

ISSN 2070–4828

МЕЛИОРАЦИЯ

Научный журнал

№ 1(103)

Основан в 1951 году
Выходит 4 раза в год

Январь – март 2023



Минск
2023

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

УЧРЕДИТЕЛЬ ЖУРНАЛА:

Республиканское научное дочернее унитарное предприятие «Институт мелиорации»

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР:

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

РЕДКОЛЛЕГИЯ:

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

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

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

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

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

Редакция не несет ответственности за возможные неточности по вине авторов.

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

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

Подписные индексы: **74856 — для индивидуальных подписчиков, цена – 20,40 руб.;**

748562 — для предприятий и организаций, цена – 24,00 руб.

Подписку можно оформить во всех отделениях связи.

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

Компьютерная верстка **И. В. Скуратович**

Подписано к печати 21.03.2023 г. Формат 60 x 84 1/8.
Уч.-изд. л. 6,8. Усл. печ. л. 7,91. Заказ 97. Тираж 50 экз.

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

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

© РУП «Институт мелиорации», 2023

Land improvement



Evaluation of the impact of nozzles on the pulp flow with hydrodynamic drainage cleaning



Influence assessment of the drainage and humidifying system relief on the regulation of the soils water regime by sluicing



Evaluating the parameters of the flooding zone of coastal territories of reservoirs in Belarus using unmanned aerial vehicles



Calculation of regeneration modes of water intake wells by the method of linear swabbing in closed chambers



Influence of irrigation with the water of different chemical composition on soil in arid subtropics of Azerbaijan

Кормопроизводство

Forage production



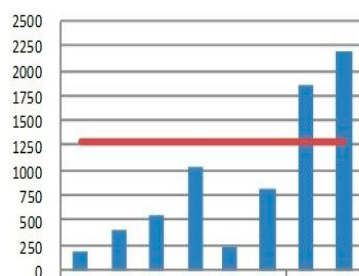
А. С. Анженков, В. Н. Филиппов

Сохранение и повышение плодородия торфяных почв

A. S. Anzhenkov, V. N. Filippov

Preservation and increasing the fertility of peat soils

47



Н. М. Дайнеко, С. Ф. Тимофеев

Динамика радиоактивного загрязнения луговых растений в пойме р. Сож

N. M. Dajneko, S. F. Timofeev

Dynamics of radioactive contamination of meadow plants in the floodplain of the Sozh river

53

Наши юбиляры

Our Jubilees

Евгений Максимович Козлов (к 90-летию)

60

Эдуард Николаевич Шкутов (к 75-летию)

61

Чтобы помнили

To be remembered

Памяти Анатолия Семеновича Мееровского

62

Константин Августович Гулейчик (к 120-летию)

64

Александр Михайлович Ахрамейко (к 85-летию)

65

Александр Тихонович Шпаков (к 85-летию)

66

• МЕЛИОРАЦИЯ •

УДК 626.86

ОЦЕНКА ВОЗДЕЙСТВИЯ НАСАДОК НА ПОТОК ПУЛЬПЫ ПРИ ГИДРОДИНАМИЧЕСКОМ СПОСОБЕ ОЧИСТКИ ДРЕНАЖА

А. С. Анженков, кандидат технических наук

В. А. Болбышко, кандидат технических наук

РУП «Институт мелиорации», г. Минск, Беларусь

Аннотация

Разработан испытательный стенд, и проведены исследования статического эквивалента напора промывочных насадок в условиях, близких к технологическому процессу промывки дренажных коллекторов. Определены расход, скорость струй насадки и величина создаваемого ими статического эквивалента напора в трубопроводе. Выявлены насадки, более эффективно воздействующие на поток пульпы.

Ключевые слова: насадка, гидравлические параметры, расход, скорость струи, гидродинамический напор.

Abstract

A. S. Anzhenkov, V. A. Bolbyshko

EVALUATION OF THE IMPACT OF NOZZLES ON THE PULP FLOW WITH HYDRODYNAMIC DRAINAGE CLEANING

A test bench has been along with the studies of the static equivalent of pressure of flushing nozzles have been developed, under conditions close to the technological process of flushing drainage collectors. The flow rate, speed of nozzle jets, as well as the magnitude of the static equivalent created by them in the pipeline are determined. Nozzles have been identified that more effectively affect the pulp flow.

Keywords: nozzle, hydraulic parameters, flow rate, jet velocity, hydrodynamic head.

Введение

Общая площадь мелиорированных земель Беларуси составляет 2,8 млн га, из них 2,2 млн га, или 78 %, осушено закрытым дренажем. Закрытый дренаж позволяет более точно управлять водным режимом, сохраняет коэффициент земельного использования близким к единице, однако, являясь более сложным техническим сооружением, нежели сеть открытых каналов, требует весьма сложных технических решений для своего обслуживания [1].

С учетом значимости мелиорированных земель для агропромышленного комплекса (на них Беларусь получает более трети всей продукции растениеводства) содержание закрытого дренажа в удовлетворительном со-

стоянии является задачей государственного значения, а повышение производительности и экономичности специализированных техники и технологий выполнения работ – одним из приоритетных направлений научного обеспечения мелиоративной отрасли.

Поддержание закрытых дренажных систем в работоспособном состоянии и их очистка от заиливания осуществляются преимущественно путем гидродинамической промывки. Данный способ основан на использовании энергии струй воды.

Для формирования размывающих и транспортирующих потоков на конце напорного рукава, вводимого в коллектор, монтируется промывочная насадка с передними и тыльными

ми соплами. При движении насадки вперед струи, исходящие из сопел, размывают отложения, а при ее извлечении тыльные струи выносят размывшие отложения из коллектора. Однако при степенях заилиenia более 25 % часть отложений зачастую остается в коллекторе по-

сле прохода промывочной насадки, что снижает эффективность очистки и требует большого количества проходов. Поэтому весьма актуален вопрос повышения воздействия на поток пульпы с целью более полного выноса отложений из полости коллектора.

Результаты исследований и их обсуждение

В ходе исследований, проведенных в РУП «Институт мелиорации», были проанализированы варианты повышения эффективности транспортировки размывших отложений и предложена новая конструкция насадки промывочной мягкой (далее – НПМ) (рис. 1) [2]. Основная особенность данной насадки заключается в наличии конических полиуретановых манжет, за счет чего возможно дополнительное механическое воздействие на поток пульпы.

Разработаны два варианта таких насадок: НПМ-60 и НПМ-80 (патент ВУ11880). Цифрами обозначен наружный диаметр в миллиметрах полиуретановых манжет в рабочем положении. Апробация показала большую эффективность разработок в сравнении со штатными насадками, применяемыми в комплекте дренапромывочной машины УПД-120, снижение количества проходов насадки, повышение степени очистки благодаря дополнительному механическому воздействию.

Установлено, что основную работу по выносу отложений в процессе извлечения насадки выполняют тыльные струи, а струи, направленные вперед, при этом работают вхолостую, не оказывая существенного влияния на эффективность очистки. С целью направления всех струй назад при извлечении насадки и тем самым повышения ее очищающей способности разработана новая конструкция реверсивной насадки промывочной мягкой РНПМ-60 и РНПМ-80 (патент ВУ12455) (рис. 2) [2]. При движении такой насадки вперед работают передние струи и часть задних, исходящих из сопел, расположенных на корпусе 1. При обратном ходе насадки передние сопла перекрываются, а дополнительные задние сопла открываются. Таким образом, все струи направляются назад, обеспечивая более эффективный вынос отложений из дренажного трубопровода.

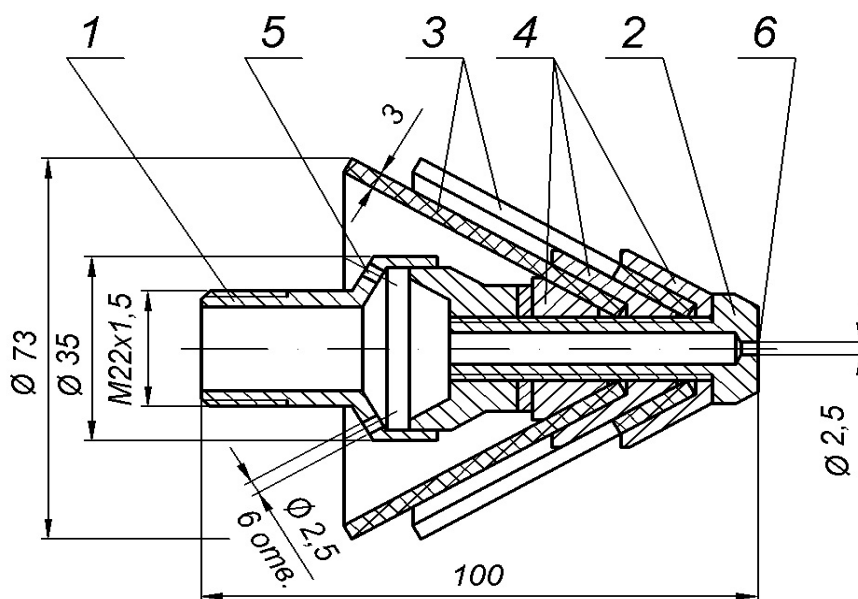


Рис. 1. Конструкция насадки промывочной мягкой НПМ-80:
1 – корпус; 2 – стяжка; 3 – конусообразные разрезные полиуретановые манжеты;
4 – прижимные шайбы; 5 и 6 – сопла задние и передние (фронтальные)

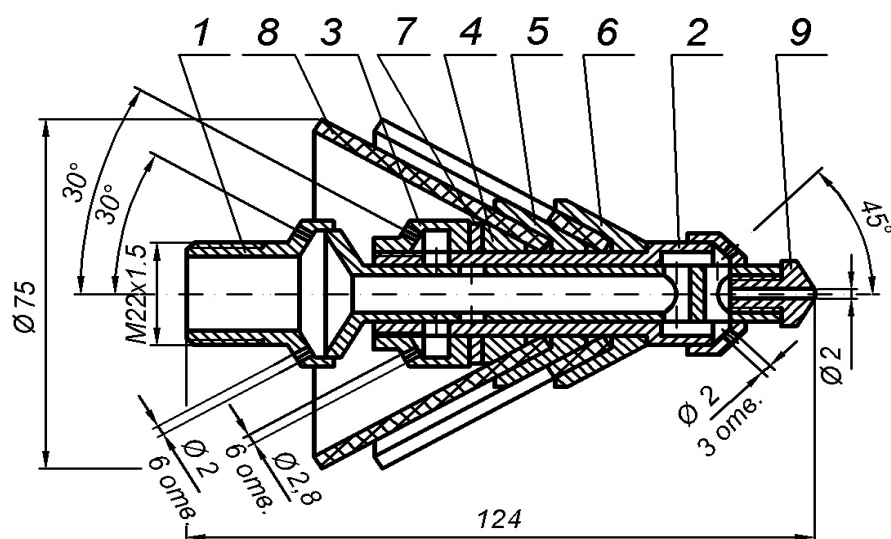


Рис. 2. Конструкция реверсивной насадки промывочной мягкой РНПМ-80:
1 – корпус; 2 – втулка; 3 – прижим; 4, 5, 6, 7 – прижимные шайбы; 8 – манжеты; 9 – наконечник

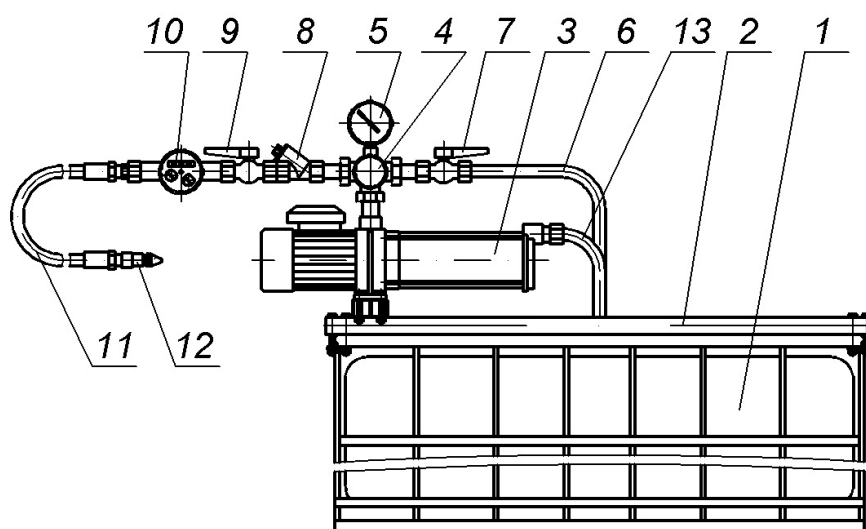


Рис. 3. Устройство подачи воды (конструктивная схема)



Рис. 4. Устройство подачи воды (общий вид)

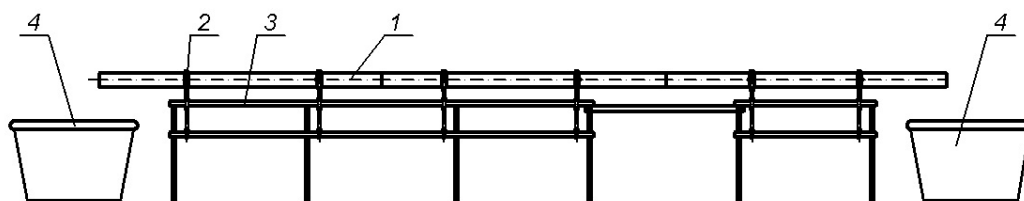


Рис. 5. Имитатор дренажного трубопровода (конструктивная схема)

Во время воздействия струй насадки на поток пульпы в нем происходят сложные гидравлические процессы, на которые влияет взаимодействие потока со стенками коллектора, самой насадкой и ее полиуретановыми манжетами. Теоретически затруднительно установить характеристики такого потока, а следовательно, и воздействие на него конструктивных особенностей различных насадок.

Ранее, в процессе полевых исследований штатной промывочной насадки (установки промывки дренажа УПД-120) и насадки промывочной мягкой (НПМ-60/НПМ-80), определялись концентрация пульпы во время каждой промывки и эффективность работы соответствующей насадки. Однако концентрация зависит не только от конструктивных особенностей насадок, но и от степени заилиenia коллектора, его уклона и других параметров. Поэтому, хотя исследования проводились на одном объекте со сходными условиями, сравнение эффективности работы насадок требует соответствующего анализа и напрямую не всегда возможно. Для непосредственного сравнения характеристик их работы и влияния, оказываемого на поток пульпы, необходимы дополнительные лабораторные исследования на стенде, имитирующем процесс промывки коллектора.

В лаборатории эксплуатации мелиоративных систем разработан и изготовлен стенд для проведения вышеуказанных гидродинамических исследований. Стенд состоит из двух основных частей: устройства подачи воды (рис. 3 и 4) и имитатора дренажного трубопровода (рис. 5).

Устройство подачи воды включает в себя пластиковую емкость для воды объемом 1,0 м³, размещенную в металлическом каркасе 1, на раме 2 которого, в свою очередь, установлены параллельно два многоступенчатых насоса 3 серии МН-1000 С с максимальной суммарной производительностью 92,0 л/мин и напором 105 м. На насосах установлен смеситель 4 с

манометром 5; избыток воды сбрасывается в емкость посредством сливного патрубка 6, на котором установлен вентиль 7. Подача воды на промывку осуществляется через патрубок, на котором находятся фильтр 8, вентиль 9 и расходомер 10 типа МТК-25 с максимальным расходом 2,2 л/с. К расходомеру подсоединен промывочный рукав 11 с внутренним диаметром 20 мм; на его конце закрепляется промывочная насадка 12. Подача воды к насосам осуществляется через всасывающие патрубки 13, на которых установлены обратные клапаны.

В качестве имитатора дренажного трубопровода (рис. 5) использовались гладкостенные трубы 1, в том числе прозрачные из оргстекла, с внутренним диаметром 100 мм. Они закреплены на кронштейнах 2, установленных на подставках 3. Для сбора пульпы, вытекающей из трубопровода в процессе размыва отложений, в начале и конце трубопровода установлены емкости 4. Кронштейны 2 могут регулироваться по высоте, и, таким образом, устанавливается необходимый уклон трубопровода. Во время извлечения промывочного рукава из дренажного трубопровода струи насадки, направленные назад, воздействуют на поток пульпы, придавая ему дополнительную энергию и скорость [3].

Задача лабораторных исследований состояла в оценке воздействия обратных струй для различных насадок. Длина лабораторного трубопровода ограничена, и в нем невозможно полностью воспроизвести условия очистки, соответствующие его реальной работе в полевых условиях. Основные потери энергии потока в дренажном трубопроводе приходится на его перемещение, поэтому чем длиннее трубопровод, тем больше потери и тем больше энергии необходимо сообщить потоку пульпы для его выхода из коллектора.

Для имитации сопротивления перемещению потока в лабораторных условиях устьевая часть трубопровода приподнята под углом 30°,

то есть тем самым создан подпор, который соответствует сопротивлению в зоне насадки при работе в реальных условиях.

Схема проведения эксперимента приведена на рис. 6. Насадка во время проведения эксперимента не перемещалась. Вода, подаваемая ею в трубопровод, вытекала из его переднего открытого конца. Под воздействием струй насадки уровень воды в приподнятом конце трубопровода повышался на некоторую

величину H до состояния равновесия динамического напора задних струй насадки и создаваемого статического подпора. По величине этого подпора можно оценить воздействие насадки на поток воды или пульпы.

Проведены испытания насадок НПМ-60, НПМ-80, РНПМ-80 и штатной насадки, устанавливаемой на устройство промывки дренажа УПД-120 (рис. 7). Общий вид установки во время испытаний приведен на рис. 8.

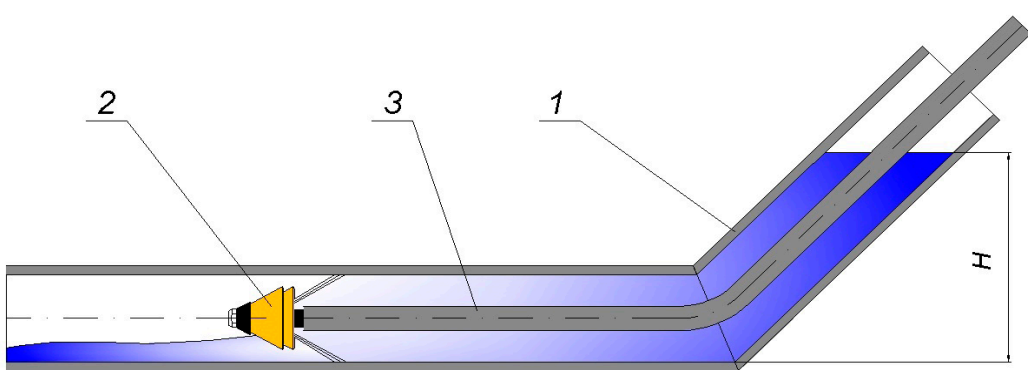


Рис. 6. Схема проведения испытаний по определению динамического напора:
1 – трубопровод, 2 – промывочная насадка, 3 – напорный рукав

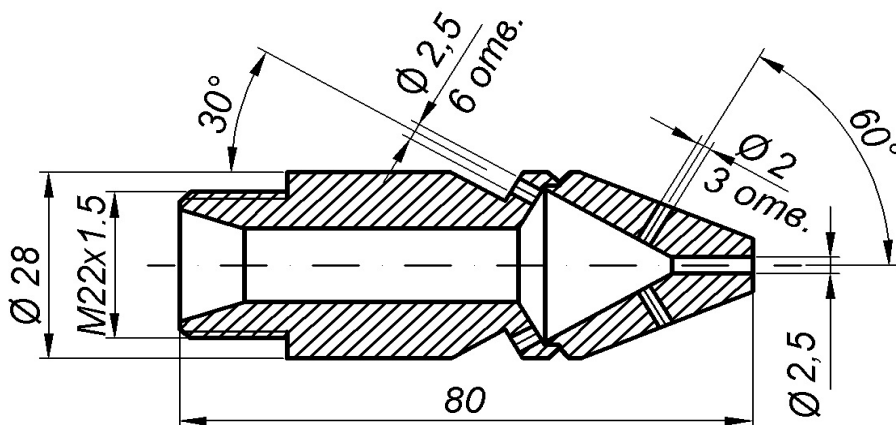


Рис. 7. Конструкция промывочной насадки, применяемой в устройстве промывки дренажа УПД-120



Рис. 8. Общий вид установки для определения динамического напора

Во время испытаний замерялись расход воды, давление подачи воды и подпор воды, создаваемый насадками. Скорость струй и расход задних струй насадок определялись расчетным путем. Результаты испытаний представлены в таблице. Давление и расход воды, зафиксированные во время испытаний, примерно соответствуют давлению и расходу в насадке во время работы УПД-120. Некоторые отличия в напоре на смесителе и расходе обусловлены особенностями конструкции насадок.

По результатам испытаний можно видеть, что насадки НПМ-60, НПМ-80 и РНПМ-80 оказывают существенно большее воздействие на обратный поток воды в трубопроводе и создают более высокий подпор, чем насадка УПД-120, –

соответственно 31,5; 32; 37,5 и 17,7 см. Поскольку расход струй и напор на смесителе при этом отличаются незначительно, можно сделать вывод, что это влияние обусловлено, главным образом, применением конусообразных полиуретановых манжет, при этом наибольшее влияние на поток оказывает насадка РНПМ-80 со струями, направленными назад. Это объясняется тем, что расход данных струй у этой насадки превышает показатели других насадок.

Соответственно, применение насадок НПМ-60, НПМ-80 и РНПМ-80 обеспечивает большее воздействие на поток пульпы, движущийся из трубопровода, и транспортирующую способность потока, чем штатная насадка УПД-120.

Таблица. Результаты испытаний промывочных насадок

Показатели / насадка	УПД-120	НПМ-60	НПМ-80	РНПМ-80 (струи вперед и назад)	РНПМ-80 (струи назад)
Напор на смесителе, МПа	0,97	0,98	0,98	0,99	0,96
Расход, л/с	1,05	0,93	0,93	0,95	1,02
Расход задних струй, л/с	0,9	0,80	0,80	0,57	1,02
Скорость струй, м/с	24,4	27,4	27,4	30,3	16,7
Напор в трубопроводе, см	17,7	31,5	32,0	24,5	37,5

Выводы

Разработан испытательный стенд для определения обратного гидродинамического напора промывочных насадок.

Насадки НПМ-60, НПМ-80 и РНПМ-80 создают статический эквивалент напора в 1,8–2,1 раза, больший в сравнении со штатной про-

мывочной насадкой УПД-120 – соответственно 31,5; 32; 37,5 и 17,7 см.

Применение насадок НПМ-60, НПМ-80 и РНПМ-80 с полиуретановыми конусообразными манжетами обеспечивает более высокую транспортирующую способность обратного потока.

Библиографический список

1. Рекомендации по техническому обслуживанию закрытого дренажа и очистке водопропускных сооружений на открытой регулирующей сети с применением новых способов и технологий / А. С. Анженков, Н. Н. Погодин, В. А. Болбышко, Г. Ю. Левин, В. П. Закржевский ; РУП «Институт мелиорации». – Минск : РУП ИВЦ Минфина, 2019. – 68 с.
2. Анженков, А. С. Новые конструктивные решения насадок промывочных / А. С. Анженков, В. А. Болбышко, Н. Н. Погодин // Мелиорация. – 2021. – № 3 (97) – С. 5–12.
3. Техническая эксплуатация закрытой мелиоративной сети / Н. Н. Погодин, А. С. Анженков, В. А. Болбышко, В. П. Закржевский ; НАН Беларуси, Институт мелиорации. – Минск : Беларус. навука, 2022. – 154 с.

Поступила 15 марта 2023 г.

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ РЕЛЬЕФА ОСУШИТЕЛЬНО-УВЛАЖНИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ НА РЕГУЛИРОВАНИЕ ВОДНОГО РЕЖИМА ПОЧВ ШЛЮЗОВАНИЕМ

А. П. Лихацевич, доктор технических наук
Л. Н. Оскирко, старший научный сотрудник
Г. В. Латушкина, кандидат технических наук

РУП «Институт мелиорации», г. Минск, Беларусь

Аннотация

Практика эксплуатации мелиоративных систем свидетельствует, что по условиям рельефа не на всей площади осушительно-увлажнительных систем можно осуществить оптимальное управление водным режимом почвы. Оценка влияния рельефа на проведение эффективного увлажнительного шлюзования состоит в определении той части мелиорированной площади, на которой по условиям рельефа возможно создание благоприятного водного режима путем регулирования уровня грунтовых вод. Приводится способ расчетов площади с управляемым водным режимом на основе применения ГИС.

Ключевые слова: осушительно-увлажнительная система, водный режим почвы, уровни грунтовых вод, рельеф, подпорное сооружение.

Abstract

A. P. Likhachevich, L. N. Oskirko, G. V. Latushkina

INFLUENCE ASSESSMENT OF THE DRAINAGE AND HUMIDIFYING SYSTEM RELIEF ON THE REGULATION OF THE SOILS WATER REGIME BY SLUICING

The practice of operating reclamation systems indicates that, according to the relief conditions, not the entire area of drainage and humidification systems can be optimally manage the water regime of soil. Relief influence assessment when conducting humidification sluicing consists in determining the part of the reclaimed area on which, according to the conditions of the relief, it is possible to create a favorable water regime by regulating the groundwater level. A method for determining the area with a managed water regime using GIS is given.

Keywords: drainage and humidifying system, soil water regime, groundwater levels, relief, water retaining structure.

Введение

Согласно результатам инвентаризации по состоянию на 1 января 2019 г., осушительно-увлажнительные системы (далее – ОУС) с наличием водоисточников (реки, водохранилища, пруда, транспортирующего канала), используемых для увлажнения осушаемых земель, занимали в Беларуси площадь около 176 тыс. га. Эти ОУС построены более 30 лет назад, сосредоточены в основном в Полесском регионе и как любые инженерные системы нуждаются в ремонте, реконструкции и периодической переоценке их ресурсов в аспекте возможности поддержания такого водного режима мелиорируемых почв, который обеспечит условия для интенсивного сельскохозяйственного производства.

Особая сложность эксплуатации ОУС в Полесье состоит в том, что в ходе сельскохозяй-

ственного использования мелиорируемых земель этого региона (в основном это осушенные торфяники) водно-физические свойства почв значительно изменяются. К настоящему времени около четверти осушенных торфяников уже утратили исходные генетические признаки и превратились в новые почвенные образования – так называемые антропогенно преобразованные органоминеральные почвы. В процессе трансформации произошла неравномерная осадка поверхности торфяной почвы, приведшая к развитию микрорельефа, включающего понижения и повышения площадью до 1 000 м² с перепадом высот 5–100 см [1]. Это существенно затрудняет регулирование водного режима на всей площади ОУС.

Очевидно, что в подобных условиях потенциальную возможность увлажнения осушен-

ных земель можно определить только после комплексной оценки технического состояния каждой мелиоративной системы как объекта управления водным режимом и лишь после этого можно устанавливать на конкретной ОУС технологический уровень управления водным режимом. На эффективность управления уровнями грунтовых вод с помощью увлажнения шлюзованием влияют два основных вида

ресурсов: природные ресурсы (ресурс вод источника, морфометрические характеристики объекта, гидрогеологические условия на ОУС, почвенный покров) и техногенные ресурсы (техническое состояние мелиоративной системы и ее элементов, уровень эксплуатации ОУС и интенсивность сельхозпроизводства на мелиорированных землях) [2].

Оценка ресурса рельефа с применением различных методов интерполяции

Из-за неровности рельефа на участках регулирования водного режима в пониженных местах могут наблюдаться переувлажнение почвы и даже выход воды на поверхность, а на возвышениях – недоувлажнение. При оценке рельефа в части возможности создания благоприятного водного режима на мелиоративном объекте с помощью шлюзования используется показатель «ресурс рельефа» [2, 3]. Критериями его оценки служат допустимые диапазоны регулирования УГВ ($H_{\min}$, $H_{\max}$) от поверхности земли [4, 5]. При $H_{\min}$ влажность почвы в нижней части корнеобитаемого слоя не превышает наибольшей допустимой величины (при шлюзовании сети в засушливый период или при работе сети на сброс в период затяжных дождей). При $H_{\max}$ влажность почвы в верхней части корнеобитаемого слоя при шлюзовании сети в засушливый период не опускается ниже наименьшей допустимой величины.

Для оценки ресурса рельефа осушительно-увлажнительная система делится на участки регулирования, каждый из которых подконтролен головному подпорному сооружению, обеспечивающему управление водным режимом почвы на участке.

Для i -го участка ОУС ресурс рельефа (R_{pi}) составит

$$R_{pi} = 100 \frac{F_{\text{эф. } i}}{F_{\text{уч. } i}}, \% \quad (1)$$

где $F_{\text{эф. } i}$ – часть площади i -го участка регулирования, на которой обеспечивается эффективное увлажнение, га; $F_{\text{уч. } i}$ – вся площадь i -го участка ОУС, га.

В целом для ОУС ресурс рельефа (R_p) определяется как отношение суммарной площади с эффективным увлажнением всех участков регулирования к общей площади ОУС, на ко-

торой запроектировано двустороннее регулирование водного режима [2, 3]:

$$R_p = 100 \frac{\sum_{i=1}^n F_{\text{эф. } i}}{F_{\text{ОУС}}}, \% \quad (2)$$

где n – количество участков регулирования, $F_{\text{ОУС}}$ – площадь ОУС, га.

Процесс определения ресурса рельефа начинается с того, что на каждом участке регулирования рассчитывается максимальная отметка поверхности ($\nabla \Pi_{\max}$), ниже которой почвенные запасы корнеобитаемого слоя почвы участка могут пополняться за счет капиллярного подпитывания от грунтовых вод, установившихся при закрытии затвора командного подпорного сооружения [3]:

$$\nabla \Pi_{\max} = \nabla \text{НПУ} - d + H_{\max}, \quad (3)$$

где $\nabla \text{НПУ}$ – отметка нормального подпорного уровня верхнего бьефа командного сооружения при закрытом затворе, м; $H_{\max}$ – максимально допустимая глубина понижения грунтовых вод для возделываемых культур, м; d – разность между уровнями почвенно-грунтовых вод над дренами (у каналов) и посередине между увлажнителями в условиях установившейся депрессионной кривой в период максимального водопотребления сельскохозяйственных культур (можно принять равной 0,20–0,30 м) [6];

$$H_{\max} = h_{\text{эф. к. п.}} + h_{\text{к. с.}}, \quad (4)$$

где $h_{\text{эф. к. п.}}$ – высота эффективного капиллярного поднятия влаги от УГВ, м (зависит от типа почвогрунтов (табл. 1); $h_{\text{к. с.}}$ – мощность корнеобитаемого слоя, м (табл. 2).

Минимально допустимые отметки поверхности участка регулирования ($\nabla \Pi_{\min}$), при которых влажность почвы в нижней части кор-

необитаемого слоя не превышает допустимой величины (при шлюзовании сети в засушливый период или работе сети на сброс в период затяжных дождей), должны приниматься исходя

из того, что уровни в водоподводящих и распределительных каналах следует располагать ниже поверхности не менее чем на 0,3–0,4 м [4, 5]:

$$\nabla \Pi_{\min} = \nabla \text{НПУ} + 0,3, \text{ м.} \quad (5)$$

Таблица 1. Высота активного капиллярного поднятия $h_{\text{эф. к. п.}}$ [7]

Почвогрунт	Высота эффективного капиллярного поднятия, см
Торф среднеразложившийся	50–60
Песок рыхлый	25–30
Песок пылеватый	40–60
Супесь	60–70
Суглинки легкие	70–80
Суглинки пылеватые	60–70

Таблица 2. Мощность корнеобитаемого слоя на осушенных землях, см

Культура	Почвы	
	минеральная	торфяная
Свекла кормовая и сахарная, капуста поздняя, морковь	70	65
Картофель	65	60
Кукуруза	60	50
Зерновые	50	40
Многолетние травы	40	30

Если на участке регулирования возделывается несколько культур, то в расчете по (4) используют данные по мощности корнеобитаемого слоя наиболее ценной для землепользователя культуры, расположенной на этом участке.

Вычисление площади участков, лежащих в пределах допустимого диапазона ($\nabla \Pi_{\max} - \nabla \Pi_{\min}$), можно произвести на основе цифровой модели рельефа (далее – ЦМР): например, в программе ArcGIS с помощью инструмента *ArcToolbox Raster Calculator* и использованием команды ($\text{«ЦМР»} < \nabla \Pi_{\max}$) & ($\text{«ЦМР»} > \nabla \Pi_{\min}$).

Исходные данные о рельефе объекта можно получить из проектных топографических планов масштаба 1:2 000. Рельеф на таких топографических планах отображается высотными отметками и горизонталями, которые со временем теряют свою актуальность: чем больше прошло времени после съемки, тем менее точно отображается рельеф на топо-

графическом плане. Это вызывает необходимость проведения повторной топографической съемки участков регулирования водного режима почвы.

В настоящее время к основным методам проведения наземной горизонтальной и высотной топографической съемки относятся: тахеометрия, съемка с применением приемников систем спутниковой навигации (GNSS), в том числе в RTK-режиме, а также сочетание этих методов, рекомендуемых СН 1.02.01-2019 «Инженерные изыскания для строительства» [8].

На основании массива точек высот, полученных в результате таких съемок в программном обеспечении САПР либо ГИС (CREDO, AutoCAD, ArcGIS и т. п.), с применением различных методов интерполяции строятся триангуляционные (TIN) или растровые цифровые модели рельефа, по которым генерируются горизонталы с необходимым сечением. Для расчета площадей в определенных диапазонах отметок ранее использовались простей-

шие способы – графический и механический (с помощью планиметра), а сейчас релевантны методы с использованием различных компьютерных программ.

Площади с потенциально эффективным увлажнением суммируются для всех участков регулирования. Таким образом находят числитель формулы (2), а далее и ресурс рельефа.

При обследовании рельефа поверхностей участков регулирования важно соблюдать корректную пространственную и высотную привязку собираемых данных при помощи геодезических приборов и доступной картографической информации (топографическая основа, тематические карты). Топографическая съемка участков может быть выполнена наземными или аэротопографическими методами [8].

Аэротопографические методы – это стереотопографическая съемка, цифровая аэрофотосъемка с применением беспилотных летательных аппаратов. На основе данных методов ЦМР строится по плотному облаку точек, получаемому путем обработки данных различных сенсоров летательных аппаратов. Заданная плотность точек, полученных с помощью аэротопографических методов, позволяет получить указанную модель наиболее приближенной к реальной поверхности участка вплоть до выделения объектов микрорельефа, пропущенных

при построении ЦМР по результатам наземной топографической съемки.

Если нет технической или материальной возможности провести повторную топографическую съемку, контролировать изменения рельефа участка регулирования можно упрощенным методом при помощи нивелирования по створам. Точность результатов будет зависеть от выбранного расстояния между створами и пикетами нивелирования.

Подбираются старые материалы о рельефе; если нужно, выполняется их оцифровка, векторизация отметок и горизонталей; затем строится цифровая модель рельефа (рис. 1). На данном участке регулирования осуществляется нивелирование по створам, определяются абсолютные высоты пикетов. Также производится нивелирование вдоль бровок каналов, поскольку в результате отвала грунта и ила при очистке каналов рельеф этой зоны, как правило, изменяется. Створы с отметками геопривязываются, после чего устанавливается разница между измеренными отметками и отметками «старой» ЦМР в этих точках (рис. 2).

На основе этих значений строится условная поверхность изменившегося рельефа. Заметим, что при малой густоте точек нивелирования рисунки могут значительно различаться в зависимости от используемого способа интерполяции (рис. 3).

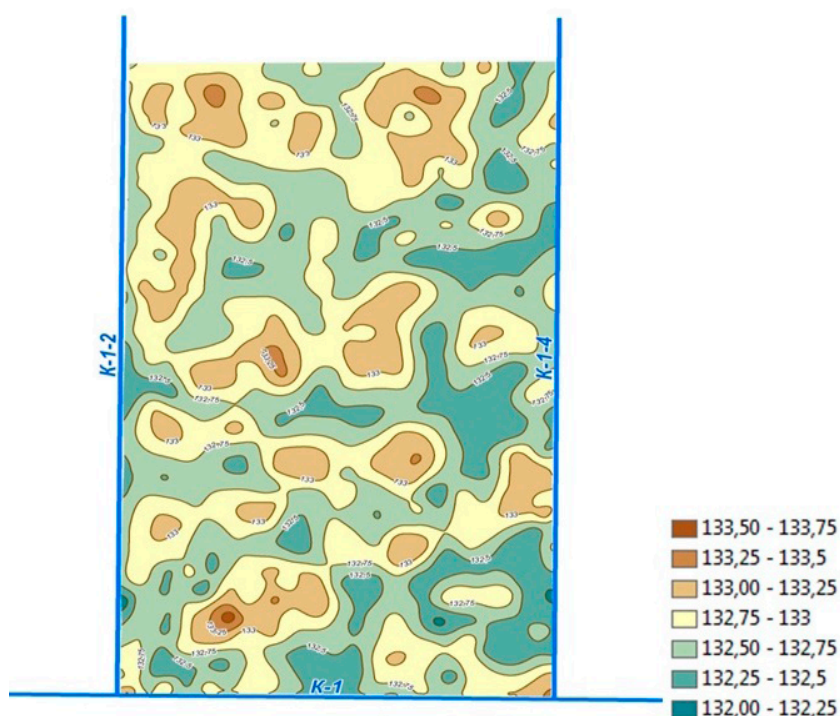


Рис. 1. Цифровая модель рельефа участка, построенная по устаревшим данным

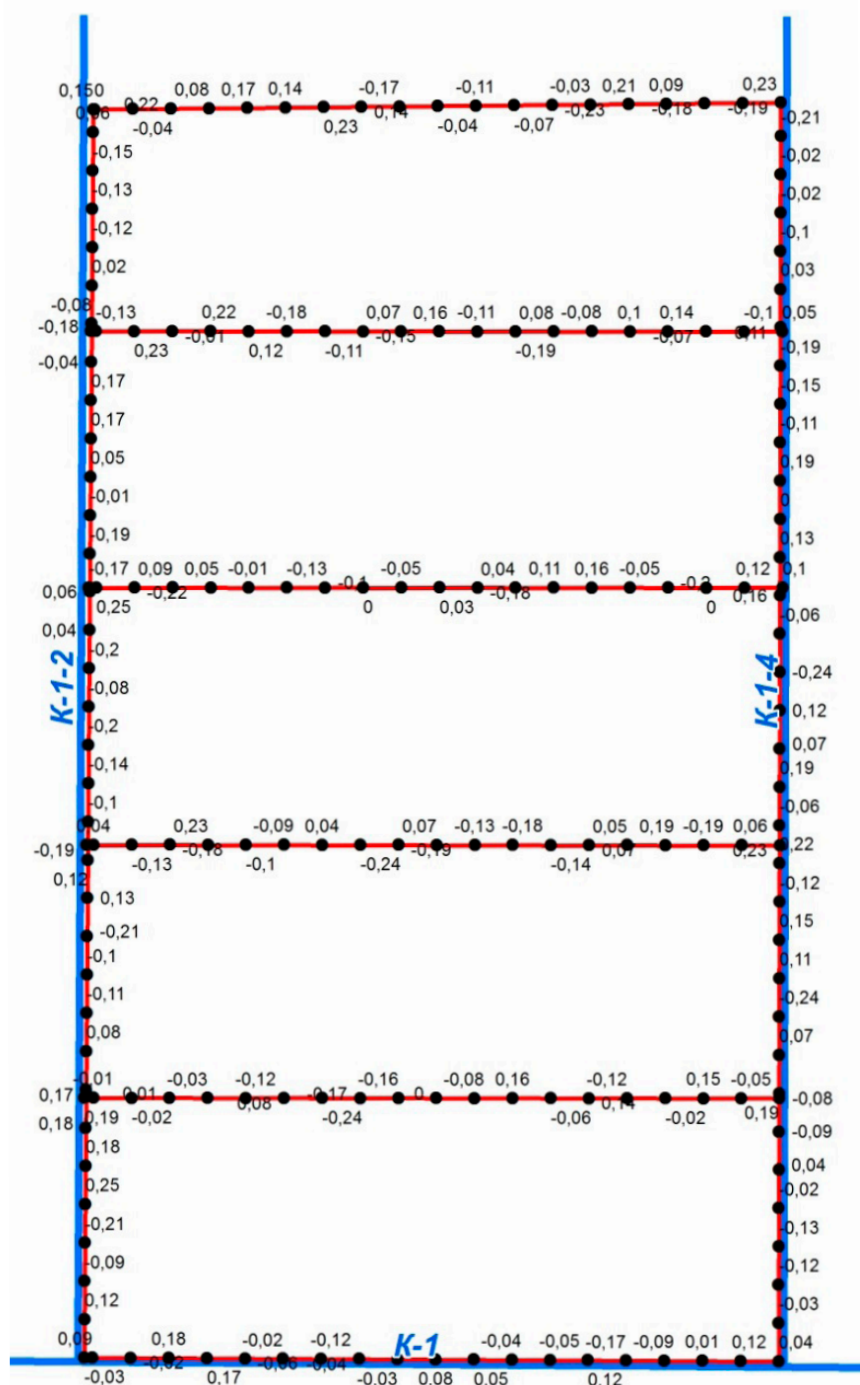
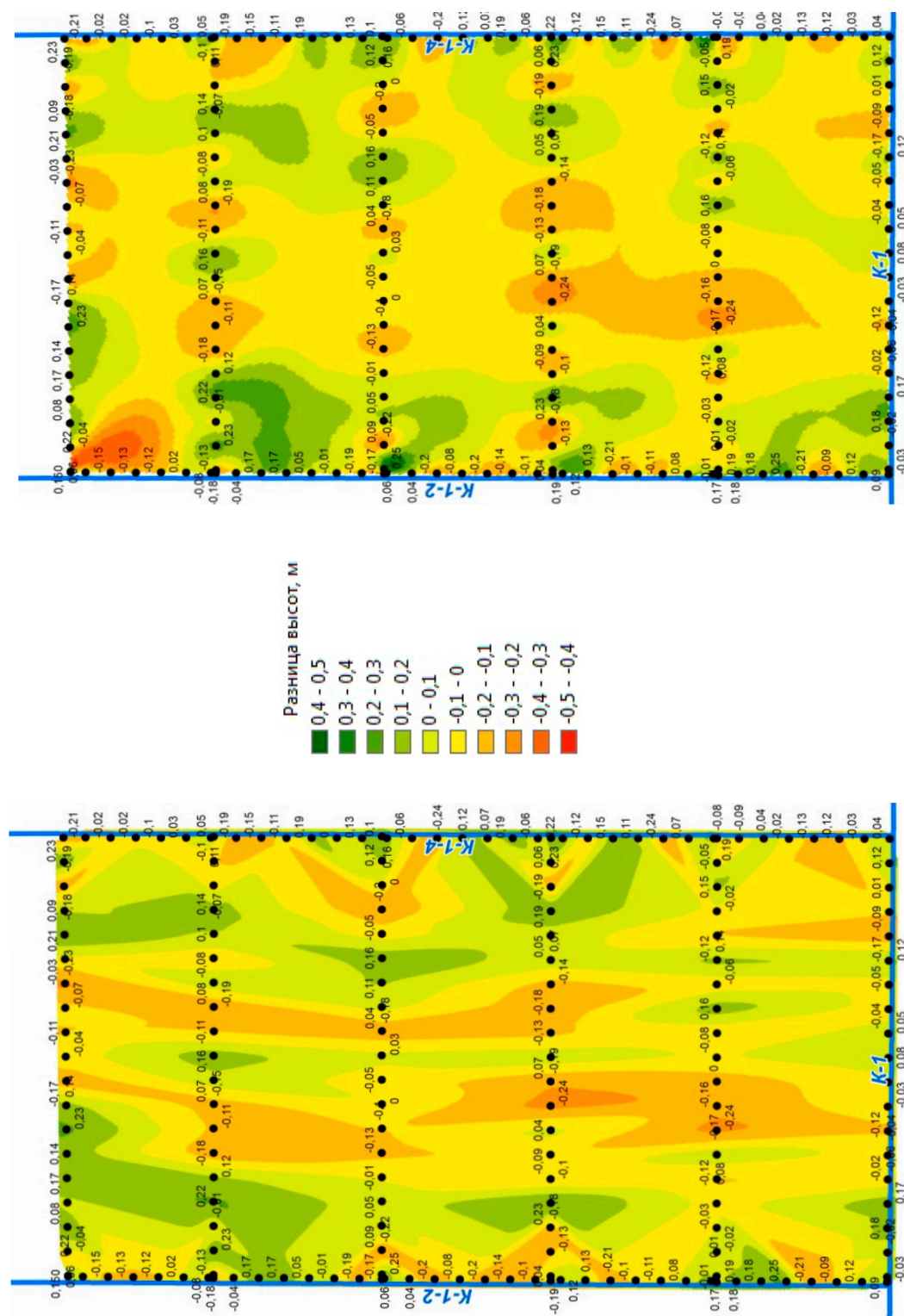


Рис. 2. Створы нивелирования: различия между измеренными отметками и отметками «старой» ЦМР

Далее «старая» цифровая модель рельефа корректируется условной поверхностью изменений рельефа путем сложения их растров (рис. 4).

Участки земель с отметками ниже $\nabla \Pi_{\max}$ объединяются в группы, отраженные на карте. Затем с помощью соответствующего инструментария программного обеспечения находят площади, на которых возможно получить эффект от увлажнительного шлюзования.

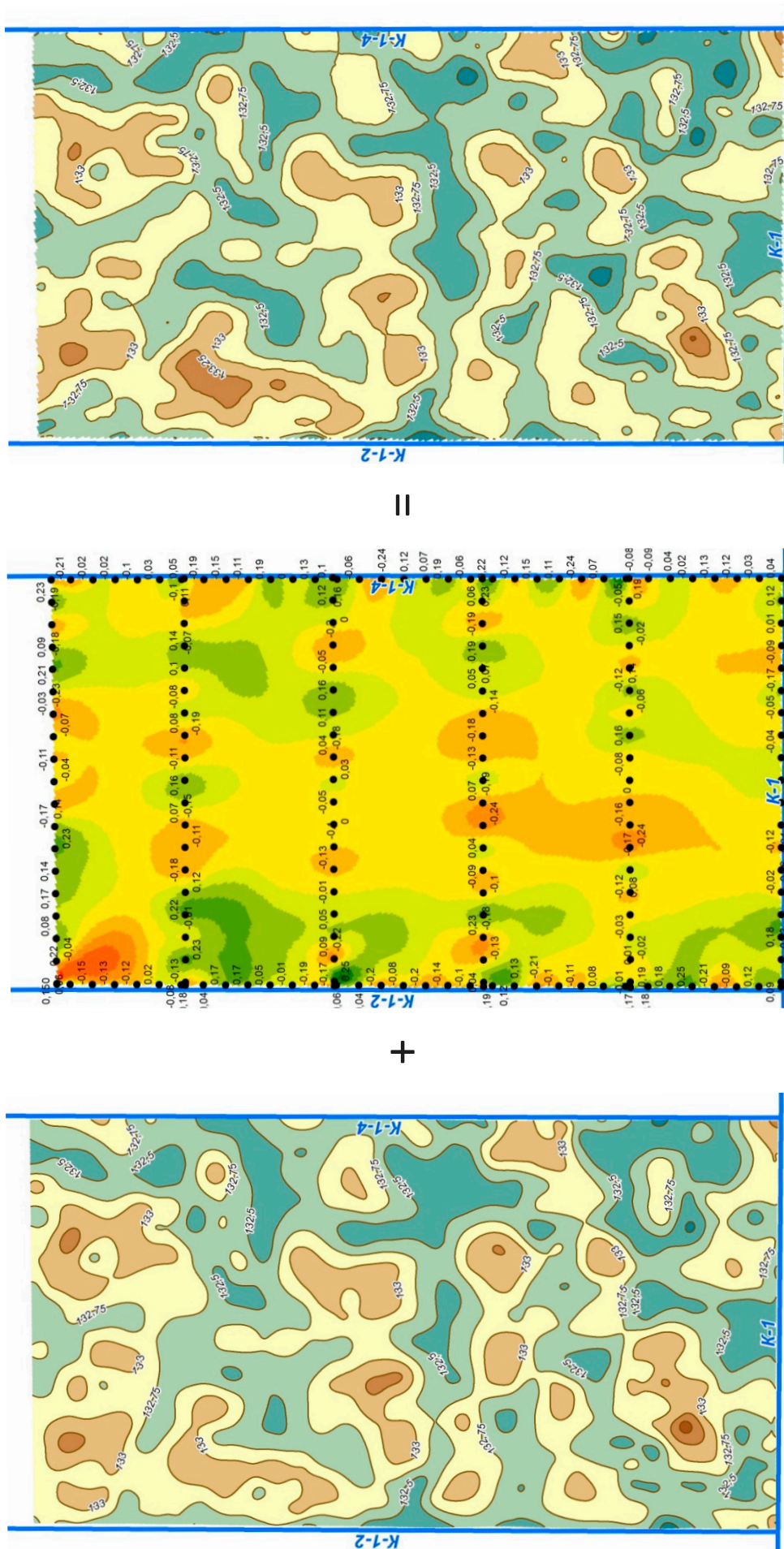
В инструментах определения площадей программ ГИС и САПР для вычислений используется формула площади Гаусса – математический алгоритм вычисления площади многоугольника, вершины которого заданы декартовыми координатами на плоскости. Площадь области, охватывающей многоугольник, определяется в формуле векторным произведением координат и сложением; затем из нее вычитается площадь окружающего многоугольника, что дает площадь многоугольника внутри.



Сплайновая интерполяция

Линейная интерполяция (TIN)

Рис. 3. Поверхность изменения рельефа, построенная с применением различных методов интерполяции



Откорректированная ЦМР

Поверхность изменений рельефа

«Старая» ЦМР

Рис. 4. Корректировка ЦМР условной поверхностью изменений рельефа, построенной в результате нивелирования по створам

Пример расчета площади участка с эффективным увлажнением ($F_{эф.}$) с применением программного обеспечения ArcGIS

Допустим, на участке регулирования площадью 53,39 га с головным подпорным сооружением – шлюзом-регулятором с абсолютной отметкой $\nabla_{НПУ} = 132,0$ м (рис. 5) преобладают супесчаные почвы, на которых выращиваются зерновые. Тогда в соответствии с формулами (3)–(5) и значениями табл. 1, 2 максимальная отметка эффективного увлажнения равна: $\nabla\Pi_{max} = 132,0 - 0,2 + (0,5 + 0,6) = 132,9$ м.

В соответствии с формулой (5) минимально допустимая отметка регулирования

$$\nabla\Pi_{min} = 132,0 + 0,3 = 132,3 \text{ м.}$$

Вычисление площади участка, лежащей в пределах этого диапазона высот, произведем с помощью инструмента *ArcToolbox Raster Calculator* (рис. 6), задав выражение («ЦМР» < 132,9) & («ЦМР» > 132,3), где ЦМР – цифровая модель рельефа, по которой производится расчет.

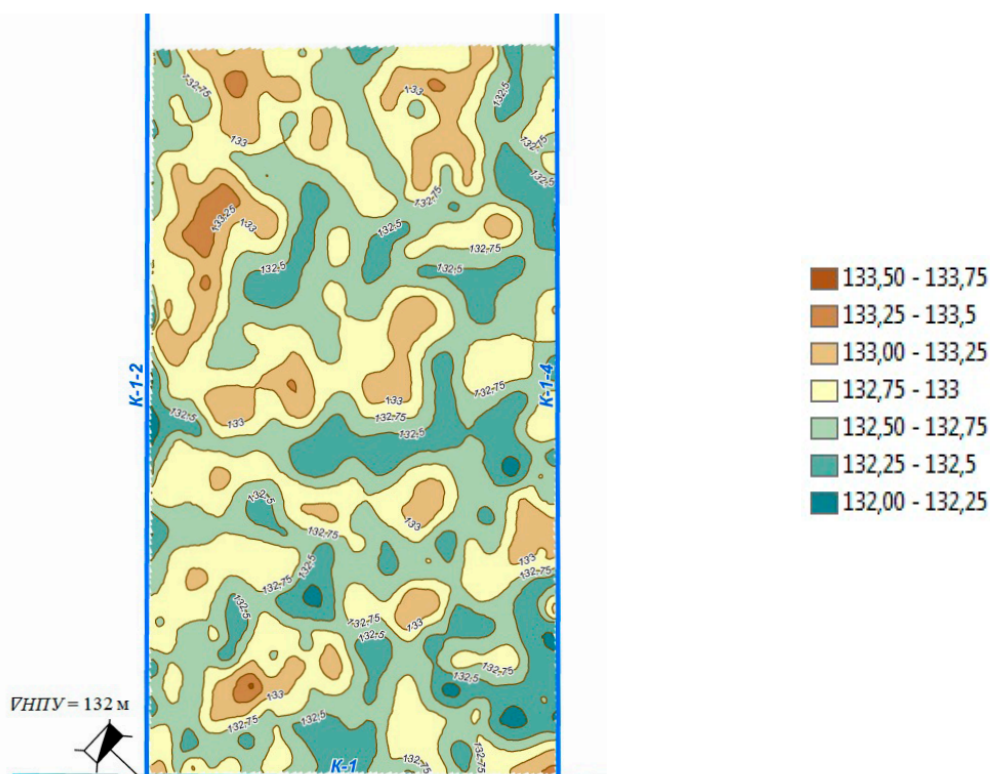


Рис. 5. Цифровая модель рельефа участка регулирования

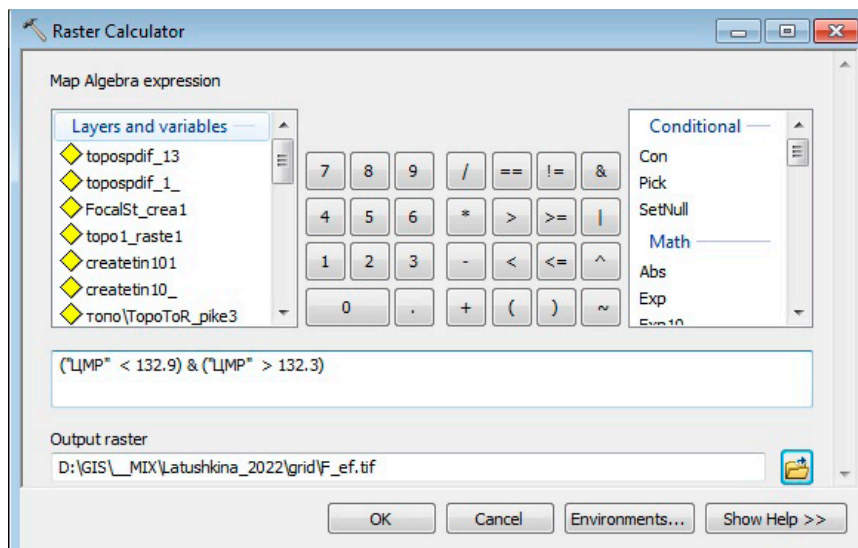


Рис. 6. Окно инструмента *ArcToolbox Raster Calculator* с заданным условием

Результатом вычисления станет двоичный растр, и его значение «1» соответствует территории, на которой выполняется условие $\nabla\Pi_{\min}(132,3\text{ м}) < H < \nabla\Pi_{\max}(132,9\text{ м})$, где H – высота, а значение «0» – это площадь территории, где данное условие не выполняется (рис. 7).

Далее с помощью инструмента *ArcToolbox Raster to Polygon* преобразуем полученный растр в векторный формат (рис. 8), после чего инструментом *Calculate Geometry* вычислим площади зон (полигонов), соответствующие значениям «0» и «1» (табл. 3).

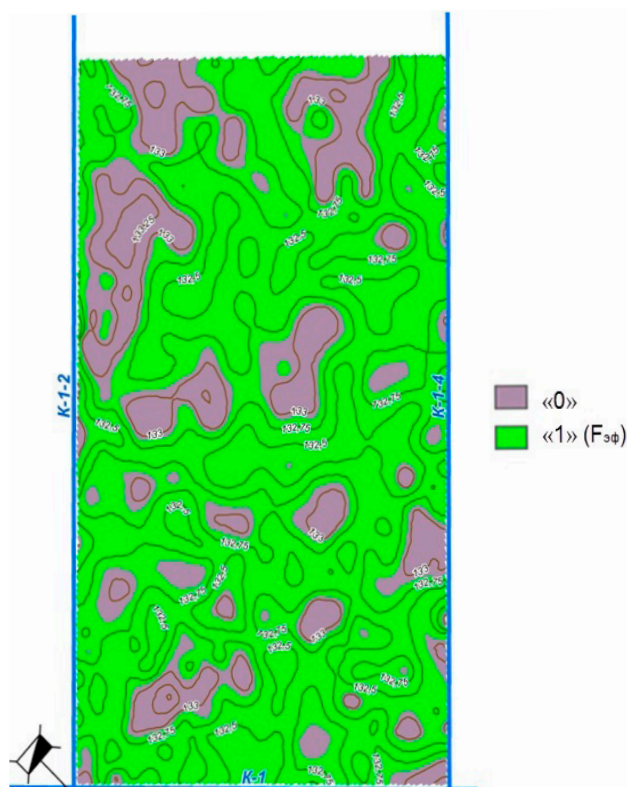


Рис. 7. Результат проверки условия $\nabla\Pi_{\min}(132,3\text{ м}) < H < \nabla\Pi_{\max}(132,9\text{ м})$

Таким образом, при площади части данного участка с эффективным увлажнением ($F_{\text{эф.}}$) 39,52 га его ресурс рельефа в соответствии с формулой (1) составляет

$$R_p = 100\% \cdot (39,52/53,39) = 74\%.$$

Поскольку ресурс участка регулирования находится в пределах 60–80 %, то при выборе технологии регулирования водного режима на данном участке ОУС следует рекомендовать использование среднего уровня управления в том случае, если другие ресурсы участка не являются лимитирующими [2, 3].

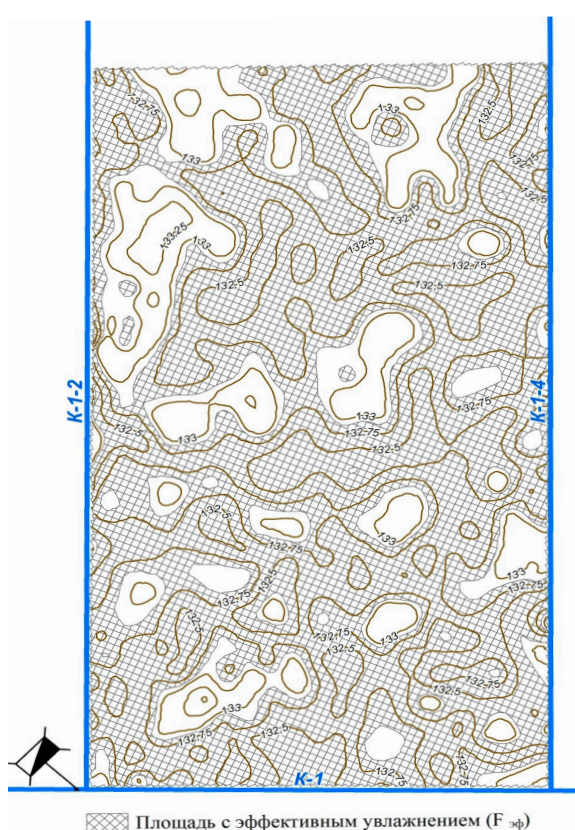


Рис. 8. Площадь участка с эффективным увлажнением ($F_{\text{эф.}}$)

Таблица 3. Определение ресурса рельефа участка ОУС

Код	Показатель	Значение показателя
0	Площадь участка за пределами диапазона эффективного увлажнения, га	13,87
1	Площадь участка с эффективным увлажнением, га	39,52
Площадь участка ОУС, га		53,39
Ресурс рельефа участка ОУС, %		74,0

Заключение

Для мелиоративного объекта с осушительно-увлажнительной системой рельеф является важнейшим фактором, влияющим на эффективность управления водным режимом почвы.

Для определения ресурса рельефа с точки зрения создания благоприятного для растений водного режима почвы на мелиорированной площади следует прежде всего оценивать, на какой части осушительно-увлажнительной системы возможно создание заданного водного режима при помощи регулирования

уровня грунтовых вод шлюзованием. Допустимый диапазон уровней грунтовых вод для эффективного управления водным режимом почв на участках регулирования находится в установленных пределах ($H_{\max} < H < H_{\min}$). Отсчет уровня грунтовых вод ведется от отметок поверхности земли. Для расчета площадей в определенных диапазонах отметок можно применять современные способы с использованием ГИС-технологий и различных компьютерных программ.

Библиографический список

1. Галкина, В. А. Микрорельеф / В. А. Галкина // Мелиоративная энциклопедия : [в 3 т.] / сост. Б. С. Маслов ; гл. ред. А. В. Колганов. – Москва, 2004. – Т. 2. – С. 174.
2. Лихацевич, А. П. Направления совершенствования нормативного обслуживания мелиоративных систем Беларуси / А. П. Лихацевич // Мелиорация. – 2008. – № 1 (59). – С. 5–14.
3. Лихацевич, А. П. Использование ресурсов гидромелиоративных систем для управления водным режимом почв / А. П. Лихацевич // Мелиорация. – 2009. – № 1 (61). – С. 26–31.
4. Руководство по проектированию и изысканиям объектов мелиоративного и водохозяйственного строительства в Республике Беларусь (РПИ-92) / Г. В. Азява [и др.]. – Минск : Белгипроводхоз. 1995. – Ч. 2. Осушительные и осушительно-увлажнительные системы, кн. 3. Осушительно-увлажнительные системы. – 163 с.
5. Осушительно-увлажнительные мелиоративные системы. Правила проектирования : ТКП 45-3.04-203-2010 (02250). – Введ. 01.01.2011. – Минск : М-во архитектуры и строительства Республики Беларусь, 2011. – 96 с.
6. Проектирование и расчеты регулирующей сети осушительно-увлажнительных систем на торфяных почвах : рекомендации / сост.: А. И. Ивицкий, Г. И. Афанасик, А. И. Михальцевич. – Минск : Ураджай, 1979. – 80 с.
7. Афанасик, Г. И. Сельскохозяйственные гидротехнические мелиорации : учебник для вузов / Г. И. Афанасик, М. Г. Голченко, А. П. Лихацевич ; ред. А. П. Лихацевич. – Минск : Тэхналогія, 2000. – 436 с.
8. Инженерные изыскания для строительства : СН 1.02.01-2019. – Введ. 26.12.2019 (с отменой СНБ 1.02.01-96). – Минск : Минстройархитектуры, 2020. – 108 с.

Поступила 17 февраля 2023 г.

ОЦЕНКА ПАРАМЕТРОВ ЗОНЫ ПОДТОПЛЕНИЯ ПРИБРЕЖНЫХ ТЕРРИТОРИЙ ВОДОХРАНИЛИЩ БЕЛАРУСИ С ПОМОЩЬЮ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

В. Е. Левкевич¹, доктор технических наук

В. А. Мильман², кандидат физико-математических наук

С. В. Решетник², главный инженер проекта

А. А. Артемчик¹, аспирант

¹Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Беларусь,

²Объединенный институт проблем информатики НАН Беларуси, г. Минск, Беларусь

Аннотация

Приведены результаты полевых исследований с использованием беспилотных летательных аппаратов для оценки масштабов и ширины подтопления прибрежных территорий водохранилищ Беларуси. Результаты оценок процессов подтопления и деформаций берегов с учетом данных, получаемых с помощью БПЛА, показали эффективность применения современных дистанционных методов.

Ключевые слова: подтопление, прибрежная территория, водохранилище, беспилотный летательный аппарат.

Abstract

V. E. Levkevich, V. A. Milman, S. V. Reshetnik, A. A. Artemchik

EVALUATING THE PARAMETERS OF THE FLOODING ZONE OF COASTAL TERRITORIES OF RESERVOIRS IN BELARUS USING UNMANNED AERIAL VEHICLES

Some results of field studies on the assessment of the scale and width of flooding of the coastal areas of the reservoirs of Belarus with the help of unmanned aerial vehicles (UAVs) are presented. The assessment results of flooding processes and coastal deformations according to the data obtained with the help of UAVs has proven the effectiveness of modern distance methods.

Keywords: flooding, coastal area, reservoir, unmanned aerial vehicle.

Общая часть

Наличие водохранилищ негативно влияет на прибрежные территории: например, гидродинамическое воздействие на берега (ветровое волнение, течения, колебания уровней, ледовые явления) вызывает развитие эрозионно-абразионных процессов, которые изучены достаточно подробно [1–3]. Однако, наряду с процессами деформации береговой линии вновь созданных водохранилищ, трансформируются гидрогеологические условия, что обусловлено подпором подземных вод, подтоплением и заболачиванием прибрежных территорий, изменением качества питьевых вод. Поэтому исследования, проводимые по данному направлению, весьма актуальны.

В статье рассмотрено воздействие подпора подземных вод на прилегающие территории (на примере водохранилища Витебской гидроэлектростанции).

Для оценки подтопления территории в прибрежной зоне водоемов различного хозяйственного назначения с применением беспилотных летательных аппаратов (далее – БПЛА) был выбран ряд тестовых водохранилищ: Заславское, Криницы, Дрозды, Волчковичское (Птичь), Чижовское, Дубровское, а также водохранилище Витебской ГЭС. Объекты, на которых проводились экспериментальные исследования, имели различные морфометрические характеристики, регулирование, линейные размеры, срок эксплуатации и тип наполнения (русловое, наливное, озерное) [1–4].

Строительство любого гидроузла, в состав которого входят подпорные сооружения в виде плотины, водосброса, ГЭС, вызывает быстрый подъем уровня воды в реке и ее протоках. При наполнении водохранилища поднимающийся уровень водной поверх-

ности оказывает значительное давление на водоносные горизонты в береговых склонах. Под действием гидростатического давления со стороны водоема сток (движение) подземных вод в подпертую реку прекращается. Одновременно вода из водохранилища начинает фильтроваться в затопленные почвы и грунты бортов речной долины. Вследствие фильтрации в породах различного гранулометрического состава возникает фильтрационный поток, направленный от водохранилища. Скорость фильтрации будет зависеть от водопроницаемости грунтов.

Показателем водопроницаемости служит коэффициент фильтрации k_f . Наименьший коэффициент фильтрации, полученный по данным геологических изысканий по проекту водохранилища Витебской ГЭС, проведенных ОАО «Белгипроводхоз», для глин – около 0,01 м/сут; песков – 2–50 м/сут, гравия и галечников – 20–500 м/сут. В результате инфильтрации из водохранилища уровень подземных вод в прибрежной зоне постепенно повышается [5–10]. Поскольку изменение режима грунтовых вод имеет большое значение для водоснабжения, строительства и других отраслей хозяйства, влияние водохранилищ на грунтовые воды изучается с помощью шахтных колодцев (при их наличии) и скважин, пробуренных на различных расстояниях от береговой линии.

Таким образом, в результате строительства гидротехнических подпорных сооружений поверхность подземных вод вблизи водохранилища приобретает криволинейную форму. Со временем, с одной стороны, за счет фильтрации, с другой, за счет постоянного притока с окружающей суши запасы подземных вод на побережье увеличиваются, а уровень их постоянно поднимается. Подобные явления типичны в основном для водохранилищ районов избыточного увлажнения, каковым является прибрежная зона водохранилищ. При недостаточном увлажнении в несвязных или слабосвязных грунтах после создания водоема возникает интенсивная инфильтрация, которая ведет к подъему уровня подземных вод за счет исключительно утечек из водоема.

Итак, на одних участках прибрежной зоны водохранилища зона влияния достигает своих

максимальных размеров уже в первые годы эксплуатации, на других процесс подпора растягивается на последующий период. Изменения уровня верхнего бьефа водохранилища передаются подземным водам. Внешняя граница зоны подтопления, где колебания уровня подземных вод затухают, может быть расположена на расстоянии 1–4 км от уреза верхнего бьефа.

Подтопление земель, прилегающих к водохранилищу, обусловлено как подъемом уровня воды при заполнении водохранилища до нормального подпорного уровня, так и, соответственно, изменением уровня грунтовых вод. Основной потенциальный ущерб от подтопления земель и в целом от трансформации режима грунтовых вод связан с возможностью заболачивания территорий, изменением свойств почв, растительного и животного мира [4, 5, 7–11].

В зависимости от высоты подтопления (залегания уровня грунтовых вод от поверхности земли), изменения почв и растительности в водохозяйственном строительстве выделяют [3, 4, 10, 11] подзоны сильного, умеренного и слабого подтопления, влияние которых на прибрежные экосистемы, почвенные условия, лесные и сельскохозяйственные угодья определяется природными особенностями района расположения водохранилища. Залегание уровня грунтовых вод от поверхности земли ориентировочно может составлять в подзоне сильного подтопления от 0 до 1,2 м, умеренного – до 2, слабого – до 3,0 м [4, 10, 11].

Наиболее часто подвержены заболачиванию участки сильного подтопления побережий водохранилищ, расположенных в центральной и южной частях Беларуси. Как правило, при подтоплении прибрежной зоны не подлежат отчуждению земли, кроме зоны сильного подтопления: они продолжают использоваться в различных хозяйственных целях (рекреации, земледелия, луговодства и т. д.).

Как показали обследования авторов, общая площадь подтопления прибрежных территорий отдельно взятым водохранилищем страны (без учета польдерных систем) в зависимости от природных условий может составлять в условиях Беларуси до 15 % площади водохранилища [4, 8–11].

Методика исследований

Методика исследований прибрежной зоны, подверженной подтоплению, заключалась в проведении наземных съемок по заранее подготовленной системе разбитых контрольных створов; съемке тех же участков территории с помощью БПЛА; дальнейшем сравнении и сопоставлении результатов обследования. Для проведения дистанционной съемки использовался БПЛА – квадрокоптер модели DJI *Phantom 3 Professional*. Данный аппарат профессиональной серии оборудован цифровой 12-мегапиксельной камерой, позволяющей

выполнять видеосъемку формата HD и делать фотографии соответствующего качества.

Внешний вид квадрокоптера показан на рис. 1. Обработка полученных данных съемки выполнялась с помощью специального программного обеспечения.

Для оценки точности результатов, полученных в процессе обработки материалов аэро-съемок с БПЛА, были использованы материалы наземного мониторинга, а также тестовых водных объектов из прибрежной зоны [1–4].



Рис. 1. Квадрокоптер модели DJI *Phantom 3 Professional*

Обсуждение результатов исследований

В зависимости от морфометрических характеристик водного объекта (рис. 2), а именно от площади зеркала при отметках нормального подпорного уровня (далее – НПУ), полного объ-

ема, распределения глубин, состава грунтов, их фильтрационных свойств и формы береговых склонов, ширина зоны подпора изменяется в значительных пределах (табл. 1, 2) [2, 4, 6–12].



Рис. 2. Подтопление территорий в береговой зоне водохранилища Витебской ГЭС

Таблица 1. Зоны подтопления водохранилищ Беларуси [2, 4]

Область	Площадь водохранилищ, км ²				Зона подтопления, км ²			
	озерных	русловых	налив-ных	всего	сильного	умерен-ного	слабого	всего
Витебская	326,5	9,2	0,2	335,9	1,8	5,5	10,5	17,8
Минская	24,5	187,0	29,3	240,8	42,8	127,3	17,9	198,0
Могилевская	–	48,4	2,5	50,9	3,2	19,7	10,4	33,3
Гомельская	–	5,5	7,1	12,6	0,9	6,2	2,0	9,1
Гродненская	–	21,9	3,8	25,7	3,0	12,9	4,0	19,9
Брестская	–	27,7	44,6	72,3	3,5	23,4	9,2	36,1
Всего	3351,0	299,7	87,5	738,2	55,2	205,0	54,0	314,2

Таблица 2. Характеристика зоны распространения подпора грунтовых вод [4, 9]

Водохранилище	Морфометрические показатели		Зона распространения грунтовых вод, км	Максимальная величина подпора, м
	площадь зеркала, км ²	полный объем, млн м ³		
Заславское	31,1	108,5	1,0–1,5	1,1
Саковщинское	1,05	1,5	0,05–0,5	0,5
Солигорское	23,1	55,9	1,0–2,0	1,7
Ключегорское	0,4	1,2	0,3–0,5	0,6
Добромысленское	1,16	2,25	0,25–0,7	0,8
Бобруйковское	1,22	1,83	0,1–0,25	0,7
Млынокское	1,44	2,29	0,1–0,3	0,8
Гезгальское	1,21	1,21	0,2–0,5	0,5
Локтыши	15,9	50,2	0,1–0,4	1,0

Максимальная ширина распространения подпора грунтовых вод в береговой зоне в условиях водохранилищ Беларуси достигает 2,0 км (табл. 2) [4, 9]. Однако анализ данных, полученных на режимной сети наблюдений на водохранилище Витебской ГЭС и карьере ОАО «Доломит», находящемся на правом берегу, показал, что влияние водного объекта может составлять величину более 3,50 км.

Наиболее детальный прогноз подъема (иначе – подпора) УГВ обычно выполняют организации, проектирующие водохозяйственные и мелиоративные объекты, в состав которых входят водохранилища или пруды. При этом для прогнозирования используются исходные данные, основанные на топографических, инженерно-гидрогеологических и других изысканиях [6, 13–15]:

- топографический план (в масштабе от 1:25 000 до 1:5 000) с сечением горизонталей через от 1 до 5 м в зависимости от масштаба и с нанесением на него линии уреза водохрани-

лища при нормальном подпорном горизонте воды;

- данные о сооружениях, располагающихся в зонах возможного подтопления, затопления и подпора грунтовых вод;

- данные об изменениях во времени горизонта воды в водохранилище во время паводков и в меженные периоды;

- материалы геологических и гидрогеологических изысканий на рассматриваемой территории.

В процессе эксплуатации водохранилища происходят различные изменения: а) уровня режима подземных вод, б) глобальные и локальные, в) вызванные хозяйственной деятельностью человека. Поэтому с практической точки зрения важно иметь возможность выполнять оперативный прогноз подпора, исходя из текущей ситуации, при этом этот прогноз является оценочным и не требует таких больших затрат, как прогноз в процессе проектирования водохранилища.

При горизонтальном залегании водоупора прогноз подпора между двумя водными объектами в условиях равнинных водохранилищ рассчитывается по формуле Г. Н. Каменского для условий установившегося движения грунтовых вод как наиболее типичного [4, 6, 7, 14]:

$$y = \sqrt{h^2 + (y_1^2 - h_1^2) \frac{L-x}{L} + (y_2^2 - h_2^2) \frac{x}{L}}, \quad (1)$$

где h – глубина потока грунтовых вод до подпора в расчетном сечении, находящемся на расстоянии x от берега первого водного объекта;

y – то же при подпоре;

h_1 – глубина потока грунтовых вод у первого объекта до подпора;

y_1 – то же после подпора;

h_2 – глубина потока грунтовых вод во втором объекте до подпора;

y_2 – то же после подпора;

L – расстояние между водными объектами.

Все величины, используемые в (1), измеряются в метрах и показаны на рис. 3.

В рассматриваемом случае первым водным объектом, изображенным на схеме, является водохранилище руслового типа. Вторым водным объектом может быть другое водохранилище, пруд, река или залив первого водохранилища, где производятся измерения уровня грунтовых вод.

При наиболее распространенном подпоре на водохранилищах Беларуси, когда уровень воды во втором водном объекте не изменяется или изменяется мало по сравнению с изменением уровня в водохранилище, расчет выполняется по упрощенной формуле вида [7, 13, 14]:

$$y = \sqrt{h^2 + (y_1^2 - h_1^2) \frac{L-x}{L}}. \quad (2)$$

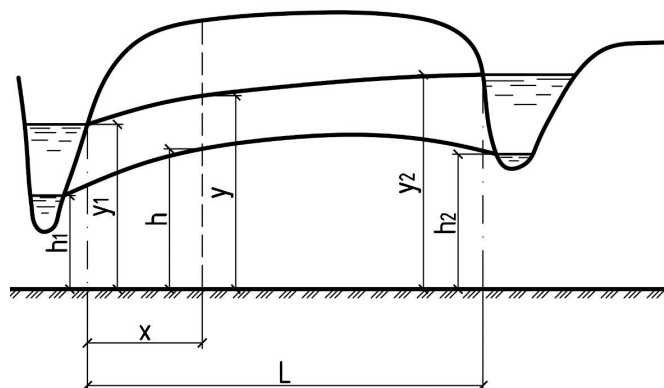


Рис. 3. Схема подпора грунтовых вод (общий случай)

В случае расположения второго водного объекта на значительном расстоянии от берега исходного водохранилища предлагается следующая формула [13–14]:

$$y = \sqrt{h^2 + y_1^2 - h_1^2}. \quad (3)$$

В этой формуле нет явной зависимости y от x . Такая зависимость может быть, если существует зависимость h от x , но авторы статьи рассматривают лишь тот случай, когда h от x не зависит.

Примем значение $L = 1200$ м. Считаем, что на таком расстоянии влияние на УГВ колебания уровня воды в водохранилищах сказывается незначительно.

Для расчетов прогноза подпора по формулам (1)–(3) была написана программа на языке Си в системе *Visual Studio*. Результаты расчетов приведены в табл. 3–5. Исходные значения параметров взяты из реальных условий работы в Беларуси водохранилищ руслового типа. Все параметры и результаты в указанных таблицах приведены в метрах.

По всем тестовым водохранилищам руслового типа в период 2021–2022 гг. были проведены дистанционные съемки по обоим берегам. Съемки выполнялись во время стояния нормального подпорного уровня (далее – НПУ) во всех водохранилищах, высота съемок при этом колебалась от 75 до 100 м [15, 16–18].

При экспериментальных обследованиях тестовых водных объектов на прибрежных береговых полосах, кроме наземной съемки, параллельно осуществлялась съемка высокого разрешения с БПЛА прибрежной зоны вышеуказанных водных объектов. Данная съемка, последующая обработка и анализ данных наземных полевых обследований и дистанционных материалов позволили предварительно установить зоны фактического подтопления территории и сравнить их с расчетными.

Таблица 3. Результаты прогнозных расчетов подпора по формуле (1)

$L = 500,0; h = 1,5; h_1 = 1,0; y_1 = 4,0; h_2 = 1,5; y_2 = 3,0$			
x	y	x	y
10,0	4,13	100,0	3,95
20,0	4,11	110,0	3,93
30,0	4,09	120,0	3,91
40,0	4,07	130,0	3,89
50,0	4,05	140,0	3,87
60,0	4,03	150,0	3,84
70,0	4,01	160,0	3,82
80,0	3,99	170,0	3,80
90,0	3,97	180,0	3,78
$L = 500,0; h = 1,5; h_1 = 1,0; y_1 = 3,0; h_2 = 2,0; y_2 = 3,0$			
20,0	3,18	160,0	3,05
40,0	3,16	180,0	3,03
60,0	3,14	200,0	3,01
80,0	3,13	220,0	2,99
100,0	3,11	240,0	2,97
120,0	3,09	260,0	2,95
140,0	3,07	280,0	2,93
$L = 500,0; h = 2,0; h_1 = 1,0; y_1 = 5,0; h_2 = 2,0; y_2 = 4,0$			
20,0	5,25	140,0	4,96
40,0	5,20	160,0	4,92
60,0	5,15	180,0	4,87
80,0	5,11	200,0	4,82
100,0	5,06	220,0	4,77
120,0	5,01	240,0	4,72

Таблица 4. Результаты прогнозных расчетов подпора по формуле (2)

$L = 500,0; h = 1,5; h_1 = 1,0; y_1 = 3,0$			
x	y	x	y
10,0	3,18	100,0	2,94
20,0	3,15	110,0	2,91
30,0	3,13	120,0	2,89
40,0	3,10	130,0	2,86
50,0	3,07	140,0	2,83
60,0	3,05	150,0	2,80
70,0	3,02	160,0	2,77
80,0	2,99	170,0	2,74
90,0	2,97	180,0	2,71
$L = 500,0; h = 2,0; h_1 = 2,0; y_1 = 5,0$			
10,0	4,96	100,0	4,56
20,0	4,92	110,0	4,51
30,0	4,87	120,0	4,47
40,0	4,83	130,0	4,42
50,0	4,79	140,0	4,37
60,0	4,74	150,0	4,32
70,0	4,70	160,0	4,28
80,0	4,65	170,0	4,23
90,0	4,61	180,0	4,18

Таблица 5. Результаты прогнозных расчетов подпора по формуле (3)

x	y	x	y
20,0	4,97	110,0	4,84
30,0	4,96	120,0	4,82
40,0	4,94	130,0	4,81
50,0	4,93	140,0	4,79
60,0	4,91	150,0	4,78
70,0	4,90	160,0	4,76
80,0	4,88	170,0	4,75
90,0	4,87	180,0	4,73
100,0	4,85	190,0	4,71

Маркерами, позволившими определить ширину зоны подтопления, являлись ореолы травянистой и высшей древесной растительности, которые коррелируют с шириной зон подтопления в зонах заболачивания определенной цветовой гаммы.

Предварительная обработка видео- и фотоматериалов полевых исследований показыва-

ла, что ширина зоны подтопления колеблется от 50 (водохранилища Криницы, Птичь, Дубровское) до 500 м (водохранилища Петровичи, Заславское) и может достигать 1300 м для больших водохранилищ (правый берег водохранилища Витебской ГЭС.) Границы зон подтопления различных водохранилищ видны на снимках, представленных на рис. 4–7.



Рис. 4. Подтопление правого берега водохранилища Криницы



Рис. 5. Подтопление правого берега водохранилища Птичь



Рис. 6. Подтопление правого берега водохранилища Петровичи



Рис. 7. Подтопление левого берега водохранилища Витебской ГЭС

Граница распространения подпора подземных вод определялась по данным анализа съемок с БПЛА путем выявления полос с измененным цветом растительности (в зоне подтопления более насыщенная цветовая гамма). К тому же, в зоне подпора преобладают, как правило, травянистые виды растительности, а древесные формы находятся в угнетенном состоянии. Полученная видео- и фотоинформация затем дешифрировалась.

На основании набора аэрофотоснимков, полученных с БПЛА, была создана трехмерная модель местности и цифровая модель рельефа (далее – ЦМР). Для создания указанной модели местности и ЦМР использовалась программа *Agisoft PhotoScan* [16, 17].

Начальный этап создания трехмерной модели местности – это импорт фотоматериалов, настройка параметров и калибровка фотокамеры. Далее определялись координаты центров снимков и выполнялась расстановка на исходных снимках маркеров, с помощью которых модель трансформировалась. После расстановки маркеров на всех снимках указывались их координаты.

Следующий этап – автоматическое построение трехмерной модели местности. Заключительный этап – построение текстуры модели и процесс «насаживания» ее на трехмерную модель (драпировка). В результате указанных действий получалась трехмерная модель местности.

Фрагмент ЦМР показан на рис. 8. Затем на основании полученных данных строилась ЦМР в виде поверхности с рельефными горизонталями, и получалась следующая картографическая продукция: трехмерная модель местности, цифровая модель рельефа и орто-

фотоплан. Данные виды продукции пригодны для целей картографирования, инженерных изысканий, а также прогнозных расчетов.

Результаты полевых натурных исследований позволяют говорить о возможности применения таких дистанционных средств, как, в частности, БПЛА для сбора оперативной информации, необходимой для мониторинга прибрежных территорий и эксплуатации водных объектов страны.

Сравнительный анализ данных, полученных при наземных измерениях и в процессе обработки снимков с БПЛА, приведен в табл. 6. Там можно видеть итоги сравнения прогнозных расчетов – согласно (1)–(3) – подпора грунтовых вод и ширины зоны подтопления прибрежных территорий тестовых водохранилищ, а также реальных параметров подтопления побережий, полученных с помощью БПЛА.

Как следует из данных, приведенных в табл. 6, точность зафиксированных параметров объектов, подверженных съемкам с БПЛА (значений ширины зоны подтопления), является достаточной, обеспечивающей среднюю погрешность в пределах 15 %, что допустимо для проведения практических инженерных расчетов.

Итак, полученные данные позволяют сделать вывод о том, что регистрация и наблюдение за развитием процесса подтопления естественных берегов водохранилищ с помощью беспилотных радиоуправляемых квадрокоптеров, оснащенных камерами с высоким разрешением, возможны. Результаты получаются точные, что подтверждает сравнение как измеренных наземных данных и прогнозных расчетов, так и полученных с помощью БПЛА.



Рис. 8. Трехмерная ЦМР модель прибрежной зоны водохранилища [16, 17]

Таблица 6. Сравнение результатов прогнозных расчетов подпора подземных вод в прибрежной зоне

Тестовый водоем (водохранилище)	Прогноз подпора УГВ по тестовым участкам		Данные съемки с БПЛА	Погрешность, %
	высота подпора на расстоянии 20 м от уреза воды, м	ширина зоны подтопления, м	ширина зоны подтопления, м	
Заславское	0,40	75,0	65,0	13,3
Дубровское	0,50	35,0	35,0	0
Чижевское	0,30	40,0	42,0	5
Волковичское	0,40	40,0	35,0	12,5

Заключение

На основе материалов натурных обследований и наблюдений, а также съемок с БПЛА на тестовых водохранилищах были определены прогнозные зависимости, достаточные для моделирования береговых процессов и подтопления территорий, вызванного подпором грунтовых вод. Предложен метод построения цифровой модели местности, который может быть использован для расчета и прогноза процесса подтопления прибрежных территорий.

Выполненное обследование и аэрофото-съемки с БПЛА позволили оценить степень подтопления и заболачивания прибрежных

территорий русловых водохранилищ. Результаты оценок процессов подтопления и деформаций берегов с учетом данных, получаемых с помощью БПЛА, показали эффективность применения современных дистанционных методов. Разработанные алгоритмы и программные средства для интерпретации фотоматериалов могут быть в дальнейшем использованы совместно с любой геоинформационной системой (ГИС-системой) как в качестве основы при проектировании водных объектов, так и базы при оценке экологического состояния территорий.

Библиографический список

1. Оценка сооружений инженерной защиты, систем водоснабжения и водоотведения средствами дистанционной диагностики / В. Е. Левкевич, А. В. Бузук, В. А. Лосицкий, В. А. Мильман, С. В. Решетник, Ф. Н. Саидов // Актуальные научно-технические и экологические проблемы сохранения среды обитания : сб. тр. IV Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 55-летию Брест. гос. техн. ун-та и 50-летию фак-та инженер. систем и экологии, Брест, 7–8 окт. 2021 г. : в 2 ч. / М-во образования Респ. Беларусь, Брест. гос. техн. ун-т ; редкол.: А. А. Волчек [и др.] ; науч. ред.: А. А. Волчек, О. П. Мешик. – Брест : БрГТУ, 2021. – С. 45–54.
2. Использование средств дистанционной диагностики для мониторинга состояния водохозяйственных объектов и сооружений систем водоснабжения и водоотведения /

- В. Е. Левкевич, В. А. Лосицкий, Ф. Н. Саидов, В. А. Мильман, С. В. Решетник // Вестн. Брест. гос. техн. ун-та. – 2021. – № 1. – С. 96–100.
3. Левкевич, В. Е. Гидроморфодинамика прибрежной зоны водохранилищ ГЭС Беларуси / В. Е. Левкевич. – Минск : Право и экономика, 2018. – 143 с.
4. Левкевич, В. Е. Инженерная защита и мониторинг прибрежной зоны водохранилищ Беларуси / В. Е. Левкевич. – Минск : Право и экономика, 2020. – 152 с.
5. Защита территорий от затопления и подтопления / С. К. Абрамов [и др.]. – Москва : Госстройиздат, 1961. – 424 с.
6. Охрана окружающей среды и природопользование. Гидросфера. Правила определения прогнозных количественных и качественных характеристик водного режима при создании плотин и водохранилищ на реках : ТКП 17.06-06-2012 (02120). – Введ. 16.01.12. – Минск : ЦНИИКИВР, 2018. – 37 с.
7. Влияние водохранилищ на гидрогеологические условия прилегающих территорий / С. К. Абрамов [и др.]. – Москва : Госстройиздат, 1960. – 319 с.
8. Ересько, М. А. Оценка подтопления прибрежных территорий и качества подземных вод в зоне влияния водохранилища Витебской гидроэлектростанции / М. А. Ересько, В. Е. Левкевич, Н. В. Макаревич // Новые методы и технологии в водоснабжении и водоотведении : сб. тр. по материалам докл. Междунар. науч.-практ. конф., Минск, 17–18 февр. 2022 г. / Ин-т ЖКХ Нац. акад. наук Беларуси ; под общ. ред. В. О. Китикова. – Минск : БГТУ, 2022. – С. 136–144.
9. Ересько, М. А. Комплексная оценка состояния гидросеры территории мезоуровня / М. А. Ересько, В. Е. Левкевич, К. А. Кечик // Новые методы и технологии в водоснабжении и водоотведении : сб. тр. по материалам докл. Междунар. науч.-практ. конф., Минск, 17–18 февр. 2022 г. / Ин-т ЖКХ Нац. акад. наук Беларуси ; под общ. ред. В. О. Китикова. – Минск : БГТУ, 2022. – С. 132–135.
10. Роль водохранилищ в изменении природных условий / С. Л. Вендров, А. Б. Авакян, К. Н. Дьяконов, А. Ю. Ретеюм. – Москва : Знание, 1968. – 47 с.
11. Вендров, С. Л. Изменение рельефа берегов и дна Цимлянского водохранилища в 1952–1956 гг. // Изв. Акад. наук СССР. Сер. географическая. – 1957. – № 3. – С. 75–80.
12. Савкин, В. М. Искусственные пляжи для берегоукрепления и комплексного использования прибрежной зоны на Новосибирском водохранилище / В. М. Савкин, К. В. Марусин, Е. А. Федорова // Создание и использование искусственных земельных участков на берегах и акватории водоемов : тр. Междунар. конф., Новосибирск, 20–25 июля 2009 г. / Сибир. отд. РАН. ; отв. ред. А. Ш. Хабилов. – Новосибирск, 2009. – С. 255–261.
13. Методические рекомендации по изучению и прогнозированию подпора подземных вод и переработки берегов водохранилищ Сибири / С. Г. Бейром [и др.] ; науч. ред.: С. Г. Бейром, В. М. Широков. – Новосибирск : СибНИИЭ, 1972. – 36 с.
14. Методические рекомендации по прогнозированию подтопления берегов водохранилищ и использованию подтопленных земель / А. Г. Емельянов, Д. П. Инаров, Г. Н. Петров, Г. А. Михальцова. – Ленинград : ВНИИГ, 1978. – 88 с.
15. Крашников, А. Ф. Руководство по изучению динамики размыва берегов рек при инженерных изысканиях методом наземной фототопографической съемки / А. Ф. Крашников, В. К. Львов, А. А. Тинт. – Москва : Стройиздат, 1983. – 67 с.
16. Опыт использования беспилотных летательных аппаратов для мониторинга положения бровки высоких берегов водохранилищ / Г. И. Скрипка, Л. А. Беспалова, О. В. Ивлиева, В. В. Сапрыгин, А. А. Филатов // Водные ресурсы России: современное состояние и управление : сб. тр. Всерос. науч.-практ. конф., Сочи, 8–14 окт. 2018 г. : в 2 т. // Федер. агент-во вод. ресурсов. – Новочеркасск : ООО «Лик», 2018. – Т. 1. – С. 298–305.
17. Болсуновский, М. А. Система спутников ДЗЗ SPOT / М. А. Болсуновский // Геопрофи. – 2005. – № 3. – С. 19–21.
18. Копосов, Е. В. Прогнозирование абразионной и оползневой опасности побережий Волжских водохранилищ / Е. В. Копосов, И. С. Соболев, А. Н. Ежков // Вестн. МГСУ. – 2013. – № 6. – С. 170–188. Doi: 10.22227/1997-0935.2013.6.170-188

Поступила 16 февраля 2023 г.

РАСЧЕТ РЕЖИМОВ РЕГЕНЕРАЦИИ ВОДОЗАБОРНЫХ СКВАЖИН МЕТОДОМ ЛИНЕЙНОГО СВАБИРОВАНИЯ В ЗАМКНУТЫХ КАМЕРАХ

Ю. А. Медведева, старший преподаватель

И. Е. Амелишко, старший преподаватель

В. В. Ивашечкин, доктор технических наук

Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Беларусь

Аннотация

Отмечены проблемные вопросы эксплуатации водозаборных скважин: низкие сроки службы, недостаточная ремонтпригодность и сниженный удельный дебит. Рассматривается циркуляционная реагентная обработка фильтров водозаборных скважин способом свабиrowания. Приводятся конструкция установки для обработки участка фильтра и технологическая схема реагентной регенерации методом линейного свабиrowания в замкнутой камере. Описывается методика расчета режимов обработки в зависимости от конструктивных параметров огруженного устройства, скорости движения свабы, степени кольматации и фильтрационных параметров в гравийной обсыпке водозаборной скважины. На основе исходных данных рассмотрен пример расчета продолжительности реагентной обработки участка фильтра при использовании соляной кислоты в качестве реагента.

Ключевые слова: водозаборная скважина, регенерация, свабиrowание, фильтрация, реагент, сваб.

Abstract

Yu. A. Medvedeva, I. E. Amelishko, V. V. Ivashechkin

CALCULATION OF REGENERATION MODES OF WATER INTAKE WELLS BY THE METHOD OF LINEAR SWABBING IN CLOSED CHAMBERS

The problematic issues of operation of water wells: low service life, insufficient maintainability and reduced specific flow rate are highlighted. The circulation reagent treatment of water intake well filters by the swabbing method is considered. The design of the installation for processing the filter section and the technological scheme of reagent regeneration by the method of linear swabbing in a closed chamber are presented. A method for calculating processing modes depending on the design parameters of the submersible device, the speed of the swab, the degree of clogging and filtration parameters in the gravel dressing of a water well describes. Based on the initial data, an example of calculating the duration of the reagent treatment of the filter section using hydrochloric acid as a reagent is considered.

Keywords: water well, regeneration, swabbing, filtration, reagent, swab.

Введение

Государственная водохозяйственная политика Республики Беларусь направлена в первую очередь на защиту водных источников от загрязнения и решение таких важнейших социальных задач, как обеспечение населения качественной питьевой водой и создание благоприятных условий проживания [1].

Централизованное водоснабжение городов, городских и сельских поселков и промышленных предприятий базируется на использовании пресных подземных вод. Прогнозные эксплуатационные ресурсы пресных подземных вод в целом по республике оцениваются в 49 596 тыс. м³/сут. К настоящему времени разведано 13,9 % от прогнозных ресурсов [2].

По данным Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь, на балансе водопользователей находится более 25 тысяч разведочно-эксплуатационных скважин [3]. Около 90 % водозаборных скважин функционируют со сниженными удельными дебитами и высокими энергозатратами на подъем воды, что обусловлено процессами биологического и химического кольматажа.

Так как существующие методы регенерации длительно эксплуатирующихся скважин недостаточно эффективны, срок службы скважин редко превышает 18–20 лет, что существенно ниже их расчетного срока эксплу-

атации [4, 5]. Критически снизившие дебит водозаборные скважины, не поддающиеся регенерации, тампонируют и перебуривают, что требует значительных финансовых вложений. Поэтому весьма актуальна проблема увеличения долговечности и повышения ремонтпригодности водозаборных скважин, тем более что в последние десятилетия наблюдается постоянный рост цен на энергоресурсы и материалы.

Существует ряд реагентных методов регенерации – например, метод реагентной ванны и циклического задавливания, где воздействие производится на весь фильтр одновременно, исходя из предположения, что фильтр по высоте закольматирован равномерно. Это на практике не соответствует действительности, поэтому наиболее закольматированные участки фильтра остаются неочищенными. Циркуляционные методы

регенерации [6–10] более эффективны вследствие поинтервальной обработки фильтра, но недостаточно надежны, так как предполагают нахождение в реагенте погружных осевых насосных агрегатов, снабженных электродвигателями.

Для решения этой проблемы, в целях повышения эффективности и упрощения процесса регенерации водозаборных скважин, предложено осуществлять реагентную обработку фильтров водозаборных скважин методом линейного свабиrowания, проводимого поинтервально на участке фильтра, ограниченного двумя пакерами и заполненного реагентом [11].

Цель работы – разработать технологическую схему реагентной регенерации водозаборных скважин методом линейного свабиrowания в замкнутой камере и методику расчета режимов обработки.

Основная часть

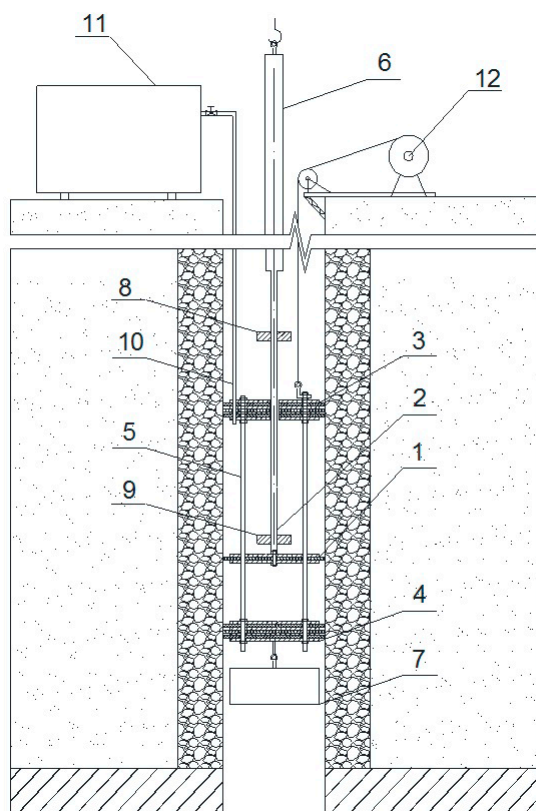
Макет ранее описанного скважинного устройства [11] был испытан на лабораторном стенде для определения его работоспособности. В результате анализа результатов испытаний конструкция устройства доработана в целях повышения ее надежности. Усовершенствование конструкции скважинного устройства выразилось в ликвидации обратных клапанов и тросовых подвесок пакеров, замене пневматических пакеров на резиновые манжеты.

Схема усовершенствованной установки для обработки участка фильтра методом линейного свабиrowания в замкнутых камерах представлена на рис. 1.

Установка включает емкость с реагентом и шлангами, тросовую лебедку и усовершенствованное скважинное устройство для регенерации, которое перемещают в фильтре скважины на водоподъемных трубах эрлифта с помощью автокрана с телескопической стрелой (на рисунке не показан).

Скважинное устройство (рис. 2) состоит из верхнего и нижнего пакеров, стежневого каркаса, сваба, штока с верхним и нижним упорами, массивного груза цилиндрической формы. Стежневой каркас выполнен из че-

тырех стержней круглого сечения, которые имеют резьбы с гайками на обоих концах для жесткого закрепления на них пакеров, представляющих собой набор стальных дисков с резиновыми манжетами. Расстояние между пакерами составляет 4–5 диаметров фильтра, что соответствует длине обрабатываемого участка фильтра в диапазоне 1–1,2 м. Пакеры делают обрабатываемый участок фильтра скважины замкнутым и предотвращают утечки реагента за его пределы. Сваб – это металлический диск, жестко закрепленный на штоке. По периметру сваба находится манжетное уплотнение. Для центрирования сваба в его металлическом диске сделаны отверстия, куда продеты стержни каркаса, вдоль которых он совершает возвратно-поступательные перемещения как по направляющим в процессе работы. В центре верхнего пакера расположено отверстие для пропуска штока. Массивный груз предназначен для предотвращения смещения стержневого каркаса с пакерами в процессе обработки фильтра при движении сваба вверх, тросовая лебедка – при движении его вниз, а верхний и нижний упоры – для ограничения рабочих ходов сваба.



а



б

Рис. 1. Схема установки (а) и общий вид скважинного устройства (б) для реагентной обработки фильтра на основе метода линейного свабивания в замкнутых камерах:
 1 – сваб; 2 – шток; 3 – верхний пакер; 4 – нижний пакер; 5 – направляющие стержни;
 6 – водоподъемные трубы эрлифта; 7 – массивный груз; 8 – верхний упор; 9 – нижний упор;
 10 – шланг для подачи реагента; 11 – емкость для реагента; 12 – лебедка

Технологическая схема процесса обработки.

Скважинное устройство на буровых штангах с помощью автокрана опускают в обрабатываемый участок фильтра. При этом нижний упор штока находится в крайнем верхнем положении. Скважинное устройство фиксируют на интервале обработки с помощью тросовой лебедки. Заливка реагента в рабочую камеру производится из емкости при одновременном опускании буровой штанги вниз на величину рабочего хода сваба, равного расстоянию между упорами штока. Это обеспечивает смещение сваба в крайнее нижнее положение и заполнение реагентом всей рабочей камеры.

После этого начинают регенерацию участка фильтра, поднимая вверх с помощью автокрана колонну буровых штанг на величину рабочего хода сваба. Под действием избыточного давления в верхней полости рабочей камеры реагент частично вытесняется в пласт, однако благодаря созданию пониженного давления под свабом большая часть расхода реагента

огинает сваб по гравийной обсыпке и поступает в нижнюю полость рабочей камеры.

Затем из крайнего верхнего положения сваб опускают вниз под весом буровых штанг. В течение хода вниз реагент перетекает по гравийной обсыпке из нижней части камеры в верхнюю. Рабочие ходы повторяют до тех пор, пока не будет достигнута необходимая степень регенерации участка фильтра. После этого скважинное устройство перемещают на новый участок и повторяют процесс до полной обработки фильтра.

Затем скважинное устройство опускают в отстойник фильтра и ждут полного завершения процесса растворения, контролируя его с помощью датчика электрического сопротивления, закрепленного на нижней трубе эрлифта. Выдерживание реагента в скважине продолжают до стабилизации электрического сопротивления [4]. После этого подают сжатый воздух по шлангу в водоподъемные трубы эрлифта. Скважину прокачивают до полного

удаления продуктов растворения отложений. Эрлифт со скважинным устройством поднимают на поверхность.

Знакопеременные фильтрационные потоки реагента в прифильтровой зоне водозаборной скважины – это определяющие факторы, интенсифицирующие процесс растворения колюматированных отложений при использовании метода свабиrowания в замкнутых камерах. К технологическим режимам поинтервальной реагентной обработки фильтра относятся: скорость перемещения сваба; необходимое количество рабочих ходов сваба на одном интервале обработки с заданной скоростью для обеспечения деколюматации прифильтровой зоны; продолжительность обработки участка фильтра между пакерами и время регенерации всего фильтра.

Расчетная схема реверсивного движения фильтрового потока в гравийной обсыпке при использовании установки для реверсивно-реагентной обработки фильтров представлена на рис. 2.

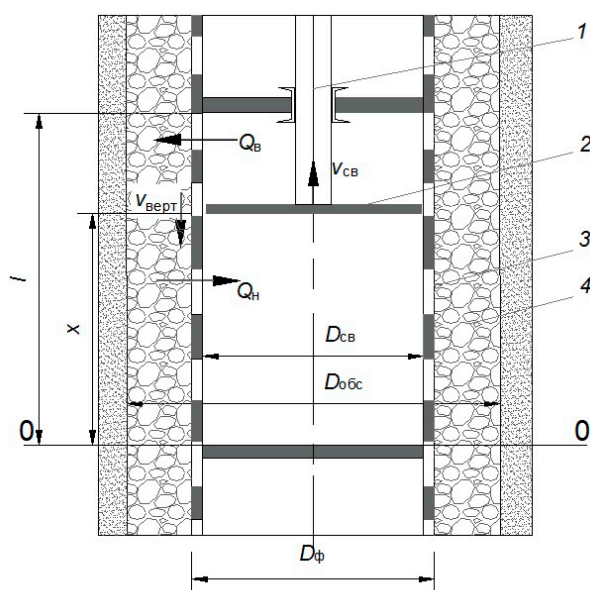


Рис. 2. Расчетная схема движения жидкости на участке фильтра при движении сваба:

1 – шток; 2 – сваб; 3 – фильтр; 4 – гравийная обсыпка

Начало отсчета плоскость 0–0 разместим на уровне нижнего пакера. Пакеры считаем неподвижными, расстояние между ними постоянным и равным l . Сваб перемещается равномерно со скоростью $v_{св}$ и совершает возвратно-поступательные движения внутри камеры. При движении вверх сваб вытесняет реагент из верхней полости камеры в ниж-

нюю полость через слой гравийной обсыпки, прилегающий к фильтру. Весь реагент, находящийся в рабочей камере над свабом, к концу рабочего хода прокачивается через участок гравийной обсыпки длиной l , частично насыщается продуктами растворения и аккумулируется в нижней полости камеры под свабом. При движении сваба вниз этот реагент к концу рабочего хода длиной l опять весь прокачивается через слой гравийной обсыпки и, опять насыщаясь растворенным колюматантом, накапливается в верхней части рабочей камеры над свабом.

Так совершается рабочий цикл – двойной ход сваба. Реагент совершает равноценные по скорости реверсивные движения вверх-вниз на участке длиной l гравийной обсыпки.

Для расчета режимов поинтервальной обработки фильтра на основе метода свабиrowания воспользуемся методикой расчета продолжительности реагентной обработки фильтров для реверсивного движения реагента вдоль участка заколюматированной гравийной обсыпки. Для описания процесса растворения отложений в обсыпке фильтра используем систему уравнений – объединенное уравнение движения и сохранения массы и обобщенное уравнение кинетики [12–13]:

$$\begin{cases} -v \frac{\partial C}{\partial x} - \rho_{oc} \frac{\partial b}{\partial t} = n_0 \frac{\partial C}{\partial t}, \\ \frac{\partial b}{\partial t} = -\Phi \cdot (C_{max} - C) \end{cases} \quad (1)$$

где v – скорость движения реагента в гравийной обсыпке;

C – концентрация солей в реагенте;

n_0 – начальная пористость грунта;

b – удельная насыщенность грунта колюматантом, плотность которого равна ρ_{oc} ;

t – время;

C_{max} – максимальная концентрация солей в реагенте, то есть концентрация насыщенного раствора;

$$\Phi = \frac{B_i}{\rho_{oc}} f(b), \quad f(b) = \frac{1}{\sqrt{1-n_0}} \cdot \sqrt{\frac{1}{n_0-b} - 1},$$

$$B_i = A_1 \left(\frac{D^4}{v_c} \right)^{1/6} \cdot \omega_0 \sqrt{\frac{v}{d_0}},$$

где A_1 – константа, лежащая в интервале от 0,76 до 0,996;

D – коэффициент молекулярной диффузии;

ν_c – коэффициент кинематической вязкости жидкости;

d_0 – размер зерен шаровой формы незакольматированной гравийной обсыпки скважины;

ω_0 – удельная поверхность гравийной обсыпки, принимаемая как суммарная поверхность зерен шаровой формы в единице объема,

$$\omega_0 = 6\xi \cdot \zeta \frac{(1-n_0)}{d_0},$$

где ξ и ζ – понижающие коэффициенты, учитывающие соответственно степень экранизации поверхности зерен пузырьками газа и долю нерастворимых соединений в составе кольматанта.

Начальные и граничные условия, соответствующие расчетной схеме (рис. 2), имеют следующий вид:

$$C(0, x) = C_0, C(t, 0) = C_0, b(0, x) = b_0 < n_0, t \geq 0, x \in [0; l], \quad (2)$$

где b_0 – начальный удельный объем кольматирующих отложений.

Согласно уравнению неразрывности расход реагента Q_v , вытесняемый свабом из верхней полости, равен расходу Q_n , поступающему в нижнюю полость [11]:

$$Q_v = Q_n. \quad (3)$$

Сделаем допущение о том, что скорость ν фильтрационного потока реагента в прилегающем к фильтру обрабатываемом слое гравийной обсыпки равна вертикальной скорости $\nu_{\text{верт.}}$ и скорости движения сваба $\nu_{\text{св.}}$ на всем пути его движения: $\nu = \nu_{\text{верт.}} = \nu_{\text{св.}}$.

Для упрощения расчетов функцию определяли при значении среднего удельного объема отложений b_c .

Путем интегрирования уравнения кинетики (1) получена аналитическая зависимость для расчета значения удельной насыщенности грунта кольматантом на границе участка обработки после проведения k -ходов реагента [13]:

$$b(T_0, l) = b_0 - \sum_{m=1}^k \left[n_0 \cdot \left(1 - e^{-\alpha_m T_0} \right) + \alpha_m \cdot e^{-\alpha_m T_0} (1 - n_0) \cdot T_0 \right] \cdot J_m, \quad (4)$$

где T_0 – время, за которое реагент проходит расстояние l со скоростью ν ;

$$\alpha = B_i \cdot f(b_c); J_1 = C_{01} = C_{\max} - C_0,$$

остальные J_m определяются рекуррентной формулой

$$J_m = J_{m-1} \cdot e^{-\alpha_{m-1} T_0}. \quad (5)$$

Формула (4) показывает, что на каком-то этапе с ростом количества ходов практически не происходит уменьшения удельной загрязненности, то есть необходима замена рабочего раствора на новый.

По полученным формулам составлена компьютерная программа, позволяющая рассчитать степень удаления кольматанта на каждом этапе регенерации, количество циклов работы устройства и общую продолжительность очистки. Программа доработана с возможностью учета ламинарного движения реагента в прифилтровой зоне, для этого пределы выбора скоростей расширили от $\nu = 1$ мм/с.

Рассмотрим работу установки для реагентной обработки фильтра на основе метода линейного свабирования с использованием соляной кислоты в качестве реагента.

Пример.

Исходные данные:

- диаметр сваба равен внутреннему диаметру фильтра $D_{\text{св.}} = 203$ мм;
- внешний диаметр фильтра $D_{\phi} = 245$ мм;
- наружный диаметр гравийной обсыпки $D_{\text{обс.}} = 345$ мм;
- удельный объем отложений кольматанта $b_0 = 0,1$;
- начальная пористость среды $n_0 = 0,3$;
- плотность кольматанта $\rho_k = 2\,250$ кг/м³;
- длина обрабатываемого участка фильтра $l = 1$ м.

Кольматант представляет собой многокомпонентную систему, включающую в себя соли кальция, магния, марганца (карбонаты), соединения железа в виде гидроксида, оксида, сульфида, фосфата [12]. Но поскольку в составе кольматанта преобладают соединения железа, то далее для упрощения расчетов принимаем, что кольматант состоит из гидроксида железа $\text{Fe}(\text{OH})_3$, который в воде представляет собой гидратированное железо $\text{FeO}(\text{OH})$.

Масса кольматанта M_k может быть определена по степени насыщенности порового пространства кольматирующими образованиями α в объеме пор гравийной обсыпки $W_{\text{пор.}}$ по формуле:

$$M_K = \chi \rho_K W_{\text{пор.}} = \chi \rho_K \pi (D_{\text{обс.}}^2 - D_{\text{ф}}^2) l n_0 / 4 =$$

$$= 0,33 \cdot 2250 \cdot 3,14 \cdot (0,345^2 - 0,245^2) \cdot 1,0 \cdot 0,3 / 4 =$$

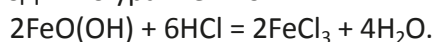
$$= 10,3 \text{ (кг)},$$

где ρ_K – плотность твердых частиц скелета осадка, изменяется от 1,7 до 3,1 г/см³;

χ – насыщенность порового пространства.

Произведем теоретический расчет затрат соляной кислоты 100%-й концентрации на растворение кольматанта известного химического состава. Введем обозначение М. В. – молекулярный вес.

Реакция растворения гидратированных железистых соединений с соляной кислотой происходит по уравнению



Согласно уравнению реакции и ранее определенному значению M_K находим требуемое количество соляной кислоты m_{HCl} из следующего выражения:

$$m_{\text{HCl}} = \frac{M_K \cdot 6M_{\text{В. HCl}}}{2M_{\text{В. FeO(OH)}}} = \frac{10,3 \cdot 6 \cdot 36,5}{2 \cdot 89} = 12,7 \text{ (кг)}.$$

Исследования показали, что при концентрации раствора соляной кислоты, равной 20 %, происходит наиболее эффективное растворение кольматанта в прифильтровой зоне [12]. Определяем объем 20%-й соляной кислоты HCl по формуле

$$V_{\text{HCl}20\%} = \frac{m_{\text{HCl}}}{\rho_{\text{HCl}} C_{20\%}} = \frac{12,7}{1,098 \cdot 0,2} = 57,8 \text{ (дм}^3\text{)},$$

где ρ_{HCl} – плотность соляной кислоты; $C_{20\%}$ – массовая концентрация соляной кислоты.

Объем 20%-го раствора соляной кислоты, помещающегося внутрь рабочей камеры длиной 1 м, равен:

$$V_{\text{р.кам.}} = \pi D_{\text{св.}}^2 l / 4 = 3,14 \cdot 0,203^2 \cdot 1 / 4 = 32 \text{ (дм}^3\text{)}.$$

Из полученных данных следует, что для растворения 10,3 кг кольматанта, который содержится в гравийной обсыпке скважины длиной 1 м, необходимо 12,7 кг соляной кислоты 100%-й концентрации, или 57,8 дм³ 20%-й соляной кислоты. Объем рабочей камеры составляет 32 дм³. Следовательно, 25,8 дм³ из общего объема раствора сразу попадет в гравийную обсыпку через стенки фильтра, вытеснив оттуда воду, и начнет растворять отложения, а остальные 32 дм³ останутся в рабочей камере и попадут в обсыпку при движении сваба.

Для расчета по предложенной программе необходимо задать предельную концентрацию FeCl₃, которая будет в растворе при взаимодействии соляной кислоты 20%-й концентрации и кольматанта.

Согласно уравнению реакции кольматанта и соляной кислоты и ранее определенному значению M_K находим массу хлорида железа m_{FeCl_3} из следующего выражения:

$$m_{\text{FeCl}_3} = \frac{m_{\text{HCl}} \cdot 2M_{\text{В. FeCl}_3}}{6M_{\text{В. HCl}}} = \frac{12,7 \cdot 2 \cdot 162}{6 \cdot 36,5} = 18,8 \text{ (кг)}. \quad (6)$$

Максимально возможная концентрация хлорида железа $C_{\text{max FeCl}_3}$ без учета разбавления раствора скважинной водой определяется по формуле

$$C_{\text{max FeCl}_3} = \frac{m_{\text{FeCl}_3}}{V_{\text{HCl}20\%}} = \frac{18,8}{57,8} = 0,32 \text{ (кг/дм)}. \quad (7)$$

В программу занесены следующие исходные данные:

- начальная пористость среды $n_0 = 0,3$;
- удельный объем отложений $b_0 = 0,1$;
- плотность кольматанта $\rho_K = 2\,250 \text{ кг/м}^3$;
- длина обрабатываемого участка фильтра $l = 1 \text{ м}$;
- диаметр зерен гравийной загрузки $d_0 = 1 \text{ мм}$;
- концентрация хлорида железа в объеме реагента с учетом его разбавления $C_{\text{max}} = 200 \text{ кг/м}^3$;
- максимальная скорость движения реагента в закольматированной загрузке $v = 5 \text{ мм/с}$.

Результаты расчетов.

Время прохода реагентом участка длиной 1,0 м $T_0 = 200 \text{ с}$;

Продолжительность промывки участка длиной 1,0 м $T_{\text{общ.}} = 23,3 \text{ мин}$;

Значения удельного объема кольматанта в гравийной обсыпке представлены в таблице.

Таблица. Значения удельного объема отложений кольматанта в гравийной обсыпке на каждом цикле регенерации с использованием соляной кислоты

Номер цикла	Удельный объем отложений в конце цикла, b
1	0,0733
2	0,0467
3	0,0200
4	0,0

Выводы

1. Доработана и упрощена конструкция погружного устройства для регенерации водозаборных скважин методом линейного свабирования в замкнутой камере, заполненной реагентом. Разработана технологическая схема реагентной регенерации.

2. Разработана методика расчета режимов обработки на основании решения уравнения кинетики при растворении колюматирующих отложений с учетом допущений, полученных

по результатам лабораторных исследований, в зависимости от конструктивных параметров погружного устройства, скорости движения сваба, степени колюматации и фильтрационных параметров гравийного фильтра.

3. Рассмотрен пример расчета продолжительности реагентной обработки участка фильтра при использовании соляной кислоты в качестве реагента.

Библиографический список

1. Водный кодекс Республики Беларусь [Электронный ресурс] : 30 апр. 2014 г., № 149-З : принят Палатой представителей 2 апр. 2014 г. : одобр. Советом Респ. 11 апр. 2014 г. // Эталон-онлайн ; Кодексы Респ. Беларусь / Режим доступа: <https://etalonline.by/document/?regnum=hk1400149>. – Дата доступа: 19.01.2023.

2. Государственный водный кадастр. Водные ресурсы, их использование и качество вод (за 2016 год) / М-во природ. ресурсов и охр. окруж. среды. – Минск : ЦНИИКИВП, 2017. – 172 с.

3. Водозаборные скважины / Экологический портал Республики Беларусь [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ecoportal.gov.by/voda/vodozabornye-skvazhiny>. – Дата доступа: 20.01.2023.

4. Цымбалов, А. А. Объяснение физических явлений и процессов деколюматации околоскважинной зоны с применением математического моделирования / А. А. Цымбалов // Приложение математики в экономических и техн. исследованиях : сб. ст. / Магнитогорский гос. техн. ун-т имени Г. И. Носова. – Магнитогорск, 2017. – Т. 1, № 7. – С. 199–204.

5. Tsymbalov, A. A. Role of seismohydrogeologic effects in solution of problems on borehole area dekolmatation: Aftereffect. Part II / A. A. Tsymbalov // Seismological conference (TASECO–2016). – Tashkent : Muxammad Poligraf, 2016. – P. 606–609.

6. Омелянюк, М. В. Технологии ремонта и восстановления водозаборных скважин / М. В. Омелянюк // Водоснабжение и санитар. техника. – 2015. – № 3. – С. 25–31.

7. Комбинированный метод обработки прифилтровой зоны водозаборных скважин пневмоимпульсным и реагентным воздействием / В. И. Лесной, В. И. Зятин, А. В. Жибоедов, А. В. Овчаренко // Сантехника. – 2019. – № 4. – С. 14–29.

8. Butts, Ed. Well and pump rehabilitation [Electronic resource] / Ed Butts // Water Well Journ. – 2017. – Aug. 23. – Mode of access: <https://waterwelljournal.com/well-pump-rehabilitation-4>. – Date of access: 01.02.2022.

9. Bruni, M. Well development & rehabilitation [Electronic resource] / M. Bruni, D. Spuhler // Sustainable Sanitation and Water Management Toolbox. – 2017. – Mode of access: <https://sswm.info/sswm-university-course/module-4-sustainable-water-supply/further-resources-water-sources-hardware/well-development-%26-rehabilitation> – Date of access: 25.04.2022.

10. Melancon, M. Trends in water well rehabilitation [Electronic resource] / M. Melancon // Water Conditioning & Purification Magazine. – 2015. – Mode of access: <http://wcponline.com/2015/12/16/2813/> – Date of access: 24.04.2021.

11. Реагентная деколюматация водозаборных скважин методом свабирования в замкнутых камерах / В. В. Ивашечкин, А. М. Шейко, Ю. А. Медведева, А. Н. Глинская, И. Е. Иванова // Мелиорация. – 2018. – № 2 (84). – С. 20–27.

12. Гаврилко, В. М. Фильтры буровых скважин / В. М. Гаврилко, В. С. Алексеев. – 3-е изд., перераб. и доп. – Москва : Недра 1985. – 345 с.

13. Иванова, И. Е. Теоретические исследования процесса выщелачивания кольматанта в гравийной обсыпке фильтра скважины при использовании установки для реверсивно-реагентной регенерации / И. Е. Иванова, В. В. Ивашечкин, В. В. Верременюк // Энергетика. – 2018. – № 1 (61). – С. 80–92.

Поступила 3 марта 2023 г.

ВЛИЯНИЕ ОРОШЕНИЯ ВОДАМИ РАЗЛИЧНОГО ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА НА ПОЧВЫ СУХИХ СУБТРОПИКОВ АЗЕРБАЙДЖАНА

Э. А. Гурбанов¹, доктор аграрных наук
М. Г. Мустафаев², доктор аграрных наук
З. Р. Гурбанова³, кандидат технических наук

¹Азербайджанский архитектурно-строительный университет,
г. Баку, Азербайджан

²Институт почвоведения и агрохимии Министерства науки и образования Азербайджана,
г. Баку, Азербайджан

³Азербайджанский государственный университет нефти и промышленности,
г. Баку, Азербайджан

Аннотация

Установлено, что при использовании на орошение и промывку различных минерализованных вод темп и направления миграции солей и гипса в корнеобитаемой толще зависят от концентрации почвенного раствора и промывной воды. Для орошения применяется речная и артезианская вода – сульфатно-хлоридно-натриевая, в которой сумма солей колеблется от 0,85 до 4,50 г/л. Выявленный характер химизма оросительных вод сухой степной зоны в значительной степени определяет развитие процессов, свойств и уровень плодородия орошаемых серо-коричневых и лугово-сероземных почв. Величина оросительной нормы при использовании для орошения воды с минерализацией от 0,5 до 4,5 г/л зависит от гранулометрического состава, типа почвы и глубины залегания грунтовых вод.

Ключевые слова: состав воды, химический состав, солевой состав, минерализация воды, засоление почв.

Abstract

E. A. Qurbanov, M. G. Mustafayev, Z. R. Qurbanova

INFLUENCE OF IRRIGATION WITH THE WATER OF DIFFERENT CHEMICAL COMPOSITION ON SOIL IN ARID SUBTROPICS OF AZERBAIJAN

It has been established that when various mineralized waters are used for irrigation and washing, the rate and direction of migration of salts and gypsum in the root layer depend on the concentration of soil solution and wash water. For irrigation, river and artesian water is used - sulfate-chloride-sodium, in which the amount of salts ranges from 0.85 to 4.50 g/l. The identified nature of the chemistry of irrigation waters in the dry steppe zone largely determines the development of processes, properties, and the level of fertility of irrigated gray-brown and meadow-serozem soils. The value of the irrigation rate when used for irrigation water with a mineralization of 0.5 to 4.5 g/l depends on the particle size distribution, soil type and depth of groundwater.

Keywords: water composition, chemical composition, salt composition, water mineralization, soil salinization.

Введение

На территории сухих субтропиков Азербайджана в последние 50–60 лет, на фоне повсеместного повышения среднегодовой температуры воздуха, одновременно изменяется и режим осадков. За исключением отдельных регионов, на большей части зоны сухих субтропиков наблюдается сокращение их среднегодового количества (табл. 1). Поэтому территории орошаются поливной водой.

Методы оптимального управления почвенными процессами в период выращивания культур разрабатываются с учетом процессов переноса влаги в слоях почвы. На орошаемых землях конструктивное решение этого вопроса значительно осложняется разнообразным переносом солей, находящихся в почве и выносимых минеральными удобрениями. Дефицит поливной воды, существующий во всех

сухих субтропиках Азербайджана, может быть покрыт за счет подземных вод. Однако по общему содержанию солей и химическому составу эти воды сильно отличаются от речных, которые сейчас используются для орошения. Поливы водами повышенной минерализации или с неблагоприятным составом солей могут привести к резкому снижению почвенного плодородия и увеличивают трансформацию морфологических параметров почв [1].

Повышение содержания солей в поливной воде приводит, как правило, к засолению почвы, степень засоления которой зависит от минерализации воды, величины оросительной нормы, степени дренированности орошаемого массива, характера и вида орошения [2–8].

В бессточных условиях степень засоления пропорциональна содержанию в воде солей, токсичных для растений, и величине оросительной нормы (табл. 2). При промывном режиме орошения процесс соленакопления в почве определяется величиной поступления солей с поливной водой и выносом их при поливах промывного типа [5, 9–11]. Зависимость засоления от минерализации поливной воды сохраняется и при промывном режиме, но в нем заметную роль играет тип минерализации воды.

Он определяет интенсивность промывного режима, характер почвенных процессов и вымываемость различных солей [2, 9, 10, 12].

Таблица 1. Разности между средним количеством осадков в сухих субтропиках Азербайджана (периоды 1961–1990 и 1991–2022 гг.)

Станции	Сезон				Годовая разница	Апрель – октябрь
	зима	весна	лето	осень		
Билясувар	–12,6	5,5	–15,2	4,1	–18,1	–11,5
Алят	–5,2	–20,8	–10,0	8,4	–27,6	–25,3
Гаджигабул	–0,6	–7,8	–13,2	–4,8	–27,9	–17,5
Бейлаган	–1,6	1,6	–11,2	–2,9	–15,2	–17,6
Имишли	–11,3	–6,5	–15,5	–7,5	–40,8	–33,6
Джафархан	–10,0	–4,6	–15,6	–2,7	–33,0	–31,4
Зардоб	–10,8	–12,2	–5,8	–3,8	–32,5	–17,5
Евлах	–3,5	–5,4	–29,0	–15,4	–54,1	–53,8
Мингечаур	–2,5	–2,3	–11,0	–4,4	–20,4	–22,0
Нефтчала	–3,4	–14,6	–9,3	2,0	–33,8	–16,0
Гегчай	–18,7	–33,9	–19,0	–3,1	–74,7	–57,6
Гянджа	–4,8	–7,4	–22,1	2,5	–31,7	–34,7
Акстафа	–16,3	–1,3	12,6	9,4	–20,8	–15,6
Джейранчел	–11,4	–18,6	–22,9	–11,8	–64,6	–47,3
В среднем по регионам	–8,05	–9,85	–15,17	–2,14	–35,37	–28,67

Таблица 2. Содержание солей в почвах
при различной интенсивности промывного режима, %

№	Водный источник	Состав воды, г/л				Объем фильтра- та, л	Величина стока, % водопо- дачи	Сухой остаток	Щелоч- ность общая HCO ₃	Cl ^{..}	SO ^{..} ₄	Ca ^{..}	Mg ^{..}	Na ^{..}
		минера- лизация	концентрация											
			NaCl	Na ₂ SO ₄										
Непромывной режим														
1	Речная вода	0,3	нет	нет	нет	нет	0,117	0,038	0,004	0,012	0,008	0,003	0,004	
2	Артезиан-1	2,6	0,6	1,8	«—»	«—»	0,666	0,036	0,089	0,268	0,018	0,003	0,166	
Промывной режим														
3	Речная вода	0,3	нет	нет	нет	6,0	0,098	0,038	0,001	0,010	0,017	0,001	нет	
4	Артезиан-2	2,6	0,6	1,8	5,7	7,0	0,341	0,107	0,030	0,132	0,015	0,004	0,094	
5	Артезиан-3	2,6	0,6	1,8	7,2	8,0	0,350	0,085	0,033	0,132	0,009	0,002	0,105	
6	Артезиан-4	2,6	0,6	3,6	11,6	11,0	0,287	0,087	0,030	0,084	0,008	0,002	0,082	
7	Артезиан-5	5,1	1,2	3,6	6,1	8,0	0,685	0,074	0,088	0,276	0,013	0,003	0,205	
8	Артезиан-6	5,1	1,2	3,6	9,4	13,0	0,570	0,070	0,067	0,196	0,004	0,001	0,148	
9	Артезиан-7	5,1	1,2	3,6	14,1	17,0	0,467	0,076	0,051	0,164	0,005	0,001	0,130	

Объект и методика исследования

Основные почвы объекта исследования – серо-коричневые, лугово-сероземные и сероземные. Почвообразующие породы в предгорьях – мелкоземисто-карбонатные суглинки или лессовидные суглинки и глины. На низменной части – глинистые соленосные отложения аллювиально-пролювиального происхождения.

Основные методы исследования – сравнительно-географический и сравнительно-аналитический.

Результаты исследований и их обсуждение

Сухие субтропики Азербайджана расположены в его центральной части, по долинам рек Куры и Аракс. Их границы можно установить по координатам 45°10' до 50°20' с. ш. (по Гринвичу) и 39° до 41°20' с. ш. Естественными границами зоны сухих субтропиков служат: с севера – предгорья Большого Кавказского хребта по р. Ганых и Айричай, с юга – предгорья Малого Кавказского хребта приблизительно до высот порядка 400–500 м, с запада – государственная граница с Грузией, с востока – Каспийское море.

Почвообразовательный процесс целинных почв протекает в основном в условиях недостаточной влажности при ослабленном или нередко в непромывном водном режиме, а на орошаемых – в промывном ирригационном режиме увлажнения на фоне смены периодов нисходящего и восходящего движения растворов, в составе которых преобладают кальций и магния [1].

Климат на территориях с сухими тропиками засушливый, с высокой теплообеспеченностью и недостаточным атмосферным увлажнением. Среднегодовая температура составляет +14... +15 °С; сумма активных температур 3500–4500 °С; годовое количество выпадающих осадков 250–360 мм [1].

Опыты показали, что гидрокарбонатно-натриевые воды наиболее сильно влияют на физико-химические свойства почвы, вызывают чрезвычайно токсичное содовое засоление и результаты солонцового процесса приводят к созданию бессточных условий.

При орошении минерализованными водами с нейтральной и слабощелочной реакцией интенсивность промывного режима зависит от свойств орошаемой почвы и характера минерализации воды. Исследования подтвер-

ждают, что в случае орошения безгипсовых почв водами, в которых преобладают соли натрия, ухудшаются фильтрационные свойства и усиливается соленакопление (табл. 3).

Поведение гипса при поливах промывного типа зависит от типа засоления почв. В условиях хлоридно-натриевого соленакопления гипс очень подвижен, интенсивно вымывается. В почвах с сульфатно-натриевым засолением он менее активен, растворимость его понижена. Он также вымывается из гипсованных почв, но слабее, чем при хлоридном засолении. Если поливы осуществляются водами, содержащими гипс, то его накопление при хлоридном типе засоления почв не наблюдается, но оно происходит при сульфатном и хлоридно-сульфатном типах (табл. 4).

Гипс выпадает из раствора в случае сугубо сульфатного засоления при концентрации в воде более 0,7 г/л, а при хлоридно-сульфатном – более 1 г/л CaSO_4 .

При повторном орошении минерализованными водами определенного химического состава в почве происходят в основном те же химические процессы, что и в первый год полива. При поливах несолонцеватых и не подверженных солонцеватости почв степень засоления после одно- и двухлетнего орошения происходящие процессы близки к друг другу.

На второй год орошения в солонцеватых почвах отмечается некоторое накопление солей. При поливах в несолонцеватых почвах фильтрация снижается слабо, а в солонцеватых – сильно. Однако в солонцеватых почвах, засоленных нейтральными солями, она никогда не прекращается полностью, что создает возможность регулировать солевой режим поливами промывного типа.

В почвах содового засоления фильтрация снижается до нуля, а солевой режим регулирования не поддается. Соли, накопившиеся в почве при орошении минерализованными водами, удаляются промывками – для этого используют

пресные и минерализованные воды. Установлено, что в обоих случаях почвы опресняются, но при промывных поливах минерализованной водой в почве остается некоторое количество солей, удержанное ею (табл. 5).

Таблица 3. Содержание солей в почвах после орошения минерализованными водами, содержащими нейтральные соли натрия, %

Состав воды, г/л			Сухой остаток	Щелочность		Cl [–]	SO [–] ₄	Na· по разности
Минерализация	Концентрация			Общая в HCO ₃	От норм карбонатов			
	NaCl	Na ₂ SO ₄						
Пресная вода								
0,5	0,02	0,2	0,061	0,031	нет	0,001	0,010	нет
Хлоридная вода								
1,1	0,6	0,2	0,170	0,037	0,002	0,003	0,023	0,037
1,9	1,5	0,2	0,230	0,02с3	0,003	0,094	0,026	0,078
3,4	2,9	0,2	0,396	0,061	0,006	0,133	0,036	0,177
Сульфатная вода								
1,2	0,02	0,9	0,116	0,041	нет	0,002	0,035	0,019
2,3	0,02	2,0	0,336	0,052	нет	0,003	0,172	0,081
4,0	0,02	3,7	0,520	0,039	нет	0,002	0,293	0,134
Хлоридно-сульфатная вода								
2,6	0,6	1,8	0,446	0,056	0,005	0,049	0,174	0,126
4,4	0,6	3,6	0,845	0,042	нет	0,054	0,428	0,227

Таблица 4. Баланс гипса в почвах, поливавшихся сульфатно-натриевыми водами (CaSO₄ на 100 г почвы)

Состав воды, г/л			Всего внесено гипса	Вымыто из почвы	Осталось в почве
минерализация	концентрация				
	Na ₂ SO ₄	CaSO ₄			
1,3	0,8	0,3	0,413	0,159	0,254
2,4	1,8	0,3	0,504	0,273	0,231
2,9	1,8	0,8	0,865	0,748	0,617
4,2	3,6	0,3	0,340	0,734	0,306
4,5	3,6	0,7	0,550	0,234	0,315
5,5	3,6	1,7	1,376	0,443	0,933
3,8	3,46	гипс в почве	1,622	0,264	1,358
7,4	7,1	нет	нет	нет	нет
7,4	7,1	гипс в почве	1,622	0,433	1,189

Таблица 5. Влияние промывки пресной и минерализованными водами на засоленные почвы

Состав воды, г/л			Время взятия об- разца при промывке	Состав водной вытяжки, %				
минера- лизация	концентрация			сухой остаток	щелоч- ность, HCO ₃	Cl ^{••}	SO ^{••} ₄	Na [•]
	NaCl	Na ₂ SO ₄						
Хлоридно-натриевое засоление								
–	–	–	до	0,478	0,023	0,195	0,058	0,097
0,3	нет	нет	после	0,079	0,045	0,004	0,007	0,011
0,9	0,6	нет	после	0,107	0,049	0,011	0,012	–
–	–	–	до	0,848	0,201	0,344	0,066	0,184
0,3	нет	нет	после	0,056	0,043	0,001	0,010	0,004
1,8	1,5	нет	после	0,116	0,054	0,022	0,011	0,025
Сульфатно-натриевое засоление								
–	–	–	до	0,524	0,034	0,011	0,290	0,117
0,3	нет	нет	после	0,060	0,031	0,003	0,020	0,004
1,0	нет	0,7	после	0,095	0,038	0,003	0,037	0,017
–	–	–	до	1,554	0,027	0,010	0,964	0,419
0,3	нет	нет	после	0,060	0,037	0,005	0,008	0,005
2,1	нет	1,8	после	0,082	0,044	0,003	0,042	0,018

В наших исследованиях большое внимание было уделено физико-химическим реакциям, протекающим в почвах различного типа засоления, и свойствам, определяемым составом поглощенных оснований. Опыты показали, что при воздействии на карбонатные почвы большого количества солей натрия происходит частичная замена кальция на натрий и почвы приобретают солонцовые свойства.

При промывном режиме орошения создаются условия для периодического удаления продуктов обмена. В этом случае степень солонцеватости почвы определяется характером и величиной засоления. В почвах, засоленных содой, развивается сильная солонцеватость. При нейтральном соленакоплении солонцеватость почвы зависит от химической природы соли натрия и подвижности продуктов обмена. Влияние хлорида натрия на физико-химические реакции в почве сильнее, чем сульфата.

Карбонатные солонцеватые почвы в природных условиях имеют тенденцию к рассолонцовыванию. Этот процесс усиливается

при орошении пресными речными водами, внесении суперфосфата и органических удобрений. Промывки усиливают вытеснение поглощенного натрия из почвы. Этот процесс идет весьма энергично в почвах нейтрального засоления. Нейтральные солонцы теряют до 50 % поглощенного натрия за один зимний сезон. Содовые солонцы рассолонцовываются слабо.

С точки зрения возможности использования для орошения карбонатных почв натриевые воды неравнозначны. Содовые и содово-сульфатные воды для поливов непригодны, так как при орошении ими прогрессивно нарастает солонцеватость почв. Гипсированные почвы можно орошать этими водами лишь в крайнем случае в течение небольшого периода времени при обязательном контроле содержания гипса в почве.

Нейтральные натриевые воды обычно бывают смешанными по типу засоления: хлоридно-сульфатными или сульфатно-хлоридными, реже – сульфатными или хлоридными.

Выводы

Для орошения пригодны лишь слабоминерализованные воды с содержанием солей до 4 г/л – как правило, хлоридно-сульфатные или сульфатные. Эти воды можно использовать для орошения, если при сульфатном типе засоления они содержат более 0,7 г/л гипса, а при хлоридно-сульфатном более 1 г/л.

Установлены степень минерализации и изменение солевого состава полевых вод рек и

артезианских скважин в условиях сокращения количества осадков. В непромывном режиме степень засоления пропорциональна содержанию в воде солей, токсичных для растений, и величине оросительной нормы.

В процессе орошения соленакопление при промывном режиме в почве определяется величиной поступления солей поливной водой и выносе их при поливе.

Библиографический список

1. Бабаев, М. П. Основные виды деградации почв в Кура-Аразской низменности Азербайджана / М. П. Бабаев, Э. А. Гурбанов, Ф. М. Рамазанова. – Почвоведение. – 2015. – № 4. – С. 501–512.
2. Волокитин, М. П. Влияние орошения на основные свойства черноземов / М. П. Волокитин // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. – 2015. – № 1 (57). – С. 173–179.
3. Искендеров, М. Я. Использование минерализованной воды при орошении сельскохозяйственных культур в Кура-Араксинской низменности / М. Я. Искендеров // Соврем. науч. вестн. – 2014. – № 21 (217). – С. 67–72.
4. Шалашова, О. Ю. Трансформация чернозема обыкновенного при длительном орошении слабоминерализованной водой сульфатно-натриевого состава / О. Ю. Шалашова, И. П. Рубцов // Мелиорация и гидротехника [Электронный ресурс]. – 2022. – Т. 12, № 3. – С. 1–14. Режим доступа: http://www.rosniipm-sm.ru/dl_files/udb_files/udb4-rec1289-field12.pdf. – Дата доступа: 2.02.2023. Doi: doi: 10.31774/2712-9357-2022-12-3-1-14
5. Эминов, С. А. Изменение почвенно-солевых процессов при орошении сельскохозяйственных культур минерализованными водами / С. А. Эминов // Актуал. вопр. мелиорации и вод. х-ва : материалы Респ. науч.-техн. конф. ученых и специалистов / АзНИИГиМ. – Баку, 1985. – С. 166–172.
6. Эминов, С. А. Изменение почвенно-солевых процессов при орошении сельскохозяйственных культур морской водой / С. А. Эминов // Тавр. наук. вісн. С.-г. науки. – 2009. – № 67. – С. 106–109.
7. Iskenderov, M. Y. Melioration and ecological state of soils based on draining degree of Kura-Araz lowland / M. Y. Iskenderov // Scient. journ. Science Rise. – 2015. – № 2/1 (7). – P. 91–93.
8. Iskenderov, M. Y. Irrigation of saline lands with activated collector-drainage water activated in the magnetic field / M. Y. Iskenderov, M. Q. Mustafayev // Intern. journ. of the science of food and agriculture. – 2020. – Vol. 4, N 1. – P. 24–29. Doi:10.26855/ijfsa.2020.03.005
9. Васильченко, Н. И. Изменение водно-физических свойств черноземов обыкновенных Северного Казахстана при орошении / Н. И. Васильченко, Г. А. Звягин, Р. В. Юманкулов // Вестн. Курск. гос. с.-х. акад. наук. Зем. и смеж. эколог. науки. – 2020. – № 1. – С. 13–20.
10. Щедрин, В. Н. Негативные почвенные процессы при регулярном орошении различных типов почв / В. Н. Щедрин, Х. М. Докучаева, Р. Е. Юркова // Науч. журн. Рос. НИИ проблем мелиорации. – 2018. – № 2 (30). – С. 1–21.
11. Докучаева, Л. М. Влияние длительного орошения на почвообразовательные процессы темно-каштановых почв / Л. М. Докучаева, Р. Е. Юркова // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. – 2017. – № 2 (66). – С. 198–204.

12. Бабичев, А. Н. Изменение свойств почв комплексного покрова полупустынной зоны под влиянием орошения / А. Н. Бабичев, Л. М. Докучаева, Р. Е. Юркова // Науч. журн. рос. НИИ проблем мелиорации. – 2020. – № 1 (37). – С. 105–121. Doi: 10.31774/2222-1816-2020-1-105-121
13. Гедройц, К. К. Химический анализ почв / К. К. Гедройц. – 2-е, испр. и доп. изд. – Москва – Ленинград : Гос. с.-х. изд-во «Новая деревня», 1929. – 384 с.
14. Хитнов, Н. Б. Методы определения обменных катионов, карбонатов и гипса в засоленных почвах / Н. Б. Хитнов // Методы изучения и повышения плодородия засоленных почв : коллект. монография / Почв. ин-т им. В. В. Докучаева ; под ред. Л. Л. Шишова и Б. А. Зимовца. – Москва, 1986. – С. 36–39.
15. Аринушкина, Е. В. Руководство по химическому анализу почв / Е. В. Аринушкина. – 2-е изд. – Москва : Изд-во МГУ, 1970. – 488 с.

Поступила 24 февраля 2023 г.

• КОРМОПРОИЗВОДСТВО •

УДК 631.452:631.445.12

СОХРАНЕНИЕ И ПОВЫШЕНИЕ ПЛОДОРОДИЯ ТОРФЯНЫХ ПОЧВ

А. С. Анженков, кандидат технических наук
В. Н. Филиппов, кандидат сельскохозяйственных наук

РУП «Институт мелиорации», г. Минск, Беларусь

Аннотация

Рассмотрены современные проблемы использования торфяных почв: в частности, долговременные негативные последствия для плодородия и экономического потенциала землепользователей. Предложены рациональные направления поддержания плодородия и эффективного использования осушенных торфяных почв, позволяющие не только сохранить продуктивность сельскохозяйственных угодий, но и значительно повысить качество производимых кормов и животноводческой продукции. Обосновано направление оптимизации структуры посевных площадей и рационального использования мелиорированных торфяных почв Полесья и других регионов республики.

Ключевые слова: осушенные торфяные земли, рациональное использование, структура посевов, севооборот, продуктивность, многолетние травы.

Abstract

A. S. Anzhenkov, V. N. Filippov

PRESERVATION AND INCREASING THE FERTILITY OF PEAT SOILS

Modern problems of using peat soils are considered: in particular long-term negative consequences for the fertility and economic potential of land users. Rational directions for maintaining fertility and efficient use of drained peat soils are proposed, allowing not only to maintain the productivity of agricultural land, but also to significantly improve the quality of fodder and livestock products. The direction of optimizing the structure of sown areas and the rational use of reclaimed peat soils of Polesie and other regions of the republic is substantiated.

Keywords: drained peatlands, rational use, crop structure, crop rotation, productivity, perennial grasses.

Введение

Широкомасштабная мелиорация в Беларуси началась еще в 1960-х гг. – с осушения низинных болот и прокладки глубоких каналов для понижения уровня воды. Программа мелиорации предусматривала мероприятия, которые способны обеспечить устойчивость сельскохозяйственного производства и ослабить его зависимость от неблагоприятных природно-климатических условий.

Из 4,5 млн га первоочередного фонда потенциально плодородных, но заболоченных и избыточно увлажненных земель в республике мелиорировано и находится в сельскохозяйственном использовании около 3 млн га, что составляет более 35 % площади сельскохозяйственных угодий страны.

С конца 1970-х гг. сельскохозяйственное использование осушенных земель (за исключением отдельных хозяйств Брестской области) оставалось на довольно низком производственном и научном уровне. Требовалось постоянное проведение технических мероприятий по регулированию водного режима, внесению оптимальных доз минеральных удобрений, микроэлементов и средств защиты, сохранению органического вещества. Однако вследствие низкой агротехники большинство сельскохозяйственных организаций не достигали проектной урожайности, а производство – проектных показателей, несмотря на мощную материально-техническую базу мелиоративных организаций бывшего Совет-

ского Союза, дешевые энергетические ресурсы и неограниченные поставки минеральных удобрений.

В результате низкой продуктивности оказались заброшенными, особенно в 1990-х гг., десятки тысяч гектаров мелиорированных земель, в том числе выработанные торфяники после добычи торфа. На значительной площади складывались неудовлетворительные для сельскохозяйственного производства не только водный, но и пищевой, тепловой режимы, а в связи с недостаточным финансированием эксплуатационных работ на части мелиоративных систем происходило нарастающее переувлажнение, повторное заболачивание и зарастание древесно-кустарниковой растительностью.

По оценочным данным, недобор сельскохозяйственной продукции в Полесском регионе в силу всех названных причин составляет более 600 тыс. т. кормовых единиц в год.

Наряду с активизацией работ по восстановлению болотных экосистем на выработанных торфяных месторождениях, представляется целесообразным восстановить и продолжить дальнейшее рациональное использование осушенных торфяных почв в сельском хозяйстве, полевом и луговом кормопроизводстве — главным образом, для нужд животноводства, фермерских хозяйств и других направлений с учетом многоукладной экономики и рыночных отношений.

Согласно результатам последней инвентаризации (по состоянию на 2023 г.), требуется модернизировать и реконструировать гидромелиоративные системы на площади 276 тыс. га, а 136 тыс. га требуют проведения культуртехнической мелиорации.

На протяжении многих десятилетий, до середины 1990-х гг., примером эффективного использования осушенных земель в Беларуси были Минская опытная болотная станция, Коссовская опытная болотная станция и Полесская опытная мелиоративная станция,

входившие в состав Белорусского НИИ мелиорации и водного хозяйства (сейчас — РУП «Институт мелиорации»).

Цели создания указанных научно-производственных организаций — определение практического пути осушения болот; грамотное использование мелиорированных земель в сельском хозяйстве, с экономическим обоснованием и минимальными негативными экологическими последствиями для природы; решение проблем эволюции плодородия торфяных почв и разработка рекомендаций и регламентов для хозяйств, использующих торфяные почвы.

Обобщая итоги научно-производственной деятельности данных станций, важно отметить, что в период их активной научно-практической работы среднегодовая продуктивность осушенных земель составляла 75–80 ц/га сухой массы (до мелиорации — 6,5 ц/га). В структуре посевных площадей луговые угодья занимали 70 %, зерновые соответственно 20–25; незначительно были представлены пропашные (5–6 %), то есть продуктивность 1 га земли после мелиорации возросла более чем в 10 раз.

Названные научно-исследовательские организации сыграли положительную роль в развитии сельского хозяйства, что подтверждают положительные оценки специалистов, в том числе зарубежных, оценивших практические результаты исследований, доложенные на многочисленных международных научных конференциях по проблемам Полесья, проведенных в том числе и на базе Полесской опытной мелиоративной станции. Об этом свидетельствуют также регулярные республиканские семинары, на которых исследователи обсуждали пути дальнейшей эксплуатации преобразованных земель на основе новых технических решений, обеспечивающих бережное, экологически сбалансированное использование осушенных угодий.

Трансформация подходов к использованию мелиорированных торфяных земель

С уверенностью можно констатировать, что этап первоначальной активной мелиорации в Беларуси завершен. В настоящее время новое мелиоративное строительство уже практически прекращено и далее будет осуществляться в минимальных объемах. Основной проблемой от-

расли в ближайшей перспективе можно считать повышение эффективности использования мелиорированных земель, достижение высокой продуктивности мелиоративного земледелия и луговодства при минимальных издержках и удовлетворении экологических требований.

В условиях дефицита ресурсов необходимы благоприятные решения, причем дифференцированные для различных природно-климатических зон республики, с учетом наименьших затрат, а именно: разработка и внедрение конструкций мелиоративных систем, их элементов и методов расчета; модернизация и реконструкция самортизированных мелиоративных объектов или согласованная трансформация их использования (если реконструкция экономически нецелесообразна).

Необходимость разработки новой концепции развития мелиоративного земледелия и совершенствования технологий производства сельскохозяйственной продукции на мелиорированных землях в настоящих условиях вызывается следующими причинами:

- объективной потребностью экономии ресурсов, что не позволяет применять подходы, применявшиеся в условиях доступности ресурсов;
- экологическими проблемами, вызванными широкомасштабной мелиорацией торфяных болот и их последующим неуправляемым сельскохозяйственным использованием, что привело к интенсивной сработке торфяников;
- накоплением информации о процессах, происходивших на мелиорированных землях, и изменениях на них мелиоративной обстановки;
- появлением научных разработок, которые предлагают качественно новые решения рассматриваемых проблем.

Все это требует корректировки подходов к осуществлению сельскохозяйственного производства на мелиорированных землях.

В процессе использования торфяных почв в сельском хозяйстве наблюдаются уменьшение запасов органического вещества, его минерализация, однако в современных условиях экономических отношений с этим не следует увязывать неизбежное снижение плодородия мелиорированных земель. Устойчивое плодородие и продуктивность всех земель, в том числе и торфяников, зависят от характера использования посевных площадей, их структуры и решения экономических проблем, связанных с повышением плодородия почв на основе учета их актуального состояния, их влагообеспеченности, а также научного обеспечения развития агропромышленного комплекса, изменения климата и т. д. Особенно

это важно для сохранения долголетия высокопродуктивных торфяных почв, их плодородия и экологической стабильности.

В настоящее время в сельском хозяйстве Республики Беларусь используется 2,84 млн га мелиорированных земель, в том числе свыше 700 тыс. га – с торфяными почвами. Современные научно обоснованные системы земледелия на мелиорированных землях страны – это комплекс взаимосвязанных агротехнических, мелиоративных и организационно-экономических мероприятий, обеспечивающих рациональную эксплуатацию осушенных земель и их ресурсного потенциала. Таким образом, научно аргументированная система земледелия должна охватывать широкий комплекс задач, учитывающих региональные особенности нашей страны.

Научными исследованиями и практикой установлено, что в основе любой системы земледелия, особенно на осушенных торфяных почвах, лежат структура посевных площадей и система севооборотов. Требование рационального использования осушенных земель в период освоения торфяных почв подтвердили научные исследования и опыт работы Полесской опытной мелиоративной станции (Лунинецкий р-н Брестской обл.). Так, проект предусматривал, чтобы все земли станции в севооборотах использовались под луговые угодья, зерновые, частично пропашные. В результате правильной экономической и экологической стратегии и тактики данного направления было получено 90 ц к. ед. с 1 га, со всех сельхозугодий с минимальной потерей органического вещества – 3–4 тонны с 1 га в год.

Многолетняя практика научно-производственной деятельности Полесской станции и Института мелиорации убедительно подтверждает необходимость рационального использования торфяных почв в целях сохранения органического вещества и повышения устойчивого плодородия.

И опыт прошлого, и сегодняшние исследования свидетельствуют, что на протяжении длительного периода после осушения торфяных почв во многих хозяйствах Беларуси применялись в основном зернопропашные севообороты и пропашная система земледелия. Это привело к грубым ошибкам в структуре использования мелиорированных земель и в конечном итоге к ускорению минерализации

органического вещества [1, 2], резкому снижению продуктивности торфяников в Любанском, Лунинецком, Солигорском, Пинском, Калинковичском и других районах.

Сейчас эта стратегическая ошибка прошлого повторяется в связи с расширением площадей под кукурузу как пропашную культуру, урожай которой на осушенных торфяных землях нестабилен. Затраты на ее возделывание не всегда окупаются: например, весенние заморозки 2020 г. значительно снизили ее урожай (160–180 ц/га зеленой массы), а сухая ветреная погода весной и летом ежегодно на площадях, занятых пропашными культурами, в том числе и кукурузой, вызывает ускоренную ветровую эрозию почв. В 2022 г. погодные особенности привели не только к снижению валового сбора кукурузы, но и ее неполной уборке с полей.

Для комплексного решения вопросов мелиорации земель и их сельскохозяйственного использования необходима смена ранее принятой концепции, в основе которой было заложено проведение мероприятий, осуществление которых трансформировали природную среду в целях получения максимально возможных урожаев любых культур.

Важная особенность новой концепции улучшения состояния мелиорированных земель и повышения их продуктивности заключается в комплексном применении всех средств и видов мелиорации, в том числе агротехнических, лесо- и гидротехнических, химических, биологических и т. п. Система земледелия на мелиорированных угодьях должна осуществляться на строгой агроэкологической основе с учетом природных условий и форм хозяйствования. Суть комплексной мелиорации состоит в разноаспектном анализе состояния земельных угодий, повышении их качества и продуктивности, в экономичности мероприятий и их экологической обоснованности. Это существенно при разработке и реализации принципиально новых технологических решений по созданию современных мелиоративных систем ввиду прогнозов и моделирования почвенных и продукционных процессов.

В перспективе следует разработать и реализовать программу оптимального водохозяйственного и мелиоративного устройства всей сельскохозяйственной территории страны.

Сегодня в сельском хозяйстве Беларуси используется свыше 700 тыс. га осушенных земель с торфяными почвами, которые входят в состав сельскохозяйственных угодий. Чтобы повысить плодородие и продуктивность более 120 тыс. га выработанных торфяников, 140 тыс. га освоенных площадей и пойменных земель, заросших древесно-кустарниковой растительностью, требуется проведение культуртехнических мероприятий. Всего таких земель в сельскохозяйственном использовании насчитывается около 260 тыс. га. Их продуктивность не превышает 15–20 ц к. ед., в то время как научно обоснованная продуктивность этих почв должна составлять не менее 45–50 ц к. ед. с одного гектара.

При рациональном использовании улучшенных земель затраты на культуртехнику окупятся за 3–5 лет. В условиях ежегодного отчуждения пашни и других сельскохозяйственных земель под строительство, промышленные цели, дороги это экономически выгоднее, чем осваивать новые земли, требующие больших вложений. Поэтому главное – более рационально и продуктивно использовать ранее освоенные земли, что позволит агропромышленному комплексу страны решить проблему недостающих травяных кормов, создать устойчивую кормовую базу, страховой запас для животноводческой отрасли и дополнительно произвести не менее 300 тыс. тонн фуражного зерна.

Экспертные оценки требуемой интенсивности эксплуатационных мероприятий, реконструкции и сельскохозяйственного использования могут быть лишь весьма приближенными. Поэтому для обоснования реконструкции мелиоративных систем в водосборах заиляемых рек-водоприемников необходимы анализ альтернатив и выявление наилучших из них.

Объективный выбор между увеличением канализованности водотоков (углублением русел), либо подпором водотоков, либо созданием польдерных систем с соответствующим изменением направлений сельскохозяйственного использования, а также подбор смешанных вариантов переустройства мелиоративных систем требуют разработки информационных систем поддержки принятия решений, что позволит просчитывать различные варианты мелиорации и сельхозиспользова-

ния, а также определения пропорций распределения ограниченных ресурсов между ними.

Критерием может служить обеспечение максимального дохода от производимой сель-

скохозяйственной продукции при минимальном влиянии мероприятий на окружающую среду и заданных ограничениях на ресурсы.

Луговое кормопроизводство на торфяных землях

Результаты исследований по изучению экспериментальных севооборотов на торфяных почвах убедительно подтверждают эффективность их использования под многолетние травы и лугопастбищные угодья.

По данным исследований Полесской станции, в севообороте, где травы занимали 100 %, установлена наибольшая экономическая и экологическая эффективность. Севооборот, в котором многолетние травы занимали 55 %, зерновые 30 и пропашные 15 %, был близок к этому результату по количеству сухого вещества, кормовым единицам, переваримому протеину. Повышение пропашных культур в севообороте, в том числе и кукурузы, на более чем 15 % снижало продуктивность торфяных почв, повышало минерализацию органического слоя и опасность дефляции почв, увеличивало себестоимость продукции.

Для рационального использования и максимального сохранения торфяных почв в хозяйственной деятельности опытных станций предусматривалась преимущественно лугово-водческая специализация осушенных земель. В структуре посевов лугопастбищные угодья на торфяных почвах должны составлять не менее 70 % [3]. На современном этапе это направление по разным причинам не выполняется и в то же время противоречит рекомендациям ряда ученых [4].

В условиях потепления климата и регулярного недостатка влаги в почве недопустима шаблонная эксплуатация созданной природой плодородной земли, на улучшение которой государством затрачены огромные средства. В настоящее время на мелкозалежных торфяниках – антропогенно преобразованных почвах бывшей Полесской опытно-мелиоративной станции – ежегодно 30–35 % посевных площадей занято под пропашными культурами, в том числе кукурузой [5]. Такое использование мелиорированных (преимущественно торфяных, подстилаемых песками) земель приводит к безвозвратной потере органического вещества, ускоренной ветровой эрозии и другим негативным последствиям.

Таким образом, результаты исследований, проведенных опытными станциями и Институтом мелиорации, свидетельствуют о том, что научно обоснованная структура посевов выполняет функцию сохранения и повышения плодородия почвы. От правильной структуры посевных площадей и севооборота зависит плодородие таких параметров, как содержание органического вещества, периоды минерализации и трансформации торфяных почв. Особенно это важно учитывать при использовании мелкозалежных торфяников в сельскохозяйственном производстве. Эта закономерность рациональной эксплуатации подобных земель справедлива не только для Полесья, но и других регионов.

В современном интенсивном земледелии за счет правильной обработки почвы формируется до 30 % урожая. Однако на проведение этого, одного из трудоемких агротехнических приемов, затрачивается около 40 % энергетических и 25 % трудовых ресурсов, применяемых в технологии возделывания сельскохозяйственных культур. При обработке почвы на топливо расходуется от 15 до 40 % от общих затрат.

Также экспериментально установлено, что разные системы обработки различаются по интенсивности и характеру воздействия на разных типах почв. Неоправданная интенсивная обработка и вспашка осушенных торфяных почв, применяемые сейчас при возделывании пропашных культур, в том числе и кукурузы, способствуют дефляции пахотного слоя, потере структуры почвы, быстрому разложению органического вещества, деградации и снижению ее плодородия, а также развитию ускоренной эрозии. Поэтому мелиорированные земли экономически и экологически обоснованно использовать в луговом и полевом кормопроизводстве для производства лугопастбищных травяных кормов, в которых кормовая единица в 2–3 раза, а протеин в 3–4 и более раз дешевле, чем в нетравяных кормах.

В целях улучшения состояния мелиорированных земель, повышения их биологической

продуктивности, создания современного кормопроизводства научными подразделениями РУП «Институт мелиорации» разработаны и полностью внедрены:

- зональные системы лугового кормопроизводства, адаптированные к агропочвенным зонам с учетом возможных уровней интенсификации для получения устойчивых урожаев и охраны окружающей среды;
- ресурсосберегающие технологии создания и использования высокопродуктивных сенокосов и пастбищ для различных форм и специализации сельскохозяйственных предприятий, фермерских хозяйств, а также эконо-

мичные технологии перезалужения лугопастбищных угодий;

- ресурсосберегающие системы производства высокобелковых кормов на луговых угодьях многолетних трав на основе биологизации технологий;
- способы повышения продуктивной устойчивости и эффективности лугового кормопроизводства в экстремальных условиях;
- агроэкологические основы семеноводства многолетних бобовых и злаковых трав, обеспечивающие их высокое продуктивное долголетие.

Заключение

Современные экономические и природно-климатические условия требуют разработки не только комплексной программы и совершенствования концепции развития мелиорации, эксплуатации мелиорированных земель, но и в целом адаптации системы ведения сельского хозяйства к изменившейся ситуации. Комплексное освоение вводимых мелиорированных площадей будет всецело

зависеть от научного обеспечения и производственного потенциала страны.

Долголетнее сохранение продуктивности и экономической эффективности торфяных почв требует расширения их лугового использования, сокращения посевов пропашных культур, в том числе кукурузы, регулирования водного и питательного режима.

Библиографический список

1. Смирнова, А. В. Влияние возделывание сельскохозяйственных культур на сработку торфяного слоя в производственных условиях / А. В. Смирнова // Многофункциональное адаптивное кормопроизводство : материалы Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 100-летию основания Киров. лугоболот. опыт. станции / ФНЦ «ВИК им. В. Р. Вильямса», Киров. лугоболот. опыт. станция ; гл. ред. А. Н. Уланов, отв. ред. В. Н. Ковшова. – Москва, 2018. – Вып. 18 (66). – С. 48–53.
2. Лученок, Л. Н. Проблематика сохранения и использования антропогенно-преобразованных торфяных почв Беларуси / Л. Н. Лученок // Многофункциональное адаптивное кормопроизводство : материалы Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 100-летию основания Киров. лугоболот. опыт. станции / ФНЦ «ВИК им. В. Р. Вильямса», Киров. лугоболот. опыт. станция ; гл. ред. А. Н. Уланов, отв. ред. В. Н. Ковшова. – Москва, 2018. – Вып. 18 (66). – С. 53–61.
3. Тарасов А. С. Регулирование рационального использования сельскохозяйственных угодий / А. С. Тарасов // Экономика и экология территориальных образований. – 2018. – Т. 2, № 1. – С. 88–99. Doi 10.23947/2413-1474-2018-2-1-88-99
4. К вопросу деградации осушенных торфяно-болотных почв Беларуси / Г. С. Цытрон, Т. Н. Азаренок, С. В. Шульгина, В. А. Калюк // Воспроизводство плодородия почв и их охрана в условиях современного земледелия: материалы Междунар. науч.-практ. конф. и V съезда почвоведов и агрохимиков, Минск, 22–26 июня 2015 г. : в 2 ч. / Ин-т почвоведения и агрохимии ; ред. В. В. Лапа [и др.]. – Минск, 2015. – Ч. 1. – С. 288–292.
5. Авраменко, Н. М. Мелиорация Белорусского Полесья : 70-летию Полесской опытной станции мелиоративного земледелия и луговодства посвящается / Н. М. Авраменко. – Минск : Беларус. навука, 2017. – 165 с.

Поступила 24 февраля 2023 г.

ДИНАМИКА РАДИОАКТИВНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ЛУГОВЫХ РАСТЕНИЙ В ПОЙМЕ Р. СОЖ

Н. М. Дайнеко, кандидат биологических наук
С. Ф. Тимофеев, кандидат сельскохозяйственных наук

Гомельский государственный университет имени Франциска Скорины,
г. Гомель, Беларусь

Аннотация

Через 36 лет после катастрофы на Чернобыльской АЭС в слое почвы 0–10 см содержится 60–80 % ^{137}Cs , в горизонте 10–20 см – от 3 до 30 %. Максимальное содержание радиоцезия в слое почвы 0–10 см – 4520 Бк/кг, минимальное – 495 Бк/кг; в слое почвы 10–20 см – соответственно 1040 Бк/кг и 44 Бк/кг. Наибольшая удельная активность отмечалась у горошка мышиного (2196 ± 439 Бк/кг), а наименьшая у василистника водосборолистного (96 ± 66 Бк/кг). Коэффициент накопления изменялся в широких пределах – от 0,05 Бк/кг: Бк/кг до 2,55 Бк/кг: Бк/кг.

Ключевые слова: луговые растения, радионуклиды, коэффициент накопления, удельная активность ^{137}Cs , пойменный луг, слои почвы.

Abstract

N. M. Dajneko, S. F. Timofeev

DYNAMICS OF RADIOACTIVE CONTAMINATION OF MEADOW PLANTS IN THE FLOODPLAIN OF THE SOZH RIVER

After 36 years the disaster at the Chernobyl nuclear power plant, 60–80 % of radiocesium is contained in the soil layer of 0–10 cm, and 3–30 % is in the soil layer of 10–20 cm. The maximum content of radiocesium in the soil layer 0–10 cm is 4520 Bq/kg, the minimum is 495 Bq/kg. These parameters in the soil layer of 10–20 cm are 1040 Bq/kg and 44 Bq/kg, respectively. The highest specific activity was noted in the tufted vetch (2196 ± 439 Bq/kg) and the lowest in the columbine cornweed (96 ± 66 Bq/kg). The accumulation coefficient varied over a wide range 0.05–2.55 Bq/kg: Bq/kg.

Keywords: meadow plants, radionuclides, accumulation coefficient, ^{137}Cs specific activity, floodplain meadow, soil layers.

Введение

Пойменные луга – наиболее ценные естественные кормовые угодья. Значительные площади пойменных лугов имеются в пойме р. Сож, которые используются для сенокошения и выпаса скота. Существенное влияние на продуктивность и качество травяных кормов в условиях поймы оказывают ботанический состав луговых ассоциаций, тип почвы, хозяйственный режим использования, а также изменение климата. Выявлена существенная динамика луговых сообществ. В обилии отдельных видов луговых трав наблюдаются колебания, а также происходит смена субассоциаций и ассоциаций [1–3].

Важнейший параметр качества травяного корма – содержание радионуклидов, в связи

с чем после катастрофы на Чернобыльской АЭС основой для оценки радиологической ситуации в естественных экосистемах служат данные о загрязнении почвы и надземной фитомассы долгоживущими радионуклидами. Одним из наиболее загрязненных в Гомельской области оказался Ветковский р-н Гомельской обл., в том числе пойменные луга р. Сож. Несмотря на то что после катастрофы прошло почти 36 лет, по-прежнему актуальны как вопросы изучения радиоактивного загрязнения поймы реки, так и долгосрочный прогноз снижения плотности загрязнения почвы цезием-137.

Соответствующие работы продолжают проводить на территории и России, и Белару-

си. Например, выполнена оценка современной радиологической обстановки на сельскохозяйственных угодьях в шести юго-западных районах Брянской обл., в наибольшей степени подвергшихся радиоактивному загрязнению; проведен долгосрочный прогноз изменения плотности загрязнения ^{137}Cs сельскохозяйственных угодий.

После катастрофы на ЧАЭС результаты радиологического обследования земель стали

базовой информацией при принятии решений по реабилитации загрязненных территорий [4, 5]. При планировании агропромышленного производства на них использовались методы прогнозирования уровней загрязнения радионуклидами сельскохозяйственных угодий [6].

Цель исследования – радиологическая оценка состояния некоторых луговых экосистем в пойме р. Сож Ветковского р-на через 36 лет после катастрофы на ЧАЭС.

Материалы и методы исследований

Для реализации поставленных задач почвенные пробы и растительные образцы надземной фитомассы луговых растений отбирали в вегетационный период 2022 г., в фазу колошения видов-доминантов на луговых сообществах двукисточника тростникового вблизи населенного пункта Шерстин Ветковского района.

Радиологический анализ почвенных проб и растительных образцов выполняли в Институте леса НАН Беларуси. Активность ^{137}Cs измерялась радиометрическим методом с использованием бета-гамма-спектрометра МКС-АТ1315.

Объект исследований – почвенно-растительный покров пойменного луга р. Сож, который находится на ее правом берегу. Длина луга около 7 600 м; ширина в наиболее узкой части 300 м, наиболее широкой – около 2 900 м. Поперечный профиль луга имеет следующие параметры: высота надпойменной террасы 143 м, самое низкое место 114 м; перепад высот около 29 м; максимальный уклон на центральной пойме не превышает 3 %.

Территория н. п. Шерстин и его окрестностей находится в зоне с правом населения на отселение. Здесь плотность загрязнения почв радионуклидами цезия-137 – от 185 до 555 кБк/кв. м (от 5 до 15 Ки/кв. км); стронция-90 – от 18,5 до 74 кБк/кв. м (от 0,5 до 2 Ки/кв. км); плутония-238, -239, -240 – от 0,74 до 1,85 кБк/кв. м (от 0,02 до 0,05 Ки/кв. км); средняя годовая эффективная доза облучения населения может превысить (над уровнем естественного и техногенного фона) 1 мЗв [7].

Для оценки плотности радиоактивного загрязнения радиоцезия проводился отбор почвы по слоям 0–10 и 10–20 см соответственно.

Площадь пойменного луга в окрестностях н. п. Шерстин занимает около 600 га; ценные кормовые травы – небольшую площадь. На лугу преобладают осоки, малоценное разнотравье. Доля осок в составе осоковых сообществ составляет 78 %, злаков – 9,1, разнотравья – 12,9, а доля злаков в злаковых сообществах – 84, бобовых – 1, осок и разнотравья – 15 %.

Основные причины деградации луга обусловлены продолжительным, более чем 20-летним бессистемным (или свободным) стравливанием, полным отсутствием работ по уходу, а также влиянием неблагоприятных метеорологических условий. Кроме того, высокая кислотность почвы, низкая обеспеченность фосфором и калием привели к высоким уровням радиоактивного загрязнения травостоя.

Для решения поставленных задач выполнено типологическое районирование: весь луг был разбит на 3 контура.

Наиболее интенсивно, с ранней весны до поздней осени, использовался травостой контура I; он представлен притеррасной поймой и частью центральной поймы, прилегающей к притеррасной. Территория контура II не занята в кормопроизводстве из-за крайне низкого плодородия и влагообеспеченности, что связано с повышенным рельефом и намывными песками. Травостой контура III был в обращении во второй половине вегетационного периода, то есть после подсыхания поймы; представлен осоковыми и разнотравно-злаковыми сообществами.

При средней урожайности пойменного луга в 172 ц/га зеленой массы и при средней продолжительности стравливания примерно в 140 дней емкость пастбища составляет 2 голы на га.

Результаты исследования и их обсуждение

Сообщества двукисточника тростникового размещаются преимущественно в прирусловой и центральной частях поймы, где занимают неширокие продолговатые понижения, которые периодически во время весеннего паводка покрываются слоем плодородного наилка. Обычно местоположения затопляются на длительный период с последующим медленным отступлением паводковых вод.

В почвенном покрове преобладают лугово-болотные почвы, реже встречаются дерновые глеевые. Почвы речной долины сильно кислые ($\text{pH}_{\text{KCl}} = 5,2$) и имеют очень низкую обеспеченность подвижными элементами питания (подвижный калий = 69 мг/кг; подвижный фосфор = 83 мг/кг).

Плотность радиоактивного загрязнения на центральной пойме менялась в широких пределах и составляла от 3 до 19 Ки/кв. км. Такая пестрота радиоактивного загрязнения объясняется, безусловно, особенностями рельефа и продолжительностью затопления.

Рельеф центральной поймы характеризуется относительной выровненностью. На поверхности центральной поймы – большое количество небольших возвышенностей и впадин, с возвышенностей вещество смывается и откладывается в западинах.

В почвенном покрове установлена значительная вариабельность в содержании

радиоцезия (рис. 1). В слое почвы 0–10 см количество радионуклида от 495 до 4520 Бк/кг; различия составили 9 раз; среднее содержание 2000 ± 1114 Бк/кг.

В слое 10–20 см содержание радионуклида зафиксировано в пределах от 44 до 1040 Бк/кг. Различия составляли 23 раза; среднее содержание 452 ± 347 Бк/кг. Вариабельность в содержании радиоцезия в слое 10–20 см значительно больше, чем в слое 0–10. В слое 0–10 см содержание радионуклида в среднем больше (по сравнению со слоем 10–20 см) чем в 4 раза.

Для более корректной оценки распределения радиоцезия по слоям почвы сравнивались результаты исследований 2011-го и 2022-го гг.

Результаты анализа почвенных профилей в 2011 г. показали, что основное количество ^{137}Cs (93–95 %) находилось в верхнем слое (то есть 0–10 см, в дернине).

Исследованиями установлено, что в 2022 г. более 70 % радионуклида продолжает оставаться в слое 0–10 см: существенной миграции радионуклида по профилю почвы не произошло, несмотря на постоянное затопление и подтопление. Это, безусловно, обусловлено тем, что верхний слой почвы сформирован дерниной, которую несколько десятилетий не нарушала почвообрабатывающая техника.

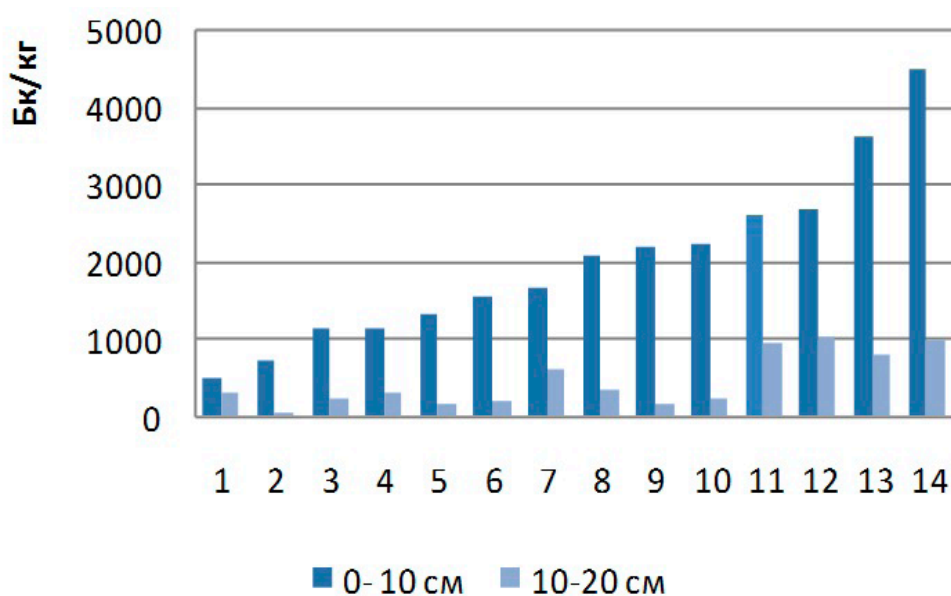


Рис. 1. Распределение ^{137}Cs по слоям почвы, Бк/кг (2022 г.)

Содержание в травостое радиоцезия в немалой степени зависит от биологической доступности радионуклида в почве. Этот параметр можно оценить путем использования различных экстрагентов. По нашим данным, в водную вытяжку переходит 0,6–1,2 %; в ацетатно-аммонийную 0,4–3,3; одномолярную соляную кислоту – около 0,5–1,8; шестимолярную соляную кислоту – около 11–49 % радионуклида. Результаты показали, что основная часть радионуклида прочно зафиксирована почвенным поглощающим комплексом [8].

Таким образом, основное количество радионуклида продолжает оставаться в верхних слоях почвы пойменных лугов, будучи прочно зафиксировано почвенным поглощающим комплексом.

Растительный покров на территории пойменного луга отличается крайней неоднородностью. Наиболее деградированным контуром является притеррасная пойма, так как ее травостой начинает стравливаться скотом сразу после схода воды, а затем используется и центральная пойма. Вследствие постоянного стравливания на пойменном лугу преобладают малоценные в кормовом отношении виды разнотравья и осоки.

По элементам рельефа средняя урожайность зеленой массы травостоя на понижениях составляла 192 ± 53 ц/га, повышениях – 152 ± 32 ц/га. Относительно небольшая уро-

жайность отмечалась на территории притеррасной поймы и надпойменной террасы.

Общее проективное покрытие составляло 80–100 %; высота травостоя 90–140 см. В нем с проективным покрытием 40–70 % доминирует двукисточник тростниковый. Также в травостое принимают участие мятлик болотный (5–7), манник большой (2–5), полевица ползучая (2–3 %). Выявлены такие виды, как лапчатка гусиная, лютик ползучий, манник наплавающий.

В зоне радиоактивного загрязнения наблюдается динамика уровней загрязнения надземной фитомассы. Установлено, что с течением времени содержание радиоцезия в травостое снижается. Так, по состоянию на 2011 г. содержание радиоцезия в травостое в пересчете на воздушно-сухое вещество составляло от 66 до 8 847 Бк/кг. В большинстве проб имело место превышение нормативов по данному показателю. В 2022 г. исследованиями выявлены лишь единичные факты превышения нормативов по содержанию радиоцезия в травостое. Аккумуляция радионуклида для осоки составляла 188–1020 Бк/кг, двукисточника 107–222 Бк/кг, разнотравья 96–849 Бк/кг. Высоким содержанием радиоцезия характеризовалась агроботаническая группа бобовых – горошек мышиный (максимальное содержание – 2196 Бк/кг, минимальное 1850 Бк/кг). Превышение нормативных значений отражено на рис. 2.

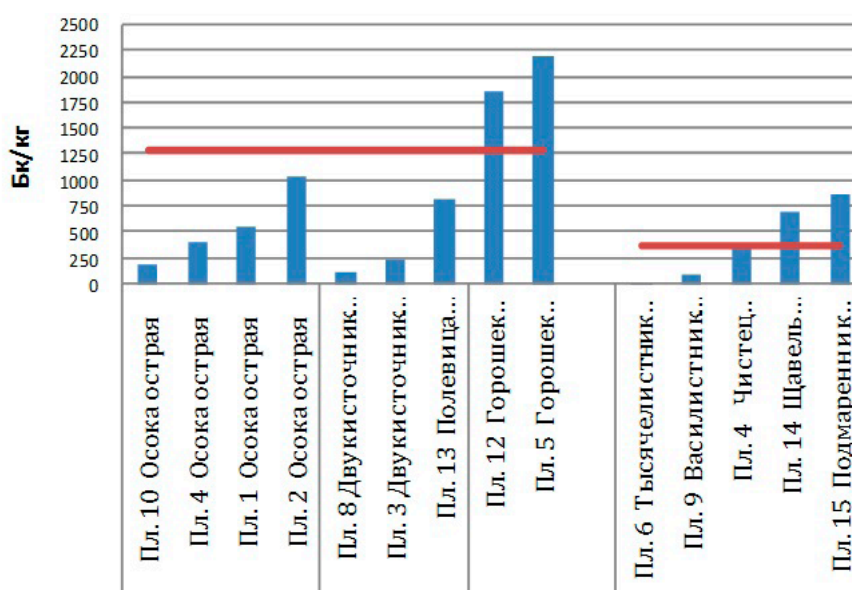


Рис. 2. Содержание радиоцезия в травостое луговых сообществ поймы р. Сож в окрестностях н. п. Шерстин Ветковского р-на

Анализ средней удельной активности ^{137}Cs в травостое агроботанических групп показал, что у злаков она составляет 383 Бк/кг, у осок – 541 Бк/кг, у разнотравья – 436,2 Бк/кг, бобовых – 2023 Бк/кг.

Рассматривая содержание радиоцезия в отдельных видах растений, входящих в агроботанические группы, можно отметить, что среди осоковых максимальная величина составляет 1020 Бк/кг, а минимальная – 188 Бк/кг (разница – 832 Бк/кг). У злаковых максимальное содержание обнаружено у полевицы тонкой – 820 Бк/кг, а минимальное – 107 Бк/кг (разница – 713 Бк/кг).

В группе разнотравья максимальное накопление радиоцезия обнаружено у подмаренника северного – 849 Бк/кг, а минимальное – у василистника водосборолистного – 965 Бк/кг; разница – 753 Бк/кг.

Для оценки и сравнения видов растений по накоплению радионуклида использовали значения коэффициента накопления (далее – КН), то есть отношения количества радионуклида в единице массы растения к количеству радионуклида в единице массы почвы; размерность Бк/кг:Бк/кг.

Значения КН отмечались в пределах 0,05–2,55 Бк/кг:Бк/кг (рис. 3). Условно можно

ранжировать виды растений по значениям КН на следующие группы.

Первая группа: 0,05 – 0,50 Бк/кг:Бк/кг; сюда входят 8 растительных образцов 6 видов (двукосточник тростниковый, тысячелистник обыкновенный, осока острая, василистник водосборолистный, чистец болотный, полевица тонкая, двукосточник тростниковый и осока острая).

Вторая группа: 0,51 – 1,00 Бк/кг:Бк/кг; в ее состав входит 4 растительных образца трех видов (осока острая, осока острая, щавель пирамидальный, подмаренник северный).

Третья группа: >1,00 Бк/кг:Бк/кг 2 растительные пробы горошка мышиного.

Таким образом, преобладающее количество видов имеют значения КН от 0,05 до 0,5 Бк/кг:Бк/кг.

В ходе исследований выявлены существенные различия по КН между агроботаническими группами растений. Так, для группы осок эти значения составляли 0,17–0,76; канареечника 0,05–0,33; разнотравья – 0,14–0,69 Бк/кг:Бк/кг.

Группа бобовых представлена одним видом, в связи с этим делать какие-либо выводы относительно этого представителя нецелесообразно.

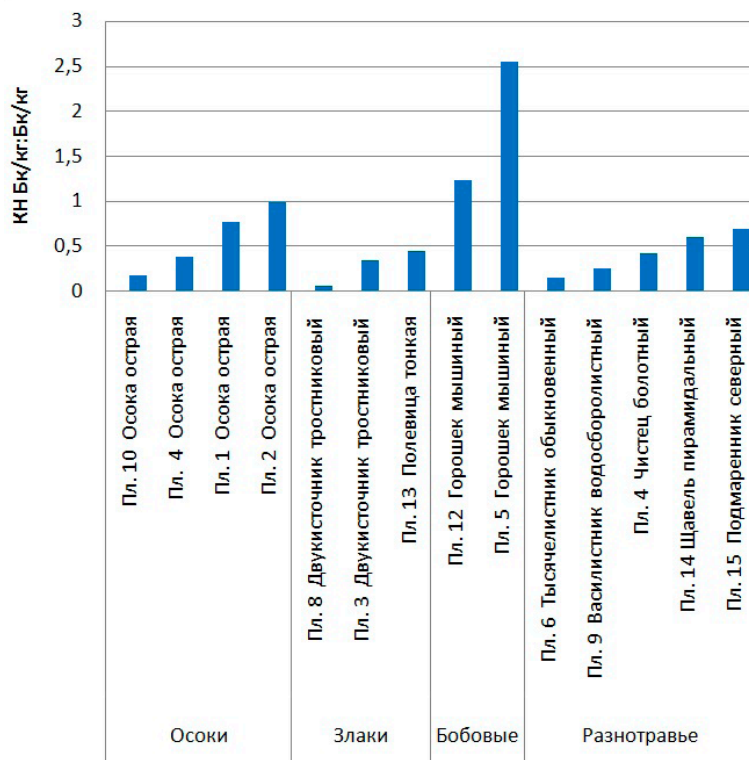


Рис. 3. Параметры коэффициента накопления в травостое луговых сообществ поймы р. Сож в окрестностях н. п. Шерстин Ветковского р-на

Заключение

В результате исследований установлена значительная вариабельность радиоактивного загрязнения почвенного покрова. Особенно это проявляется в дифференциации радионуклида по слоям почвы, что связано с особенностями рельефа и гидрологическим режимом. За период 2011–2022 гг. уменьшилось количество радиоцезия в горизонте 0–10 см. В 2011 г. 93–95 % ^{137}Cs находилось в этом верхнем слое, то есть в дернине. В 2022 г. более 70 % радионуклида продолжает оставаться в данном горизонте.

В слое почвы 0–10 см количество радионуклида за период 2011–2022 гг. изменялось от 495 до 4520 Бк/кг; разница составляла до 9 раз. Среднее содержание 2000 ± 1114 Бк/кг. В горизонте 0–10 см содержание радионуклида в среднем было больше в 4 раза, чем в слое 10–20 см.

Существенной миграции радионуклида по профилю почвы не происходит, несмотря на постоянное затопление и подтопление. Полагаем, это связано с тем, что верхний слой почвы сформирован дерниной, которая несколько десятилетий не повреждалась почвообрабатывающей техникой.

Содержание радиоцезия в травостое в небольшой степени зависит от биологической доступности радионуклида в почве. Результаты исследований показали, что основная часть радионуклида прочно зафиксирована почвенным поглощающим комплексом.

В условиях радиоактивного загрязнения территории наблюдается динамика уровней загрязнения надземной фитомассы. С течением времени содержание радиоцезия в травостое снижается.

Проведенные исследования показали, что в 2011 г. содержание радиоцезия в травостое изменялось от 66 до 8847 Бк/кг. Анализ результатов 2022 г. выявил лишь единичные случаи превышения допустимых уровня радиоцезия в травостое. Аккумуляция радиоцезия для осок составляла от 188 до 1020 Бк/кг, двукосточника 107–222 Бк/кг, разнотравья 96–849 Бк/кг, горошка мышиного 2 196 Бк/кг.

Выявлены существенные различия по КН между агроботаническими группами растений: для группы осок эти значения составляли 0,17–0,76; двукосточника 0,05–0,33; разнотравья 0,14–0,69 Бк/кг:Бк/кг.

Рекомендации. В связи с отсутствием пастбища и сенокосооборота при использовании пойменных лугов р. Сож, но преобладанием в большей степени бессистемного использования следует указать на внедрение в травостой малоценных в кормовом отношении видов. В этой связи необходимо регулировать использование этого луга, осуществлять двух-трехразовое стравливание в течение сезона или одно-двукратное скашивание травостоя в разные фазы развития луговых трав (в конце фазы трубкования – конце цветения), по возможности вносить полные минеральные удобрения.

Библиографический список

1. Дайнеко, Н. М. Состав и структура пойменных лугов бассейна р. Сож : монография / Н. М. Дайнеко, С. Ф. Тимофеев. – Чернигов : Десна Полиграф, 2020. – 208 с.
2. Дайнеко, Н. М. Качество травяного корма при одноукосном использовании пойменного луга р. Сож / Н. М. Дайнеко, С. Ф. Тимофеев // Изв. ГГУ им. Ф. Скорины. Сер. Естественные науки. – 2021. – № 6. – С. 22–26.
3. Дайнеко, Н. М. Влияние метеорологических условий на динамику продуктивности луговых ассоциаций поймы р. Сож / Н. М. Дайнеко, С. Ф. Тимофеев // Мелиорация. – 2022. – № 2. – С. 43–50.
4. Санжарова, Н. И. Методика прогнозирования уровней загрязнения почв сельскохозяйственных угодий, при которых обеспечивается получение нормативно чистых продуктов питания / Н.И. Санжарова [и др.]. – Обнинск : ГНУ ВНИИСХРАЭ, 2007. – 17 с.
5. Шубина, О. А. Современное состояние сельскохозяйственных угодий, временно выведенных из землепользования после аварии на ЧАЭС / О. А. Шубина, И. Е. Титов // Современные проблемы радиологии и агроэкологии, пути реабилитации техногенно-

загрязненных угодий : сб. докл. Междунар. конф, Обнинск, 15 дек. 2016 г. / Федер. гос. бюдж. науч. учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии» ; сост. О. А. Шубина. – Обнинск, 2016. – С. 200–207.

6. Рекомендации по ведению сельскохозяйственного производства на территории радиоактивного загрязнения Республики Беларусь на 2021–2025 годы / Н. Н. Цыбулько [и др.]. – Минск : ИВЦ Минфина, 2021. – 142 с.

7. Социально-радиационный паспорт. Гомельская область. Ветковский район / РНИУП «Институт радиологии». – Гомель, 2018. – 29 с.

8. Формы нахождения Cs-137 и Sr-90 в почвах Брянской области / С. К. Лисин, Г. П. Смирская, Ю. Н. Смирский, Ю. Ф. Родионов, В. М. Шубко // Радиация и риск. – 1993. – Т. 3. – С. 129–133.

Поступила 28 февраля 2023 г.

• НАШИ ЮБИЛЯРЫ •



ЕВГЕНИЙ МАКСИМОВИЧ КОЗЛОВ (к 90-летию)

Евгений Максимович Козлов родился 10 января 1933 г. в дер. Романьки Краснопольского р-на Могилевской обл.

В июне 1941 г. семья Козловых была эвакуирована в Казахстан, где в 1950 г. Евгений Максимович начал трудовую деятельность бетонщиком строительного управления ТЭЦ стройтреста «Алтайсвинецстрой» (Усть-Каменогорск), а в 1958–1959 гг. работал в г. Темиртау в строительном управлении «Доменстрой» треста «Казметаллургстрой». В 1952–1955 гг. служил в рядах Советской Армии. В 1959 г. Е. М. Козлов вернулся на родину, работал в Минске подвозчиком топлива, кочегаром, компрессорщиком хлебозавода «Автомат».

В 1967 г. без отрыва от производства окончил Белорусский государственный университет по специальности «География» и в том же году начал работу в Белорусском НИИ мелиорации и водного хозяйства: вначале младшим, затем старшим научным сотрудником в лаборатории мелиорации минеральных земель (1967–1978). Далее трудился ученым секретарем института (1978–2001), ведущим научным сотрудником (2001–2005).

Кандидат технических наук (1976). Автор 14 научных публикаций по вопросам мелиорации переувлажненных минеральных земель и способам осушения минеральных почв разной водопроницаемости и механического состава.

Евгений Максимович работал в институте также заместителем председателя профкома, заместителем секретаря партбюро, секретарем партбюро. На любом рабочем месте он проявлял трудолюбие, ответственность за порученное дело, профессионализм, доброжелательность, принципиальность, умение решать любые проблемы, возникающие в ходе работы. В бытность его ученым секретарем эти замечательные человеческие качества позволили добиться безукоризненного исполнения всех рабочих программ научных исследований, поручений вышестоящих органов, что способствовало повышению авторитета мелиоративной науки Беларуси.

Евгений Максимович Козлов награжден Грамотой Верховного Совета БССР, Почетными грамотами Минводхоза СССР, Минводхоза БССР, Академии аграрных наук и Минсельхозпрода Республики Беларусь, Почетными грамотами института, медалями ВДНХ СССР, нагрудным знаком «Отличник Минводхоза СССР», медалью «Ветеран труда».



ЭДУАРД НИКОЛАЕВИЧ ШКУТОВ (к 75-летию)

Эдуард Николаевич Шкутов родился 22 января 1948 г. в дер. Макаровка Ершичского р-на Смоленской обл.

В 1966 г. поступил на гидромелиоративный факультет Белорусской сельскохозяйственной академии, в 1971 г. с отличием окончил ее по специальности «Гидромелиорация». В 1971–1972 гг. работал главным инженером ПМК треста «Смоленскводстрой», в 1972–1973 гг. служил в Советской Армии.

Вот уже 50 лет Эдуард Николаевич работает в Институте мелиорации: в 1973–1983 гг. – старший инженер отдела осушения, лабораторий автоматизации управления водным режимом и мелиорации торфяных почв. После защиты в 1984 г. кандидатской диссертации – младший, затем старший научный сотрудник лаборатории мелиорации торфяных почв (1984–1988 г.). В 1989–2008 гг. работал заведующим лабораторией восстановления загрязненных радионуклидами земель, лабораторией мелиорации, сохранения и использования торфяных комплексов. С 2009 г. по настоящее время – заведующий лабораторией совершенствования мелиоративных систем.

В 2008–2012 гг. – заместитель директора института по науке.

Автор 129 опубликованных научных работ, значительная доля которых относится к нормативным документам (рекомендации, указания, технические кодексы), используемым в мелиоративной отрасли Беларуси.

За плодотворную работу многократно поощрялся, в том числе в 1981 г. – Почетной грамотой Минводхоза СССР за активное участие в научно-техническом сотрудничестве с зарубежными странами, в 2010 г. – нагрудным знаком «Юбилейная медаль в честь 80-летия Национальной академии наук Беларуси», Нагрудным знаком «Ганаровы меліяратар», благодарностью Председателя Президиума НАН Беларуси и др.

Эдуард Николаевич Шкутов пользуется заслуженным уважением в профессиональной среде мелиораторов республики.

Сердечно поздравляем Вас с юбилеем, Эдуард Николаевич, и желаем здоровья, творческого долголетия, энергии и удачи в научной работе.

• ЧТОБЫ ПОМНИЛИ •



ПАМЯТИ АНАТОЛИЯ СЕМЕНОВИЧА МЕЕРОВСКОГО

Ушел из жизни профессор Анатолий Семенович Мееровский, замечательный ученый и человек.

А. С. Мееровский – авторитетный профессионал в области мелиоративного почвоведения, агрохимии и луговодства, активно развивавший направление преимущественного возделывания многолетних трав на осушенных землях. Анатолий Семенович – один из авторов концепции освоения и рационального использования почв мелиоративного фонда, сформулированной в Основных направлениях развития мелиорации земель и их использования в Республике Беларусь.

Исследования, проведенные Анатолием Семеновичем и под его руководством, охватывают широкий спектр вопросов сельскохозяйственного использования осушенных торфяных почв, обосновывают теорию комплексного регулирования и управления почвенными процессами. Сторонник решающей роли биологических методов мелиорации, А. С. Мееровский разрабатывал научные основы создания на мелиорированных землях Беларуси высокопродуктивных лугов длительного пользования, обеспечивающих минимальные потери органического вещества почв и получение высококачественных кормов.

Большая часть научных трудов А. С. Мееровского посвящена вопросам удобрения многолетних трав, сенокосов и пастбищ, взаимосвязи почва – растение, использованию экологического потенциала осушенных почв. Значительный вклад внес Анатолий Семенович в разработку и внедрение дифференцированных систем удобрений на осушенных землях: исследованы вопросы известкования, применения органических и минеральных удобрений, в том числе микроудобрений. Заслуживает внимания цикл его работ по оптимизации агрохимических и физико-химических свойств мелиорированных почв. Благодаря исследованиям А. С. Мееровского и его учеников Республика Беларусь занимает в этом направлении передовые позиции среди стран СНГ.

Особое внимание ученый уделял мелиоративному освоению, сохранению плодородия земель и их улучшению в Белорусском Полесье. С этим регионом его связывали долгие годы исследований и экспедиций, здесь им установлены тесные контакты со многими замечательными людьми. В 2002 г. А. С. Мееровский возглавлял научный совет по проблемам Полесья Национальной академии наук Беларуси. Анатолий Семенович активно участвовал в разработке многочисленных комплексных программ, схем и прогнозов, касавшихся эволюции мелиорированных почв и повышения их продуктивности.

Всего А. С. Мееровским опубликовано около 700 научных работ, в том числе 14 монографий, им получены 5 свидетельств на изобретения и патент. Ему принадлежит авторство двух сортов многолетних трав.

Он участвовал в работе международных конгрессов в Финляндии, Германии, Польше, Чехии, Словакии, в многочисленных Всесоюзных, Республиканских и региональных съездах, симпозиумах, конференциях.

Научно-исследовательскую работу А. С. Мееровский успешно сочетал с подготовкой научных кадров. Под его руководством подготовлено и защищено 20 кандидатских диссертаций; долгие годы он был председателем специализированного совета по защите докторских и кандидатских диссертаций по специальностям «Мелиорация, рекультивация и охрана земель», «Луговое хозяйство, кормопроизводство. Лекарственные и эфирно-масличные культуры».

А. С. Мееровский – лауреат Государственной премии БССР в области науки (1976), лауреат Премии Национальной академии наук Беларуси (2003), награжден орденом «Знак Почета», Грамотой Верховного Совета БССР, нагрудным знаком отличия имени В. М. Игнатовского и нагрудным знаком РУП «Научно-практический центр НАН Беларуси по земледелию» «За вклад в развитие науки».

А. С. Мееровский всегда пользовался заслуженным авторитетом как в коллективе ученых аграрной науки, так и у специалистов сельскохозяйственного производства.

Институт мелиорации выражает глубочайшие соболезнования родным и близким в связи с кончиной дорогого Анатолия Семеновича. Память о нем как о выдающемся ученом, разносторонне образованном и отзывчивом человеке навсегда останется в сердцах коллег и учеников.



КОНСТАНТИН АВГУСТОВИЧ ГУЛЕЙЧИК (к 120-летию)

Константин Августович Гулейчик родился 15 марта 1903 г. в дер. Каменка Узденского р-на Минской обл.

В 1926 г. окончил Марьиногорский сельскохозяйственный техникум и в 1931 г. – Белорусскую сельскохозяйственную академию. В 1932–1936 гг. – аспирант Научно-исследовательского института реконструкции сельского хозяйства (Минск); 1936–1937 гг. – старший научный сотрудник Всесоюзного научно-исследовательского института болотного хозяйства; 1937–1941 гг. – директор Белорусского научно-исследовательского института болотного хозяйства.

Константин Августович – участник Великой Отечественной войны, служил в армии с 1941 г. по 1946 г.

В 1946–1952 гг. работал заведующим отделом экономики Белорусского научно-исследовательского института мелиорации и водного хозяйства.

В 1952 г. К. А. Гулейчик защитил диссертацию на соискание ученой степени кандидата сельскохозяйственных наук по теме «Размещение технических культур травопольных севооборотов на торфяно-болотных почвах Полесской низменности».

Автор 15 опубликованных работ, в том числе: «Багацце асвоеных балот: калгас імя Беларускай асобай ваеннай акругі Любаньскага раёна БССР» (1939), «Севообороты на торфяно-болотных почвах» (1954), «Повышение экономической эффективности использования осушенных торфяно-болотных почв: рекомендации» (1967).

Награжден 5 боевыми медалями СССР и Почетной грамотой Верховного Совета БССР.



АЛЕКСАНДР МИХАЙЛОВИЧ АХРАМЕЙКО (к 85-летию)

Александр Михайлович Ахрамейко родился 5 февраля 1938 г. в дер. Большие Городятищи Любанского р-на Минской обл. Закончил в 1966 г. агрономический факультет Белорусской сельскохозяйственной академии и получил специальность «Ученый агроном».

Работал младшим научным сотрудником, старшим агрономом, заведующим отделом семеноводства Коссовской опытной болотной станции Белорусского НИИ мелиорации и водного хозяйства (1966–1976), заведующим лабораторией торфяно-болотных почв, заведующим отделом кормопроизводства и сырья Полесской сельскохозяйственной опытной станции БелНИИ земледелия (1976–1981).

В 1981–1987 гг. возглавлял Ивацевичскую опытно-мелиоративную станцию (ИОМС) и ее экспериментальную базу. На должности директора станции Александр Михайлович проявил себя как грамотный руководитель, пользовался заслуженным авторитетом у руководства района и коллег, избирался депутатом Ивацевичского райсовета.

В конце 1986 г. согласно приказу Министерства водного хозяйства СССР Ивацевичская опытно-мелиоративная станция была упразднена, а на ее землях создано сельскохозяйственное предприятие. Все научные работники были перемещены на Витебскую опытно-мелиоративную станцию (ВОМС), организованную в Сеннинском р-не Витебской обл., и ее директором переводом стал А. М. Ахрамейко. В 1988 г. по предложению руководства Витебской области он перешел на работу в областное управление сельского хозяйства.

В 1974 г. Александр Михайлович успешно защитил диссертацию на соискание ученой степени кандидата сельскохозяйственных наук по теме «Вопросы агротехники картофеля при дополнительном увлажнении глубоководных торфяных почв».

Опубликовал 22 работы по теме влияния водного режима и минеральных удобрений на урожай картофеля на старопахотных торфяно-болотных почвах.

Александр Михайлович награжден Почетной грамотой Министерства сельского хозяйства БССР.



**АЛЕКСАНДР ТИХОНОВИЧ
ШПАКОВ
(к 85-летию)**

Александр Тихонович Шпаков родился 1 марта 1938 г. в дер. Купнино Шумилинского р-на Витебской обл.

Трудовую деятельность начал рабочим кирпичного завода в г. п. Оболь Витебской обл. (1956–1957), затем служил в рядах Советской Армии (1957–1960). В 1965 г. окончил гидротехнический факультет Белорусского политехнического института, получив специальность инженера-гидротехника. Работал прорабом, начальником участка, главным инженером Полоцкого, Озерского СМУ, ПМК-18 треста «Сельхозводстрой», начальником СМУ Витебского облмелиотреста (1965–1971).

В 1971 г. А. Т. Шпаков перешел на работу в БелНИИ мелиорации и водного хозяйства, где заведовал научно-исследовательской группой в лаборатории пластмасс и стекломатериалов (1971–1979). Затем работал директором Ивацевичской (1979–1981), Полесской (1981–1988) и Витебской опытно-мелиоративных станций (1988–1992).

В 1979 г. Александр Тихонович Шпаков защитил диссертацию на соискание ученой степени кандидата технических наук по теме «Исследование вертикального дренажа в Белорусском Полесье». Он способствовал дальнейшему развитию научной базы на вверенных ему опытных станциях, при его непосредственном участии построены и испытаны в производственных условиях осушительно-увлажнительные системы с вертикальным дренажем. В соавторстве с академиком А. И. Мурашко исследователь написал книгу «Осушение земель вертикальным дренажем» (1980). Опубликовал 15 научных работ.

А. Т. Шпаков активно участвовал в общественной жизни института. Награжден Почетной грамотой Минводхоза СССР, Почетной грамотой БелНИИМВХ, бронзовой медалью ВДНХ СССР, дипломом 1 степени Брестского облисполкома.

ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ

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

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

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

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

5. Представляемые материалы должны иметь следующую структуру:

индекс по Универсальной десятичной классификации (УДК);

аннотацию на указанных языках (500 знаков);

ключевые слова на русском и английском языках;

введение;

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

заключение, завершаемое четко сформулированными выводами;

библиографический список.

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

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

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

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

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

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

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

13. Рисунки представляются в виде отдельных файлов в формате TIFF или JPEG 300—600 точек на дюйм. Текст на рисунках должен быть набран гарнитурой *Arial*, курсив. Размер кегля соизмерим с размером рисунка (желательно кегль 8). Площадь простых рисунков не должна превышать 100–150 см², размер сложных – не более 130–160 см².

14. Размерность всех величин, используемых в статьях, должна соответствовать Международной системе единиц измерения (СИ).

15. Редакция оставляет за собой право сокращать текст и вносить в него редакционные правки.

УВАЖАЕМЫЕ КОЛЛЕГИ!

Журнал «Мелиорация» представляет результаты научных исследований, опытно-технологических, опытно-конструкторских работ, проводимых по актуальным проблемам современной мелиорации, рекультивации, охраны и сельскохозяйственного использования мелиорированных земель, мелиоративного образования, политики мелиоративного обустройства, экологии в Республике Беларусь и странах СНГ, а также публикует иные разнообразные материалы по указанным направлениям.

Приглашаем опытных и начинающих ученых, разработчиков, инженеров, производителей мелиоративного оборудования и систем управления, а также практиков стать нашими авторами. Мы уверены, что публикуемые статьи помогут специалистам быть в курсе технологических решений в сфере мелиорации и сопутствующих процессов.

Мы готовы публиковать рекламу продукции соответствующих предприятий.

В том случае, когда присланный в редакцию материал не соответствует тематике журнала, мы стараемся рекомендовать автору более подходящие по профилю издания и по возможности оказываем посильную координационную помощь в публикации.

При подготовке статьи следует соблюдать технические требования, предъявляемые нашей редакцией к оформлению материалов. С ними можно ознакомиться на сайте niimel.by: раздел «Журнал "Мелиорация"» – блок «Авторам» – Правила для авторов.

С уважением,

редакция журнала «Мелиорация»

Тел.: 8 (017) 363-49-03
Факс: 8 (017) 392-64-96
e-mail: redaktor@niimel.by,
info@niimel.by