module, corrugated pipes, channel slopes.

### Введение

Актуальной задачей мелиоративной отрасли Республики Беларусь в настоящее время является повышение эффективности действия мелиоративных систем по регулированию водного режима почв, снижение стоимости их реконструкции и эксплуатации. При этом должна решаться проблема создания нормальных условий для работы широкозахватной сельскохозяйственной техники при обработке мелиорированных земель, особенно с густой сетью каналов, которые создают большую контурность полей, что негативно сказывается на производительности сельскохозяйственной техники, особенно на разворотах. Мелиоративные системы, построенные в XX в., не проектировались под использование в больших объемах мощной почвообрабатывающей техники с применением широкозахватных высокопроизводительных агрегатов, которые

в настоящее время применяются в технологических регламентах обработки почвы и не в полной мере используют свои возможности на мелкоконтурных участках. Эксплуатация широкозахватных агрегатов показала, что при уменьшении длины гона на мелкоконтурных участках возрастают потери времени на поворотной полосе в пределах 10 % и более общего времени работ. Время, затрачиваемое на полезную работу агрегатов, оценивается общим коэффициентом использования времени смены, который изменяется в пределах от 0,60 до 0,86 при длине гонов от 200 до 1000 м [1].

Под открытыми каналами мелиоративных систем из сельскохозяйственного оборота изымаются значительные площади, например, в Беларуси при длине канала 1 км выпадает в среднем из использования около 1 га земли. По данным ученых Латвийской ССР [2] потери полезной площади под

открытыми каналами составляли по республике свыше 3 га на каждые 100 га земель, осушенных закрытым дренажем. На каналах устраивается большое количество труб-переездов, существенно удорожающих стоимость объектов. Эксплуатация каналов также требует значительных затрат: на откашивание откосов и подчистку дна. Операции по

### **Результаты исследований и обсуждение**

На основании вышеизложенного возникает необходимость уменьшения длины открытой проводящей сети. Одним из вариантов решения этой проблемы является замена части открытых каналов коллекторами из труб большого диаметра. В мелиоративной практике большим считается диаметр трубопроводов 0,2 м и более. Такие коллекторы устраиваются на крупных дренажных системах.

Впервые крупные дренажные системы с водосборной площадью до 100 га начали строиться за рубежом, в частности в США. Диаметр железобетонных коллекторов достигал 1,0 м [3].

Широкое развитие крупные дренажные системы получили в ФРГ [4]. Оптимальной водосборной площадью крупной системы считалось 50 га. Коллекторы выполнялись из бетонных труб диаметром 0,25–0,40 м. Обоснованием целесообразности применения коллекторов большого диаметра считалось то, что они, в отличие от каналов, требуют намного меньше ухода и экономят значительные площади земли. Некоторые ученые (в частности немецкие) пришли к выводу, что применение коллекторов большого диаметра экономят около 20 % средств на строительстве и около 40 % – на эксплуатации.

В СССР крупные дренажные системы впервые начали строиться в Литовской, Латвийской и Эстонской ССР [5]. Для строительства коллекторов применялись бетонные и железобетонные трубы диаметром 30, 40 и 50 см.

Ежегодные эксплуатационные затраты для объектов с небольшими закрытыми системами составляли 16,6 руб./га, тогда как с крупными коллекторами – только 8,3 руб. Строительная стоимость коллекторов была несколько выше каналов, но она окупалась за 6,7 лет [6].

В Литовской ССР с 1965 по 1977 гг. крупные дренажные системы построены на площади более 100 тыс. га. Общая протяженность коллекторов большого диаметра (более 200 мм) составила более 1100 км. На крупной дренажной системе с водосборной площадью 408 га магистральные коллекторы построены из железобетонных труб диаметром 600 мм (длина 1170 м) и асбестоцементных труб – 300–400 мм (длина 2634 м).

уходу за каналами слабо механизированы. По данным ГО «Белводхоз», стоимость откашивания откосов в республике составляет около 250 руб. за 1 км, стоимость текущей подчистки от заиления – около 1100 руб./км. Чем больше открытых проводящих каналов, тем больше усложняются условия для комплексной механизации сельскохозяйственных работ.

По данным латвийских ученых на дренажной системе площадью 205 га длина железобетонного магистрального коллектора составила 1080 м.

Коллекторами большого диаметра заменялись каналы:

- извилистые и глубокие в неустойчивых грунтах или с большими уклонами;
- находящиеся на территории поселков и производственных центров и в других случаях.

Результаты расчетов экономической эффективности замены проводящих каналов трубами большого диаметра показали, что стоимость строительства дренажных коллекторов зависит в основном от диаметра и материала труб. Стоимость строительства 1 км канала (глубиной 2,5–3,0 м) составляла в среднем 7,5–14 тыс. руб. Стоимость строительства дренажных коллекторов большого диаметра из гончарных труб диаметром 250 мм, по сравнению с железобетонными и асбестоцементными, была меньше. Один километр коллектора данного диаметра при глубине до 2 м стоил 3,40 тыс. руб., при глубине до 3,5 м – 8,37 тыс. руб.

Контурность используемых в сельскохозяйственном производстве земель, за счет замены каналов коллекторами большого диаметра, уменьшается до 6 и более раз.

На территории Беларуси крупные дренажные системы с коллекторами большого диаметра начали строиться в 1970-х гг. преимущественно в регионе Полесья, где средняя площадь крупной дренажной системы составляла 46 га. Наиболее крупные системы – «Молотковичи» (186 га) и «Новоселки» (206 га). Построен ряд объектов в Могилевской, Гомельской и Витебской областях.

На осушительно-увлажнительной системе «Молотковичи» проводящая сеть состояла из асбестоцементных труб диаметром 291–482 мм (длина 2045 м) и железобетонных труб диаметром 600 мм (длина 490 м).

Исследования работоспособности дренажных коллекторов большого диаметра на мелиоративных объектах в Полесье выявили серьезные недостатки в строительстве и эксплуатации [7]. Коллекторы проектировались из асбестоцементных и железобетонных труб диаметром от 200 до 500 мм. Стро-

ительство железобетонных и бетонных труб было довольно трудоемким процессом с применением экскаваторов и автокранов. Ненадежными были и способы соединения труб – стыки железобетонных труб через некоторое время оказались не загерметизированы и имели большие зазоры, через которые в коллекторы в большом количестве поступал грунт. На ряде объектов были обнаружены грубые нарушения как строительства, так и эксплуатации: заиливание дна канала выше устья коллектора, нахождение коллекторов в постоянном подпоре. В результате заиливание коллекторов составило более 40 % от площади при среднем сроке службы 9,5 лет.

Коллекторы без грубых нарушений технологии строительства находились в удовлетворительном состоянии. За время эксплуатации (более 8 лет) их заиливание составляло около 8,5 % площади сечения трубы.

Исследование эффективности действия крупных дренажных систем позволяет обратить внимание на некоторые проблемы. Основной из них является отвод паводковых вод.

Принимаемый в Литве для расчета диаметра дренажного модуля стока 0,4–0,5 л/с·га примерно в 10–15 раз меньше весеннего или летнего модулей стока паводковых вод [8]. Таким образом, во время весеннего или летнего паводка дренажная система была в состоянии отвести только незначительную часть паводковых вод. Другая часть должна быть отведена по поверхностным путем.

В Латвийской ССР расчетные значения дренажного стока принимались в пределах 0,4–0,9, а поверхностного – 0,3–0,7 л/с·га. При расчете дренажных коллекторов-трубопроводов расчетный дренажный и поверхностный стоки суммируются. Их пропускная способность была вполне достаточной для отвода поверхностных вод и в летний период.

В принципе, трубы большого диаметра могут использоваться не только при строительстве коллекторов, но в некоторых случаях – для замены трубопроводами участков открытых проводящих каналов на территории населенных пунктов, на глубоких перекопах в тех случаях, когда устройством трубопроводов можно избежать необходимости массивного крепления русла открытого канала.

Трубопроводы большого диаметра целесообразно использовать в качестве сбросных для отвода воды из тупиковых каналов и водоемов-копаней. Примером может служить мелиоративный объект «Мазоловский» Мстиславского района, где с помощью пластмассового трубопровода диаметром 300 мм производится сброс воды из двух водоемов (объемом 9000 м<sup>3</sup> каждый), расположенных в понижении, а трубопровод заложен на глубине 3 м при пересечении возвышенности.

Строительство трубопроводов на мелиоративных объектах практикуется в последние годы в Витебской и Могилевской областях.

На рис. 1 и 2 приведены схемы мелиоративных систем на объектах, построенных в 2013–2014 гг. с применением полиэтиленового трубопровода вместо сбросного канала для отвода воды из тупикового канала. Это позволило уменьшить контурность полей и увеличить длину гона. Мелиоративное состояние этих участков и техническое состояние коллекторов было вполне удовлетворительным по данным их обследования в апреле 2019 г.

Однако из-за некоторых серьезных недоработок и неудовлетворительного качества строительства трубопроводов и их эксплуатации, трудоемкого процесса укладки железобетонных, бетонных и асбестоцементных труб, затруднительного финансового состояния мелиоративной отрасли при проведении основных работ практически только по реконструкции мелиоративных систем, применение труб большого диаметра в республике прекратилось в 1980-е гг.

В настоящее время в Беларуси в большом объеме выпускаются полиэтиленовые гладкостенные водопроводные и гофрированные трубы большого диаметра (160–500 мм), которые по своим характеристикам могут применяться в мелиоративном строительстве. Из номенклатуры пластмассовых труб наиболее целесообразно использовать полиэтиленовые гофрированные двухслойные трубы «Корсис» с внутренней гладкой поверхностью. Трубы выпускаются различных классов кольцевой жесткости, которая характеризует максимальную допустимую нагрузку на единицу площади поверхности трубы при 4%-й деформации ее вертикального диаметра без учета бокового отпора.

В табл. 1 приведены технические характеристики и стоимость труб «Корсис». Полиэтиленовые гладкостенные водопроводные трубы как по стоимости, так и по массе превышают гофрированные «Корсис» почти в два раза.

Нами рассчитана стоимость строительства коллекторов из полиэтиленовых двухслойных труб диаметром от 160 до 500 мм длиной 1 км и сделано сравнение их со стоимостью строительства канала такой же длины. В табл. 2 приведены данные по экономической эффективности применения труб большого диаметра. Учен расчет стоимости из проектов РУП «Белигипроводхоза». Стоимость устройства 1 км канала составила 21 550 р., стоимость его эксплуатации за 1 год – 610 р. Стоимость строительства трубопровода диаметром 160, 200 и 250 мм меньше стоимости канала. Стоимость трубопроводов диаметром больше 300 мм выше, чем канала, и срок окупаемости

составляет от 5 лет и выше. Данные по урожайности зерновых, затраты на производство и доходы от реализации взяты из отчета Витебской опытно-мелиоративной станции. Прибыль от увеличения производительности механизмов за счет увеличения контуров обрабатываемых площадей составила 152 руб.

Выпуск пластмассовых труб типа «Корсис» может означать новый этап использования в мели-

орации труб большого диаметра – не только на крупных дренажных системах, но и системах с открытой осушительной сетью с мелкоконтурными полями с целью укрупнения площади полей. Это потребует разработки принципиальных схем осушительных и осушительно-оросительных систем, гарантирующих поддержание требуемого водного режима с учетом экстремальных погодных условий.

## Выводы

1. Опыт эксплуатации мелиоративных систем с применением труб большого диаметра показал их перспективность в снижении эксплуатационных затрат по содержанию мелиоративной сети, сохранению и использованию значительных площадей, отводимых под каналы.

2. Установлено, что работоспособность и долговечность коллекторов из труб большого диаметра зависит от качества их строительства и эксплуатации. Применение в настоящее время железобетонных и бетонных труб нецелесообразно.

3. Сделан экономический расчет применения полиэтиленовых гофрированных двухслойных труб «Корсис» большого диаметра взамен открытой осушительной сети, и показана их эффективность.

4. Намечены области возможного применения полиэтиленовых гофрированных двухслойных труб «Корсис» большого диаметра в мелиоративной отрасли при разработке принципиальных схем мелиоративных систем для рационального использования водных ресурсов.

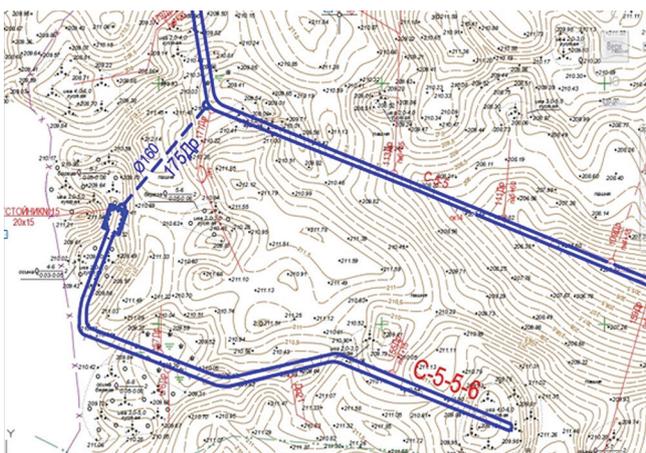


Рисунок 1 – Фрагмент схемы объекта «Осушение высокоплодородных земель в КУСП СГЦ «Вихра» у д. Шамовщина Мстиславского района Могилевской области»

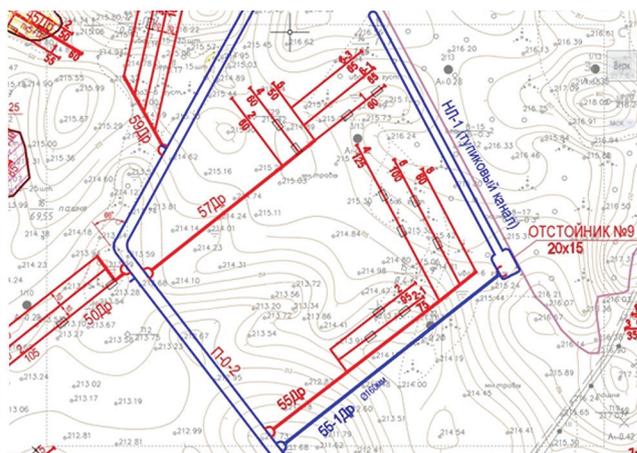


Рисунок 2 – Фрагмент схемы объекта «Осушение высокоплодородных земель в ОАО «Горецкое» у д. Большие Шарипы Горецкого р-на Могилевской области (Пусковой комплекс № 2)»

Таблица 1 – Технические параметры труб «Корсис»

DN/OD <sub>2</sub>	SN4		SN8	
	Цена 1 м. п., руб.	Масса, кг / м. п.	Цена 1 м. п., руб.	Масса, кг / м. п.
Труба «Корсис»				
110/91	–	–	3,93	1,0
160/140	5,68	1,3	7,42	1,7
Труба «Корсис» с раструбом				
200/176	10,63	2,2	12,27	2,6
250/216	16,57	3,4	19,37	3,8
315/271	25,60	4,8	28,33	5,1
400/343	39,75	6,7	43,70	7,9
500/427	63,43	11,4	66,24	13,2
630/535	–	–	105,6	20,3

Примечание: DN – наружный диаметр, мм; OD – внутренний диаметр, мм.

Таблица 2 – Экономическая эффективность при проектировании замены канала (1 км = 1 га) на трубопровод (1 км) на новом мелиоративном объекте

Диаметр трубы, мм	Строительство канала, руб.	Эксплуатация канала, руб.	Строительство трубопровода, руб.	Прибыль от урожая, руб.	Прибыль от увеличения производительности труда, руб.	Окупаемость увеличения инвестиций, лет	Эффективность инвестиций, %
	21 550	610	–	–	–	–	–
160	–	–	8 862	760	152	-8,3	-60
200	–	–	13 532	760	152	-5,3	-39
250	–	–	20 632	760	152	-0,6	-7
315	–	–	29 492	760	152	5,2	33
400	–	–	49 300	760	152	18,2	122
500	–	–	71 840	760	152	33,0	224

### Библиографический список

1. Фортуна, В. И. Технология механизированных сельскохозяйственных работ / В. И. Фортуна, С. К. Миронюк. – Москва: Агропромиздат, 1986. – 302 с.
2. Риекстс, И. А. Опыт строительства крупных дренажных систем в Латвийской ССР / И. А. Риекстс // Гидротехника и мелиорация. – 1968. – № 5. – С. 41-48.
3. Шкиннис, Ц. Н. Некоторые вопросы проектирования больших дренажных систем / Ц. Н. Шкиннис // Гидротехника и мелиорация в Латвийской ССР. – 1963. – № 3. – С. 72-83.
4. Muller, E. Beitrag zur Entwässerung der Marsch / E. Muller, W. Müller-Späth // Die Küste. – 1965. – № 13. – S. 104-108.
5. Риекстс, И. А. Опыт строительства крупных закрытых осушительных систем с коллекторами от 0,3 до 1,0 м. / И. А. Риекстс // Технология строительства закрытых осушительных систем: сб. статей. – Вильнюс, 1969. – С. 197-207.
6. Сакалаускас, А. И. Экономическая эффективность замены проводящих каналов коллекторами большого диаметра / А. И. Сакалаускас // Вопросы осушения земель гончарным дренажем. – 1978. – № 2. – С. 131-139.
7. Зеленков, Л. Д. Оценка работоспособности дренажных коллекторов больших диаметров / Л. Д. Зеленков // Вопросы эксплуатации осушительно-увлажнительных систем: сб. науч. трудов. – 1983. – С. 173-180.
8. Сакалаускас, А. И. Закрытые коллекторы вместо открытых каналов / А. И. Сакалаускас // Гидротехника и мелиорация. – 1968. – № 8. – С. 67-72.
9. Штепа, Б. Г. Техничко-экономические проблемы применения полимерных трубопроводов в мелиорации и в водном хозяйстве / Б. Г. Штепа // Полимерные трубы. – 2011. – № 4 (34). – С. 35-37.

Поступила 14.05.2019

## УПРАВЛЕНИЕ РЕЖИМОМ ОРОШЕНИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР В УСЛОВИЯХ БЕЛАРУСИ

**А. П. Лихацевич<sup>1</sup>**, доктор технических наук

**Г. В. Латушкина<sup>1</sup>**, кандидат технических наук

**И. А. Романов<sup>2</sup>**, аспирант

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

<sup>2</sup>УО «Белорусская государственная сельскохозяйственная академия», г. Горки, Беларусь

### Аннотация

Представлена методика водобалансовых расчетов при управлении режимом орошения с использованием усовершенствованного биоклиматического метода определения водопотребления орошаемых сельскохозяйственных культур. При установлении эксплуатационного режима поливов для контроля за водопотреблением растений наиболее удобно использовать в качестве интегральной характеристики теплоэнергетических ресурсов атмосферы максимальную температуру воздуха. Реакция растений в разные фазы своего развития на изменение максимальной температуры воздуха учитывается с помощью биотермического коэффициента. Его величина равна приращению водопотребления орошаемой культуры при изменении максимальной температуры воздуха на один градус. В статье приведены биотермические коэффициенты для основных орошаемых в Беларуси сельскохозяйственных культур по декадам вегетационного периода.

**Ключевые слова:** сельскохозяйственные культуры, водобалансовый расчет, биоклиматический метод, максимальная температура воздуха, биотермические коэффициенты, эксплуатационный режим орошения.

### Abstract

**A. P. Likhatchevich, G. V. Latushkina, I. A. Romanov  
MANAGEMENT OF CROP IRRIGATION RE-  
GIME IN BELARUS**

The method of water balance calculations for irrigation management with the use of an improved bioclimatic method for determining water consumption of irrigated crops is presented. When establishing the operating mode of irrigation to control the water consumption of plants, it is most convenient to use the maximum air temperature as an integral characteristic of the thermal energy resources of the atmosphere. The reaction of plants to a change in the maximum air temperature at different phases of their development is taken into account with the help of the biothermal coefficient. Its value is equal to the increment of water consumption of the irrigated crop when the maximum air temperature changes by one degree. This article presents the biothermal coefficients for the main agricultural crops irrigated in Belarus by decade of the growing season.

**Keywords:** agricultural crops, water balance calculation, bioclimatic method, maximum air temperature, biothermal coefficients, operational irrigation regime.

### Введение

Республика Беларусь относится к регионам с неустойчивой естественной влагообеспеченностью. Здесь развитие орошаемого земледелия и повышение его экономической эффективности сдерживается отсутствием достаточно точной и в то же время доступной для непрофильных специалистов агропредприятий, имеющих орошаемые земли, методики управления поливами при изменчивой погоде, когда жаркие и засушливые периоды непредсказуемо чередуются с прохладными и дождливыми.

Основным показателем необходимости проведения полива в любом регионе является изменяющееся в процессе вегетации содержание влаги в корнеобитаемом слое почвы, которое в основном определяется текущим водопотреблением орошаемых сельскохозяйственных культур и выпадающими

атмосферными осадками. Контроль за изменением почвенных влагозапасов в течение вегетации осуществляется либо периодическими замерами почвенной влажности непосредственно в поле, либо по результатам расчета водного баланса почвы, в котором водопотребление сельскохозяйственных культур является одной из основных характеристик, определяющих динамику водного баланса почвы и поливной режим сельскохозяйственных культур. От соответствия данных расчета составных элементов водного баланса орошаемого поля фактическим показателям, включая водопотребление, зависит конечная эффективность проведения поливов.

### Основная часть

Для определения водопотребления растений при установлении эксплуатационного режима орошения наиболее удобно использовать расчетные

методики и, в частности, разработанный в СССР в 1970-е гг. биоклиматический метод. В его основе лежит установленный теоретически и проверенный экспериментально факт, что расход влаги полем при оптимальной влажности почвы определяется только теплоэнергетическими ресурсами атмосферы, показателями которых являются дефицит влажности и температура воздуха в приземном слое атмосферы. Неоднократно было подтверждено, что с использованием данных показателей при помощи известных расчетных методик можно достаточно точно осуществлять управление водным режимом на орошаемых полях [1, 2].

В то же время, как показала практика орошаемого земледелия в Беларуси, оперативность и качество управления орошением, во-первых, зависит от продолжительности расчетного интервала. Традиционно используемый шаг водобалансового расчета продолжительностью в одну декаду не позволяет гарантировать точность определения дат начала и завершения поливов [3]. Во-вторых, сложности возникают в определении дефицитов влажности и среднесуточных температур воздуха, для чего требуются специально оборудованные метеопосты или метеостанции, причем расположенные достаточно

близко к орошаемым участкам, что не всегда имеет место в полевых условиях.

Ранее нами было установлено, что осредненные за несколько суток (неделю, декаду) дефициты влажности, среднесуточные и максимальные суточные температуры воздуха тесно коррелируют между собой [4]. Этот факт позволил нам разработать методику расчета водопотребления сельскохозяйственных культур с использованием максимальных суточных температур воздуха. Переход от дефицита влажности воздуха, определение которого связано с громоздкими вычислениями и требует соответствующей подготовки наблюдателя-вычислителя, к максимальной суточной температуре не снижает точность водобалансового расчета, существенно упрощает и удешевляет его сопровождение. Согласно наставлениям гидрометеослужбы максимальные за сутки температуры воздуха измеряются только один раз в сутки. Это позволяет осуществлять процесс измерения не на метеостанциях и метеопостах, которых в Беларуси ограниченное количество, а непосредственно в любых хозяйствах, с использованием простейшего оборудования, установленного рядом с орошаемыми объектами.

### Результаты и их обсуждение

Усовершенствованная методика расчета динамики почвенных влагозапасов с использованием в качестве показателя теплоэнергетических ресурсов атмосферы максимальных температур воздуха разработана и реализована нами на базе электронных таблиц Excel. Причем управление орошением ведется по результатам посуточного водобалансового расчета, алгоритм которого изложен ниже.

Для территорий с отсутствием влияния грунтовых вод на увлажнение расчетного слоя почвы уравнение водного баланса имеет вид:

$$W_{ki} = W_{ni} + P_i + m_i - E_i - C_{\Pi i} - C_{Bi}, \quad (1)$$

где  $i$  – порядковый номер текущих суток, начиная от даты начала расчета;

$W_{ki}$  – влагозапасы расчетного (корнеобитаемого) слоя почвы на конец  $i$ -х суток, мм;

$W_{ni}$  – влагозапасы расчетного слоя почвы на начало  $i$ -х суток, мм;

$P_i$  – осадки за  $i$ -е сутки, мм;

$m_i$  – поливная норма (нетто), вводится в расчет в  $i$ -е сутки, в которые начат полив орошаемой площади, мм;

$E_i$  – водопотребление орошаемой культуры (суммарное испарение) за  $i$ -е расчетные сутки, мм;

$C_{\Pi i}$  – величина поверхностного стока в  $i$ -е сутки (появляется в период выпадения обильных атмосферных осадков), мм;

$C_{Bi}$  – величина внутрипочвенного стока гравитационной влаги атмосферных осадков за пределы расчетного слоя в  $i$ -е сутки (появляется в периоды переувлажнения почвы), мм.

Для упрощения контроля за водным режимом на орошаемых полях начало и конец расчетного интервала в зависимости от времени замера атмосферных осадков и максимальной температуры воздуха можно сдвигать на удобное для оператора время, например, с 09:00 текущих суток до 09:00 следующих суток, или аналогичным образом на другие часы (например, с 21:00 текущих суток до 21:00 следующих суток и т. п.).

При водобалансовых расчетах возможно использование нескольких вариантов, различающихся способами определения начальных (исходных) почвенных влагозапасов и датами начала расчетного периода.

Влагозапасы на начало расчетного периода (11 апреля в южном и 21 апреля в северном регионе Беларуси) в расчетном слое почвы на позиции начала полива площади, обслуживаемой одним комплектом

ирригационного оборудования (одной дождевальной машиной) можно определять как сумму влагозапасов, измеренных непосредственно в поле послойно на глубинах 0–10, 10–20, 20–30, 30–40 см и т. д. по всей мощности расчетного слоя почвы не менее чем в трехкратной повторности (на каждой глубине) с использованием термостатно-весового способа определения почвенной влажности. Для послойного определения влажности почвы можно использовать протестированный и поверенный в установленном порядке почвенный влагомер. В качестве исходной принимают среднюю влажность из трех измеренных.

Для сельскохозяйственных культур, посев (посадка) которых производится в более поздние сроки, допускается устанавливать начало расчетного периода в любую дату от начала расчетного периода вплоть до посева (посадки) орошаемой культуры. Измеренные влагозапасы используют в качестве начальных для дальнейшего расчета по (1). Водобалансовый расчет в этом случае начинается с даты замера почвенных влагозапасов. Несмотря на более позднее начало водобалансового расчета метеорологические показатели (атмосферные осадки и максимальные суточные температуры воздуха) вносят в базу данных компьютера начиная с 11 апреля в южном регионе и с 21 апреля в северном регионе Беларуси.

Управление поливом ведется на основании данных расчета водного баланса в расчетном слое почвы на позиции, с которой начинается орошение площади. Результатом ежедневного водобалансового расчета, по которому определяют дату начала полива площади, являются почвенные влагозапасы в расчетном слое на конец текущих суток. При анализе полученного численного значения этих влагозапасов ориентируются на основное требование к технологии орошения: на позиции начала полива влагозапасы в расчетном слое почвы должны поддерживаться в течение вегетации орошаемой культуры в пределах:

$$W_{пп} \leq W_i \leq W_{нв}, \quad (2)$$

где  $W_{пп}$  – предполивные влагозапасы почвы на начало полива обслуживаемой площади, мм;

$W_i$  – текущие (на  $i$ -ю дату) влагозапасы в расчетном слое почвы, мм;

$W_{нв}$  – влагозапасы почвы в расчетном слое почвы при его насыщении влагой до уровня наименьшей влагоемкости (предельно-полевой влагоемкости), мм.

Предполивные влагозапасы в расчетном (корнеобитаемом) слое почвы определяется разностью:

$$W_{пп} = W_{нв} - m. \quad (3)$$

Наименьшую влагоемкость для каждой почвенной разновидности замеряют в полевых условиях методом залива площадок. Для этого можно использовать справочную литературу.

В Беларуси могут наблюдаться весенние засухи, когда в период от даты начала превышения максимальных суточных температур воздуха границы в 10 °С и заканчивая датой 30 апреля в южном регионе и 10 мая в северном регионе нет осадков, в сумме превышающих по величине установленную поливную норму. В этом случае первый полив орошаемых культур проводят в сроки с 1 по 10 мая в южном регионе и с 10 по 20 мая в северном регионе Беларуси. Для овощных культур в этом случае первый полив обслуживаемой площади необходимо начать не позднее, чем через 1–2 дня после посадки (посева) культуры и провести максимально быстрыми темпами. После полива начальной позиции почвенные влагозапасы, которые используются для дальнейшего расчета, в обязательном порядке определяют экспериментально в полевых условиях. В этом случае водобалансовый расчет также начинается с даты замера почвенных влагозапасов.

Атмосферные осадки измеряются в непосредственной близости от орошаемой площади (на оборудованной метеоплощадке) с использованием специального оборудования, рекомендуемого гидрометеослужбой.

Поливная норма ( $m$ ) в уравнении водного баланса появляется, когда почва пересыхает и влагозапасы на конец расчетного периода ( $W_{кп}$ ) опускаются ниже заданного предполивного порога ( $W_{пп}$ ), и в связи с этим начинается полив площади. Причем поливную норму нетто в уравнение водного баланса (1) включают только в день начала орошения площади, обслуживаемой комплектом ирригационного оборудования (одной дождевальной машиной) в течение сезона.

При назначении поливов в условиях Беларуси можно ориентироваться на представленные в табл. 1 поливные нормы в зависимости от типа и окультуренности почв [5]. Их величина зависит от водоудерживающей способности орошаемой почвы.

Фактически выдаваемые в поле поливные нормы (брутто) определяют с учетом потерь поливной воды на испарение в процессе полива и на снос ветром за пределы позиции полива, для чего их увеличивают по сравнению с вышеуказанными (нетто) в среднем на 15 %.

Таблица 1 – Максимальные поливные нормы с учетом типа и окультуренности почв, м<sup>3</sup>/га

Почвы	Поливные нормы (нетто) при степени окультуренности почв, мм		
	высокая	средняя	слабая
Песчаные	20	15	10
Супесчаные	30	25	20
Суглинистые	35	30	25
Осушенные торфяные	40	35	30

Максимальное суточное водопотребление орошаемой культуры, которое имеет место при биологически оптимальных влагозапасах почвы, рассчитывается по формуле:

$$E_{mi} = 0,1k_{mi} \sum_{i-9}^i t_{mi}, \quad (4)$$

где  $k_{mi}$  – биотермический коэффициент орошаемой культуры в  $i$ -е расчетные сутки, мм/град.;

$\sum_{i-9}^i t_{mi}$  – сумма максимальных суточных температур воздуха за 10 суток, включая текущую дату, за которую определяется водопотребление, и предыдущие 9 суток, град.

Заметим, что через включение в формулу (4) соотношения  $0,1 \sum_{i-9}^i t_{mi}$  учитывается фактор «памяти

растений», т. е. влияние на максимальное водопотребление орошаемой культуры предыдущих условий вегетации (температурного режима в предыдущие 10 суток).

Биотермические коэффициенты, отражающие биологические особенности культур и фазы их развития, соответствуют приращению водопотребления орошаемой культуры при повышении температуры воздуха на один градус. Для условий Беларуси на основании результатов расчетов с использованием данных многолетних метеорологических наблюдений по метеостанциям республики нами получены значения биотермических коэффициентов для основных орошаемых овощных культур и многолетних трав трехукосного использования (табл. 2).

Как видно из табл. 2, биотермические коэффициенты овощных культур за период вегетации изменяются в пределах 0,07–0,27, многолетних трав – 0,10–0,16.

Проанализируем изменения биотермических коэффициентов по фазам развития культур.

Таблица 2 – Биотермические коэффициенты  $k_{mi}$  по декадам от возобновления вегетации

Декады	Биотермические коэффициенты					
	Капуста средне-поздних сортов	Морковь	Свекла столовая	Лук	Картофель	Многолетние травы трехукосного использования
0	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,12
1	0,12	0,08	0,08	0,07	0,07	0,13
2	0,14	0,09	0,09	0,08	0,08	0,14
3	0,15	0,10	0,11	0,11	0,11	0,16
4	0,16	0,12	0,13	0,15	0,15	0,14
5	0,17	0,14	0,15	0,19	0,19	0,11
6	0,18	0,17	0,16	0,24	0,24	0,12
7	0,18	0,18	0,17	0,26	0,27	0,13
8	0,15	0,18	0,16	0,22	0,22	0,15
9	0,13	0,17	0,14	0,17	0,17	0,14
10	0,11	0,13	0,13	0,11	0,11	0,10
11	0,09	0,10	0,10	0,07	0,07	0,12
12	0,08	0,08	–	–	–	0,13

Примечания.

1. Отсчет декад с соответствующими биотермическими коэффициентами ведется: для капусты – от декады высадки рассады; для моркови, свеклы столовой, лука и картофеля – от всходов растений; для многолетних трав – с декады начала активной вегетации трав (третья декада апреля или первая декада мая).

2. Биотермические коэффициенты нулевой декады для овощных культур, равные 0,06, а для многолетних трав – 0,12, применяются в пошаговых водобалансовых расчетах до тех пор, пока не наступят условия, указанные в п. 1.

### Капуста среднепоздних сортов

В связи с повышенной требовательностью капусты к почвенной влаге, биотермические коэффициенты этой культуры с первых декад вегетации значительно превышают значения биотермических коэффициентов для других овощных культур (0,12 против 0,07–0,08). Особенности имеет изменение биотермических коэффициентов и по фазам вегетации капусты. В первой фазе вегетации (посадка – начало завязывания кочана) биоклиматические коэффициенты постепенно возрастают от 0,12 до 0,17. В следующие фазы развития культуры идет интенсивный рост вегетативной массы капусты, и с этим связан значительный расход влаги. Например, во вторую фазу (начало завязывания кочана – начало технической спелости) происходит развитие репродуктивных органов капусты, начинает формироваться урожай, в связи с чем растения имеют повышенную потребность во влаге – биотермические коэффициенты в этот период достигают наибольшего своего значения – 0,18. В третью фазу происходит созревание кочана капусты, в этот период биотермические коэффициенты снижаются с 0,15 до 0,08.

### Столовые корнеплоды

Свекла столовая и морковь отзывчивы на умеренно повышенную влажность почвы. В первую фазу вегетации (всходы – рост зеленой массы) значения биоклиматических коэффициентов изменяются в пределах от 0,07 до 0,13. В период максимального прироста корнеплодов биотермические коэффициенты возрастают до 0,18. В фазу созревания значения биотермических коэффициентов этих культур постепенно снижаются до 0,08.

### Лук

Эта культура обладает высокой отзывчивостью на влажность почвы. Малая поверхность листьев очень слабо защищает почву от испарения. Наименьшие значения биотермические коэффициенты лука имеют место в первую фазу (посев – всходы). В последующем (всходы – формирование луковицы) они постепенно возрастают с 0,08 до 0,15. В период наибольшего водопотребления (формирование луковицы – техническая спелость) биотермические коэффициенты увеличиваются до 0,26, а в период созревания – постепенно снижаются до 0,07.

### Картофель

Картофель предъявляет повышенные требования к увлажнению почвы в периоды бутонизации, цветения и особенно в период нарастания клубней. В период «посадка – всходы» биотермические коэффициенты изменяются от 0,07 до 0,11. В период «бутонизация – цветение» они возрастают до 0,24.

Набольшее значение они имеют в период нарастания клубней. При увядании ботвы биотермические коэффициенты постепенно снижаются до 0,07.

### Многолетние травы

Биотермические коэффициенты для многолетних трав трехукосного использования изменяются согласно циклам укосов, как представлено в табл. 2.

Следует отметить, что рассчитанное по зависимости (4) максимальное водопотребление ( $E_{mi}$ ) имеет место только при достаточном увлажнении почвы. Для того чтобы учесть уровень недостатка фактических влагозапасов почвы до оптимального уровня, при водобалансовых расчетах вводится коэффициент  $\varphi_i$ , который учитывает зависимость водопотребления в  $i$ -е сутки от степени увлажненности почвы и определяется по формуле [4, 5]:

$$\varphi_i = \exp \left[ -\frac{1}{2} \left( \frac{W_{HB}}{W_{Hi}} - 1 \right)^2 \right], \quad (5)$$

где  $W_{HB}$  – влагозапасы расчетного слоя почвы при насыщении до наименьшей влагоемкости, мм;

$W_{Hi}$  – фактические влагозапасы в  $i$ -е сутки, мм.

Фактическое водопотребление в расчетные  $i$ -е сутки равно:

$$E_i = \varphi_i E_{mi}. \quad (6)$$

Таким образом, определение суточного водопотребления производится поэтапно. Сначала находится максимальное водопотребление в  $i$ -е сутки при достаточном увлажнении почвы (при содержании влаги в расчетном слое почвы на уровне наименьшей влагоемкости), а затем определяется фактическое водопотребление, учитывающее уровень фактического увлажнения почвы в конкретные сутки.

Следует помнить, что в расчетном уравнении водного баланса при наличии поливной нормы ( $m$ ) отсутствует сток ( $C_{г}$ ,  $C_{в}$ ). И наоборот, при появлении стока должен отсутствовать полив, т. е. при  $C_{г} + C_{в} > 0$   $m = 0$ . Поверхностный ( $C_{п}$ ) и внутрипочвенный ( $C_{в}$ ) сток появляются в водобалансовом расчете только тогда, когда в течение расчетного интервала выпадают обильные атмосферные осадки ( $P$ ), перенасыщающие почву. Дождевая вода не может вместиться и удерживаться в почве, поэтому ее часть стекает по поверхности и теряется, а часть просачивается ниже границы корнеобитаемого слоя и не участвует в водопотреблении растений.

Верхний предел удержания влаги в почве зависит от инфильтрационной способности почв и продолжительности расчетного интервала: он может изменяться от полной влагоемкости (сразу же после обильного дождя) до наименьшей (после полного

стекания гравитационной воды из корнеобитаемого слоя).

Если конечные влагозапасы почвы в данные расчетные сутки ( $W_K$ ) при выпадении обильных осадков превышают  $W_{ПВ}$ , тогда в данные сутки будет иметь место поверхностный сток ( $C_n$ ), равный:

$$C_n = W_K - W_{ПВ} \quad (7)$$

Ориентировочные значения полной влагоемкости (ПВ) представлены в табл. 3.

Таблица 3 – Ориентировочные значения ПВ, мм

Название почвы	Полная влагоемкость в слое почвы, мм		
	0–30 см	0–40 см	0–50 см
Песчаная	140	185	235
Супесчаная	150	200	250
Суглинистая	155	205	255
Глинистая	160	210	260
Торфяная осушенная	260	320	425

*Примечание.* Полная влагоемкость почвы определена по результатам исследований РУП «Институт мелиорации» с использованием данных справочного пособия «Агроклиматические ресурсы Белорусской ССР, Материалы гидрометеорологических наблюдений» (Минск, БЕЛУКГС, 1985).

Внутрипочвенный сток воды ( $C_B$ ) появляется только тогда, когда конечные влагозапасы ( $W_K$ ) превышают водоудерживающую способность (наименьшую влагоемкость) почвы в расчетном (корнеобитаемом) слое. При продолжительности расчетного интервала в пределах  $1 \leq t \leq T$  величина потерь воды на внутрипочвенный сток ( $C_B$ ) устанавливается по начальным влагозапасам, атмосферным осадкам и максимальному водопотреблению культуры за расчетный интервал по зависимости [6]:

$$C_B = (W_H - E_m - W_{HB}) \left( \frac{t}{T} \right)^a + P \left( \frac{t}{T} \right)^b, \quad (8)$$

где  $t$  – продолжительность расчетного интервала, изменяющаяся в диапазоне времени  $1 < t < T$ , сут.;

$T$  – продолжительность полного стекания гравитационной влаги из корнеобитаемого слоя почвы при отсутствии подпора от капиллярной каймы грунтовых вод, сут. При посуточном расчете  $t$  равно 1 сут.;

$a, b$  – эмпирические коэффициенты (для суглинистых почв  $a = 0,5, b = 2$ ; для супесчаных почв  $a = 0,25, b = 1$ ; для песчаных почв  $a = 0,11, b = 0,45$ ).

Продолжительность стекания гравитационной влаги из расчетного слоя почвы ( $T$ ) зависит от типа почвы и плотности ее сложения и может изменяться в диапазоне: 1–2 сут. – для легких почв рыхлого сложения, 2–3 сут. – для легких почв средней плотности, 3–4 сут. – для средних по гранулометрическому составу почв рыхлого сложения, 4–5 сут. – для средних по гранулометрическому составу почв средней плотности, 5–6 сут. – для средних уплотненных почв, 6–7 сут. и более – для тяжелых почв.

Если по зависимости (8) получаем отрицательную величину, тогда внутрипочвенный сток ( $C_B$ ) равен нулю.

Полученное значение конечных влагозапасов в расчетные (текущие) сутки ( $W_{Ki}$ ) сравнивается с известными опорными величинами, в качестве которых служат верхний предел насыщения расчетного (корнеобитаемого) слоя почвы влагой ( $W_{ПВ}$ ), а также верхний и нижний пределы регулирования почвенных влагозапасов ( $W_{HB}$  и  $W_{ПП}$ ). Задача орошения состоит в том, чтобы всегда поддерживать почвенные влагозапасы в диапазоне (2). Причем почвенные влагозапасы в расчетном слое на конец текущих суток являются начальными влагозапасами на начало следующих суток, т. е.

$$W_{Ki} = W_{H(i+1)}. \quad (9)$$

Измерение атмосферных осадков необходимо проводить на специально оборудованной метеоплощадке, расположенной в непосредственной близости от орошаемой площади (лучше всего на ее границе). Вместе с тем, значения суточных максимальных температур воздуха в связи с относительной их стабильностью и небольшими колебаниями по территории можно принимать по данным ближайшей к орошаемому полю метеостанции [7].

Фрагмент водобалансового расчета при управлении дождеванием капусты среднепоздних сортов приведен в табл. 4.

Таблица 4 – Фрагмент водобалансового расчета при управлении дождеванием (Капуста среднепоздних сортов, выращивается на супесчаных почвах.

$W_{НВ} = 135 \text{ мм}; W_{ПВ} = 250 \text{ мм}; W_{ПП} = 115 \text{ мм}; t = 20 \text{ мм}$ )

№ п/п	Месяц	Дата	$P$	$m$	$K_m$	$t_m$	$\Sigma t_m$	$\Sigma t_m/n$	$E_{mi}$	$\varphi$	$E_i$	$C_{\Pi i}$	$C_{\Pi i}$	$W_{\Pi i}$
51	Май	31	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	99,5
52	Июнь	1	33,0		0,16	25,8	221,5	22,2	3,5	0,999	3,5	0,0	0,0	129,0
53		2	0		0,16	27,5	229,3	22,9	3,7	0,989	3,6	0,0	9,9	158,4
54		3	0		0,16	27,8	237,1	23,7	3,8	0,998	3,8	0,0	3,1	144,9
55		4	0		0,16	19,1	232,2	23,2	3,7	1,000	3,7	0,0	0,0	138,1
56		5	0		0,16	20,6	224,8	22,5	3,6	1,000	3,6	0,0	0,0	134,3
57		6	0		0,16	24,9	229,2	22,9	3,7	0,999	3,7	0,0	0,0	130,7
58		7	0		0,16	27,4	239,1	23,9	3,8	0,998	3,8	0,0	0,0	127,1
59		8	0		0,16	21,6	240,4	24,0	3,8	0,995	3,8	0,0	0,0	123,3
60		9	0		0,16	21,4	239,9	24,0	3,8	0,992	3,8	0,0	0,0	119,4
61		10	0		0,16	22,5	238,6	24,0	3,8	0,986	3,8	0,0	0,0	115,6
62		11	0		0,17	20,8	233,6	23,4	4,0	0,979	3,9	0,0	0,0	111,9
63		12	0		0,17	24,9	231,0	23,1	3,9	0,969	3,8	0,0	0,0	108,0
64		13	10,0		0,17	28,2	231,4	23,1	3,9	0,957	3,8	0,0	0,0	104,2
65		14	0	20	0,17	30,5	242,8	24,3	4,1	0,975	4,0	0,0	0,0	110,4
66		15	0		0,17	24,0	246,2	24,6	4,2	0,998	4,2	0,0	0,0	126,4
67		16	0		0,17	21,0	242,3	24,2	4,1	0,995	4,1	0,0	0,0	122,2
68		17	0		0,17	20,0	234,9	23,5	4,0	0,990	4,0	0,0	0,0	118,1
69		18	0		0,17	22,0	235,3	23,5	4,0	0,983	3,9	0,0	0,0	114,2
70		19	0,2	20	0,17	19,8	233,7	23,4	4,0	0,975	3,9	0,0	0,0	110,2
71		20	0,3		0,17	18,7	229,9	23,0	3,9	0,998	3,9	0,0	0,0	126,5
72		21	0,2		0,18	22,5	231,6	23,2	4,2	0,995	4,1	0,0	0,0	122,9
73		22	0		0,18	20,5	227,2	22,7	4,1	0,991	4,1	0,0	0,0	119,0
74		23	0		0,18	23,0	222,0	22,2	4,0	0,985	3,9	0,0	0,0	114,9
75		24	0		0,18	20,5	212,0	21,2	3,8	0,977	3,7	0,0	0,0	111,0
76		25	0	20	0,18	22,0	210,0	21,0	3,8	0,967	3,7	0,0	0,0	107,3
77		26	0		0,18	22,3	211,3	21,1	3,8	0,996	3,8	0,0	0,0	123,6
78		27	0		0,18	21,6	212,9	21,3	3,8	0,992	3,8	0,0	0,0	119,8
79		28	0		0,18	22,0	212,9	21,3	3,8	0,987	3,8	0,0	0,0	116,0
80		29	0		0,18	24,0	217,1	21,7	3,9	0,980	3,8	0,0	0,0	112,3

### Заключение

Управление поливами на основе изложенного выше расчетного метода контроля динамики влагозапасов почвы с использованием усовершенствованного биоклиматического метода определения водопотребления орошаемых культур, связывающего суточное водопотребление орошаемого поля с максимальной суточной температурой воздуха, позволяет значительно снизить трудоемкость получения необходимых данных для установления сро-

ков поливов и повысить оперативность и качество управления орошением. Значения суточных максимальных температур воздуха в связи с относительной их стабильностью и небольшими колебаниями по территории можно принимать по данным ближайшей к орошаемому полю метеостанции. Биологические особенности культур и фазы их развития учитываются через установленные нами биотермические коэффициенты.

### Библиографический список

1. Ресурсосберегающие энергоэффективные экологически безопасные технологии и технические средства орошения: справочник. – М.: ФГБНУ «Росинформротех». – 2015. – С. 42-58.
2. Бородычев, В. В. Алгоритм решения задачи управления водным режимом при орошении сельскохозяйственных культур / В. В. Бородычев, М. Н. Лытов // Мелиорация и водное хозяйство. – 2015. – № 1. – С. 8-11.

3. Лихацевич, А. П. Оценка влияния продолжительности расчетного интервала на точность водобалансового расчета при неустойчивых погодных условиях / А. П. Лихацевич, И. А. Романов // Мелиорация. – 2017. – № 2. – С. 5-9.

4. Лихацевич, А. П. Дождевание сельскохозяйственных культур: основы режима при неустойчивой естественной влагообеспеченности / А. П. Лихацевич. – Минск: Белорусская наука, 2005. – 278 с.

5. Оросительные системы. Правила проектирования: ТКП/ПР 45-3.04.2009 (02250). – Введ. 29.12.2009. – Минск, 2010. – 74 с.

6. Лихацевич, А. П. Расчет водного баланса почвы при краткосрочном переувлажнении / А. П. Лихацевич, И. А. Романов // Мелиорация. – 2016. – № 4. – С. 6-17.

7. Романов, И. А. Влияние точности измерения метеоданных на погрешность расчета водного баланса почвы / И. А. Романов // Актуальные научно-технические и экологические проблемы мелиорации земель : материалы междунар. науч.-практ. конф., Горки, 14–15 марта 2019 г. / УО БГСХА ; ред.: В. И. Желязко [и др.]. – Горки, 2019. – С. – 125-129.

Поступила 23.05.2019

## ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЕКТНЫХ РЕШЕНИЙ ЗАЩИТЫ ОТ ПАВОДКОВ В РЕЧНЫХ БАССЕЙНАХ

**В. И. Петроченко<sup>1</sup>**, кандидат технических наук

**А. В. Петроченко<sup>2</sup>**, кандидат технических наук

<sup>1</sup>Институт водных проблем и мелиорации НААН Украины, г. Киев, Украина

<sup>2</sup>Киевский национальный университет строительства и архитектуры, г. Киев, Украина

### Аннотация

В статье приведены результаты анализа паводковых ситуаций в Украине. Выделено два основных типа мер защиты от паводков: ситуационные и превентивные. Предложен основной критерий оценки их эффективности. Выделено две основные, функционально противоположные по характеру выполнения, альтернативы превентивных мер защиты от паводков с использованием гидротехнических сооружений. Путем их комбинации доказана возможность снижения стоимости строительства защитных гидротехнических сооружений. Для оптимального распределения паводковых потоков с применением комбинированной альтернативы мер защиты от паводков предложен новый метод и два алгоритма его практического применения.

**Ключевые слова:** бассейн реки, паводок, зона риска паводков, ущерб от паводков, предотвращенный ущерб, альтернативы превентивной защиты, водохранилище, берегоукрепление, защитная дамба, строительные затраты.

### Abstract

#### V. I. Petrochenko, A. V. Petrochenko OPTIMIZATION OF DESIGN SOLUTIONS FOR FLOOD PROTECTION IN RIVER BASINS

The article presents the results of the analysis of flood situations in Ukraine. Two main types of flood protection measures are identified: situational and preventive. The main criterion for evaluating their effectiveness is proposed. Two main alternatives of preventive flood protection measures using hydraulic structures have been identified, functionally opposite in nature of implementation. By combining them, the possibility of reducing the cost of constructing protective hydraulic structures has been proved. For optimal distribution of flood flows using a combined alternative of flood protection measures, a new method and two algorithms for its practical application have been proposed.

**Keywords:** river basin, flood, flood risk zone, flood damage, prevented damage, preventive protection options, reservoir, bank protection, protective dam, construction costs.

### Введение

Паводки – природные явления, которые, периодически проявляя мощную разрушительную силу, приносят огромные социальные, экологические и экономические убытки [1, 2]. Влияние вредного воздействия паводковых вод наблюдается на 165 тыс. км<sup>2</sup> территории Украины, что составляет 27 % ее площади. В зонах риска затопления и подтопления проживает почти треть населения Украины [3]. Наиболее разрушительные последствия вызывают паводки в Карпатском регионе, где они могут повторяться 3–5 раз в году.

В связи с изменением климата на планете интенсивность паводков и размеры нанесенного ими ущерба приобретают нарастающий характер. Так, исторический максимум подъема воды в р. Турья (приток р. Уж), который в период прохождения катастрофического паводка 1998 г. был зафиксирован вблизи села Турья Пасека на отметке 348 см водомерного поста, в мае 2019 г. был превышен и достиг отметки 349,8 см.

В мае 2019 г. в Карпатском регионе вследствие прохождения катастрофического паводка погибло два человека. На территории Закарпатской, Ивано-Франковской, Львовской, Ровенской, Тернопольской, Хмельницкой и Черновицкой областей по оперативным данным Государственной службы чрезвычайных ситуаций Украины было размыто около 100 км автомобильных дорог, подтоплено 8800 га сельхозугодий. В 162 населенных пунктах было подтоплено около 2 тыс. домов и свыше 7300 дворохозяйств (рис. 1, 2).

Статистические данные учета последствий паводков в Украине свидетельствуют о необходимости выполнения соответствующих мер защиты [4]. Однако ввиду того, что меры (мероприятия) защиты от паводков в речных бассейнах весьма дорогостоящие и требуют значительных инвестиций из государственного бюджета, возникает необходимость их систематизации, более глубокого исследования



*Рисунок 1 – Разлив реки Латорица в г. Мукачево Закарпатской области в мае 2019 г.*



*Рисунок 2 – Затопление теплиц в с. Боржавское Виноградовского района Закарпатской области*

и оптимизации. Целью данной работы является разработка методических принципов определения наиболее перспективных мер защиты от паводков в речных бассейнах и оптимизация их функциональных параметров.

#### **Основная часть**

Меры защиты от паводков предложено разделить на два типа: ситуационные и превентивные [5].

Ситуационные меры – комплекс последовательно выполняемых в течение конкретной паводковой

ситуации предупредительных, аварийно-спасательных и аварийно-восстановительных работ.

Предупредительные работы выполняют до наступления паводка на основе предварительно полученных краткосрочных (не более 15 суток) прогнозов возникновения паводков.

Аварийно-спасательные работы выполняют в течение всего периода прохождения паводка.

Аварийно-восстановительные работы выполняют по окончании паводка.

Основным исполнителем ситуационных мер защиты от паводков является Государственная служба Украины по чрезвычайным ситуациям.

Превентивные меры выполняют путем долгосрочного (до 50–100 лет) прогнозирования паводков с последующим строительством защитных гидротехнических сооружений, использование которых обеспечивает надежный защитный эффект в зонах риска паводков на протяжении 30–50 лет и более, что соответствует расчетному сроку эксплуатации защитных гидротехнических сооружений. Основным исполнителем превентивных мер защиты от паводков является Государственное агентство водных ресурсов Украины.

Оценку эффективности и выбор вариантов ситуационных и превентивных мер защиты предложено осуществлять по функционально-стоимостному критерию, пользуясь целевой функцией:

$$I_3 = \frac{ПУ_1}{Z_1} = \frac{ПУ_1^{сц} + ПУ_1^{экл} + ПУ_1^{эки} + ПУ_1^{эки}}{Z_1} \rightarrow \max, \quad (1)$$

где  $I_3$  – индекс эффективности варианта защиты;

$ПУ_1$  – общий предотвращенный ущерб, определенный в денежных единицах как положительный эффект от применения на протяжении одного года варианта защиты от паводков;

$ПУ_1^{сц}$ ,  $ПУ_1^{экл}$  и  $ПУ_1^{эки}$  – предотвращенный социальный, экологический и экономический ущерб, определенный в денежных единицах на протяжении одного года применения варианта защиты;

$Z_1$  – общие (приведенные) затраты в денежных единицах, необходимые на выполнение варианта защиты на протяжении одного года.

Исследования показали, что для интенсивных часто повторяющихся паводков, которые в зоне риска наносят значительный ущерб, наиболее надежными и эффективными являются меры превентивной защиты.

Это несложно доказать, если представить предотвращенный ущерб  $ПУ_1$  функцией (2), а приведенные затраты  $Z_1$  на выполнение превентивных мер защиты – функцией (3):

$$ПУ_1 = Y_1 - НПУ_1; \quad (2)$$

$$Z_1 = \frac{K}{T} + B_1, \quad (3)$$

где  $Y_1$  – ущерб от паводков в зоне риска на протяжении одного года в случае неприменения мер защиты;

$НПУ_1$  – не предотвращенный ущерб, определяемый в виде части ущерба  $Y_1$  в случае неполного или недостаточно эффективного применения мер защиты от паводков;

$K$  – строительные затраты (капиталовложения), необходимые для строительства защитных сооружений;

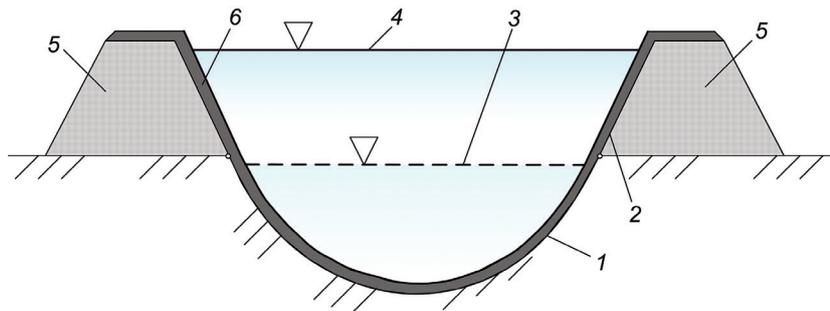
$T$  – расчетный срок эксплуатации защитных сооружений;

$B_1$  – ежегодные эксплуатационные затраты по обслуживанию защитных сооружений.

Совместный анализ параметров функций (1), (2) и (3) показывает, что в зонах риска паводков большой интенсивности превентивные меры защиты имеют более высокий индекс эффективности  $I_3$  по сравнению с ситуационными мерами. Это объясняется тем, что для превентивных мер защиты числитель функции (1) всегда имеет большую величину, по сравнению с ситуационными мерами, поскольку с применением превентивных мер  $НПУ_1 \rightarrow 0$ , чего нельзя достичь ситуационными мерами. Кроме того, при оценке эффективности превентивных мер знаменатель  $Z_1$  функции (1) является сравнительно небольшой величиной по отношению к величине строительных затрат  $K$ , поскольку затраты  $Z_1$  находятся в обратной зависимости (3) от расчетного срока  $T$  эксплуатации защитных гидротехнических сооружений, который составляет не менее 30 лет.

Выделено две основные, функционально противоположные по характеру выполнения, альтернативы превентивной защиты территорий от паводков с использованием гидротехнических сооружений.

По первой альтернативе выполняют превентивные меры по недопущению переполнения русла реки паводковыми водами и предотвращению затопления территории в зоне риска паводков путем создания условий ускоренного прохождения паводкового потока руслом реки. Для этого расширяют площадь поперечного сечения русла, наращивая дамбами 5 ее берега, а также увеличивают, неразмывающую скорость течения воды в реке, укрепляя русло защитным покрытием 6 (рис. 3).



1 и 2 – русло реки до и после применения мер превентивной защиты от паводков;  
3 и 4 – нормальный подпорный уровень воды в реке до и после применения мер защиты;  
5 – береговая защитная дамба; 6 – защитное покрытие русла реки

Рисунок 3 – Поперечный разрез русла реки в результате выполнения превентивных мер защиты территории от паводков по первой альтернативе

В результате применения превентивных мер защиты от паводков по первой альтернативе увеличивают предельно допустимый расход воды в реке  $[Q_p]$ , который является основным критериальным параметром условия прохождения паводковых вод руслом реки без затопления территории в зоне риска паводков:

$$Q_n \leq [Q_p] \geq Q_p, \quad (4)$$

где  $Q_n$  – расчетный максимальный расход паводкового потока в реке согласно гидрологическим прогнозам;

$[Q_p]$  – предельно допустимый расход паводкового потока в реке согласно гидротехническим расчетам;

$Q_p$  – регулируемый гидротехническими сооружениями расход паводкового потока в русле реки.

По второй альтернативе превентивной защиты работы по регулированию русла реки, проходящего через зону риска паводков, не проводят, а в верхнем створе реки сооружают аккумуляционное водохранилище, использование которого обеспечивают безопасный расход воды  $Q_p$  согласно условию:

$$Q_n \geq Q_p \leq [Q_p]. \quad (5)$$

Аккумуляционное противопаводковое водохранилище сооружают или в русле горной реки (водохранилище горного типа), или долине равнинной реки (водохранилище равнинного типа, рис. 4). Емкость водохранилища 5 соединена с руслом реки водораспределительным сооружением 6, с помощью которого в период прохождения паводка наполняют водохранилище, направляя в него часть паводкового потока из русла реки, а после прохождения паводка сбрасывают воду из водохранилища в реку.

Защитный эффект достигается путем бифуркации паводкового потока в точке 7 водораспреде-

лительного сооружения 6. Бифуркация паводкового потока описывается уравнением:

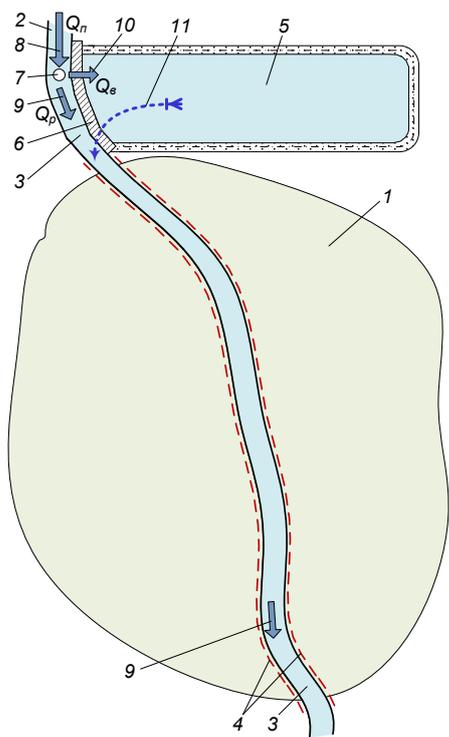
$$Q_n = Q_p + Q_b, \quad (6)$$

где  $Q_b$  – расчетный максимальный расход потока воды, направляемого в водохранилище.

В период наполнения водохранилища распределение потоков воды в точке бифуркации 7 водораспределительного сооружения 6 осуществляют, регулируя автоматически или вручную расходы воды  $Q_p$  и  $Q_b$ , с соблюдением условия (5), что обеспечивает защиту от затопления территории в зоне риска паводков 1.

Таким образом, превентивными мерами с использованием защитных гидротехнических сооружений по первой или второй альтернативе достигается необходимый эффект защиты территорий в зонах риска паводков, что практически исключает необходимость применения ситуационных мер.

Учитывая то, что строительство гидротехнических сооружений, предназначенных для превентивной защиты от паводков, требует значительных капиталовложений, возникает вопрос снижения их стоимости защитных сооружений при условии обеспечения ими необходимого уровня превентивной защиты территорий от паводков. Этого можно достичь двумя вариантами: оптимизацией конструктивно-технологических или функциональных параметров защитных гидротехнических сооружений. Данные варианты не исключают друг друга, но с позиций системного анализа приоритетным является второй вариант, поскольку функциональные параметры защитных сооружений, а именно показатели регулирования паводковых вод, занимают более высокий иерархический уровень по отношению к конструктивным и технологическим решениям.



- 1 – зона риска паводков,
- 2 и 3 – незащищенный и защищенный участок русла реки,
- 4 – защитные сооружения русла и берега реки,
- 5 – аккумуляционное водохранилище,
- 6 – водораспределительное сооружение,
- 7 – точка бифуркации паводкового потока,
- 8 и 9 – не регулированный и регулированный паводковый поток в реке,
- 10 – поток паводковых вод водохранилища,
- 11 – сброс воды из водохранилища в реку после прохождения паводка

Рисунок 4 – Схема комбинированной защиты территории в зоне риска паводков с использованием защитных гидротехнических сооружений

Для снижения стоимости строительства защитных сооружений путем оптимизации их функциональных параметров предложено использовать на стадии проектирования метод бифуркации базиса [6]. Он разработан на основе гипотезы снижения общих затрат на строительство защитных гидротехнических сооружений путем комбинированного применения превентивных мер защиты от паводков по первой (регулирование русла реки) и второй (строительство аккумуляционного водохранилища) альтернативе.

Суть предлагаемого метода заключается в следующем. За базис принимают основной функциональный параметр паводка – установленный по гидрологическим прогнозам расчетный максимальный расход паводкового потока  $Q_n$ . При этом уравнение (6) бифуркации расхода  $Q_n$  паводкового потока принимают за уравнение бифуркации базиса. В случае комбинированного применения превентивных мер защиты от паводков (рис. 4), в соответствии с уравнением (6) бифуркации расхода  $Q_n$ , составляют уравнение бифуркации общих затрат на строительство системы комбинированной защиты от паводков:

$$Z(Q_n) = Z_p(Q_p) + Z_b(V_b), \quad (7)$$

где  $Z(Q_n)$  – общие затраты на строительство системы комбинированной защиты от паводков;

$Z_p(Q_p)$  – затраты на выполнение мер защиты по первой альтернативе (регулирование русла реки защитными сооружениями 4);

$Z_b(V_b)$  – затраты на выполнение мер защиты по второй альтернативе (строительство водохранилища 5 и водораспределительного устройства 6), зависящие от объема водохранилища  $V_b$ .

Используя коэффициент бифуркации  $\lambda$  ( $0 \leq \lambda \leq 1$ ), уравнения бифуркации базиса (6) и бифуркации строительных затрат (7) представляют в таком виде:

$$Q_n = Q_{p\lambda} + Q_{b(1-\lambda)}; \quad (8)$$

$$Z_\lambda = Z_{p\lambda} + Z_{b(1-\lambda)}, \quad (9)$$

где  $Q_{p\lambda}$  – расход паводкового потока в реке, зависящий от  $Q_n$  и  $\lambda$ ;

$Q_{b(1-\lambda)}$  – расход части паводкового потока  $Q_n$ , направляемого в водохранилище, который зависит от  $(1-\lambda)$ ;

$Z_\lambda$  – общие затраты на выполнение комбинированной превентивной защиты от паводков, зависящие от  $\lambda$ ;

$Z_{p\lambda}$  – затраты на выполнение гидротехнических работ по регулированию русла реки, рассчитанные на пропуск руслом реки паводкового потока расходом  $Q_{p\lambda}$ ;

$Z_{b(1-\lambda)}$  – затраты на строительство аккумуляционного водохранилища, зависящие от параметров расчетного гидрографа паводка и коэффициента  $(1-\lambda)$ .

Анализ строительных затрат в условиях неполного ( $\lambda < 1$ ) выполнения защитных мер по первой и второй альтернативе показывает, что функции затрат  $Z_{p\lambda}$  и  $Z_{b(1-\lambda)}$  по аргументу  $\lambda$  являются вогнутыми.

Это значит, что в случае использования варианта комбинированной защиты от паводков вместо одной (первой или второй) альтернативы следует ожидать такого соотношения строительных затрат:

$$Z_\lambda < Z_p(Q_n); Z_\lambda < Z_b(V_b). \quad (10)$$

Пояснение в графическом виде гипотезы снижения стоимости строительства защитных сооружений с использованием метода бифуркации базиса приведено на рис. 5, на котором изображено два выполненных в одинаковом масштабе графика 1 и 2 функций  $Z_{p\lambda}$  и  $Z_{b(1-\lambda)}$ . Оси аргументов  $0\lambda$  и  $0(1-\lambda)$  функций  $Z_{p\lambda}$  и  $Z_{b(1-\lambda)}$  направлены во взаимно противоположных направлениях и, ввиду их одинаковых масштабов, совмещены. В граничной точке  $\lambda=0$  имеем:  $Z_{p\lambda}=0$ ;  $Z_{b(1-\lambda)}=Z_b(V_b)$ , в граничной точке  $\lambda=1$ :  $Z_{p\lambda}=Z_p(Q_n)$ ;  $Z_{b(1-\lambda)}=0$ .

Просуммировав графики 1 и 2 согласно уравнению (9), получим график 3 общих строительных затрат  $Z_\lambda$  для варианта комбинированной защиты от паводков. Очевидно, что при любом  $\lambda$  в диапазоне его значений ( $0 \leq \lambda \leq 1$ ) для комбинированного варианта полностью достигается эффект защиты в зоне риска паводков, причем расход не превышает расчетный максимальный расход  $Q_n$ , принятый за базис.

Поскольку функции затрат  $Z_{p\lambda}$  и  $Z_{b(1-\lambda)}$  по первой и второй альтернативе вогнутые, то и функция  $Z_\lambda$  общих строительных затрат является вогнутой.

Далее предстоит задача определения для системы комплексной защиты от паводка расходом  $Q_n$  оптимальной величины коэффициента бифуркации  $\lambda_{opt}$  паводкового потока, при котором достигается минимум общих строительных затрат  $Z_{\lambda min}$ . Эта задача решается методом бифуркации базиса с использованием двух возможных алгоритмов.

С использованием первого алгоритма метода бифуркации базиса оптимальный коэффициент би-

фуркации  $\lambda_{opt}$  и минимум общих строительных затрат  $Z_{\lambda min}$  находят путем пробных расчетов параметров сооружений и затрат на их строительство с применением метода наименьших квадратов. Для этого функциональную зависимость затрат  $Z_\lambda$  по аргументу  $\lambda$  аппроксимируют параболой:

$$Z_\lambda = a\lambda^2 + b\lambda + c. \quad (11)$$

Диапазон значений коэффициента бифуркации  $0 \leq \lambda \leq 1$  произвольно делят на  $m$  расчетных точек,  $i=1, m$ .

Для каждого произвольно выбранного расчетного значения коэффициента бифуркации  $\lambda_i$  определяют распределение расхода  $Q_n$  паводкового потока:

$$Q_n = Q_{pi} + Q_{bi} = Q_n \lambda_i + Q_n (1-\lambda_i). \quad (12)$$

В соответствии с рассчитанными по формуле (12) расходами воды  $Q_{pi}$  и  $Q_{bi}$  определяют принципиальные проектные решения защитных сооружений по первой и второй альтернативе, конструктивные параметры сооружений и затраты на их строительство  $Z_{pi}$  и  $Z_{bi}$ . Затем определяют общие затраты  $Z_i$  на строительство гидротехнических сооружений по комбинированной альтернативе меры защиты:

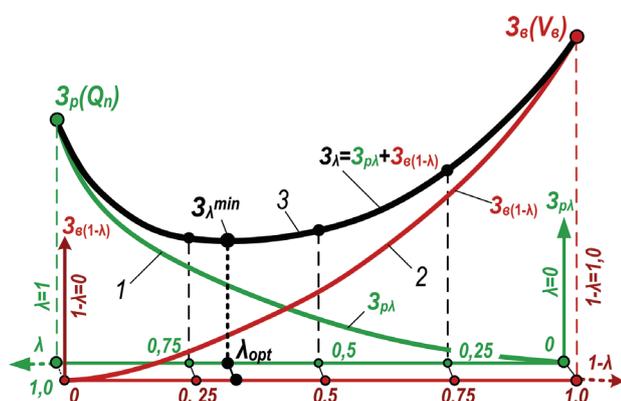
$$Z_i = Z_{pi} + Z_{bi}. \quad (13)$$

Используя набор  $m$  расчетных точек  $(Z_i, \lambda_i)$ , составляют функцию неувязки  $F(a, b, c)$ :

$$F(a, b, c) = \sum_{i=1}^m (a\lambda_i^2 + b\lambda_i + c - Z_i)^2 \rightarrow 0. \quad (14)$$

В результате преобразований функции (14) получают систему уравнений для определения по методу наименьших квадратов коэффициентов  $a, b, c$  функции (11):

$$\begin{cases} a \sum_{i=1}^m \lambda_i^4 + b \sum_{i=1}^m \lambda_i^3 + c \sum_{i=1}^m \lambda_i^2 = \sum_{i=1}^m \lambda_i^2 Z_i; \\ a \sum_{i=1}^m \lambda_i^3 + b \sum_{i=1}^m \lambda_i^2 + c \sum_{i=1}^m \lambda_i = \sum_{i=1}^m \lambda_i Z_i; \\ a \sum_{i=1}^m \lambda_i^2 + b \sum_{i=1}^m \lambda_i + c m = \sum_{i=1}^m Z_i. \end{cases} \quad (15)$$



- 1 – график функции затрат  $Z_{p\lambda}$  по первой альтернативе защиты от паводков;
- 2 – график функции затрат  $Z_{b(1-\lambda)}$  по второй альтернативе;
- 3 – график функции затрат  $Z_\lambda$  по комбинированной альтернативе защиты от паводков

Рисунок 5 – Графическая интерпретация гипотезы снижения общих затрат на строительство защитных гидротехнических сооружений путем комбинации первой и второй альтернативы выполнения превентивных мер защиты от паводков в речных бассейнах

Для определения  $\lambda_{opt}$  находят частную производную по  $\lambda$  функции (11) и приравнивают ее к нулю:

$$\frac{\partial Z_{\lambda}}{\partial \lambda} = 2a\lambda + b = 0, \quad (16)$$

откуда

$$\lambda_{opt} = -\frac{b}{2a}. \quad (17)$$

Подставив значение  $\lambda_{opt}$  из (17) в (11), получают минимальную величину затрат  $Z_{\lambda}^{min}$  на строительство гидротехнических сооружений по комбинированной альтернативе превентивной защиты от паводков:

$$Z_{\lambda}^{min} = c - \frac{b^2}{4a}. \quad (18)$$

К недостаткам первого алгоритма определения оптимального коэффициента бифуркации  $\lambda_{opt}$  и минимальной величины затрат  $Z_{\lambda}^{min}$  по комбинированной альтернативе превентивной защиты от паводков относится: необходимость выполнения большого количества пробных расчетов параметров сооружений и стоимости их строительства; необходимость получения высокой точности результатов пробных расчетов; сложность применения метода наименьших квадратов в реальных условиях проектирования.

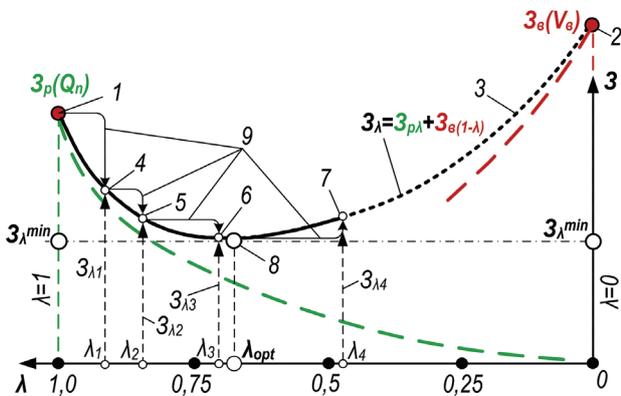
С использованием второго алгоритма метода бифуркации базиса оптимальный коэффициент бифуркации  $\lambda_{opt}$  и минимум общих строительных затрат  $Z_{\lambda}^{min}$  находят также путем пробных расчетов, но с применением вместо метода наименьших квадратов метода последовательного приближения (метода итераций).

Для этого строят систему координат  $\lambda OZ$  (рис. 6). На координатной плоскости в точке  $\lambda=1$  отображают

величину строительных затрат  $Z_p(Q_p)$ , необходимых для превентивной защиты от паводков только по первой альтернативе. В точке  $\lambda=0$  отображают величину затрат  $Z_b(V_b)$ , необходимых для превентивной защиты от паводков только по второй альтернативе. Поиск  $\lambda_{opt}$  и  $Z_{\lambda}^{min}$  по комбинированной альтернативе превентивной защиты от паводков выполняют итерационными циклами 9 начиная с точки 1 ( $\lambda=1$ ;  $Z=Z_p(Q_p)$ ) или 2 ( $\lambda=0$ ;  $Z=Z_b(V_b)$ ). Для повышения эффективности поисковой стратегии поиск  $\lambda_{opt}$  и  $Z_{\lambda}^{min}$  методом последовательного приближения следует начинать с граничной точки графика затрат  $Z_{\lambda}$ , имеющей меньшую ординату (на рис. 6 точка 1).

На оси  $O\lambda$ , начиная с точки 1 ( $\lambda=1$ ), выделяют ряд точек  $1 > \lambda_1 > \lambda_2 > \lambda_3 > \lambda_4 > \dots$ , в которых последовательно, пользуясь формулой (13), определяют затраты  $Z_i$  по комбинированной альтернативе защиты от паводков. При этом затраты  $Z_i$  до некоторой критической точки (точка 6 с ординатой  $Z_{\lambda_3}$ ) образуют убывающий ряд  $Z_p(Q_p) > Z_{\lambda_1} > Z_{\lambda_2} > Z_{\lambda_3}$ . Затем, обнаружив тенденцию возрастания затрат в следующей за критической точкой (точка 7,  $Z_{\lambda_3} < Z_{\lambda_4}$ ), координаты критической точки ( $\lambda_3$ ;  $Z_{\lambda_3}$ ) предварительно принимают за оптимальные. Далее, проводя дополнительные более точные расчеты параметров системы в окрестности критической точки, методом последовательного приближения находят точку экстремума (точка 8).

Второй алгоритм определения оптимальных параметров комбинированной альтернативы защиты от паводков отличается от первого более удобной и доступной в условиях проектирования поисковой стратегией. Кроме того, он менее трудоемкий, поскольку при его применении необходимо выполнять глубокие исследования и точные расчеты параметров системы только вблизи критической точки.



- 1 – величина затрат  $Z_p(Q_p)$  на выполнение мер защиты от паводков по первой альтернативе;
- 2 – величина затрат  $Z_b(V_b)$  на выполнение мер защиты от паводков по второй альтернативе;
- 3 – график функции затрат  $Z_{\lambda}$  по комбинированной альтернативе выполнения мер защиты от паводков;
- 4–7 – результаты пробных расчетов затрат  $Z_{\lambda_i}$ ;
- 8 – точка экстремума функции  $Z_{\lambda}$ ;
- 9 – итерационные циклы

Рисунок 6 – Схема определения оптимального коэффициента бифуркации паводкового потока и минимальных строительных затрат по комбинированной альтернативе защиты от паводков путем пробных расчетов с использованием метода последовательного приближения

### Заключение

Статистические данные последствий прохождения паводков в Украине свидетельствует о необходимости выполнения соответствующих мер защиты. Ввиду того, что они не имеют коммерческой привлекательности для частных инвесторов, их финансируют за счет средств из государственного бюджета. В связи с этим научное обоснование технически надежных и экономически эффективных мер защиты является важной общегосударственной задачей.

Выделено два основных типа мер защиты от паводков: ситуационные и превентивные. Согласно предложенному функционально-стоимостному принципу оценки этих мер, в зонах риска интенсивных часто повторяющихся паводков превентивные меры являются более эффективными, по сравнению с ситуационными.

Выделено две основные, функционально противоположные по характеру выполнения, альтернативы превентивных мер защиты от паводков с использованием гидротехнических сооружений, первая из которых – увеличение пропускной способности русел рек в зонах риска паводков, а вторая – уменьшение максимальных расходов паводковых

потоков в зонах риска с помощью аккумуляционных водохранилищ. Выдвинута гипотеза и доказана возможность снижения общих затрат на строительство защитных гидротехнических сооружений путем комбинации первой и второй альтернативы.

Оптимальное распределение паводковых потоков с применением комбинированной альтернативы предложено осуществлять новым способом – методом бифуркации базиса.

Для его практического применения на стадии проектирования систем превентивной защиты от паводков в речных бассейнах предложено два алгоритма, предусматривающих выполнение пробных расчетов стоимости строительства защитных гидротехнических сооружений в зависимости от коэффициента распределения расходов регулируемых ими паводковых потоков. По первому алгоритму обработке результатов пробных расчетов предложено выполнять методом наименьших квадратов, а по второму – методом последовательного приближения. Второй алгоритм отличается от первого более удобной и доступной для проектировщиков поисковой стратегией.

### Библиографический список

1. Авакян, А. Б. Наводнения / А. Б. Авакян, А. А. Полюшкин // Природа. – 1990. – № 8. – С. 12-20.
2. Козьменко, С. Н. Экономика катастроф (инвестиционные аспекты) / С. Н. Козьменко. – Киев: Наукова думка, 1997. – 204 с.
3. Протипаводковий захист. Інформаційно-аналітична довідка щодо проблем комплексного протипаводкового захисту територій регіонів України від катастрофічних паводків та мінімізації збитків від шкідливої дії вод [Електронний ресурс] : Протипаводковий захист / Державне агентство водних ресурсів України. Офіційний сайт. – Режим доступу: <http://www.scwm.gov.ua/index.php>.
4. Швец, Г. И. Выдающиеся гидрологические явления на юго-западе СССР / Г. И. Швец. – Л.: Гидрометеоздат, 1972. – 512 с.
5. Петроченко, В. И. Научно-методическое обоснование систем превентивной противопаводковой защиты территорий в бассейнах рек / В. И. Петроченко, А. В. Петроченко // Вестник Брестского государственного технического университета – 2018. – № 2 (110): Водохозяйственное строительство и теплоэнергетика – С. 44-48.
6. Петроченко, В. І. Метод біфуркації базису та його застосування при розробці проектів захисту від шкідливої дії вод / В. І. Петроченко // Збірник матеріалів Міжнародної науково-практичної конференції «Водні ресурси України та меліорація земель» / Держводагентство України, ІВПіМ НААН. – К., 2013. – С. 12-14.

Поступила 10.06.2019

## РЕСУРСОЭКОНОМНЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ РЕГЛАМЕНТ СКАШИВАНИЯ И УДАЛЕНИЯ ТРАВЯНОЙ И ВОДНОЙ РАСТИТЕЛЬНОСТИ ПО БЕРЕГАМ И РУСЛАМ КАНАЛОВ В ПОЛЕСЬЕ

*Н. М. Авраменко, кандидат технических наук*

*Е. Н. Яцушкевич, ведущий инженер-гидротехник*

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

### **Аннотация**

Изложены результаты исследований по установлению повторности и оптимальных сроков проведения скашивания и удаления травяной и водной растительности по берегам и руслам каналов. Установлено, что эти работы в Полесье достаточно проводить 1 раз в год. Оптимальными сроками для этого является период с первой декады августа до начала первой декады сентября. Соблюдение этих условий даст следующие преимущества перед существующим ныне технологическим регламентом проведения уходных работ на каналах. Во-первых, сокращение в 2 раза требуемой протяженности скашивания позволит уменьшить затраты труда на выполнение механизированных и ручных работ в расчете на 1 км окоски каналов с шириной откосов 1,9–5,5 м соответственно на 0,84–2,96 маш.-ч и 2,28–6,24 чел.-ч. Во-вторых, в установленный оптимальный период скашивания создаются благоприятные, с точки зрения малого наличия вдоль каналов неубранных сельскохозяйственных культур, условия для его выполнения.

**Ключевые слова:** каналы, травяная и водная растительность, скашивание, повторность, оптимальные сроки, экономия затрат труда.

### **Abstract**

**N. M. Avramenko, E. N. Yatsushkevich**

### **RESOURCE-SAVING TECHNOLOGICAL REGULATION MOWING AND REMOVAL OF GRASS AND WATER VEGETATION ALONG THE BANKS AND BEDS OF CHANNELS IN POLESIE**

The results of research aimed at establishing the frequency and optimal timing of mowing and removal of grass and aquatic vegetation along the banks and beds of channels. Established that this work is enough to be done 1 time per year. The optimal timing is the period from the first decade of August till the beginning of the first decade of September. Compliance with these conditions will give the following advantages over the current technological regulations for the care work on the channels. First, a 2-fold reduction in the required length of mowing will reduce labor costs for mechanized and manual work per 1 km of channel strips with a slope width of 1.9–5.5 m, respectively, by 0.84–2.96 machine-hour and 2,28–6,24 man-hour. Secondly, in the established optimal period of mowing, favorable conditions for its implementation are created, in terms of the small presence along the channels of untidy crops.

**Keywords:** channels, herbal and aquatic vegetation, mowing, repeated, the optimal time, saving labor costs.

### **Введение**

В технологический комплекс очистки каналов от растительности входит ряд последовательно выполняемых подготовительных и основных работ.

Первоначальной операцией является подготовка берм и откосов к скашиванию. С них удаляют посторонние предметы (камни, древесину и др.). Древесная растительность толщиной более 2 см по шейке должна быть вырублена заподлицо и удалена из зоны работ. Затем вешками обозначают плохо заметные сооружения, знаки береговой обстановки и т. п. Подготовительные работы завершают за 3–4 дня до начала скашивания.

Технологический регламент на скашивание и удаление травяной и водной растительности по берегам и руслам каналов включает:

- подготовку берм и откосов к скашиванию;
- окашивание берм;
- окашивание откосов;
- удаление скошенной растительности с откосов каналов;
- окашивание русла каналов.

Технологический регламент предусматривает использование различного типоразмера мелиоративных косилок в зависимости от ширины окашиваемого откоса, исходя из наличия их в эксплуатационных организациях и обеспечения максимальной механизации работ с доработкой откосов, в случае необходимости, вручную.

В настоящее время для окашивания берм каналов применяются косилки АС-1 (КДН-210, КРН-2,1)

с шириной захвата 2,1 м, а для окашивания откосов – Л-501Д, КРД-1,5, К-78М, очиститель каналов ОКН-0,5 с шириной захвата роторных косилок 0,5–1,9 м. Максимальная ширина окашиваемых откосов составляет 5,5 м [1].

На каналах значительной протяженности работу обычно ведут звеньевым способом. При этом три-четыре косилки следуют одна за другой: первая окашивает берму, вторая – верхнюю часть откоса, третья и четвертая – низлежащую часть откоса по полосам.

При наличии переездов через русла применяют круговой способ движения косилок по левой и правой бермам канала, а при их отсутствии – возвращение холостым ходом на исходную позицию.

После прохода тракторных косилок оставшиеся участки травостоя в недоступных местах окашивают вручную или мотокосом «Хускварна». Скошенную траву с откосов и берм каналов убирают вручную.

Ручное окашивание применяют также при минимальной полосе окашивания откоса до 0,4 м, поскольку применение тракторных косилок в этом случае не рационально.

Окашивание русла каналов, заросших сорной гидрофитной растительностью (тростником, камышом,

рогозом, аиром болотным, хвощом, сабельником, осоками), а также древесной порослью диаметром до 0,2 м производят мотокосом «Хускварна» после их обработки глифосатосодержащими гербицидами.

Согласно [1, 3] и действующим в настоящее время «Правилам эксплуатации (обслуживания) мелиоративных систем и отдельно расположенных гидротехнических сооружений» [4] установлена следующая периодичность и сроки окашивания каналов от растительности:

- для открытой осушительной сети – ежегодно не менее 1 раза в год в период с мая по октябрь;
- для проводящих и магистральных каналов – не менее двух раз за сезон:
  - 25 мая – 20 июля;
  - 30 июля – 15 октября.

Обычно в условиях Полесья первую окоску каналов начинают в конце мая – начале июня и завершают в июле. Время второй окоски приходится на период с конца августа по сентябрь.

Возможность двукратной окоски зависит от наличия технических средств в эксплуатационных мелиоративных организациях и выделяемого на эти цели объема финансирования.

### Результаты исследований и их обсуждение

До 2012 г. предприятиям мелиоративных систем (ПМС) выделялись бюджетные средства на окашивание внутрихозяйственной и межхозяйственной открытой сети. Начиная с 2012 г. бюджетные средства на окашивание внутрихозяйственной сети перестали выделяться государством, поэтому в последующие годы производилось окашивание только межхозяйственной сети каналов. Анализируя данные по окашиванию открытой сети Лунинецким ПМС за периоды 2005–2011 и 2012–2018 гг. (табл. 1, 2), приходим к выводу, что от 20 до 40% требуемой для окоски

протяженности каналов не окашивались даже по одному разу за сезон, хотя окоску начинали обычно в конце мая – начале июня и завершали в сентябре. Кратность окоски колебалась в пределах от 0,6 до 1,2. Из всех рассматриваемых 14-ти лет лишь в пяти (2008, 2012, 2014, 2015 и 2016 гг.) кратность окоски составляла 1,0–1,2. Средние величины кратности окоски в обоих случаях равнялись 0,5–0,8, т. е. 50–80 % требуемой для окашивания протяженности каналов было окошено в среднем лишь 1 раз за сезон.

Таблица 1 – Данные по окашиванию каналов на мелиоративных системах Лунинецкого района Брестской области в 2005–2011 гг.

Годы	Протяженность открытой внутрихозяйственной и межхозяйственной сети, км	Окошено каналов, всего		Кратность окоски всей сети каналов, раз
		км	%	
2005	3635	2971	81,7	0,8
2006	3635	2550	70,2	0,7
2007	3638	2730	75,0	0,7
2008	3640	4008	110,1	1,1
2009	3650	2330	63,8	0,6
2010	3658	2872	78,5	0,8
2011	3658	2115	57,8	0,6
Среднее за 2005–2011 гг.	3644	2797	76,8	0,8

*Таблица 2 – Данные по окашиванию каналов на мелиоративных системах Лунинецкого района Брестской области в 2012–2018 гг.*

Годы	Протяженность открытой внутрихозяйственной и межхозяйственной сети, км	Окошено каналов, всего		Кратность окоски всей сети каналов, раз
		км	%	
2012	3691	2413	65,4	0,7
2013	3702	1565	42,3	0,4
2014	3713	1986	53,5	0,5
2015	3718	2151	57,9	0,6
2016	3720	2313	62,2	0,6
2017	3733	1301	34,9	0,3
2018	3752	1778	47,4	0,5
Среднее за 2012–2018 гг.	3718	1931	51,9	0,5

Поскольку окашивание каналов не всегда удается провести даже единожды, то для достижения эффективности весьма важно установить оптимальные сроки обязательного одноразового окашивания каналов. При этом важно не допустить, чтобы после его выполнения в течение периода вегетации трав не сформировался травостой, требующий проведения следующего скашивания. Так, например, если скашивание травостоя провести в начале июня, то к концу июля обязательно сформируется полноценный 2-й укос, а затем после скашивания к концу вегетации трав возможно формирование полноценного 3-го укоса.

Исследованиями [5] для торфянисто-глеевых почв Полесья установлено следующее распределение средних величин интенсивности нарастания абсолютно сухой массы злаковых трав на фоне удобрений  $N_{180} P_{90} K_{180}$  (табл. 3).

Этими же исследованиями установлено, что в период формирования третьего укоса злаковых трав (конец июля – сентябрь) интенсивность нарастания абсолютно сухой массы злаковых трав колеблется в пределах 0,190–0,300 ц/га в сут. в зависимости от гидротермических показателей периода.

Из данных исследований продуктивности злаковых трав на безазотном фоне ( $P_{60} K_{150}$ ) на полевом севооборотном стационаре Полесской опытной станции следует, что интенсивность нарастания абсолютно сухой массы трав в период формирования

третьего укоса составляла 0,140–0,220 ц/га в сут. в зависимости от погодных условий.

Следует заметить, что если травы не скашивать в конце мая – начале июня (пропустить 1-й укос), то в дальнейшем они незначительно увеличивают свою продуктивность (по выходу абсолютно сухой массы), выколашиваются и обсеменяются. Зрелые семена осыпаются на землю, способствуя тем самым увеличению в дальнейшем густоты травостоя на бермах и откосах каналов.

Из приведенных данных следует, что лучшим временем окоски каналов следует считать период август – начало сентября, когда после ее проведения создаются условия для получения на бермах и откосах каналов урожайности трав не более величины продуктивности пятого цикла отрастания пастбищ (примерно 6–10 ц/га а. с. м.).

Для изучения эффективности одноразовой окоски, установления ее оптимальных сроков, эффективности перехода с двухразовой на одноразовую окоску на проводящем канале Б-3-0-6-1 и магистральном канале Б-3 мелиоративной системы (МС) «ПОМС» Лунинецкого района в 2011 г. проведены наблюдения за формированием урожайности травостоя на бермах и откосах каналов (рис. 1, 2, 3). Данные по урожайности трав приведены в табл. 4, 5, 7 и 8.

*Таблица 3 – Интенсивность нарастания абсолютно сухой массы злаковых трав на торфянисто-глеевых почвах Полесья*

Периоды	21.04–31.05	01.06–30.06	01.07–31.07	01.08–31.08	01.09–30.09
Интенсивность нарастания, ц/га · в сут.	0,460	0,420	0,370	0,300	0,200



**Таблица 4 – Урожайность трав и высота травостоя на варианте двухразовой окоски проводящего канала Б-3-0-6-1 мелиоративной системы «ПОМС» (ПК 0 – ПК 1+50)**

№ учетных точек	Берма			Откос			Среднее по берме и откосу		
	Урожайность, ц/га		Средняя высота растений, см	Урожайность, ц/га		Средняя высота растений, см	Урожайность, ц/га		Высота растений, см
	з. м.	а. с. м.		з. м.	а. с. м.		з. м.	а. с. м.	
Данные учета 01.06.2011 г. (1-й укос, период окоски – 01...06.06)									
T.1	275	66,0	125	245	62,4	119	260,0	64,2	122
T.2	272	65,3	126	258	64,5	109	265,0	64,9	117
T.3	266	66,5	136	241	62,5	120	253,5	64,5	128
Среднее	271,0	65,9	129,0	248,0	63,1	116	259,5	64,5	122
Данные учета 04.08.2011 г. (2-й укос, период окоски – 04...09.08)									
T.1	120	36,0	83	192	54,3	74	156,0	45,2	78
T.2	144	41,0	61	112	36,6	51	128,0	38,8	56
T.3	152	42,6	80	160	44,8	69	156,0	43,7	74
T.4	280	66,2	72	128	42,6	53	204,0	54,4	62
Среднее	174,0	46,4	74	148	44,6	62	161,0	45,5	68
Данные учета 06.10.2011 г. (травостой под зиму не скашивался)									
T.1	69,3	18,7	72	39,8	10,7	45	54,6	14,7	58
T.2	46,0	11,9	62	29,8	8,0	40	37,9	10,0	51
T.3	49,6	12,9	66	36,0	9,4	42	42,8	11,2	54
T.4	59,5	15,5	68	36,4	9,5	43	48,0	12,5	55
Среднее	56,1	14,8	67	35,5	9,4	42	45,8	12,1	54
Суммарная урожайность, ц/га	501,1	127,1	–	431,5	117,1	–	466,3	122,1	–

**Таблица 5 – Урожайность трав и высота травостоя на варианте однократной окоски проводящего канала Б-3-0-6-1 мелиоративной системы «ПОМС» (ПК 1+50 – ПК 3)**

№ учетных точек	Берма			Откос			Среднее по берме и откосу		
	Урожайность, ц/га		Средняя высота растений, см	Урожайность, ц/га		Средняя высота растений, см	Урожайность, ц/га		Высота растений, см
	з. м.	а. с. м.		з. м.	а. с. м.		з. м.	а. с. м.	
Данные учета 01.06.2011 г. (травостой не скашивался)									
T.1	280	67,2	121	256	64,1	117	268,0	65,6	119
T.2	255	63,8	112	238	59,5	116	246,5	61,6	114
T.3	260	62,4	113	240	62,5	110	250,0	62,5	111
Среднее	265,0	64,5	115	244,7	62,0	114	254,8	63,3	114
Данные учета 04.08.2011 г. (1-й укос, период окоски – 04...09.08)									
T.1	238	76,2	122	184	66,2	115	211,0	71,2	119
T.2	232	74,2	120	165	60,4	121	198,5	67,3	120
T.3	232	75,9	119	172	63,0	118	202,0	69,4	118
T.4	230	72,5	118	170	62,2	118	200,0	67,4	118
Среднее	233,0	74,7	120	172,8	63,0	118	202,9	68,9	119
Данные учета 06.10.2011 г. (травостой под зиму не скашивался)									
T.1	46,4	11,6	65	29,3	7,3	41	37,9	9,4	53
T.2	49,6	12,3	62	31,0	7,7	39	40,3	10,0	50
T.3	46,4	11,5	60	29,6	7,3	38	38,0	9,4	49
T.4	46,0	11,4	59	28,7	7,2	37	37,4	9,3	48
Среднее	47,1	11,7	62	29,6	7,4	39	38,4	9,5	50
Суммарная урожайность, ц/га	280,1	86,4	–	202,4	70,4	–	241,3	78,4	–

Анализируя данные табл. 7–8, приходим к выводу, что после окашивания магистрального канала Б-3 в период 15...17 июня к концу августа на канале сформировался травостой с продуктивностью 183,6-197,5 ц/га зеленой массы, или 42,1–47,1 ц/га абсолютно сухой массы, который подлежал обязательному скашиванию. После окоски канала в период 31.08...1.09.2011 г. к концу вегетации на канале сформировался травостой с продуктивностью 18,0–20,4 ц/га зеленой массы, или 7,0–7,1 ц/га абсолютно

сухой массы. Величина интенсивности нарастания абсолютно сухой массы трав в этот период составляла на канале 0,194–0,197 ц/га в сут. и соответствовала среднемноголетним ее величинам в засушливых условиях (табл. 9). Следует обратить внимание, что урожайность абсолютно сухой массы трав в конце вегетации существенно не различалась по вариантам двухразовой и однократной окоски на изучаемых каналах (табл. 4, 5, 7, 8).

Таблица 6 – Интенсивность нарастания абсолютно сухой массы трав на канале Б-3-0-6-1 МС «ПОМС» в 2011 г.

Варианты окоски	Интенсивность нарастания абсолютно сухой массы трав, ц/га в сут. а. с. м.		
	Периоды		
	21.04 – 01...06.06	01...06.06 – 04...09.08	09.08 – 06.10
Двухразовая окоска	1,536	0,771	0,209
	скашивалось 01...06.06, 1-й укос	скашивалось 04...09.08, 2-й укос	не скашивалось; сформировался небольшой подзимний 3-й укос
Однократная окоска	1,505	0,087	0,164
	не скашивалось	скашивалось 04...09.08; скашивался травостой, выросший за период 21.04...04.08	не скашивалось
	0,649		сформировался небольшой подзимний 2-й укос
	1-й укос; в среднем за период 21.04...04.08		

Таблица 7 – Урожайность трав и высота травостоя на магистральном канале Б-3 (ПК 8 - ПК10) мелиоративной системы «ПОМС» при двухразовой окоске

№ учетных точек	Берма			Откос			Среднее по берме и откосу		
	Урожайность, ц/га		Средняя высота растений, см	Урожайность, ц/га		Средняя высота растений, см	Урожайность, ц/га		Высота растений, см
	з. м.	а. с. м.		з. м.	а. с. м.		з. м.	а. с. м.	
Данные учета 15.06.2011 г. (1-й укос, период окоски – 15...17.06)									
Т.1	230	55,3	104	201	48,1	93	215,5	51,7	100
Т.2	220	54,1	102	194	47,8	90	207,0	51,0	98
Т.3	225	54,7	103	198	48,0	92	211,5	51,4	100
Т.4	225	54,7	102	198	47,7	92	211,5	51,2	99
Среднее	225,0	54,7	103	197,8	47,9	92	211,4	51,3	99
Данные учета 31.08.2011 г. (2-й укос, период окоски – 31.08...01.09)									
Т.1	229	52,9	84	217	44,8	77	223,0	48,8	80
Т.2	190	39,0	82	156	38,1	77	173,0	38,6	80
Т.3	193	39,6	82	158	47,1	77	175,5	43,4	80
Т.4	176	38,8	87	150	36,6	97	163,0	37,7	92
Среднее	197,0	42,6	84	170,2	41,6	82	183,6	42,1	83
Данные учета 06.10.2011 г. (травостой под зиму не скашивался)									
Т.1	18,5	8,0	39	16,2	5,1	35	17,4	6,5	37
Т.2	18,5	7,5	40	23,1	9,8	47	20,8	8,6	43
Т.3	18,5	7,4	42	20,8	8,0	45	19,6	7,7	43
Т.4	15,0	5,6	37	13,9	5,2	36	14,4	5,4	36
Среднее	17,6	7,1	40	18,5	7,0	41	18,0	7,0	40
Суммарная урожайность, ц/га	439,6	104,4	–	386,5	96,5	–	413,0	100,4	–

*Таблица 8 – Урожайность трав и высота травостоя на магистральном канале Б-3 (ПК16 – ПК18) мелиоративной системы «ПОМС» при двухразовой окоске*

№ учетных точек	Берма			Откос			Среднее по берме и откосу		
	Урожайность, ц/га		Средняя высота растений, см	Урожайность, ц/га		Средняя высота растений, см	Урожайность, ц/га		Высота растений, см
	з. м.	а. с. м.		з. м.	а. с. м.		з. м.	а. с. м.	
Данные учета 15.06.2011 г. (1-й укос, период окоски – 15...17.06)									
T.1	240	57,6	106	209	50,1	95	224,5	53,8	100
T.2	230	56,4	104	202	49,8	92	216,0	53,1	98
T.3	235	57,0	105	206	50,0	94	220,5	53,5	100
T.4	238	57,3	106	208	50,1	95	223,0	53,7	100
Среднее	235,8	57,1	105	206,2	50,0	94	221,0	53,5	100
Данные учета 31.08.2011 г. (2-й укос, период окоски – 31.08...1.09)									
T.1	273	59,8	75	131	40,8	71	202,0	50,3	73
T.2	172	42,6	80	116	26,2	70	144,0	34,4	75
T.3	190	36,9	70	166	55,1	81	178,0	46,0	76
T.4	297	63,8	87	235	51,5	80	266,0	57,6	84
Среднее	233,0	50,8	78	162,0	43,4	76	197,5	47,1	77
Данные учета 06.10.2011 г. (травостой под зиму не скашивался)									
T.1	30,1	11,5	46	13,9	3,9	31	22,0	7,7	39
T.2	23,1	7,9	42	18,5	6,3	32	20,8	7,1	37
T.3	18,5	6,1	37	13,9	4,8	31	16,2	5,4	34
T.4	25,5	9,2	44	19,7	7,1	34	22,6	8,2	39
Среднее	24,3	8,7	42	16,5	5,5	32	20,4	7,1	37
Суммарная урожайность, ц/га	493,1	116,6	–	384,7	98,9	–	438,9	107,7	–

*Таблица 9 – Интенсивность нарастания абсолютно сухой массы трав на магистральном канале Б-3 (ПК16 - ПК18) мелиоративной системы «ПОМС» в 2011 г.*

Участок канала	Интенсивность нарастания абсолютно сухой массы трав, ц/га в сут. а. с. м.		
	Периоды		
	21.04 – 15...17.06	15...17.06 – 31.08...01.09	1.09 – 06.10
ПК 8 – ПК 10	0,933	0,957	0,194
ПК 16 – ПК 18	0,973	1,070	0,197
ПК 8 – ПК 10, ПК 16 – ПК18	скашивалось 15...17.06, 1-й укос	скашивалось 31.08...01.09, 2-й укос	не скашивалось, сформировался небольшой подзимний 3-й укос

Из полученных результатов исследований и практического опыта проведения уходовых работ на каналах следует, что оптимальными сроками проведения одноразовой окоски является период с первой декады августа до начала первой декады сентября. За оставшийся период до полного завершения вегетации трав возможно формирование травостоя с продуктивностью до 10–15 ц/га абсолютно сухого вещества, или 40–60 ц/га зеленой массы, величина которой вполне достаточна для оптимальной перезимовки трав на бермах и откосах каналов. При этом

следует заметить, что суммарная урожайность трав за период их вегетации на бермах превышает ее величину на откосах на 15–30 %.

Переход с двухразовой окоски каналов на одноразовую позволит в два раза сократить требуемую ее протяженность. Расчеты показывают, что за счет этого уменьшатся затраты труда на выполнение механизированных работ (на 0,84–2,96 маш.-ч) и ручных (на 2,28–6,24 чел.-ч) – в расчете на 1 км требуемой протяженности окашивания при ширине откосов каналов 1,9–5,5 м [1, 3].

**Выводы**

1. Проведенными исследованиями установлено, что в почвенно-климатических условиях Полесья скашивание и удаление травы, водной растительности по берегам и руслам каналов достаточно проводить ежегодно 1 раз в сезон. Оптимальными сроками для проведения этих работ является период с первой декады августа до начала первой декады сентября.

2. Одноразовое окашивание каналов с шириной откосов 1,9–5,5 м позволит уменьшить затраты труда на выполнение механизированных и ручных работ соответственно на 0,84–2,96 маш.-ч и 2,28–6,24 чел.-ч в расчете на 1 км окоски за счет сокращения в 2 раза требуемой ее протяженности.

3. Установленные исследованиями оптимальные сроки скашивания и удаления травянистой и водной растительности по берегам и руслам каналов имеют еще две важные особенности. Во-первых, в этот период на прилегающих к каналам полях практически завершается уборка основных сельскохозяйственных культур, что создает условия для беспрепятственного проведения механизированных уходных работ. Во-вторых, предлагаемые оптимальные сроки совпадают с меженным периодом воды в каналах, что также способствует более качественному выполнению этих работ.

**Библиографический список**

1. Титов В. Н. Уходные и ремонтные работы на открытой сети / В. Н. Титов, Г. Ю. Левин // Методические указания по выполнению уходных и ремонтных работ на мелиоративных системах. – Минск: Институт мелиорации, 2015. – Ч. 1 – С.10-13, 44-46.
2. Технология и организация ремонта осушительных систем и механизированного ухода. – М. : Союзгипроводхоз, 1989. – 66 с.
3. Механизация уходных и ремонтных работ на мелиоративных системах Брестской области. – Брест: Брестмелиоводхоз, 1995. – 11 с.
4. Правила эксплуатации (обслуживания) мелиоративных систем и отдельно расположенных гидротехнических сооружений: постановление Совета Министров Республики Беларусь, 10.07.2009 г. № 920. – Минск, 2009. – С. 24.
5. Авраменко, Н. М. Орошение культурных пастбищ подземными водами на торфянисто-глеевых почвах Полесья: автореф. дис. на соиск. уч. степени канд. техн. наук / Н. М. Авраменко. – Минск, 1992. – 24 с.

Поступила 15.05.2019

# ЗЕМЛЕДЕЛИЕ И РАСТЕНИЕВОДСТВО

УДК 631.51

## ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ШИРОКОЗАХВАТНОЙ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ТЕХНИКИ НА МЕЛИОРАТИВНЫХ ОБЪЕКТАХ

**А. И. Митрахович**, кандидат технических наук, доцент

**В. М. Макоед**, ведущий научный сотрудник

**А. П. Сергееня**, инженер

**С. М. Лавушев**, инженер

РУП «Институт мелиорации»,  
г. Минск, Беларусь

### Аннотация

В статье рассмотрены факторы, влияющие на эффективность обработки почвы широкозахватной сельскохозяйственной техникой на мелиоративных объектах. Отмечается, что эффективность ее работы зависит во многом от размеров контуров полей, особенно на площадях с густой сетью каналов. Показаны потери времени на поворотной полосе в зависимости от длины гона, а также в результате снижения производительности машин из-за мелкоконтурности. Рекомендуются возможные радиусы поворотов в зависимости от ширины захвата, а также параметры загонов с учетом расположения осушителей и сельскохозяйственного использования мелиорированных земель. Полученные данные позволят разрабатывать мелиоративные системы усовершенствованных конструкций, которые обеспечат интенсивное использование агрегатов с широкозахватной сельскохозяйственной техникой за счет частичной замены каналов пластмассовыми трубопроводами большого диаметра.

**Ключевые слова:** контурность полей, норма времени, поворотная полоса, радиус поворота, длина гона, загон.

### Abstract

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

### FEATURES OF THE USE OF LARGE-SCALE AGRICULTURAL EQUIPMENT AT LAND-RECLAMA- TION FACILITIES

The article discusses the factors affecting the efficiency of tillage by large-scale agricultural equipment at land reclamation facilities. It is noted that the effectiveness of its work largely depends on the size of the contours of the fields, especially in areas with a dense network of channels. The time losses on the headland are shown depending on the rut length, as well as a result of a decrease in the productivity of the machines due to the small contour. Possible turning radii are recommended depending on the width of the grip, as well as the parameters of the pens, taking into account the location of the dryers and the agricultural use of reclaimed land. The data obtained will allow the development of land-improvement systems of improved designs, which will ensure the intensive use of aggregates with large-scale agricultural equipment due to the partial replacement of channels with plastic pipes of large diameter.

**Keywords:** contour fields, the rate of time, headland, turning radius, the length of the rut, pen.

### Введение

Эффективность работы сельскохозяйственной техники на полях во многом зависит от размеров и контурности полей, особенно при использовании широкозахватных агрегатов.

В настоящее время в сельском хозяйстве используется техника с рабочей шириной до 10–12 м, такая как: культиватор универсальный для сплошной обработки почвы серии БПК (БПК–10 и БПК–12

с рабочей шириной 10 и 12 м соответственно), машины для внесения жидких органических удобрений МЖУ-20-2 (ширина захвата – 12 м), грабли ГР-700П (ширина 7,56 м) и др. [1].

Одним из важнейших приемов повышения производительности труда в земледелии, сокращения потребности в орудиях и машинах для обработки почвы, а также улучшения качества работ является увеличение скоростей на всех видах полевых работ.

Установлено, что чем выше скорость обработки почвы, тем при большей влажности можно начинать обрабатывать почву, а следовательно, можно раньше начинать и посевные работы.

Дополнительные количества воды, которая может остаться в почве при более ранней ее обработке, может составлять 150 м<sup>3</sup>/га, что иногда является решающим для получения дружных всходов сельскохозяйственных культур. Опыт показал, что при повышении скорости движения существующих плугов до 6,5–7,5 км/ч пашня становится ровнее, почва хорошо крошится, плуги идут устойчиво, горючее экономится [2].

Проблема обеспечения нормальных условий для работы широкозахватной техники весьма актуальна при обработке мелиорированных площадей с густой сетью открытых каналов. Они создают большую контурность полей, при этом увеличиваются норма

времени и затраты на обработку почвы, снижается качество посевных работ в местах разворота сельскохозяйственных машин, площади которых часто зарастают сорняками. Обрабатывающая техника проходит значительные расстояния. Например, при вспашке 100 га земли тракторный агрегат проходит 700–800 км. Из общего пути, проходимого агрегатом, на холостые заезды на загонах приходится в среднем 8–12 % (а на коротких участках – до 40 %), причем для конкретного поля эта величина зависит от выбора способа движения [3].

При вспашке 100 га трактор типа МТЗ с трехкорпусным плугом проходит путь около 1050–1100 км, при этом на холостые ходы приходится в среднем 5–12 %, а на коротких участках – более. Сокращение холостых ходов до минимума имеет важное значение для повышения производительности МТА и снижения затрат на единицу площади. Всякий лишний километр, пройденный агрегатом вхолостую, – это непроизводительные затраты времени и топлива. Неудачный выбор способа движения и связанных с ним поворотов агрегата на поворотной полосе, особенно мелкоконтурных участков, приводит к неравномерному износу ходовой части. Потери времени на поворотной полосе достигает 10 % и более общего времени работ, происходит срыв верхнего слоя почвы, повреждаются растения.

### Результаты исследований и их обсуждение

Время, затрачиваемое на полезную работу агрегатов, оценивается общим коэффициентом использования времени смены  $\tau$  [3]:

$$T_p = \tau \cdot T_{см}; \quad T_{см} = T - T_{п.з.}, \quad (1)$$

где  $T_{см}$  – время смены (время работы за вычетом подготовительно-заключительного времени);

$T_p$  – время полезной работы.

Для приближенных расчетов можно принимать значения  $\tau$  основных технологических операций в функции длины гона (для скоростей 5–6 км/ч) по табл. 1.

Таблица 1 – Примерные значения коэффициента использования времени смены  $\tau$

Вид работ	Тип трактора	Значение коэффициента $\tau$ при длине гона, м					
		200	300	400	500	1000	1500
Пахота	колесный	0,64	0,70	0,76	0,80	0,86	0,88
	гусеничный	0,61	0,68	0,75	0,78	0,81	0,84
Культивация	колесный	0,67	0,72	0,77	0,81	0,84	0,87
Боронование	гусеничный	0,71	0,73	0,76	0,80	0,82	0,84
Посев зерновых	колесный	0,64	0,68	0,73	0,78	0,82	0,85
Внесение удобрений	гусеничный	0,60	0,63	0,67	0,70	0,73	0,76
Посев пропашных	колесный	0,62	0,66	0,71	0,76	0,80	0,82
Кошение трав	колесный	0,76	0,78	0,80	0,82	0,84	0,86
Уборка зерновых	колесный	0,72	0,74	0,76	0,78	0,80	0,81

Как видим, этот коэффициент изменяется от 0,60 до 0,86 при длине гонов от 200 до 1000 м. На снижение производительности сельскохозяйственных машин из-за мелкоконтурности полей указывают многие исследователи. Например, на лессово-западных землях Горецкого района Могилевской области производительность снижается при пахоте на 30–40 %, при культивации и бороновании – на 10–12, на посеве зерновых культур – до 15 % [4].

По данным литовских ученых, среднее время всех полевых механизированных работ (вспашка, дискование, прикатывание, сев и др.) прямо зависит от величины площади обрабатываемого контура, например, при площади контура до 1 га полезное время работы – 57 %, при 3–5 га – 75 %, при 15–20 га – 85 %, а при величине контура более 2,5 га – 90 % [5, 6].

По кинематике применяемых агрегатов сельскохозяйственные работы подразделяются на следующие группы.

1-я группа – работы, выполняемые симметричными агрегатами при топовом или диагональном движении: посев, культивация, междурядная обработка и др. Наиболее часто применяют челночный или перекрестный способы движения.

2-я группа – работы, выполняемые асимметричными агрегатами при топовом движении (пахотная работа, уборка свеклоуборочными агрегатами, кукурузным початкообразователем и др.) при способе движения всвал, вразвал, с чередованием загонов всвал и вразвал.

3-я группа – работы при круговом способе движения (уборка зерновых и других культур).

На рис. 1 показаны основные схемы движения агрегатов.

Челночный способ используется при культивации, дисковании, бороновании, посеве, прикатывании, вспашке оборотными плугами.

Способы всвал, вразвал, чередование – при вспашке отвальными плугами.

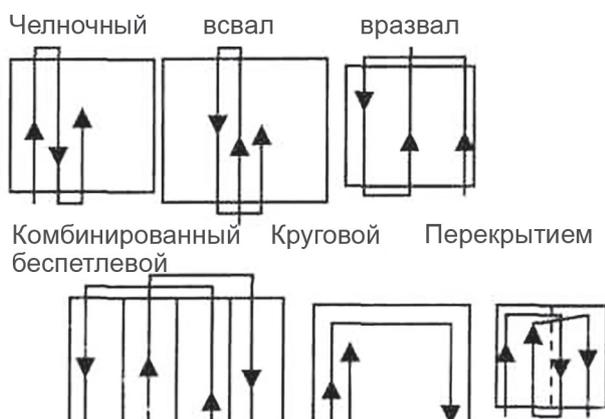


Рисунок 1 – Основные схемы движения агрегатов

Комбинированный беспетлевой эффективен при вспашке отвальными плугами, когда нецелесообразны петлевые повороты из-за больших масс агрегатов.

Способ перекрытием выполняется на сплошной культивации, междурядной оборотке, когда агрегат широкозахватный и нужны беспетлевые повороты. Ширина загона кратна ширине захвата агрегата.

Круговой способ движения целесообразно применять для жатвенных агрегатов и косилок.

Размер поворотной полосы зависит от состава агрегата и вида поворота – петлевого или беспетлевого. Минимальная ширина поворотной полосы  $E_{min}$ , м определяется:

– при петлевых поворотах (грушевидном или восьмеркообразном):

$$E_{min} = 3R + l(3,31),$$

где  $R$  – радиус поворота агрегата, м;  $l$  – длина выезда агрегата, м.

Радиус поворота агрегата определяется по формуле:

$$R = K_R \cdot B,$$

где  $K_R$  – коэффициент для оценки радиуса поворота;  $B$  – конструктивная ширина захвата агрегата, м.

Ширина захвата разбрызгивателей удобрений и опылителей ядохимикатами значительно превышает их кинематическую ширину, поэтому для таких агрегатов радиус поворота определяется по соотношению:

$$R = 3d_k,$$

где  $d_k = B$  – кинематическая ширина агрегата, т. е. расстояние от продольной оси агрегата, проходящей через кинематический центр, до наиболее удаленных от нее точек агрегата, м.

### Виды поворотов

Угол поворота агрегата может составлять 90 и 180°. Повороты на 90° применяются при круговом, фигурном способах движения агрегата, на 180° – при холостых заездах на концах гонов во время работы агрегата гоновым или диагональным способами.

На практике встречаются различные виды поворотов: беспетлевой, петлевой, перекрестно-петлевой, поворот на 180° – беспетлевой, петлевой, перекрестно-петлевой, односторонне-петлевой, согнуто-петлевой, сдвоенный петлевой и возвратно-петлевой. В зависимости от видов и размеров полей и загонов могут применяться различные виды поворотов.

Траектория движения агрегата состоит из отрезков прямолинейного движения и поворота вокруг некоторого центра. Движение по прямой или рабочий ход является главным элементом

кинематики агрегата. Поворот – это сложное движение по кривой с переменным радиусом.

Минимальный радиус поворота – это наименьший радиус окружности, движение по которой допускается конструктивными параметрами агрегата. Приблизительно его можно определять для колесного трактора по формуле [3]:

$$R_{min} = Lctg\alpha + \frac{B}{2},$$

где  $L$  – продольная база трактора;

$\alpha$  – угол управляемых колес;

$B$  – расстояние между осями поворотных цапф колесного трактора.

Величины радиуса поворота в зависимости от ширины сельскохозяйственных агрегатов и скорости их движения приведены в табл. 2, 3, 4.

Для агрегатов с большой шириной захвата, состоящих из гусеничного трактора с 2–3 прицепными орудиями, радиус поворота может быть принят при расчетах равным ширине захвата агрегата  $R = B$ .

Каждой длине гона должна соответствовать оптимальная ширина загона, которая обеспечивает наибольшую производительность агрегата. Оптимальная ширина загона для движения всвал или вразвал определяется по формуле:

$$C_{opt} = \sqrt{2(LB_p + 8R^2)},$$

где  $L$  – длина гона;

$R$  – наименьший радиус поворота;

$B_p$  – рабочая ширина захвата.

Целесообразная ширина загонов при работе машино-тракторных агрегатов в сельскохозяйственном производстве приведена в табл. 5 [3].

Данными табл. 5 с определенной точностью можно пользоваться при выборе параметров разбивки поля на загоны, однако необходимо принимать во внимание и отдавать предпочтение системе машин с более маневренными свойствами.

Таблица 2 – Радиусы поворота в зависимости от ширины захвата агрегата и коэффициенты увеличения радиусов при повышении скорости движения

Агрегаты	Радиусы поворота при 5 км/ч		Коэффициенты увеличения радиусов при скорости движения, км/ч					
	навесной	прицепной	7		9		12	
Пахотные	$3B_p$	$4,5B_p$	1,05	1,15	1,2	1,42	1,35	1,6
Посевные	$1,1B_p$	$1,6B_p$	1,08	1,32	1,41	1,57	1,58	1,8
1, 2 секции	$0,9 B_p$	$1,1-1,3B_p$	1,08	1,32	1,41	1,57	1,58	1,8
3, 4, 5 секций			1,06	1,25	1,32	1,55	1,46	1,75

Примечание.  $B_p$  – рабочая ширина захвата агрегата.

Таблица 3 – Примерные значения радиуса поворота агрегата в зависимости от ширины захвата (при  $V = 5$  км/ч)

Агрегаты	Радиус поворота в зависимости от ширины захвата $B_p$
<b>Прицепные</b>	
пахотные четырех-, восьмикорпусные	$4,5B_p$
культиваторные двухмашинные	$1,2B_p$
культиваторные трех-, четырехсекционные	$1,0B_p$
бороновальные	$1,0 B_p$
посевные трехсеялочные	$1,3 B_p$
посевные четырех-, пятисеялочные	$1,1 B_p$
<b>Навесные</b>	
пахотные трехсекционные	$0,9B_p$
посевные	$0,9B_p$

Таблица 4 – Коэффициенты для определения радиуса поворота при различных скоростях

Агрегаты	Коэффициенты при скоростях $V$ , км/ч		
	7	9	11
<b>Прицепные</b>			
пахотные	1,15	1,42	1,60
культиваторные	1,20	1,50	1,70
посевные	1,32	1,57	1,85
боронование	1,35	1,68	1,85
<b>Навесные</b>			
пахотные	1,05	1,20	1,35
культиваторные	1,06	1,32	1,46
посевные	1,08	1,41	1,58

*Таблица 5 – Рекомендуемые параметры загонов в зависимости от мощности тракторов на примере аграрного сектора экономики*

Длина гона, м	Ширина загона для тракторов тягового класса, м				
	14кН	30кН	40кН	50кН	60кН
Более 1500	–	110–120	110–120	150–160	160–170
1300–1500	–	100–110	110–120	140–150	150–160
1000–1300	70–80	90–100	100–110	120–140	130–150
700–1000	60–70	80–90	90–100	100–120	115–130
500–700	50–60	70–80	80–90	85–110	95–115
400–500	45–50	60–70	70–80	70–85	75–95
300–400	40–45	50–60	60–70	–	–

*Примечание. Загон – часть рабочего участка для выполнения технологических операций с принятым способом движения.*

### **Выводы**

Проанализировав факторы, влияющие на эффективность обработки почвы широкозахватной техникой на мелиоративных объектах, были установлены наиболее приемлемые параметры величин обрабатываемых полей с точки зрения

коэффициента использования времени смены. Даны рекомендации по размерам загонов и радиусы поворотов техники с учетом расстояний между открытыми осушителями и сельскохозяйственным использованием мелиорированных земель.

### **Библиографический список**

1. Бобровник, А. И. Прицепные агрегаты для внесения полужидкого и жидкого навоза / А. И. Бобровник, П. П. Бегун, Э. В. Дыба // Мелиорация. – 2016. – № 3. – С. 55-60.
2. Бахтин, П. У. Исследование физико-механических и технологических свойств основных типов почв СССР / П.У. Бахтин – М. : Колос, 1969. – 271 с.
3. Фортуна, В. И. Технология механизированных сельскохозяйственных работ / В. И. Фортуна, С. К. Миронюк. – М. : Агропромиздат, 1986. – 302 с.
4. Рудой, А. У. Исследование действия дренажных систем на лесово-западинных землях / А. У. Рудой // Осушительно-увлажнительные системы: сб. науч. работ. – 1986. – С. 91-99.
5. Сакалаускас, А. И. Закрытые коллекторы вместо открытых каналов / А. И. Сакалаускас // Гидротехника и мелиорация. – 1968. – № 8. – С. 67-72.
6. Риекстс, И. А. Опыт строительства крупных дренажных систем в Латвийской ССР / И. А. Риекстс // Гидротехника и мелиорация. – 1968. – № 5. – С. 41-48.

Поступила 20.05.2019

## О КОНВЕЙЕРНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ КОРМОВ НА МЕЛИОРИРОВАННЫХ МИНЕРАЛЬНЫХ ПОЧВАХ В УСЛОВИЯХ ЗЕРНОТРАВЯНОПРОПАШНОГО СЕВООБОРОТА

*П. Ф. Тиво, доктор сельскохозяйственных наук*

*Л. А. Саскевич, старший научный сотрудник*

*Е. А. Бут, младший научный сотрудник*

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

### **Аннотация**

Рассматривается проблема конвейерного производства кормов на мелиорированных землях Поозерья. Показано, что его основой являются многолетние бобовые травы, особенно люцерна посевная и клевер луговой. Установлено, что первая из них превосходит по продуктивности остальные культуры. Дана экономическая оценка возделывания трав, зерновых культур и кукурузы на зеленую массу. Отмечается, что возделывание последней более затратно, чем люцерны.

**Ключевые слова:** *зеленый конвейер, многолетние и однолетние травы, зерновые культуры, кукуруза на зеленую массу, схемы севооборотов.*

### **Abstract**

**P. Ph. Tivo, L. A. Saskevich, E. A. But  
ON THE CONVEYOR PRODUCTION OF FEED  
ON THE RECLAIMED MINERAL SOILS IN TERMS  
OF GRAIN AND GRASS-GROWING CROP  
ROTATION**

The problem of conveyor production of feed on the reclaimed lands of the Poozerie is considered. It has been shown that its basis is perennial leguminous grasses, especially alfalfa and meadow clover. It is established that the first of them surpasses other cultures in productivity. The economic assessment of the cultivation of herbs, cereals and corn for green mass is given. It is noted that the cultivation of the latter is more expensive than alfalfa.

**Key words:** *green conveyor, perennial and annual grasses, cereals, corn for green mass, crop rotation schemes.*

### **Введение**

Высокопродуктивное использование мелиорированных агроландшафтов требует разработки эколого-экономически эффективной системы земледелия, введения научно обоснованных зернотравянопропашных севооборотов с насыщением их поукосными и пожнивными культурами, интенсивной технологией возделывания с минимальными затратами энергии и материальных средств на получение единицы продукции. При этом очень важно не допустить ухудшения плодородия почв в результате водной эрозии, имеющей место на склоновых землях Поозерья.

Пока же эффективность использования мелиорированных минеральных земель в регионе остается недостаточно высокой. То же касается и полевого кормопроизводства, что создает дефицит кормов для общественного животноводства при низком их качестве (избыточное содержание клетчатки при недостатке белка, неблагоприятное сахаропротеиновое соотношение, дисбаланс макро- и микроэлементов).

Это, в свою очередь, удорожает производство молока и мяса. Ситуация осложняется в связи с распространением круглогодичного стойлового содержания вместо пастбищного в теплый период. В данном случае возрастают требования к качеству травяного корма. Решить эту проблему без разработки и освоения сырьевого конвейера на мелиорируемых землях практически невозможно. Планируется его создать за счет клевера, а также кукурузы на зеленую массу и возделывания люцерны и травосмесей на ее основе в выводном поле севооборота.

В условиях Беларуси травы возделывались преимущественно в травосмесях. Зеленая трава из травосмеси не вызывает тимпанита у животных. В случае необходимости она лучше подсушивается, чем трава одних бобовых, теряет меньше самой ценной части растений – листьев, что особенно важно при заготовке сенажа.

Наряду с возделыванием травосмесей возникла настоятельная необходимость включения в полевые

севообороты клевера лугового одногодичного использования как хорошего предшественника и накопителя минерального азота с целью повышения продуктивности зерновых культур.

В зернотравянопропашном севообороте ограничивается прежде всего удельный вес пропашных культур, в частности кукурузы. Последнее вызвано преобладанием в Поозерье склоновых земель, где получила распространение водная эрозия почв. В этих условиях доля многолетних бобовых трав в 8-польном полевом севообороте должна составлять 25 %, что значительно больше, чем кукурузы.

Создание зеленого и сырьевого конвейера для молочных ферм включает в себя следующие операции: выбор кормовых культур; подготовку почвы к посеву; посев семян трав, зерновых культур и кукурузы на зеленую массу и других растений; подкормку минеральными удобрениями; уборку их в оптимальные сроки с целью получения высококачественных кормов с содержанием в одном килограмме сухого

#### **Возможные схемы севооборотов в Поозерье**

Самый высокий уровень интенсификации земледелия, применение удобрений, пестицидов и регуляторов роста растений не могут заменить положительную роль севооборота в повышении продуктивности возделываемых культур, которая без дополнительных затрат увеличивается на 5–7 ц/га корм.ед. При его освоении обеспечивается высокий коэффициент использования питательных веществ почвы и удобрений, улучшение водно-физических свойств и защита почвы от эрозии. Посевы меньше страдают от болезней и сорной растительности. Все это способствует повышению урожая и экономному расходованию средств химизации. Особенно отрицательно реагируют на отсутствие севооборотов озимая и яровая пшеница, тритикале, ячмень. И только кукуруза может возделываться беспрерывно на одном и том же участке в течение двух и более лет.

В Республике Беларусь на клеверопригодных почвах могут получить распространение 8–9-польные зернотравянопропашные (плодосменные) севообороты. Они соответствуют хозяйствам с развитым животноводством.

#### **Культуры зеленого конвейера**

Сельское хозяйство Республики Беларусь ориентировано на производство молока и мяса, поэтому главной задачей земледелия является изготовление кормов. Наибольший эффект достигается при их скармливании в виде зеленой массы. При организации зеленого конвейера вначале рассчитывают общую потребность в зеленых кормах по хозяйству

вещества не менее 10–10,5 МДж обменной энергии и 15–16 % сырого белка. Индикатор уборочной зрелости травы – содержание клетчатки не более 25 % в сухом веществе.

При этом должны учитываться нормы потребления зеленой массы на одну голову в сутки по видам скота: коровы – 55–70 кг, нетели – 40–50, крупный рогатый скот старше года – 30–40, молодняк крупного рогатого скота до года – 15–25 кг.

Определив потребность в зеленых кормах по хозяйству, подсчитывают, сколько и в какие сроки можно их получить на имеющихся естественных и культурных сенокосах и пастбищах.

В зеленый конвейер необходимо включать не только многолетние травы, но и другие полевые культуры, дающие урожай в те периоды, когда наблюдается дефицит кормов из трав. Это, прежде всего, озимая рожь, рапс, сурепица, редька масличная, горчица белая, кукуруза, однолетние бобово-злаковые смеси на зеленую массу.

Высокоэффективными зернотравянопропашными севооборотами являются следующие:

- I.
1. Пар занятой
2. Озимые + пожнивные
3. Пропашные
4. Яровые зерновые с подсевом клевера с тимофеевкой
5. Клевер с тимофеевкой 1-го года пользования
6. Клевер с тимофеевкой 2-го года пользования
7. Озимые зерновые
8. Зернобобовые
- II.
1. Однолетние травы + клевер луговой
2. Клевер
3. Озимые зерновые на зерно
4. Кукуруза на з/м
5. Яровые зерновые с подсевом клевера
6. Клевер
7. Озимые зерновые + пожнивные
8. Овес
9. Яровые зерновые

(ферме), а затем определяют, сколько и в какие сроки можно их получить с пастбищ. При этом руководствуются данными, согласно которым годовая продуктивность культурных пастбищ, созданных на суходолах, распределяется примерно следующим образом: в мае – 17 %, июне – 33, июле – 24, августе – 18, сентябре – 8 %.

Недостающее количество зеленой массы планируется восполнять такими многолетними травами прошлых лет, как клевер, люцерна, а также специальными посевами однолетних кормовых культур: бобово-злаковых смесей, озимой ржи, крестоцветных культур (табл. 1).

При правильной организации пастбищ первыми используются травосмеси с преобладанием раннеспелых трав (лисохвост луговой, кострец безостый, ежа сборная). Однако из-за их несовершенства в большинстве хозяйств функционирование зеленого конвейера начинается с выпаса коров на посевах ржи. Недостаток этой культуры – короткий период использования. Включение в конвейер для ранневесеннего использования озимых сурепицы, рапса, ржи кормового направления позволяет продлить период использования озимых культур на зеленый корм в 2–2,5 раза. При этом раньше всех достигает готовности к использованию на зеленую массу озимая сурепица, затем идет озимый рапс, за ним – сорта ржи зернового направления, и завершать этот цикл целесообразно кормовыми сортами ржи Укосная и Вердена, которые, в отличие от других сортов, имеют нежную зеленую массу, используются более длительное время, хорошо кустятся и стравливаются.

Хорошим дополнением к пастбищам должна стать люцерна. При трехукосном использовании она

обеспечивает получение 450–500 ц/га высокобелковой массы. Глубоко проникающая в подпахотные слои корневая система даже при высоком транспирационном коэффициенте делает эту культуру устойчивой к засухе.

Затраты на покупку семян люцерны по импорту составляют 100 и более долларов США на гектар, которые окупаются уже в первый год пользования за счет высокого урожая и ассимиляции за вегетационный период из воздуха не менее 170–200 кг/га биологического азота, эквивалентного его содержанию в 5,0–5,8 ц аммиачной селитры.

В настоящее время основная масса дополнительного зеленого корма в июне приходится на многолетние бобовые и злаковые травы на пашне. Бобовые травы во многих хозяйствах на 80–90 % представлены раннеспелым клевером в чистых и смешанных со злаками посевах, но из-за короткого периода его использования (10–12 дней) возникают проблемы бесперебойного поступления зеленого корма. В то же время включение в структуру посевов клевера сортов различной скороспелости позволит продлить оптимальные сроки их уборки на зеленый корм (табл. 2) [2]. Целесообразно выращивать примерно 50 % раннеспелых сортов (Янтарный и др.), по 25 % – среднеспелых (Витебчанин) и позднеспелых (Мерея).

Таблица 1 – Примерная схема зеленого конвейера для крупного рогатого скота в северной зоне республики [1]

Культура	Сроки сева	Сроки использования
Озимая сурепица	25.07–5.08	10.05–15.05
Озимый рапс	25.07–5.08	10.05–20.05
Пастбища и специальные посевы ранних злаковых трав	–	15.05–25.09
Озимая рожь в чистом виде или с подсевом вики озимой	1.09–10.09	15.05–25.05
Многолетние травы полевых севооборотов (1-й укос) (клевер, люцерна, бобово-злаковые травосмеси разной спелости)	прошлых лет	5.06–25.06
Райграс однолетний (чистый посев)	1.05–5.05	25.06–5.07
Однолетние травы (люпин, горох, вика и смеси с овсом и райграсом однолетним) 1-го срока сева	1.05–5.05	6.07–17.07
Однолетние травы 2-го срока сева	10.05–12.05	16.07–26.07
Многолетние травы полевых севооборотов (2-й укос)	прошлых лет	1.08–10.08
Отава райграса однолетнего	1.05–5.05	18.07–28.07
Однолетние травы 3-го срока сева	21.05–23.05	21.07–30.07
Однолетние травы 4-го срока сева	1.06–3.06	24.07–3.08
Отава подсевного райграса однолетнего	1.05–5.05	24.07–3.08
Отава райграса однолетнего	1.05–5.05	17.08–27.08
Кукуруза	5.05–10.05	20.08–5.09
Поукосные культуры:		
однолетние бобово-злаковые травы, яровой рапс, редька масличная, просо	10.07–20.07	5.09–25.09
озимый рапс, озимая сурепица	10.07–20.07	Сентябрь
Пожнивные посевы крестоцветных культур: редька масличная, рапс озимый и яровой, сурепица озимая и яровая	5.08–10.08	25.09–10.10

Таблица 2 – Схема зеленого конвейера на основе разновременного созревания многолетних бобовых трав (по данным РУП «НПЦ НАН Беларуси по земледелию»)

Культура	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь
Люцерна посевная	■					
Клевер раннеспелый		■				
Клевер среднеспелый		■	■			
Донник белый			■			
Клевер позднеспелый				■		

В конце июня, июле, августе важным источником зеленого корма должно оставаться поле однолетних бобово-злаковых трав разных сроков весеннего сева. Примерно такую же продуктивность обеспечивают смеси однолетних трав с сераделлой. В зеленом конвейере эффективны весенние посевы озимого рапса.

В качестве дополнительного источника зеленого корма в августе–октябре могут быть использованы поукосные и пожнивные культуры июльских и августовских сроков сева: горох, вика, люпин при посеве не позднее 20 июля, крестоцветные (редька масличная, озимый и яровой рапс, сурепица) при посеве до 10–12 августа. Ранний посев и применение азотных удобрений (60–90 кг д.в.) – главные факторы, определяющие уровень урожайности этих культур. Только люпин, вико- и горохо-овсяные смеси могут обеспечивать эффективность их возделывания в зеленом конвейере без внесения азота.

Высокопродуктивным компонентом зеленого конвейера в августе – сентябре может стать кукуруза. Достоинство культуры в том, что, в отличие от многолетних и однолетних трав, ее качество после фазы цветения не ухудшается, а, наоборот, улучшается, одновременно отмечается рост выхода кормовых единиц. Например, если при норме подкормки 50 кг на голову в сутки корова получит с зеленой массой в фазу цветения 8,5 к. ед., то в фазу молочной спелости – 10,0, молочно-восковой – 12,5, восковой – 15,5 к. ед. Это надо учитывать и соответственно регулировать нормы скармливания. Для повышения урожайности, снижения энергозатрат на транспортировку навоза и зеленой массы целесообразно часть посевов кукурузы на зеленый корм возделывать как монокультуру, максимально приблизив их к фермам. При возделывании кукурузы на постоянных участках совсем не обязательно ежегодно вносить органические удобрения, т. к. она хорошо использует их последствие, поэтому навоз

вносится через 1–2 года. Эффективно чередовать кукурузу с люцерной в двухпольном прифермском севообороте.

Правильный подбор культур, сроков их сева с учетом динамики поступления корма с пастбищ, совершенствование технологии выращивания позволяют сделать зеленый конвейер более эффективным и продлить срок действия его вместо 150 до 170–180 дней.

При создании зеленого конвейера важное значение придается многолетним бобовым травам. Среди них на севере республики лидирующее положение занимает клевер. Клеверосеяние – наиболее доступный ресурс поддержания и наращивания почвенного плодородия, решения белковой проблемы и производства дешевых кормов. В условиях Беларуси культура за вегетационный период может (при минимальных затратах) сформировать свыше 100 ц к. ед. с 1 га.

Клевер луговой, как и другие многолетние бобовые травы, медленно растет в первые 1,5–2 месяца. В то же время он обладает теневыносливостью и выдерживает покровные культуры. Клевер размещают на хорошо окультуренных почвах с хорошей водоудерживающей способностью. Совсем непригодными для клеверосеяния являются избыточно увлажненные заплывающие почвы, равно как и песчаные со слабой влагообеспеченностью растений. Предшественником для клевера лугового может служить любая небелковая культура, особенно та, под которую вносили органические удобрения.

На дерново-подзолистых почвах клевер подсевают, как правило, под ячмень и озимую рожь, под которую не вносили гербициды типа кугар и марфон. Такой посев называется подпокровным. Характер влияния той или иной покровной культуры на развитие клевера необходимо увязывать с уровнем применяемых удобрений под нее. Причем должно исключаться полегание покровной культуры, по-

сколькx это неизбежно приводит к изреживанию клевера, а иногда и его полной гибели.

Современные сорта клевера выдерживают покров озимых зерновых культур с урожайностью 25–30 ц/га и яровых колосовых – 30–35 ц/га. При более высоких урожаях покровных культур клевер изреживается, выходит из-под покрова ослабленным и уже не может полностью реализовать генетический потенциал продуктивности.

При высоком урожае покровной зерновой культуры (40–50 ц/га и выше) ухудшается световой режим, возможен дефицит влаги. Угнетение трав покровной культурой усиливается в засушливую погоду и при ее полегании покровной культуры.

В случае если не удается получать хорошие урожаи клевера при подсевах под зерновые, его лучше подсевать под озимую рожь на зеленую массу, а также под однолетние бобово-злаковые травы (горох + овес, вика + овес). Эти покровные культуры рано освобождают поле (конец мая – начало июля), и до осени клевер наращивает еще 150–200 ц/га зеленой массы. Не следует опаздывать с уборкой вико- и горохоовсяных смесей, поскольку их полегание может привести к снижению продуктивности клевера под покровом.

Важный вопрос в организации травосеяния в севооборотах – продолжительность использования клевера. Практика показывает, что на втором году пользования он в значительной мере изреживается и дает урожаи зеленой массы на 20–30 % меньше, чем в первом. Из-за этого наиболее эффективно использовать клевер в севообороте один год. В севообороте, где многолетние травы занимают не более

25 %, возделывание клевера в двух полях при одногодичном использовании эффективнее, чем клеверо-злаковой смеси при двухгодичном, особенно в севооборотах с высокой степенью насыщенности зерновыми культурами. При этом улучшается состав предшественников для таких требовательных культур, как пшеница, тритикале и ячмень.

Если в 8–9-польном севообороте имеется два поля клевера одногодичного пользования, то увеличивается выход травяного корма и зерна по сравнению с двухгодичным, и значительно повышается плодородие почвы.

При недостатке семян клевера наряду с одногодичным возможно его двухгодичное использование. В таком случае клевер высевается с тимopheевкой, и на втором году использования проводится подкормка посевов не только фосфорно-калийными, но и азотными удобрениями.

Клевер следует возвращать на прежнее место не раньше, чем через три года. В структуре севооборота его можно иметь не более 25 % (два поля в 8-польном севообороте).

При более высоком удельном весе клевера в севообороте он должен возделываться в виде клеверо-злаковых смесей, которые обеспечивают наибольшую эффективность при использовании не более двух лет. В севообороте, где многолетние травы занимают 33 % (три поля в 9-польном севообороте), лучше иметь два поля клеверо-злаковой смеси при двухгодичном использовании и одно поле клевера одногодичного пользования, чем использовать клеверо-злаковую смесь три года подряд.

### Некоторые особенности возделывания многолетних бобовых трав

Многолетние травы на пахотных землях имеют большое значение в создании кормовой базы для животноводства. Среди них ведущее место принадлежит бобовым травам: клеверу луговому, гибридно-му, ползучему и люцерне. Эти культуры по воздействию на плодородие почвы не имеют себе равных. Несколько меньше пока распространены галега восточная, лядвенец рогатый и эспарцет, хотя целесообразность их возделывания очевидна.

В Витебской области из бобовых сеется преимущественно клевер луговой. Посевы же люцерны занимают незначительную площадь. Ставится задача по улучшению ситуации с многолетними бобовыми травами в этом регионе. Предлагается увеличить площадь клевера лугового и его смесей до 58 тыс. га и люцерны – до 46. Рекомендуется расширить также площади под лядвенцем рогатым и донником [3].

Чтобы реализовать свое преимущество, люцерне необходимы высокоплодородные почвы

с благоприятным водным режимом, как, например, в Гродненской и Минской областях, где эта бобовая культура получила широкое распространение. Недостаточно осушенные, заплывающие тяжелые земли с кислой реакцией среды и низким содержанием доступных форм фосфора для нее не подходят. Между тем преобладающие на Витебщине суглинистые почвы хуже обеспечены подвижными соединениями этого элемента, чем супесчаные, а должно быть наоборот, как, например, в Минской области. Повышенная же потребность бобовых растений в нем обусловлена ключевой ролью АТФ (аденозинтрифосфорной кислоты) в энергетическом обеспечении азот-фиксации. Считается, что на фиксацию одной молекулы азота затрачивается 15 молекул АТФ [4].

Относительно менее требователен к условиям произрастания клевер луговой, и семеноводство, в отличие от люцерны, практически налажено в республике.

Интерес к клеверу вызван тем, что его можно включать в полевой севооборот. Люцерну же обычно возделывают в кормовых севооборотах, отдельных полях бесценно в течение не менее 3–4-х лет. За это время затраты на покупку дорогостоящих семян с лихвой окупаются.

Люцерна посевная более продуктивная и засухоустойчивая культура, чем клевер луговой. Ее корневая система обладает высокой сосущей силой, равной 2,7–2,9 МПа (мегапаскаля) против 1,27–1,60 МПа у клевера. Несмотря на высокий коэффициент транспирации, люцерна, благодаря мощной корневой системе, использует воду из более глубоких слоев почвы. Ее корни обладают четко выраженным гидротропизмом, т. е. всегда стремятся к более увлажненным горизонтам почвы.

Преимущество люцерны заключается еще и в том, что в процессе заготовки сенажа она меньше теряет самой ценной части растений – листьев, чего нельзя сказать о клевере. Отличается она и продуктивным долголетием, которое по нашим исследованиям, превышает 10 лет, что за счет перезалужения существенно экономит ресурсы при ее возделывании.

Для люцерны непригодны тяжелые по гранулометрическому составу почвы (рисунок). Главное условие для возделывания люцерны посевной и изменчивой – нейтральная или слабокислая реакция среды по всему профилю почвы. Оптимальная величина pH – 6,0–7,0. Уровень грунтовых вод (УГВ) должен находиться не ниже 1,1 м от поверхности почвы, хотя на тяжелых минеральных землях Поозерья растения больше всего страдают от поверхностного

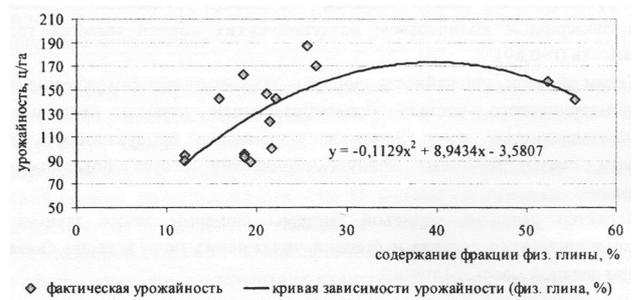


Рисунок – Зависимость продуктивности люцерны от содержания физической глины в пахотном горизонте (полевые учеты) [5]

застаивания воды, особенно в замкнутых понижениях. Для возделывания люцерны наиболее пригодны карбонатные, хорошо окультуренные суглинистые и супесчаные почвы, подстилаемые мореной. Снижение же продуктивности люцерны на тяжелых суглинистых и глинистых почвах обусловлено неблагоприятными условиями аэрации корнеобитаемого слоя.

Исключение составляют лишь почвы очень легкого гранулометрического состава, где при УГВ 120 см снижается урожайность (табл. 3). В этих условиях не обеспечивается оптимальная влажность для люцерны, составляющая 75–85 % предельной полевой влагоемкости. Следовательно, такие почвы нельзя признать благоприятными для возделывания люцерны. Сказанное в равной мере относится и к клеверу луговому.

Таблица 3 – Урожайность зеленой массы многолетних трав при различных уровнях грунтовых вод на супесчаных почвах подстилаемых песком (кг/м<sup>2</sup>) [6]

Многолетние травы	Укос	Уровни воды, см			
		30	60	90	120
Тимофеевка луговая	1	0,80	0,85	0,79	0,56
	2	0,66	0,66	0,57	0,45
	3	0,27	0,28	0,25	0,17
	Σ	1,73	1,79	1,61	1,18
Кострец безостый	1	1,02	1,08	0,99	0,85
	2	0,74	0,88	0,80	0,69
	3	0,33	0,40	0,37	0,24
	Σ	2,09	2,36	2,16	1,78
Клевер луговой	1	0,99	1,05	1,03	0,65
	2	0,80	0,86	0,78	0,58
	3	0,25	0,24	0,29	0,18
	Σ	2,04	2,15	2,10	1,41
Люцерна изменчивая	1	0,86	0,90	0,90	0,72
	2	0,83	0,88	0,80	0,70
	3	0,43	0,38	0,40	0,29
	Σ	2,12	2,16	2,10	1,71

Лядвенец менее требователен к плодородию почвы. По сравнению с другими бобовыми, более устойчив к избыточной кислотности, хотя и для него оптимальный уровень  $pH_{\text{ккл}}$  – 5,0 и выше. Высокую урожайность он дает при размещении на влажных суглинистых почвах с уровнем грунтовых вод 60–100 см, хотя может возделываться и на супесчаных почвах. По продуктивности он заметно уступает люцерне посевной.

Из многолетних бобовых трав клевера приспособлены к возделыванию под покровом яровых зерновых культур, особенно ячменем, при дозе азота не выше 60 кг/га д. в. и норме высева до 3,5 млн всхожих семян/га. Если в хозяйстве урожайность зерновых на уровне 40 ц/га и выше, клевераследует подсевать под однолетние травы, убираемые на зеленый корм через 60 дней после всходов.

Лучшими способами сева многолетних бобовых трав являются весенний посев под покров однолетних трав на зеленый корм и беспокровный. Важно не опаздывать с уборкой покровной культуры, иначе снижается урожайность.

Летний посев многолетних бобовых трав до 15 июля (галеги до 1 июня) нужно проводить беспокровно с последующим внесением гербицидов, включенных в Государственный реестр средств защиты растений и удобрений, разрешенных к применению на территории Республики Беларусь.

Нормы высева многолетних трав приведены в табл. 4 (по данным НПЦ НАН Беларуси по земледелию).

Расчет весовой нормы высева (НВ) семян (кг/га) производится по формуле:

$$НВ = (М \times К \times 100) / (В \times Ч),$$

где: М – масса 1 тыс. семян;

К – норма высева млн всхожих семян на гектар;

В – всхожесть, %;

Ч – чистота.

Необходимо учитывать и особенности почвенного покрова Витебской области, где преобладают склоновые земли. В этом случае норма высева люцерны при посеве в чистом виде составляет 14 кг/га. При возделывании люцерны подпокровно под яровые зерновые (на зерно) эту норму увеличивают до 16 кг/га. При выращивании травосмеси норма высева люцерны составляет не менее 8 кг/га. Посев многолетних бобовых трав под озимую рожь на зерно приводит к снижению их урожайности.

Оптимальная глубина заделки семян на суглинистых почвах клевера лугового, люцерны, донника, галеги – 1 см, клевера гибридного и ползучего, лядвенца – 0,5 см; на почвах среднего гранулометрического состава – соответственно 1,5–2,0 и 1,0 см; на легких – 2,0–2,5 и 1,5 см. Глубина заделки семян эспарцета – 2–4 см, в зависимости от гранулометрического состава почвы.

Уход за посевами начинается с защиты растений от сорняков, т. к. многолетние бобовые травы характеризуются медленным первоначальным ростом, и в этот период не в состоянии конкурировать с сорной растительностью.

После уборки предшественника при высоте пырея 10–15 см проводят опрыскивание глифосатсодержащими гербицидами. Через 15–20 дней делается вспашка, желательна с разрыхлением подпахотного слоя, на что положительно реагирует прежде всего люцерна.

Спектр разрешенных гербицидов на многолетних бобовых травах очень узкий по сравнению с большинством других сельскохозяйственных культур. Их применение зависит от способа посева трав и цели использования травостоев. Так, при посеве трав под покров однолетних трав повсходовые гербициды не применяются – достаточно уборки покровной культуры в летний период и подкоса травостоя в середине сентября.

Таблица 4 – Нормы высева многолетних бобовых трав на корм в одновидовых посевах

Культура	На корм		Масса 1000 семян, г
	млн шт./га	кг/га	
Клевер луговой диплоидный	3–4	6–8	1,8–2,2
Клевер луговой тетраплоидный	3–4	8–10	2,4–2,8
Клевер ползучий	4–6	3–4	0,5–0,7
Клевер гибридный	3–4	4–5	1,0–1,2
Люцерна	4–5	8–10	1,8–2,3
Лядвенец рогатый	5–6,5	6–8	1,1–1,3
Донник белый	6–7	12–15	1,8–2,3
Галега восточная	2–3	15–20	6,0–9,0
Эспарцет	4,0–4,5	80–90	18–23

При наличии сорняков в посевах люцерны в чистом виде их подкашивают или уничтожают гербицидами, разрешенными к применению в Беларуси.

Однолетние смеси с подсевом клевера убирают на силос или сенаж в оптимальные сроки кормоуборочными комплексами в сухую погоду, зерновые – с применением комбайнов со сбором половы и соломы. Задержка с уборкой соломы на 3 дня приводит к гибели подсеянных трав. При использовании в качестве покровной культуры райграса однолетнего проводят два подкоса покровной культуры: первый – через 30–35 дней после сева, второй – через 30 дней. Уборку зерновых покровных культур и однолетних трав проводят на высоте среза 8–10 см.

При плохом развитии растений многолетних бобовых трав на слабообеспеченных фосфором и калием почвах вышедшие из под покрова посева подкармливают фосфорно-калийными удобрениями в дозе  $P_{30-45} K_{40-50}$ . На слабокультуренных почвах при слабом развитии растений в экстремальных погодных условиях (засуха, переувлажнение) рекомендуется провести подкормку азотом (20–30 кг/га). Это вполне оправдано в северной части республики, где из-за пониженной температуры у бобовых культур несколько ослаблена азотфиксация.

При ранней уборке покровных культур и благоприятных погодных условиях посева многолетних бобовых трав интенсивно отрастают. Переросшие травостои необходимо подкосить на уровне стерни покровных культур не позднее, чем за 30 дней до прекращения вегетации. Если в эти сроки (конец августа – середина сентября) травы не подкошены, их уборку проводят в третьей декаде октября, после прекращения вегетации растений. Травостои, подкошенные в конце сентября – начале октября, расходуют запасные питательные вещества на отрастание, но не успевают их накопить до конца вегетации для успешной перезимовки. Подкошенные травостои лучше зимуют, не происходит выпревания растений, они меньше поражаются фузариозом и другими болезнями.

Отвод талых вод с посевов многолетних трав является первым мероприятием, проводимым еще до инвентаризации посевов. На мелиорированных переувлажненных участках сенокосов и пастбищ следует также своевременно отвести застойные воды, чтобы исключить выпадение ценных видов трав из травостоя. Кроме того, необходимо закрыть шлюзы при снижении уровня грунтовых вод до 0,7–0,8 м от поверхности почвы.

Чтобы уменьшить зависимость урожая от погодных условий, в НПЦ НАН Беларуси по земледелию ведется работа по созданию сорта люцерны изменчивой (на основе межвидовой гибридизации

люцерны синей и желтой), который по своему потенциалу продуктивности приближался бы к люцерне посевной, а по требованиям к условиям произрастания – к люцерне желтой.

Клевер и люцерна возделывались в чистом виде и в травосмесях. Преимущества бобово-злаковых травосмесей следующие:

- они лучше зимуют, дольше сохраняются и дают более устойчивый урожай по годам;

- эффективнее используют питательные вещества, т. к. их корни охватывают больше слоев почвы: корни злаковых распределяются мельче, бобовых – проникают глубже;

- лучше используют свет и солнечную энергию, т. к. листья бобовых и злаковых различаются и формой, и расположением. Вследствие этого фотосинтез в травосмеси происходит более интенсивно, чем в чистом травостое;

- оставляют в почве больше корней, а следовательно и гумуса, что благоприятно влияет на структуру почвы;

- корм травосмесей обычно лучше сбалансирован в отношении питательных веществ: в бобовых содержится больше азота, некоторых аминокислот, кальция и иных макро- и микроэлементов; в злаковых – больше сахаров и других углеводов. Зеленая масса из травосмеси не вызывает тимпанита у животных, быстрее силосуется. Она лучше сушится, чем трава одних бобовых и теряет меньше листочков. В итоге, хотя биологическая урожайность многолетних бобовых трав иногда выше травосмеси, фактически наблюдается обратная тенденция.

Травосмеси имеют и некоторые недостатки, в частности:

- нередко понижается процентное содержание и общий сбор сырого протеина;

- распашка пласта, травосмесей обычно более затратная, чем чистых бобовых трав;

- в клеверо-злаковой травосмеси на второй год пользования резко снижается содержание бобового компонента, и возникает необходимость внесения азотных удобрений. Поэтому предпочтительнее одностороннее использование клевера лугового в чистом виде в 2-х полях севооборота.

Для повышения продуктивности люцерны при ее посевах добавляют 4 кг клевера лугового, который обеспечивает в первый год использования высокий урожай. В последующий период он формируется прежде всего за счет люцерны. Причем из злаков в травосмеси с люцерной целесообразно включать фестулолиум или костреч безостый.

Вместе с тем люцерна характеризуется более низкой конкурентоспособностью, что обусловлено вертикальным расположением почек на коронке.

Поэтому совместные посевы люцерны со злаками менее распространены, чем травосмеси с клевером луговым, у которого почки на корневой шейке расположены горизонтально, что обуславливает его более высокую конкурентоспособность по отношению к злаковым компонентам. Люцерна отрицательно реагирует на низкое скашивание (менее 5 см) и повышенное давление на почву, особенно при проезде по полю после выпадения осадков.

Отмечается и такое свойство люцерны: ее рост наиболее активен при 17–18 °С по сравнению с более

низкой температурой. Поэтому в условиях Поозерья в смеси с кострцом безостым весной она отстает от него в росте. В последующих укосах наблюдается обратная тенденция: в травостое преобладает бобовый компонент.

При определении необходимого объема зеленой массы можно использовать приведенные ниже данные (табл. 5). Однако в настоящее время освоена технология заготовки сенажа и силоса с упаковкой в полимерные материалы, где потери корма в процессе хранения составляют не более 8,0–10,0 %.

### Удобрение многолетних бобовых трав

Люцерна – самая требовательная к содержанию в почве фосфора сельскохозяйственная культура, а на калий отзывается почти также, как сахарная свекла. Дозы удобрений определяются по балансовому методу с учетом планируемой урожайности и содержания фосфора и калия в почве.

О выносе основных веществ зеленой массой, например люцерной, можно судить по данным табл. 6.

Фосфорные и калийные удобрения на среднеобеспеченных  $P_2O_5$  и  $K_2O$  почвах вносят перед посевом, например люцерны, в основную заправку в дозах: фосфора – 75–80 и калия – 120–130 кг/га д.в. Обязательным приемом является припосевное внесение 10–15 кг/га  $P_2O_5$  в виде суперфосфата или аммонизированного суперфосфата. Однако последнее не всегда выполняется из-за отсутствия соответствующих посевных агрегатов. На почвах с содержанием подвижных форм, близком к оптимальному уровню 150 мг/кг  $P_2O_5$ , и планируемым урожаем зеленой массы 500 ц/га должна проводить-

ся ежегодная подкормка фосфором (в один прием) дозой 65–70 кг/га д.в. При меньшей продуктивности люцерны (350 ц/га) достаточно внести весной или осенью 50–55 кг/га д.в. этого удобрения.

Люцерна хорошо отзывается на калийные удобрения, хотя их дозы не должны быть чрезмерными. В противном случае произойдет излишнее обогащение корма калием, и ухудшится соотношение K:Na при снижении содержания магния.

При определении доз  $K_2O$  принимается во внимание вынос калия единицей урожая, а также обеспеченность почвы обменным калием. При наличии в пахотном слое  $K_2O$  порядка 200 мг/кг почвы в первый год пользования травостоем следует исключить подкормку калием. В последующие годы необходимо под каждый укос вносить по 40–60 кг/га  $K_2O$ .

Азотные удобрения в количестве 30–60 кг/га вносят в случае, если в травостое со злаковыми травами доля люцерны составляет менее 35–40 %.

Из микроэлементов применяют молибден (для обработки семян – 20 г/ц и некорневой подкормки –

Таблица 5 – Выход корма в зависимости от способа и технологии уборки [7]

Способ консервирования	Относительный урожай, %
Зеленая трава (биологический урожай)	100
Сено надземной сушки	37–50
Сено, досушенное в сарае при помощи активного вентилирования	62–67
Силос из зеленой травы в траншее	65–70
Сенаж в траншее	70–75
Сенаж в башне	75–80
Стравливаемая или скармливаемая трава	75–85
Травяная мука (гранула или брикеты)	90–95

Таблица 6 – Вынос основных питательных веществ зеленой массой люцерны

Питательные вещества	Вынос питательных веществ, кг/ц
N	0,43–0,60
$P_2O_5$	0,12–0,14
$K_2O$	0,44–0,65
CaO	0,30–0,40
MgO	0,08–0,13

Примечание: более высокие показатели соответствуют фазе начала бутонизации.

40 г/га д. в.) и бор – 20–30 г/ц и 50 г/га соответственно. Улучшение питания растений молибденом существенно повышает продуктивность и содержание люцерны в травостое.

В полевом травосеянии при наличии бобового компонента более 35–40 % азотные удобрения применять нецелесообразно. Злаковые травы подкармливают весной и после каждого укоса азотными и калийными удобрениями по 40–60 кг/га д.в. Фосфорные и калийные удобрения вносят в один прием, если доза  $K_2O$  на суглинках не превышает 70–90 кг/га д. в.

Для подкормки многолетних злаковых и злаково-бобовых трав с удельным весом клевера до 30 % при дефиците минеральных удобрений необходимо максимально использовать жидкий навоз и животноводческие стоки. С этой целью вносят 50–70 т/га этих удобрений, что эквивалентно до 80–100 кг азота, 1–1,5 ц аммонизированного суперфосфата и 1–1,5 ц хлористого калия. Участки, предназначенные для весеннего стравливания, можно подкармливать за 35–40 дней до выпаса, а на суглинистых почвах допустимо внесение жидкого навоза заблаговременно осенью.

Однако и в этом случае зеленую массу все же лучше использовать для заготовки силоса или сенажа, что уменьшит загрязнение корма условно патогенной микрофлорой. Кроме того, при внесении жидкого навоза с содержанием сухого вещества свыше 5–6 % требуется боронование многолетних трав, т. к. на поверхности почвы иногда образуется непроницаемая корка, что ухудшает воздушный режим почвы и растений. При использовании животноводческих стоков для подкормки отпадает необходимость боронования.

Чтобы снизить потери аммиака, нужно вносить жидкие органические удобрения в прохладную

безветренную погоду. Причем на склоновых землях и вблизи водоемов и рек их вообще не следует применять, особенно зимой.

Наибольшая отдача от таких удобрений наблюдается на почвах легкого гранулометрического состава с низким содержанием фосфора и калия, когда на них положительно отзываются даже бобовые растения. Причем по коэффициенту использования эти элементы аналогичны таковым из минеральных удобрений. Несколько меньшая отдача от азота из-за потерь аммиака при поверхностном внесении жидкой органики без заделки ее в почву.

Очень отзывчива на жидкий навоз и животноводческие стоки также кукуруза. Доза их внесения достигает здесь 240 кг/га в расчете на азот.

Экономически целесообразна транспортировка жидких органических удобрений мобильным транспортом на расстоянии 3–5 км. На крупных свиноплеменных комплексах, где используется для этих целей гидротранспорт, радиус перевозки оправдан на большем расстоянии.

### **Зерновые культуры**

Из зерновых в Республике Беларусь преимущественно возделываются озимая рожь, озимая пшеница, озимое тритикале, яровая пшеница, ячмень и овес. Особенно распространена озимая пшеница. При соблюдении регламента возделывания, прежде всего в отношении удобрений и средств защиты растений от сорняков, болезней и вредителей, можно получить значительный урожай и в условиях Поозерья, что подтверждается нашими полевыми опытами, а также результатами работы Витебской опытно-мелиоративной станции в области растениеводства за последние 5 лет (табл. 7).

**Таблица 7 – Урожайность зерновых культур, ВОМС**

Наименование культур	Урожайность по годам, ц/га				
	2014	2015	2016	2017	2018
Зерновые и зернобобовые – всего	46,6	48,7	41,4	52,1	41,8
Яровые зерновые и зернобобовые:	50,5	47,5	42,6	50,2	41,0
ячмень	53,7	44,5	43,8	49,0	43,6
пшеница	44,7	47,8	38,9	51,8	37,7
овес	54,9	53,7	50,8	51,6	42,2
зернобобовые	42,9	23,4	21,2	20,7	–
Озимые зерновые:	42,8	49,9	40,0	53,9	42,6
рожь	41,3	49,9	38,5	51,3	41,1
пшеница	38,4	49,7	41,3	58,7	44,4
тритикале	51,4	50,2	41,0	49,5	41,9

**Экономическая эффективность возделывания основных культур севооборота**

Себестоимость 1 ц корм. ед. многолетних бобовых трав, по опытным данным, находилась в пределах 6,3–8,4 руб., что значительно меньше, чем кукурузы (табл. 8). При этом стоимость 1 т производимого

белка за счет люцерны оказалась дешевле во много раз по сравнению с приобретаемым по импорту. Рентабельность производства зерна при урожайности пшеницы 40 ц/га составила 13,6 % (табл. 9), если все оно использовалось на продовольственные цели. Данный показатель при продуктивности 46 ц/га достиг 18,9 %.

Таблица 8 – Экономическая эффективность возделывания кукурузы на з/м в среднем за 3 года

Показатели, руб./га	Уровень урожайности, ц/га		
	230	410	480
Оплата труда с начислениями	67	82	99
Семена	273	273	273
Удобрения и средства защиты растений	95*	309	414
Затраты на содержание основных средств	81	97	104
Работы и услуги	57	59	65
Стоимость ГСМ на технологические цели	79	123	128
Прочие прямые затраты	32	36	42
Затраты по организации производства	25	27	34
Всего затрат	709	1006	1159
Себестоимость 1 т зеленой массы	30,8	24,5	24,1

\* Только средства защиты растений

Таблица 9 – Экономическая эффективность возделывания яровой пшеницы в среднем за 3 года

Показатели, руб./га	Уровень урожайности, ц/га	
	40	46
Оплата труда с начислениями	144	167
Семена	115	115
Удобрения и средства защиты растений	337	378
Затраты по содержанию основных средств	152	159
Работы и услуги	91	98
Стоимость ГСМ на технологические цели	156	170
Стоимость энергоресурсов (газ, электроэнергия, теплоэнергия)	43	47
Прочие прямые затраты	48	58
Затраты по организации производства	42	47
Всего затрат	1128	1239
Выручка*	1281/1204	1473/1385
Прибыль с 1 га*	153/76	234/146
Рентабельность, %*	13,6/6,7	18,9/11,8

\* В числителе все зерно используется на продовольственные цели, в знаменателе – на 70 %, остальное – фураж.

**Библиографический список**

1. Шлапунов, В. Н. Поукосные и пожнивные посевы: меньше затрат, больше белка / В. Н. Шлапунов // Сельская газета. – 30 июня 2016. – № 74. – С. 10.
2. Шелюто, Б. В. Зеленые и сырьевые конвейеры: монография / Б. В. Шелюто, В. Н. Шлапунов, А. А. Шелюто. – Минск: Экоперспектива, 2008. – 239 с.
3. Привалов, Ф. И. Оптимизация структуры многолетних трав как фактор стабилизации производства кормов и растительного белка / Ф. И. Привалов, П. П. Васько // Земледелие и защита растений. – 2017. – № 1. – С. 9-12.
4. Ягодин, Б. А. Агрохимия / Б. А. Ягодин, Ю. П. Жуков, В. И. Кобзаренко; под ред. Б. А. Ягодина. – М.: Колос, 2002. – 584 с.
5. Матыченкова, О. В. Влияние увлажнения и гранулометрического состава дерновых и дерново-подзолистых почв Беларуси на продуктивность люцерны: автореф.дисс. канд. с.-х. наук: 06.01.03 / О. В. Матыченкова // Ин-т почвоведения и агрохимии. – Минск, 2007. – 20 с.
6. Филипенко, Н. К. Влияние уровней грунтовых вод на продуктивность многолетних трав / Н. К. Филипенко, М. В. Подвительская // Мелиорация и луговое хозяйство на пойменных землях. – Минск: БелНИИМил, 1996. – С. 145-153.
7. Каджюлис, Л. Ю. Выращивание многолетних трав на корм / Л. Ю. Каджюлис. – Л.: Колос (Ленингр. отд-ние), 1977. – 247 с.

Поступила 23.05.2019

УДК 631.95:628.381.1

## ПОСЛЕДЕЙСТВИЕ МЕЛИОРАТИВНЫХ ДОЗ ОСАДКА ГОРОДСКИХ СТОЧНЫХ ВОД В СОЧЕТАНИИ С ИЗВЕСТКОВАНИЕМ НА АГРОБИОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ СУПЕСЧАНОЙ ПОЧВЫ

*В. А. Касатиков, доктор сельскохозяйственных наук, профессор*

*Н. П. Шабардина, старший научный сотрудник*

*ВНИИОУ – филиал ФГБНУ «Верхневолжский ФАНЦ»,  
г. Владимир, Россия*

### **Аннотация**

В статье представлены результаты исследований, полученные в длительном опыте Географической сети опытов с удобрениями по изучению агробиологических изменений, протекающих в дерново-подзолистой супесчаной почве под влиянием осадков городских сточных вод и доломитовой муки. Делается вывод, что мелиоративные дозы осадка сточных вод оказывают заметное влияние на агробиологические параметры почвы и урожайность зерновой культуры.

**Ключевые слова:** *агробиология, мелиорация, осадок сточных вод, известкование, почва.*

### **Abstract**

**V. A. Kasatikov, N. P. Shabardina**  
**THE AFTEREFFECT OF RECLAMATION  
DOSES OF SLUDGE OF MUNICIPAL  
WASTEWATER IN COMBINATION WITH LIMING  
ON THE AGROBIOLOGICAL PROPERTIES OF  
SOD-PODZOLIC SANDY LOAM SOIL**

The article presents the research results obtained in long-term experience in Geographical network experiments with fertilizers for the study of agrobiological changes in sod-podzolic sandy loam soil under the influence of precipitation of urban wastewater and dolomite. It is concluded that reclamation of the doses of salt have a noticeable effect on agro-biological parameters of the soil and the yield of a crop.

**Keywords:** *agrobiology, reclamation, sewage sludge, liming, soil.*

### **Введение**

Известно, что при очистке сточных вод неизбежно возникает проблема утилизации образующихся осадков. Осадки городских сточных вод (ОСВ) содержат значительное количество органического вещества, азота и зольных элементов, в первую очередь фосфора. Это определяет целесообразность их широкого использования в качестве нетрадиционных органических удобрений в сельском хозяйстве, а также при городском озеленении [1]. Данный подход обоснован также тем, что одним из основных условий сохранения экосистем в устойчивом состоянии является использование отходов как сырьевого ресурса с целью уменьшения негативного

воздействия на окружающую среду [2]. Использование ОСВ на удобрение в исходном состоянии или же в составе компоста с органическими наполнителями – один из приемов утилизации ОСВ [3]. При этом по эффективности ОСВ не уступают традиционным органическим и минеральным удобрениям [4].

В частности, ОСВ и удобрения на их основе благодаря высокому содержанию органического вещества улучшают плодородие почвы и его агрофизические свойства и повышают урожай сельскохозяйственных культур. Внесение компостов в почву проявляется во влиянии на агрохимические свойства почв, увеличении запасов органического

вещества, усилении нитрификации в пахотном слое, возрастании биологической активности почвы, увеличении количества целлюлозоразлагающих бактерий и уменьшении доли плесневых грибов. Особенно отчетливо почвоулучшающие свойства компостов проявляются на песчаных, супесчаных и малоплодородных деградированных почвах [5].

Одним из наиболее важных вопросов в исследованиях с органическими удобрениями является изучение трансформации азота в почве и его потерь. В то же время при использовании в качестве удобрений ОСВ со слабощелочной или нейтральной реакцией среды целесообразно

### Методика исследований

Исследования проводились в длительном опыте (заложен в 1984 г.) по изучению влияния систематического применения осадка городских сточных вод (ОСВ) и доломитовой муки на агроэкологические свойства почвы и урожайность культур, входящим в Географическую сеть длительных опытов с удобрениями. За весь период исследований суммарные дозы ОСВ составили 180–1440 т/га (50 % влажности). Известкование проводили в дозах 3, 6,

### Результаты и их обсуждение

В течение вегетационного периода ярового тритикале содержание минеральных форм азота в пахотном слое почвы (0–20 см) достигало наибольших величин в начальный период вегетации с максимальными значениями в условиях применения предельных для данных исследований доз ОСВ (табл. 1). В фазы кущения и колошения содержание минеральных форм снизилось за счет потребления растениями в условиях избыточного почвенного увлажнения. Запасы продуктивной влаги в слое почвы 0–20 см достигали 42,5–51,3 мм. Наибольший их уровень был в вариантах 5, 9, 13 с максимальными дозами ОСВ. Снижение влажности почвы в конце вегетации ярового тритикале способствовало повышению уровня  $N-NO_3$  в почве с минимального содержания в фазу колошения до 1,48–2,79 мг/кг почвы в фазу полной спелости и было пропорционально дозам ОСВ.

Рассматривая суммарное накопление минерального азота в почве, следует отметить его пропорциональную зависимость от доз ОСВ с превышением относительно контроля на 9–62 %. Увеличение в почве доступных форм азота положительно повлияло на ее биологическую активность. Аналогичная зависимость была выявлена при исследовании влияния ОСВ на биологические показатели почвы, такие как: содержание углерода микробиомассы, целлюлозолитическая, дыхательная и нитрификационная активность дерново-подзолистой супесчаной почвы (табл. 2). По по-

рассматривать их влияние на кислотно-основные свойства почвы. С их помощью можно улучшать деградированные песчаные почвы. Исследования по биологической активности почвы выявили, что применение ОСВ и удобрения на его основе увеличивает общую численность микроорганизмов, повышает ее каталазную активность и создает благоприятные условия для развития основных физиологических групп микроорганизмов [6].

Целью настоящего исследования являлось изучение последствий мелиоративных доз ОСВ на агробиологические процессы, протекающие в дерново-подзолистой супесчаной почве.

9 т/га доломитовой муки. В 2017 г. изучали последствия ОСВ и доломитовой муки на агробиологические свойства и гумусовое состояние дерново-подзолистой супесчаной почвы. Содержание гумуса определялось по И. В. Тюрину, микробной биомассы ( $C_{мб.}$ ) – по С. А. Благодатской, целлюлозолитическая активность – по Звягинцеву Д. А., продуцирование  $CO_2$  – по И. Н. Шаркову [7–9].

следствию возрастающих доз ОСВ содержание  $C_{мб.}$  превышало контроль на 9–15 % (при дозе ОСВ 180 т/га) и на 54–59 % (при дозе ОСВ 1440 т/га).

Целлюлозолитическая активность почвы служит косвенным показателем развития биологических свойств почвы. Как известно, целлюлозоразрушающая микрофлора находится в корреляционной связи с содержанием минерального азота. В соответствии с данными, приведенными в табл. 2, интенсивность разложения хлопчатобумажной ткани в сравнении с контролем возрастала пропорционально дозам ОСВ 180 и 1440 т/га на 1–7 и 25–36 % соответственно. Аналогичная зависимость выявлена по дыхательной и нитрификационной способности почвы, которые отличаются значительно большей активностью. И действительно, величина дыхательной активности почвы на вариантах с ОСВ возрастает пропорционально дозам ОСВ 180 и 1440 т/га на 65–95 и 110 % соответственно. При этом следует отметить отсутствие существенной разницы в действии доз ОСВ и уровня известкования на данный биологический показатель почвы. Нитрификационная активность почвы, характеризующая деятельность нитрификаторов, зависит как от уровня известкования, так и от доз ОСВ. Так, при дозе ОСВ 180 т/га нитрификационная активность почвы возрастает на 15–42 %, а при дозе 1440 т/га – на 81–115 %.

Таблица 1 – Влияние последствий различных доз осадка сточных вод и уровней известкования почвы на динамику содержания подвижных форм азота в почве (слой 0–20 см)

Вариант	Содержание, мг/кг. а.с. в-ва							В ср.: N-NH <sub>4</sub> + N-NO <sub>3</sub> , мг/кг	В % к кон- тролю
	N-NO <sub>3</sub>				N-NH <sub>4</sub>				
	Фаза всходов	Фаза ку-щения	Фаза коло-шения	Фаза полной спелости	Фаза всходов	Фаза куще-ния	Фаза полной спелости		
Контроль без удобрений	1,19	0,80	0,86	0,82	4,01	0,70	1,08	2,35	100
ОСВ 180 т/га + дол. м. 3 т/га	1,32	0,84	0,97	1,00	4,02	1,24	1,50	2,55	109
ОСВ 1440 т/га + дол. м. 3 т/га	1,69	0,84	1,64	1,02	5,63	1,79	2,58	3,80	161
ОСВ 180 т/га + дол. м. 6 т/га	1,15	1,12	1,63	1,38	3,61	1,07	1,66	2,90	123
ОСВ 1440 т/га + дол. м. 6 т/га	1,23	1,04	0,97	1,40	5,25	1,35	2,79	3,50	149
ОСВ 180 т/га + дол. м. 9 т/га	1,20	1,29	0,99	1,32	4,53	0,83	1,48	3,48	152
ОСВ 1440 т/га + дол. м. 9 т/га	1,62	1,58	1,47	1,53	5,26	1,45	2,30	3,80	162

Таблица 2 – Показатели биологического состояния дерново-подзолистой супесчаной почвы в слое 0–20 см по последствию различных доз осадка сточных вод и уровней известкования

Вариант	Содержание С <sub>мб.</sub>		Целлюлозолитическая активность		Дыхательная активность		Нитрификационная активность	
	мг/кг	%	Сепень раз-ложения, %	% к кон-тролю	С-CO <sub>2</sub> кг/га	%	N-NO <sub>3</sub>	% к кон-тролю
Контроль без удобрений	445	–	30	100	1,20	100	12,2	100
ОСВ 180 т/га + дол. м. 3 т/га	484	109	32	107	2,34	195	14,0	115
ОСВ 1440 т/га + дол. м. 3 т/га	708	159	41	136	2,52	210	22,1	181
ОСВ 180 т/га + дол. м. 6 т/га	512	115	31	102	1,98	165	15,9	130
ОСВ 1440 т/га + дол. м. 6 т/га	794	178	38	125	2,52	210	24,2	198
ОСВ 180 т/га + дол. м. 9 т/га	503	113	33	101	2,34	195	17,4	142
ОСВ 1440 т/га + дол. м. 9 т/га	684	154	39	130	2,52	210	26,2	215

Как известно, по содержанию фосфора ОСВ существенно превосходят традиционные виды органических удобрений. По этой причине в условиях интенсивного применения ОСВ происходят изменения фосфатного режима почвы.

По последствию ОСВ с высоким содержанием P<sub>2</sub>O<sub>5</sub><sub>общ.</sub> (5,22 %) сохранялось их положительное влияние на кислотно-основные свойства почвы и содержание P<sub>2</sub>O<sub>5</sub><sub>подв.</sub> в слое 0–20 см, пропорциональное дозам ОСВ. Содержание P<sub>2</sub>O<sub>5</sub><sub>подв.</sub> на вариантах с внесением ОСВ превышало контроль в 1,2–3,3, 1,3–3,2 и 1,5–3,4 раза согласно уровням известкования (табл. 3). В отличие от действия ОСВ, по последствию снизилось содержание P<sub>2</sub>O<sub>5</sub><sub>подв.</sub> за счет выноса культурами звена севооборота (озимая рожь, яровое тритикале).

По сравнению с подвижным фосфором, содержание K<sub>2</sub>O<sub>обм.</sub> в почве изменялось менее интенсивно из-за более низкой концентрации элемента в ОСВ (0,72 %) и колебалось в пределах 33–38 мг/кг. При этом, как и по фосфору, проявилась тенденция к снижению его уровня в отчетном году за счет выноса культурами звена севооборота.

Внесение в почву стабилизированного органического вещества в составе ОСВ способствовало сохранению высокого уровня гумусированности почвы. Данная зависимость не связана с уровнем известкования почвы. Согласно данным, приведенным в табл. 3, содержание гумуса в слое почвы 0–20 см находилось в прямой зависимости от величины суммарной дозы ОСВ, возрастая с 1,50 в контроле до 1,63–2,58 % (дол. м. 3 т/га), 1,67–2,65 (дол. м. 6 т/га и 1,72–2,73 (дол. м. 9 т/га). Более

*Таблица 3 – Влияние длительного применения различных доз ОСВ в сочетании с известкованием на агрохимические свойства дерново-подзолистой супесчаной почвы, слой 0–20 см*

Вариант	pH <sub>KCL</sub>	Н <sub>r</sub>	S (Ca+Mg)	ЕКО	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> подв.	K <sub>2</sub> O обм.	Гумус, %
Контроль, без удобрений	6,25	0,81	6,96	7,77	619	32	1,50
ОСВ 180т/га + дол. м. 3 т/га	6,42	0,75	7,84	8,59	716	33	1,63
ОСВ 360 т/га + дол. м. 3 т/га	6,45	0,72	7,89	8,61	809	35	1,78
ОСВ 720 т/га + дол. м. 3 т/га	6,50	0,70	7,92	8,62	1080	36	2,22
ОСВ 1440 т/га + дол. м. 3 т/га	6,56	0,66	8,25	8,91	2049	38	2,58
ОСВ 180 т/га + дол. м. 6 т/га	6,45	0,69	8,06	8,75	811	33	1,67
ОСВ 360 т/га + дол. м. 6 т/га	6,50	0,67	8,16	8,83	987	34	1,81
ОСВ 720 т/га + дол. м. 6 т/га	6,52	0,65	8,32	8,97	1223	36	2,22
ОСВ1440 т/га + дол. м. 6 т/га	6,54	0,63	8,39	9,02	1997	39	2,65
ОСВ 180 т/га + дол. м. 9 т/га	6,50	0,62	8,15	8,77	930	33	1,72
ОСВ 360 т/га + дол. м. 9 т/га	6,53	0,57	8,47	9,04	1065	34	1,84
ОСВ 720 т/га + дол. м. 9 т/га	6,57	0,55	8,68	9,23	1412	35	2,15
ОСВ 1440 т/га + дол. м. 9 т/га	6,60	0,53	8,87	9,40	2110	38	2,73

высокое содержание гумуса в вариантах с уровнями известкования 6 и 9 т/га обусловлено пониженной миграционной активностью органического вещества из-за образования гуматов кальция.

Согласно полученным данным, тип гумусообразования зависит от дозы известкования, и с повышением его уровня до 6 т/га возрастает содержание гуминовых кислот, а тип гумусообразования приближается к гуматному. При этом  $C_{гк}:C_{фк}$  составляет 1,21–1,26, в отличие от  $C_{гк}:C_{фк}$  равном 0,43–0,59 при уровне известкования 3 т/га. Проведенные исследования показали также, что по последствию ОСВ содержание лабильного гумуса в слое почвы 0–20 см в сравнении с контролем возрастает на 11 и 76 %, соответственно дозам 165 и 1320 т/га. При этом доля лабильного гумуса в общем его содержании изменяется незначительно и имеет тенденцию к снижению. Данная зависимость обусловлена, очевидно, возрастанием в составе органического веще-

ства почвы негидролизующего остатка, представленного органолигнинными соединениями, которые входят в состав органического вещества осадка сточных вод.

Таким образом, использование нетрадиционных источников питания растений в виде осадка сточных вод оказывает заметное положительное влияние на показатели плодородия дерново-подзолистой супесчаной почвы. Выявлено положительное последствие повышенных доз ОСВ и различных уровней известкования на основные агробиологические свойства почвы, в т. ч. уровень подвижных форм азота, биологическую активность почвы, в частности содержание микробной биомассы, целлюлозолитическую, дыхательную и микробиологическую активность почвы, а также кислотно-основные свойства дерново-подзолистой супесчаной почвы и содержание в ней Сорг., P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> подв. и K<sub>2</sub>O обм.

### **Библиографический список**

1. Агроэкологические и технологические аспекты использования осадков городских сточных вод в качестве удобрения / В. А. Касатиков [и др.] // Экологические и технологические вопросы производства и использования органических и органоминеральных удобрений на основе осадков городских сточных вод и твердых бытовых отходов: материалы междунар. симпозиума. – Владимир, 2004. – С. 29-39.

2. Касатиков, В. А. Влияние микробиологических деструкторов лигнинсодержащих отходов на агроэкологические свойства компоста на основе осадка сточных вод и опилок / В. А. Касатиков, В. А. Раскатов, Н. П. Шабардина // Доклады МСХА. – 2010. – Вып. 283. – С. 806-811.

3. Ресурсы органических удобрений в сельском хозяйстве России: информационно-аналитический справочник / А. И. Еськов [и др.]; ред. А. И. Еськов // Российская академия сельскохозяйственных наук, Государственное научное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский, конструкторский и проектно-технологический институт органических удобрений и торфа» Российской академии сельскохозяйственных наук. – Владимир : [б. и.], 2006. – 200 с. : табл. – Библиогр.: с. 199-200.

4. Пахненко, Е. П. Осадки сточных вод и другие нетрадиционные органические удобрения / Е. П. Пахненко. – М., 2010. – 311 с.

5. Анализ опыта почвенного пути утилизации осадков сточных вод / Н. К. Сюняев [и др.]. – М.: ФГОУ ВПО РГАУ-МСХА им. К. А. Тимирязева, 2008. – 108 с.

6. Чжоу, Д. Агроэкологическая оптимизация применения органо-растительных компостов на основе ОСВ на дерново-подзолистой супесчаной почве: автореф. дис. ... канд. биол. наук / Д. Чжоу. – М.: МСХА, 2005. – 22 с.

7. Регидратационный метод определения биомассы микроорганизмов в почве / С. А. Благодатский [и др.]. // Почвоведение. – 1987. – № 4. – С. 71-81.

8. Звягинцев, Д. Г. Биология почв: учеб. пос. / Д. Г. Звягинцев. – М.: изд. МГУ, 2005. – 445 с.

9. Шарков, И. Н. Абсорбционный метод определения эмиссии CO<sub>2</sub> из почв / И. Н. Шарков // Методы исследования органического вещества почв. – Владимир, 2005. – С. 401.

Поступила 23.05.2019

## ОЦЕНКА АНТРОПОГЕННОЙ НАГРУЗКИ НА БАССЕЙН Р. ПРИПЯТЬ В ПРЕДЕЛАХ ЗАПАДНОГО ПОЛЕСЬЯ УКРАИНЫ

**И. В. Голчак<sup>1</sup>**, кандидат географических наук, доцент

**Т. А. Басюк<sup>2</sup>**, кандидат географических наук

**А. В. Яцык<sup>3</sup>**, академик НААН Украины, доктор технических наук, профессор

<sup>1</sup>Национальный университет водного хозяйства и природопользования, г. Ровно, Украина;

<sup>2</sup>Международный экономико-гуманитарный университет имени академика Степана Демьянчука, г. Ровно, Украина;

<sup>3</sup>Украинский научно-исследовательский институт водохозяйственно-экологических проблем, г. Киев, Украина

### Аннотация

Произведена оценка антропогенной нагрузки и классификации экологического состояния бассейна р. Припять (в пределах Западного Полесья Украины). Расчет выполнен по четырем самостоятельным моделям основных подсистем бассейна реки: «Радиоактивное загрязнение территории», «Использование земель», «Использование речного стока», «Качество воды». Определена величина индукционного коэффициента антропогенной нагрузки. Общее экологическое состояние бассейна р. Припять оценено как «удовлетворительное».

**Ключевые слова:** река, бассейн реки, антропогенная нагрузка, водные ресурсы, качество воды, экологическое состояние.

**I. Gopchak, T. Basiuk, A. Yatsyk**

### AN ASSESSMENT OF THE ANTHROPOGENIC LOAD UPON THE PRIPYAT RIVER BASIN WITHIN THE WESTERN POLESIE OF UKRAINE

An assessment of the anthropogenic load and the classification of the ecological state of the Pripjat river basin (within the Western Polesie of Ukraine) has been made. The calculation was carried out using four independent models of the main subsystems of the river basin: "Radioactive contamination of the territory", "Land use", "River flow utilization", "Water quality". The value of the induction coefficient of anthropogenic load is determined. The overall ecological state of the Pripjat basin river is assessed as "satisfactory".

**Key words:** river, river basin, anthropogenic loading, water resources, water quality, ecological status.

### Введение

В сфере охраны окружающей среды и рационального использования природных ресурсов Украины на сегодняшний день достаточно актуальным является вопрос сложившейся экологической ситуации в бассейнах рек. Современное интенсивное использование водных и земельных ресурсов в экосистемах речных бассейнов во многих случаях привело к нарушению экологического равновесия и возникновению таких проблем, как загрязнение водоемов, разрушение природных ландшафтных комплексов речных долин и прилегающих территорий. Все эти изменения требуют оперативного контроля и реагирования, которые возможны только на основе реальной оценки антропогенной нагрузки на бассейн реки. В результате определенного антропогенного давления изменяются ландшафты, почвы, леса, качество воды, растительный и животный мир. В связи с этим особую актуальность приобретают исследования антропогенной нагрузки и определение экологического состояния бассейна реки как единой геосистемы. Это позволит осуществить водохозяйственно-экологическое районирование территории

страны, разработать инженерно-организационные основы решения существующих в бассейнах рек проблем [1,2] и, как результат, восстановить природно-экологического равновесие в водных и околоводных экосистемах рек Украины, создать условия для экологически безопасного водопользования.

Изучение антропогенного воздействия на водосборах и в речных долинах основывается на экосистемном или бассейновом подходах и заключается в комплексной оценке использования водных и земельных ресурсов, структуры ландшафтов, а также их загрязнения [1, 4].

Оценке антропогенной нагрузки с различных позиций посвящен ряд научных исследований. Научные труды А. В. Яцыка, П. И. Ковальчука, Л. Б. Бышовец, А. П. Чернявской [1, 5] освещают методические подходы к определению критериев оценки антропогенной нагрузки на бассейны малых рек. В работах И. Я. Мисковца [6], И. М. Нетробчука [7] анализируется экологическое состояние и оцениваются различные виды антропогенной нагрузки на бассейны малых рек Волынской области. Научная работа М. Д. Будза [8] освещает антропогенный

фактор в формировании гидрологического режима малых рек Западного Полесья Украины.

Цель исследования – оценка антропогенной нагрузки и определения экологического состояния бассейна р. Припять (в пределах Западного Полесья Украины) для разработки мероприятий по его улучшению.

В процессе исследования решались следующие задачи:

- количественная и качественная оценка антропогенного состояния в бассейне реки по различным показателям в разрезе отдельных подсистем;
- определение уровня антропогенной нагрузки и общего экологического состояния бассейна реки;
- поиск мер по улучшению тех или иных показателей отдельных подсистем.

### Основная часть

Припять – река, протекающая по территории Украины и Беларуси (приток Днепра). Она берет начало на западе Полесья, впадает в Киевское водохранилище. Длина реки составляет 761 км, площадь бассейна – 114,3 тыс. км<sup>2</sup>. Верхняя часть бассейна Припяти, пересекает северную часть Западного Полесья Украины, далее река течет по территории Республики Беларусь.

В пределах Волынской области р. Припять имеет общую длину 172 км. Эта территория уникальна по природным условиям и имеет достаточно высокую антропогенную нагрузку. В пределах этой части долины реки расположены Шацкий национальный природный парк (48,977 тыс. га), Региональный ландшафтный парк «Припять – Стоход» (44,958 тыс. га) и другие природоохранные территории, а также осушительная система «Регулирование р. Припять» (25 тыс. га) непосредственно в пойме реки и еще 17 осушительных систем общей площадью 25 тыс. га в пределах долины. На этом же отрезке в районе пос. Почапы-Залухов берет начало Днепроовско-Бугская водная система. Кроме того, территория значительно заселена, что обостряет проблемы преимущественно социально-эколого-экономического характера во взаимоотношениях человека и природы [9].

В течение последних десяти лет этот регион привлекает внимание рядом катастрофических паводков, приводящих к длительному затоплению значительных площадей, в т. ч. сельхозугодий, населенных пунктов, объектов производственной инфраструктуры и т. п. Эти природные явления приобрели характер устойчивой тенденции с постепенным ростом опасности. При этом постоянно затопляется площадь более 40 тыс. га, в т. ч. 30 тыс. га сельхозугодий и территории другого функционального назначения, 57 населенных пунктов.

Для выяснения сложившейся ситуации и принятия определенных решений, были проведены комплексные исследования. В результате которых установлена деградация русла р. Припять обусловленная рядом причин: нерегулируемым отбором воды из реки на питание Днепроовско-Бугской водной системы; высокой мелиоративной нагрузкой; нерегулируемой деятельностью населения на водотоках (рыбные запруды, непланируемые коммуникации, несанкционированный водозабор, водоотведение и т. д.). Все это ведет к зарастанию и заилению русла р. Припять и в комплексе приводит к деградации, а в некоторых местах – исчезновению самого русла [9].

Как видим, современное состояние природной среды в долине р. Припять сформировалось под влиянием комплекса антропогенных и естественных факторов. Особое внимание к этой территории обусловлено уникальностью географического положения долины реки и ее природными условиями [7, 10, 11].

Расчет антропогенной нагрузки и оценка его влияния на экологические системы бассейна р. Припять выполнены по результатам оценки и классификации состояния основных природных систем (подсистем): земельных и водных ресурсов, качества воды по химическому, токсикологическому, бактериологическому и радиационному загрязнению [5, 11].

Построенная по экосистемному принципу логико-математическая модель иерархической структуры «Бассейн малой реки» позволяет проследить состояние бассейнов рек по разным показателям в разрезе отдельных подсистем («Радиоактивное загрязнение территории», «Использование земель», «Использование речного стока», «Качество воды») и бассейна реки в целом. При такой структуре модели можно не только оценить общее состояние бассейна реки, но и составить представление о том, как изменения отдельных показателей подсистем влияют на состояние всей системы. Это очень важно для формирования направлений природоохранной деятельности в бассейнах конкретных рек [1, 5]. Важной особенностью предложенной системной модели является то, что оценка состояний системы, подсистем в этой модели выполняется параллельно по двум направлениям – количественному и качественному. Оценивается качественное состояние показателей подсистем, при этом на множестве состояний отдельных подсистем определяется количественная мера, а на основе количественных мер отдельных подсистем – количественная мера всей системы.

Согласно методике [5] значения первичных показателей подсистемы использования земельных и водных ресурсов были трансформированы в баллы. В результате получены качественные

характеристики каждого из них, рассчитан комплексный показатель и по соответствующей шкале [5] определен класс состояния использования подсистемы. Каждая определенная подсистема имеет свои критериальные значения для перевода количественной оценки состояния в качественную. По результатам оценки состояния всех подсистем определяется общая оценка состояния всей системы бассейна, которая проведена по индукционному коэффициенту антропогенной нагрузки (ИКАН).

ИКАН рассчитан на основе текущих значений мер отдельных подсистем по формуле:

$$\varphi(Km) = 0,3 \varphi(Lm) + 0,2 \varphi(Wm) + 0,5 \varphi(Qm),$$

где:  $Km$  – количественная мера общего экологического состояния бассейна реки (ИКАН);

$Lm$ ,  $Wm$ ,  $Qm$  – количественные меры состояния подсистем соответственно «Использование земель», «Использование речного стока», «Качество воды» с весовыми коэффициентами 0,3, 0,2, 0,5.

Согласно [5], по величине количественной меры общего экологического состояния бассейна реки (ИКАН) определяют следующие состояния бассейна реки: 3 – «хорошее», 1 – «изменения незначительны», 0 – «удовлетворительное», -1 – «плохое», -3 – «очень плохое», -4 – «катастрофическое». Та или другая оценка состояния бассейна отражает степень антропогенной нагрузки и реакцию экосистемы на эту нагрузку.

Рассчитанная по формуле принадлежность экологического состояния бассейна реки к определенному классу определяется по минимальной близости результата указанным мерам, что подразумевает следующее: когда количественная характеристика равна, например, 2,0 и больше – тогда она относится к 3, а если 1,9 и меньше – тогда она относится к 1. Так же с -1,9 и выше – относится до -1; а 2,0 и ниже – соответственно до 3.

Например, по результатам анализа подсистемы «Радиоактивное загрязнение территории» (таблица) установлено, что бассейн р. Припять находится вне зоны радиоактивного загрязнения. Состояние бассейна классифицируется как «удовлетворительное», количественная мера – 0.

В системной модели «Бассейн малой реки» подсистема «Радиоактивное загрязнение территории» признана приоритетной. Поэтому, когда общее состояние этой подсистемы оценено как «катастрофическое» или «очень плохое», состояние всего бассейна оценивают аналогично. При отсутствии радиоактивного загрязнения на территории бассейна или в случае его незначительной величины (до уровня 0 – «удовлетворительное») подсистема «Радиоактивное загрязнение территории» изымается

из состава подсистем системной модели «Бассейн малой реки» и расчеты антропогенной нагрузки и оценку экологического состояния бассейна реки выполняют по всем другим подсистемам (таблица).

Элементами подсистемы «Использование земель» являются показатели лесистости ( $f_1$ ), природного состояния ( $f_2$ ), сельскохозяйственной освоенности ( $f_3$ ), распаханности ( $f_4$ ), урбанизации ( $f_5$ ), и эродированности ( $f_6$ ) территории бассейна. Согласно расчетам состояние подсистемы данной подсистемы в бассейне р. Припять характеризуется как «удовлетворительное», количественная мера – -1,0.

Оценка экологического состояния реки подсистемы «Использование речного стока» осуществляется по следующим показателям: фактическое использование речного стока рек ( $q_1$ ), безвозвратное водопотребление ( $q_2$ ), сброс воды в речную сеть ( $q_3$ ), сброс загрязненных сточных вод в реку ( $q_4$ ). Каждое значение было рассчитано отдельно с использованием данных объема забора воды из речной сети ( $W_3$ ); объема потерь речного стока в результате отбора подземных вод, которые гидравлически связаны с речной сетью ( $W_n$ ); фактического объема речного стока ( $W_{\phi}$ ); объема сброса воды в речную сеть ( $W_C$ ); объема сброса в речную сеть загрязненных сточных вод ( $W_{3Б}$ ). Общее состояние бассейна р. Припять по данной подсистеме классифицируется как «удовлетворительное» с количественной мерой 1,0.

Согласно Методике [5], в каждой подсистеме существует свое критериальное оценивание, где каждой определенной количественной оценке соответствует своя качественная оценка. В итоге, в нашем случае проведенных расчетов так совпало, что различные количественные значения различных подсистем имеют одинаковую качественную характеристику «удовлетворительно».

Подсистема «Качество воды» предназначена для экологической оценки качества поверхностных вод и классификации состояния бассейна реки по уровню антропогенного загрязнения воды. В этой подсистеме выделяют два блока на уровне подсистем второго порядка: «Химическое загрязнение» и «Бактериальные загрязнения», которые в совокупности характеризуют воды и являются важнейшими для классификации антропогенного воздействия по комплексу критериев. Оценка осуществляется по наименьшей мере из двух. Источниками информации для расчетов были гидрохимические ежегодники гидрометеорологической службы Министерства экологии и природных ресурсов Украины, данные гидрохимических лабораторий Государственного агентства водных ресурсов Украины, районных

и областных санитарно-эпидемиологических станций, паспорт реки.

Класс загрязнения воды блока «Химическое загрязнение» оценивается по наихудшему показателю (максимальное значение всех загрязняющих веществ). Классификация качества воды в блоке «Бактериальное загрязнение» осуществляется по показателю коли-индекса. В целом по подсистеме «Качество воды» вода в р. Припять соответствует IV классу качества воды и по состоянию характеризуется как «загрязненная».

По результатам комплексной оценки всех подсистем бассейна реки установлено индукционный

коэффициент антропогенной нагрузки (ИКАН). Для бассейна реки Припять его значение составило  $-0,6$ , что соответствует «плохому» экологическому состоянию ее бассейна (таблица).

Для улучшения экологической ситуации в бассейне р. Припять прежде всего необходимо принять следующие меры: соблюдать требования природоохранного законодательства и установленных правил; ограничить применение азотных удобрений с целью предупреждения их попадания со стоком от сельскохозяйственных полей в реки; вдоль русел рек установить водоохранные зоны, где следует запретить сельскохозяйственные работы;

Таблица – Оценка антропогенной нагрузки и классификация экологического состояния бассейна р. Припять (в пределах Западного Полесья Украины)

Подсистема	Показатель	Обозначение	Единицы измерения	Значение	Количественная мера	Экологическое состояние
«Радиоактивное загрязнение территории»	Sr <sup>90</sup>	$R_1$	Ки/км <sup>2</sup>	0,01	0	удовлетворительное
	Cs <sup>137</sup>	$R_2$	Ки/км <sup>2</sup>	2,2	0	удовлетворительное
	Pu <sup>239</sup>	$R_3$	Ки/км <sup>2</sup>	0,002	0	удовлетворительное
	Состояние подсистемы, $Rm$				0	удовлетворительное
«Использование земель»	Лесистость	$f_1$	%	22,1	4	хорошее
	Естественное состояние	$f_2$	%	41	1	улучшенное
	Сельхозосвоенность	$f_3$	%	71,6	-1	ниже нормы
	Распаханность земель	$f_4$	%	55,4	-1	ниже нормы
	Урбанизация	$f_5$	%	8,58	-4	неудовлетворительное
	Эродированность	$f_6$	т/га за год	11	-1	ниже нормы
	Состояние подсистемы, $Lm$				-1	удовлетворительное
«Использование речного стока»	Использование речного стока	$q_1$	%	9,2	3	хорошее
	Безвозвратное водопотребление	$q_2$	%	12,5	-1	плохое
	Сброс воды в речную сеть	$q_3$	%	3	3	хорошее
	Сброс загрязненных сточных вод	$q_4$	%	2,9	-1	плохое
	Состояние подсистемы, $Wm$				1	удовлетворительное
«Качество воды»	Блок «Химическое загрязнение»	II класс качества воды			1	чистая
	Блок «Бактериальные загрязнения»	IV класс качества воды			-1	загрязненная
	Состояние подсистемы, $Qm$				-1	загрязненная
Общее экологическое состояние бассейна реки		ИКАН			-0,6	плохое

соблюдать режим хозяйственной деятельности в пределах водоохранных зон и прибрежных полос в бассейне реки; осуществлять контроль над сбросами и соблюдать требования очистки воды. Особое внимание необходимо уделить инвестициям капитальных вложений на очистные сооружения для сточных вод коммунального хозяйства, животноводства, очистки русла реки, дноуглубления, берегоукрепления и т. п.

### **Заключение**

На основании проведенных расчетов можно утверждать, что экологическое состояние верхней части бассейна р. Припять плохое, уровень антропогенной нагрузки по величине ИКАН составляет  $-0,6$ . Радиоактивное загрязнение земель в бассейне реки отсутствует. Состояние подсистем «Использование земель» и «Использование речного стока»

классифицируется как удовлетворительное с количественной мерой  $-1,0$  и  $1,0$  соответственно. Качество воды в бассейне реки Припять характеризуется IV классом качества воды («загрязненные» воды) с количественной мерой  $-1$ . Для улучшения экологического состояния бассейна реки предлагается придерживаться действующего водоохранного законодательства.

Выполнение оценки антропогенной нагрузки на бассейн реки имеет большое значение, прежде всего, для формирования природоохранной деятельности в речном водосборе и установления показателей, наиболее сильно влияющих на его экологическое состояние. Все это определяет перспективу дальнейших исследований рек Украины, направленных на детальную оценку экологического состояния их бассейнов.

### **Библиографический список**

1. Яцик, А. В. Водогосподарська екологія : у 4 т., 7 кн. / А. В. Яцик. – Т. 3, кн. 5. – Київ : Генеза, 2004. – 480 с.
2. Наукові основи басейнового управління природними ресурсами (на прикладі р. Гнила Липа): монографія / М. М. Приходько, Н. Ф. Приходько, В. П. Пісоцький [та ін.]; за ред. М. М. Приходька. – Івано-Франківськ, 2006. – 270 с.
3. Екологічна оцінка стану поверхневих вод України з урахуванням регіональних гідрохімічних особливостей : зб. наук. пр. УНДіВЕР / О. Г. Васенко, Д. Ю. Верниченко-Цветков, М. С. Коваленко [та ін.]. – вип. XXXII. – Х.: ВД «Райдер», 2010. – с. 36-54.
4. Кирилюк, О. В. Історія становлення басейнового підходу у географії та екологічному руслознавстві / О. В. Кирилюк // Наук. випуски Вінницьк. держ. пед. ун-ту ім. Михайла Коцюбинського. Серія: Географія. – Вип. 14. – Вінниця, 2007. – С. 40-47.
5. Методическое руководство по расчету антропогенной нагрузки и классификации экологического состояния бассейнов малых рек Украины / А. В. Яцык, А. М. Петрук, А. П. Канаш [та ін.] - К.: УНИИВЭП, 1992. – 40 с.
6. Мисковець, І. Я. Антропогенні зміни в басейнах малих річок (на прикладі Волинської області) : автореф. дис. канд. геогр. наук / І. Я. Мисковець. – Чернівці, 2003. – 22 с.
7. Нетробчук, І. М. Оцінка антропогенного навантаження на басейн верхньої Прип'яті в Ратнівському районі Волинської області / І. М. Нетробчук ; за ред. Б. М. Нешатаєва, А. О. Корнуса [та ін.] // Наук. записки Сумського держ. пед. ун-ту імені А. С. Макаренка. Географічні науки. – Вип. 5. – Суми, 2014. – С. 10-18.
8. Будз, М. Д. Антропогенний фактор в формуванні гідрологічного режиму малих річок Західного Полісся України / М. Д. Будз // Вісник УДУВГП. Зб. наук. праць. – Вип. 5(18). – Ч. 5. Гідротехнічні споруди, гідравліка. Гідрологія та гідроенергетика. – Рівне : 2002. – С. 10-16.
9. Мольчак, Я. О. Річки Волині / Я. О. Мольчак, Р. В. Мігас. – Луцьк : Надстир'я, 1999. – 176 с.
10. Гопчак, І. В. Аналіз антропогенного навантаження на басейни малих річок Українського Полісся / І. В. Гопчак // Геодезія. Землеустрій. природокористування: присвячується пам'яті П.Г. Черняги: зб. тез Всеукраїнської науково-практичної конференції (м. Рівне, 9–10 листопада 2016 року) – Рівне: НУВГП, 2016. – С. 119-121.
11. Яцик, А. В. Районування території Західного Полісся України за антропогенним навантаженням і екологічним станом басейнів малих річок / А. В. Яцик [та ін.] // Вісник аграрної науки. – 2019. – № 1 (790). – С. 68-72.

Поступила 26.04.2019

## СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ЭКОЛОГО-МЕЛИОРАТИВНОЕ ЗНАЧЕНИЕ ДРЕВЕСНО-КУСТАРНИКОВЫХ ЭКОСИСТЕМ НА ЗАКРЕПЛЕННЫХ ПЕСКАХ АСТРАХАНСКОГО ЗАВОЛЖЬЯ

**В. В. Лепеско<sup>1</sup>**, кандидат сельскохозяйственных наук

**Л. П. Рыбашлыкова<sup>2</sup>**, кандидат сельскохозяйственных наук

<sup>1</sup>Богдинская научно-исследовательская агролесомелиоративная опытная станция – филиал ФНЦ агроэкологии РАН, Астраханская область, г. Харабали, Россия

<sup>2</sup>Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения РАН, г. Волгоград, Россия

### Аннотация

Проведена оценка современного состояния древесно-кустарниковых экосистем на закрепленных подвижных песках Астраханского Заволжья, сохранивших целостность многоярусной структуры фитоценозов, в зависимости от способа фиксации песков, их зарастания кормовыми пастбищными растениями, срока мелиорации очагов дефляции и режима эксплуатации восстановленных пастбищных угодий.

*Ключевые слова:* подвижные пески, склеивающие вещества, нэрозин, нэрозиновая эмульсия, арланская нефть, древесно-кустарниковые насаждения, фитомелиорация, повышение продуктивности опустыненных пастбищ.

### Abstract

**V. Lepesko, L. Rybashlykova**

### THE CURRENT CONDITION AND ECOLOGICAL AMELIORATIVE VALUE OF TREE AND SHRUB ECOSYSTEMS ON THE FIXED SANDS OF THE ASTRAKHAN REGION

The assessment of the current condition of tree-shrub ecosystems on the fixed drifting sands of the Astrakhan Volga region, which have preserved the integrity of the multi-tiered structure of phytocenoses, depending on the method of fixing the Sands, their overgrowth by forage pasture plants, the period of reclamation of the foci of deflation and the mode of operation of the restored pasture lands.

*Keywords:* drifting sand, adhesive substance, Nerosine, non-rubber emulsion, arlansky oil, tree and shrub planting, revegetation, increase in productivity of deserted pastures.

### Введение

Согласно географическому статусу, Астраханская область относится к югу азиатской части Евразии, целиком лежащей в границах Прикаспийской низменности. 30–70 тыс. лет назад почти вся ее территория была дном Каспия, поэтому здесь огромные запасы солей, частично вымытых к настоящему времени из зоны аэрации Волго-Ахтубинской поймы и комплексных песчаных массивов (арен) Волго-Уральского и Кумско-Волжского междуречий.

Преобладающая часть всей пойменной территории относится к категории дефляционно-опасной и дефлируемой: здесь издавна пески периодически заносили поселения и превращали пастбища в барханы.

Образование подвижных песков в Астраханском Заволжье было связано с нагрузкой скота и вырубкой местным населением древесно-кустарниковой растительности на топливо. Многочисленные

материалы свидетельствуют о том, что степи Прикаспийской низменности во второй половине XVIII в. представляли собой богатые пастбища и сенокосные угодья. Местные жители (русские, татары) не только не принимали меры по борьбе с дефляцией, но и содействовали ей, уничтожая кустарники и травы. В царское время существовал специальный поезд, предназначенный для расчистки от песчаных заносов железной дороги на отрезке Баскунчак – Астрахань. Это привело к превращению легких песчаных почв в подвижные пески, и к 1900 г. Астраханская степь более чем на 30 % оказалась разбитой.

К 1930 г. в Астраханской обл. насчитывалось свыше 800 тыс. га подвижных песков. В настоящее время по данным аэрокосмической съемки площадь деградированных пастбищ здесь составляет 1300 тыс. га, из них подвижных песков (1-я лесомелиоративная категория) – более 250 тыс. га.

На восстановление разрушившихся до стадии барханского сбоя пастбищ были приложены

немалые усилия и израсходованы крупные средства. Однако и в настоящее время на территории области наблюдаются локальные вспышки дефляции на песчаных землях.

В Астраханском Заволжье остро стоит проблема восстановления деградированного растительного покрова пастбищных угодий, которые пострадали в результате неблагоприятных природно-климатических условий и ресурсозатратной деятельности человека.

При этом почти за вековую практику фитомелиоративных работ разработаны и испытаны многочисленные технологии, которые давали различный положительный эффект, позволяя не только закреплять открытые пески, но и восстанавливать утраченное плодородие.

В XX в. в этом направлении активно работали многие ученые ВНИИАЛМИ и Богдинской НИАГЛОС им. М. А. Орлова в прошлом веке. Технологии, применяемые для создания лесопастбищ на песках прошли апробацию временем [1, 2].

#### **Объекты, методы и условия проведения исследований**

Исследования проводились на типичных подвидных мелко- и средне-барханных песках колхозов «Россия», «Ленинский путь», Богдинской НИАГЛОС в Харабалинском р-не Астраханской обл., а также на разбитых техногенных песках – территория Астраханского газоперерабатывающего комплекса в Красноярском районе.

Работы осуществлялись с применением склеивающих веществ (арланской нефти дозой 3–5 т/га и нерозиновой эмульсии дозой 4–5 т/га), посадкой сеянцев кустарников (терескена серого, джужгуна безлистного, тамарикса, саксаула черного, лоха узколистного), посевом ценных пастбищных растений (прутняка, полыни белой, житняка) и других фитомелиорантов, а также созданием биологических защит от заносов песком с помощью крупномерного посадочного материала кустарниковых пород без химических средств.

Богдинская НИАГЛОС в 1991 г. предложила альтернативное решение по закреплению разбитых техногенных песков – внедрение аборигенных деревьев и кустарников, посев трав-пескозакрепителей. На участке исследований (Астраханский газоперерабатывающий комплекс) почвенный покров представлен бурой пустынно-степной почвой, различной степени солонцеватости, в комплексе с солонцами (20–80 %). Луговато-бурые пустынные остепненные почвы в межрядовых впадинах составляли 5–15 % общей площади.

На основании биоэкологических характеристик древесно-кустарниковых пород, произрастающих на различных типах почв, рекомендовался ассортимент

Изучение функционирования мелиорированных пастбищных и лесопастбищных экосистем в оптимальных и, особенно, экстремальных условиях юга России имеет теоретическое и практическое значение.

Спустя длительный отрезок времени выявлены лесопастбища, которые сохранили функциональное назначение и существуют более 50 лет.

Исследования, проведенные на территории Астраханского Заволжья, дали возможность оценить долгосрочный мелиоративный эффект. Они показали, что преимущество созданных лесопастбищ проявляется не только в повышении фитопродуктивности лесомелиорированных территорий, но и в увеличении биоразнообразия, формировании более устойчивых популяций и фитоценозов, которые способствуют продлению продуктивного долголетия и созданию более устойчивых агроландшафтов.

пород, при допустимой минерализации грунтовых вод, для выращивания защитных лесных насаждений в восточных районах (Заволжье) Астраханской и Волгоградской областей [3]:

– темноватые почвы впадин, бурые слабо-солонцеватые супесчаные с глубиной грунтовых вод 5–8 м (допустимая минерализация 6–10 г/л): вяз перестовитвистый, берест, клен ясенелистный, ясень зеленый, шелковица белая;

– бурые солонцеватые суглинистые пустынно-степные супесчаные, тяжелосуглинистые, сильно солонцеватые (допустимая минерализация грунтовых вод 12–20 г/л): лох узколистный, смородина золотая, тамарикс, жимолость, саксаул черный;

– супесчаные и песчаные почвы, развеваемые и полузаросшие пески с залеганием грунтовых вод 3–5 м (допустимая минерализация 25–40 г/л): саксаул черный, тамарикс, джужгун, терескен, песчаная акация.

Посадки проводились в 1993 г. в оптимальные весенние сроки машиной МЛУ-1 на тяге трактора Т-150 с учетом лесорастительных условий и использования пород, выращенных в условиях питомника опытной станции. Лабораторные исследования выполнялись на базе лаборатории лесной мелиорации и лесохозяйственных проблем засушливых зон и Богдинского филиала ФНЦ агроэкологии РАН с использованием методов полевых наблюдений, математического анализа данных полевых наблюдений, имитационного моделирования интернет-ресурсов и общепринятых методик.

### Результаты и их обсуждение

Мониторинг современного состояния древесно-кустарниковых насаждений на закрепленных песках Астраханского Заволжья, сукцессий растительного покрова позволит выявить перспективные технологии восстановления разбитых песчаных земель, где сохранилась целостность и многоярусная структура фитоценозов.

В результате тщательного соблюдения технологии лесопосадочных работ в зоне полупустыни были получены хорошие результаты по приживаемости, росту и сохранности кустарниковых пород. К 2000 г. средняя приживаемость высаженных пород составляла 81 %, сохранность – 70 %, из них: вяз мелколистный – 85 и 72 % соответственно, джужгун – 94 и 76, тамарикс – 75 и 65, абрикос обыкновенный – 55 и 47, щелюга – 78 и 70, клен ясенелистный – 95 и 82 %. Визуальная оценка древесно-кустарниковых пород была хорошая, и только у абрикоса отмечалось подмерзание побегов.

Наблюдения 2018 г. показали удовлетворительную сохранность древесно-кустарниковых пород на АГПК.

В 25-летнем возрасте сохранность у вяза мелколистного составляла 59 %, у джужгуна – 60, у тамарикса – 60, абрикоса – 30, щелюги – 65 и клена ясенелистного – 64 %. Древесно-кустарниковые породы имели здоровый вид при средней высоте деревьев 2,3–3,7 м, кустарников – 1,2–1,5 м.

Мониторинг роста и развития кустарниковых полос из джужгуна, посаженных до и после обработки песков арланской нефтью в колхозе «Россия», в первый и последующие годы показал удовлетворительную приживаемость и хороший рост кустарника, несмотря на его систематическое стравливание домашними животными (табл. 1).

За 5 лет кустарниковые полосы достигали высоты 1,8 м. Джужгун начал хорошо плодоносить. Полосы сомкнулись в рядах и междурядьях. На песках без применения склеивающих веществ приживаемость

на контроле при посадке однолетними сеянцами в 5-летнем возрасте составляла 11 %. В 40-летнем – на дефлируемом участке сохранились лишь единичные экземпляры. В настоящее время большая часть кустов джужгуна плодоносит и выполняет мелиоративно-защитные функции.

При создании биологических защит без применения склеивающих веществ (колхоз «Россия») приживаемость крупномерных сеянцев джужгуна была 77 %, у однолетних сеянцев – значительно ниже, в 3-летнем возрасте составляла 41–45 %. В этом возрасте кустарниковые полосы из крупномерных сеянцев достигли высоты более 1,5 м и представляли вполне сформировавшиеся биологические защиты.

Под защитой кустарниковых полос из крупномерных сеянцев рельеф песков постепенно стабилизировался, и на третьем году относительные высоты пунктов изменялись на  $\pm 7$ –9 см, а среди полос из однолетних сеянцев – на  $\pm 30$  см.

В 40-летнем возрасте (2017 г.) сохранность полос из крупномерного посадочного материала составила в среднем 60–63% при высоте 110 см.

Опытные посадки 1975–1975 гг. из джужгуна, тамарикса и терескена в колхозе «Ленинский путь» имели различную приживаемость. Тамарикс прижился на 52 %, терескен – на 32 %. Более приспособленным кустарником оказался джужгун. В 4-летнем возрасте он имел высоту 1,5 м, диаметр кроны – 2,2 м, (при этом он сомкнулся кронами в рядах и междурядьях полос). В 2015 г. средняя высота джужгуна была 1,3–1,4 м, сохранность – 54 %.

На участке колхоза «Россия» положительный результат при зарачивании песков ценными кормовыми травами был получен при посеве смеси трав в поздне-осенний период (ноябрь 1975 г.). В 3-летнем возрасте высота трав достигала 50–70 см. В конце четвертой вегетации урожайность зеленой массы в межполосных пространствах джужгуновых полос на чистых посевах прутняка была 10,5 ц/га, полыни – 6,3 ц/га, а на смешанном посеве получено 18,8 ц/га (табл. 2).

Таблица 1 – Приживаемость и высота опытных джужгуновых полос на закрепленных песках (колхоз «Россия» Астраханской области)

Годы наблюдений	Приживаемость, %		Высота, см	
	В-1	В-2	В-1	В-2
1973	77	68	101	94
1975	76	66	144	141
1977	74	66	188	185
1980	74	65	188	185
2003	70	63	150	147
2013	70	63	130	129
2018	69	63	128	125

Примечание. В-1 – обработка песков до посадки сеянцев, В-2 – обработка песков после посадки сеянцев.

*Таблица 2 – Урожайность сеяных трав на песках под защитой кустарниковых полос (колхоз «Россия» Астраханской области)*

Годы наблюдений (август)	Урожайность сеяных трав, ц/га		
	Прутняк песчаный	Смесь трав: прутняк песчаный + полынь белая	Полынь белая
1976	0,9	1,6	0,4
1977	1,7	3,3	1,9
1978	9,5	18,4	8,7
1979	10,5	18,8	6,3

**Выводы**

Несмотря на сукцессионные изменения кустарниково-травянистого покрова на участке колхоза «Россия» за длительный период в настоящее время отмечается позитивная тенденция в накоплении поедаемой массы (злаков, полыни Лерха, прутняка, астрагалов и других трав). В то же время на закрепленных песках значительную площадь занимает полынь песчаная и несъедобное разнотравье. Спустя 40 лет урожайность воздушно-сухой массы трав на закрепленных песках составляет в мае 3,5 ц/га, в августе – 7,0 ц/га, где 40 % массы является съедобной.

Наиболее устойчивым к перевыпасу скота (аллогенной сукцессии) оказался участок в колхозе

«Россия» на закрепленных песках с использованием арланской нефти.

Мониторинг сукцессий растительного покрова в бывших очагах дефляции (мелиорированных в 1970-1990 гг.) в Астраханском Заволжье свидетельствует о том, что долговечные и продуктивные кормовые угодья сформировались при комплексной фитомелиорации очагов опустынивания, где применялись склеивающие вещества, древесные и травянистые растения. Это обеспечивает длительное (30–40 лет) устойчивое функционирование пастбищных фитоценозов.

**Библиографический список**

1. Манаенков, А. С. Лесомелиорация арен засушливой зоны / А. С. Манаенков. – Волгоград: ВНИАЛМИ, 2014. – 420 с.
2. Маттис, Г. Я. Лесоразведение в засушливых условиях / Г. Я. Маттис, С. Н.Крючков // Волгоград: ВНИАЛМИ, 2003. – 292 с.
3. Лепеско, В. В. Ассортимент древесно-кустарниковой растительности для лесомелиоративных работ в Заволжье Астраханской области / В. В. Лепеско, А. В. Вдовенко // Вестник научных конференций. – 2016. – № 4–5 (8). – С. 123-124.

Поступила 05.06.2019

# ● ЧТОБЫ ПОМНИЛИ ●



## Андрей Федорович Печкуров (к 120-летию со дня рождения)

Родился 5 июня 1899 г. Принимал участие в качестве красноармейца в гражданской войне (1919–1920). Окончил в 1927 г. Горецкий сельскохозяйственный институт (инженерно-мелиоративный факультет) и получил специальность инженера-гидротехника. Учебу совмещал с практической работой. С 1924 по 1927 г. работал гидротехником управления мелиорации и торфа Наркомзема БССР и Мозырского окружного земельного отдела.

Активно стремился к повышению профессиональной квалификации. Для реализации творческих планов в 1927 г. перешел на работу во Всесоюзный НИИ сельского и лесного хозяйства на должность ассистента отдела осушения, где в 1930 г. стал старшим научным сотрудником (1930–1941). В 1932 г. получил степень кандидата наук.

С начала Великой Отечественной войны служил на фронте, где проявил себя как отважный, мужественный и инициативный военнослужащий. Неоднократно был ранен. К концу войны дослужился до командира роты 122-й ОДСБ 1-й ударной армии.

После окончания боевых действий сразу же вернулся на работу в родной Белорусский научно-исследовательский институт мелиорации и водного хозяйства, где продолжительное время заведовал гидротехнической лабораторией (1945–1976) и одновременно являлся заместителем директора института по научной работе (1955–1969). С 1976 по 1990 г. работал в институте старшим научным сотрудником.

Кандидат технических наук (1932); доктор технических наук (1962); профессор (1962); заслуженный деятель науки и техники БССР (1974).

Андрей Федорович является автором более 100 опубликованных научных работ (в т. ч. трех монографий), многочисленных методических и нормативных документов. Старейший ученый республики в области гидротехнических мелиораций, в частности регулирования водного режима торфяных почв и повышения устойчивости русел рек и каналов. Его разработки вошли во многие учебники, нормативные и методические документы, проектные решения.

На протяжении многих лет А. Ф. Печкуров был бессменным членом Ученого совета Института, членом двух советов по защите диссертаций, членом межведомственного и межреспубликанских советов, научным консультантом Белгипроводхоза. Подготовил 12 кандидатов наук.

За заслуги в военное и мирное время Андрей Федорович награжден орденами Красной Звезды, Отечественной войны I и II степени, «Знак Почета», шестью медалями СССР, почетными грамотами Верховного Совета БССР, Минводхоза СССР и БССР, БелНИИМуВХ, золотой и серебряной медалями и дипломами ВДНХ СССР.

**Андрей Игнатьевич Ивицкий**  
(к 115-летию со дня рождения)



Родился 13 июня 1904 г. в д. Светозерье Чаусского р-на Могилевской обл. В 1925 г. окончил Горецкий сельскохозяйственный институт (инженерно-мелиоративный факультет) и получил специальность инженера-гидротехника.

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

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

После демобилизации руководил Водохозяйственным сектором АН БССР (1946–1948), затем заведовал отделом осушения Белорусского НИИ мелиорации и водного хозяйства (1948–1976), управлял лабораторией мелиорации торфяных почв (1976–1985), работал старшим научным сотрудником (1985–1990).

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

Принимал активное участие в общественной жизни (бессменный член ученого совета БелНИИМиВХ и двух советов по защите диссертаций, Республиканского межведомственного совета по мелиорации при Совете Министров БССР, научно-технического совета Минводхоза СССР). Консультировал крупные мелиоративные проекты. Подготовил 15 кандидатов и 2 доктора наук.

За заслуги перед Отечеством Андрей Игнатьевич награжден орденами Октябрьской Революции, Отечественной войны I и II степени, Красной Звезды, восемью медалями СССР, в том числе «За оборону Москвы» и «За взятие Кенигсберга», медалями ВДНХ СССР и дипломами ВДНХ БССР.



## **Петр Иосифович Закржевский** (к 90-летию со дня рождения)

*Родился 2 июня 1929 г. в г. Бобруйске. В 1948 г. окончил среднюю школу № 3 г. Бобруйска и поступил на гидротехнический факультет Белорусского политехнического института. После окончания первого курса переведен на гидромелиоративный факультет Белорусской сельскохозяйственной академии. Начиная с третьего курса работал в БСХА старшим лаборантом кафедры гидротехнических сооружений. В 1953 г. с отличием окончил Белорусскую сельскохозяйственную академию (гидромелиоративный факультет) и получил специальность инженера-гидротехника. Работал в академии ассистентом кафедры гидравлики и гидрометрии, старшим преподавателем кафедры гидравлики (1953–1957), учился в аспирантуре БелНИИ мелиорации и водного хозяйства (1957–1960), затем более 35 лет трудился в институте младшим научным сотруд-*

*ником, главным инженером, старшим научным сотрудником, заведующим лабораторией прогнозов водного режима и гидрологии (1960–1996).*

*Кандидат технических наук (1967), доктор технических наук (1990). В 1971 г. ему присвоено ученое звание старшего научного сотрудника, Петр Иосифович за время трудовой деятельности опубликовал 158 научных работ, в т. ч. три монографии. Отличался оригинальностью подходов к решению мелиоративных проблем. Он впервые в мировой практике разработал, испытал и внедрил в производство осушительно-увлажнительные мелиоративные системы с грунтовым водохранилищем и дренажные системы с постоянно затопленными устьями, базирующиеся на принципиально новых подходах. Разработал способы прогноза режима грунтовых вод осушаемой и прилегающей территорий, методы расчета параметров дренажа, учитывающие гидравлический режим в открытой проводящей сети в половодье и паводки, методику определения оптимальной степени регулирования водоприемника и обеспеченности расчетного стока в половодье и паводки. Оригинальность разработок и технологических решений, их новизна подтверждены 17 авторскими свидетельствами на изобретения. Награжден нагрудным знаком «Изобретатель СССР».*

*Спектр его научных интересов не ограничивался мелиорацией. Новые результаты были получены им и в агрономии: разработаны критерии оптимальных сроков сева сельскохозяйственных культур на мелиорированных землях, зависимости для учета фаз развития растений на интенсивность нарастания биомассы сельскохозяйственных растений в модели урожая и др. По сформулированным новым направлениям под его руководством защищено три кандидатские диссертации. Петр Иосифович уделял много внимания воспитанию учеников, демонстрируя преданность науке своим примером.*

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

*П. И. Закржевский – один из редко встречающихся подвижников науки, который отдавал ей все свое время. Окна в его кабинете еще долго продолжали светиться после того, как институт пустел. Петр Иосифович снискал уважение коллег за следование базовым научным принципам: скрупулезнейший подход к изучению проблемы, опирающийся на теоретические проработки, лабораторные и полевые опыты для получения достоверных выводов и решений, а также принципиальность и бескомпромиссность в отстаивании научной истины.*

*Петр Иосифович Закржевский ушел из жизни 16 июня 1996 г.*

## 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, Re, 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).*