

ISSN 2070–4828

МЕЛИОРАЦИЯ

Научный журнал

№ 2(100)

Основан в 1951 году
Выходит 4 раза в год

Апрель – июнь, 2022



Минск
2022

СВИДЕТЕЛЬСТВО № 411

УЧРЕДИТЕЛЬ ЖУРНАЛА:

Республиканское научное дочернее унитарное предприятие «Институт мелиорации»

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР:

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

РЕДКОЛЛЕГИЯ:

д-р с.-х. наук, проф. **А. С. Мееровский** (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**

д-р с.-х. наук **П. Ф. Тиво**

канд. техн. наук, доцент **А. С. Анженков**

канд. с.-х. наук, доцент **А. Л. Бирюкович**

канд. техн. наук **Э. Н. Шкутов**

Журнал рецензируется.

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

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

06.01.02 – мелиорация, рекультивация и охрана земель;

06.01.06 – луговое хозяйство и лекарственные эфирно-масличные культуры.

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

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

Редакция не несет ответственности за возможные неточности по вине авторов.

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

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

Журнал «МЕЛИОРАЦИЯ»

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

748562 — для предприятий и организаций.

Подписку можно оформить во всех отделениях связи.

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

Компьютерная верстка **И. В. Скуратович**

Подписано к печати 14.06.2022 г. Формат 60x84 1/8.
Уч.-изд. л. 5,71. Усл. печ. л. 7,9. Заказ 197. Тираж 100 экз.

Адрес редакции: 220040, г. Минск, ул. Некрасова, 39-2;
тел. (017) 331-49-03;
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», 2022

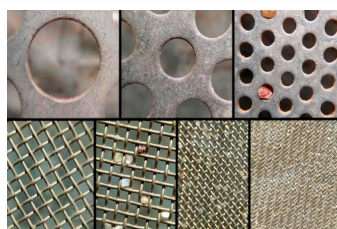
Содержание Contents



К выходу 100-го номера журнала «Мелиорация» 5

Мелиорация

Land improvement



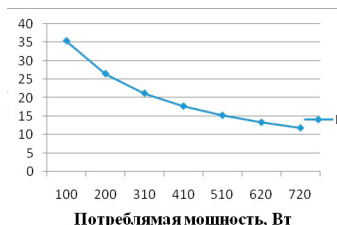
А. А. Боровиков, В. С. Бочарников
**Сопоставление теоретических моделей
фиктивного и идеального грунтов с реальным**
A. A. Borovikov, V. S. Bocharnikov
**Comparison of the theoretical models of fictive and ideal soils
with real**

7



А. И. Митрахович, И. Ч. Казьмирук
Осушительная способность дренажа на тяжелых почвах
A. I. Mitrakhovich, I. Ch. Kazmiruk
The drainage capacity of drainage on heavy soils

15



*А. Мухаммадиев, К. Баймаханов, М. Мустафаев,
Д. Юсупов, Г. Эргашев*
Исследование процесса электроактивации воды
*A. Muhammadiev, K. Baimakhanov, M. Mustafaev,
D. Yusupov, G. Ergashev*
Study of the process of water electroactivation

20

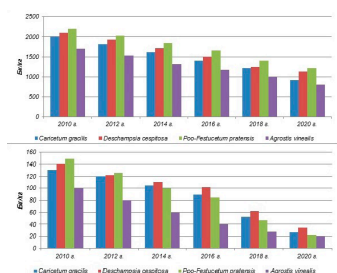
Кормопроизводство

Forage production



А. З. Богданов, Д. В. Лужинский, Н. Ф. Надточаев
**Изменение биохимического состава морфологических
частей и питательной ценности растений кукурузы
под влиянием погодных условий и технологических
приемов ее возделывания**
A. Z. Bogdanov, D. V. Luzhinsky, N. F. Nadtochaev
**Changes in biochemical composition of morphological parts
and nutritional value of corn plants under the influence
of weather conditions and technological methods of its**

24



Н. М. Дайнеко, С. Ф. Тимофеев
**Влияние метеорологических условий на динамику
продуктивности луговых ассоциаций поймы р. Сож**
N. M. Daineko, S. F. Timofeev
**Influence of meteorological conditions on the dynamics
of productivity of meadow associations in the Sozh river
floodplain**

32



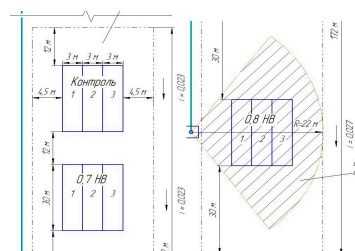
Н. Н. Семененко

Инновационные технологии применения азотных удобрений

N. N. Semenenko

Innovative technologies for the use of nitrogen fertilizers

40



И. А. Романов, А. П. Лихацевич, Г. В. Латушкина

Расчет элементов водного баланса почвы под многолетними травами в сложных условиях

I. A. Romanov, A. P. Likhatsevich, G. V. Latushkina

Calculation of soil water balance elements under permanent grasses under difficult conditions

49

Наши юбиляры



Our Jubilees

Николай Гаврилович Холодок (к 75-летию)

61

Николай Кириллович Вахонин (к 70-летию)

62

Галина Викторовна Латушкина (к 70-летию)

63

Чтобы помнили



To be remembered

Павел Андреевич Дрозд (к 105-летию)

64

Анатолий Иванович Мурашко (к 95-летию)

65

Андрей Федорович Веренич (к 75-летию)

66

К ВЫХОДУ 100-го НОМЕРА ЖУРНАЛА «МЕЛИОРАЦИЯ»

В июне 2022 г. научный журнал «Мелиорация» как преемник сборника научных трудов Института мелиорации выйдет под номером 100. Примечательно, что для этого потребовался 71 год активной научной деятельности большого коллектива. Возможно, это не эпохальное событие, однако в истории мелиорации Беларуси журнал занял свое достойное место.

Научное издание, начало которому положено в 1951 г., успешно выдержало годы активного развития мелиоративных преобразований в стране, годы уничижительной критики мелиорации, ее перевода на республиканские рельсы и все эти годы зеркально отражало состояние научных исследований в области мелиорации переувлажненных земель и их сельскохозяйственного использования.

По истории журнала можно проследить сложный процесс восстановления мелиоративных систем, разрушенных в годы Великой Отечественной войны, начало активных работ по мелиорации болот в Полесье, Поозерье, развитие и становление всего сложного мелиоративного комплекса Беларуси в рамках общегосударственных программ, а также изучить современные разработки по его сохранению и эффективному использованию.

Все эти годы учредителем журнала был Институт мелиорации, неоднократно менявший название и ведомственную подчиненность, в настоящее время работающий в составе Национальной академии наук Беларуси. Руководство института всегда поддерживало издание, считая его своим представителем как в научном, так и производственном сообществах, старалось обеспечивать его своевременные подготовку и выход в свет. Хочется добрым словом вспомнить всех директоров института за время существования журнала: Б. Б. Бельский (1951–1952), А. Ф. Печкуров (1952–1953), С. Г. Скоропанов (1953–1959), В. М. Зубец (1959–1978), В. Ф. Карловский (1978–1997), А. П. Лихацевич (1997–2007), Н. К. Вахонин (2007–2019), А. С. Анженков – с 2020 г.

Естественно, что авторский состав журнала во многом зависел от наличия в Институте мелиорации высококвалифицированных специалистов. В 1960–80-х гг. в нем работали и публиковались известные белорусские ученые Г. И. Афанасик, А. И. Барсуков, Н. Ф. Башлаков, В. И. Белковский, В. С. Брезгунов, П. И. Закржевский, В. М. Зубец, А. И. Ивицкий, В. Ф. Карловский, В. Т. Климков, Е. А. Коноплев, А. Н. Корженевский, Ю. М. Корчоха, С. В. Кулеш, Н. В. Кушнир, П. П. Крот, Г. И. Лашкевич, И. Э. Леуто, Г. М. Лыч, И. В. Минаев, А. И. Митрахович, А. И. Михальцевич, Э. И. Михневич, А. И. Мурашко, А. Ф. Печкуров, Е. В. Руденко, А. П. Русецкий, Ф. В. Саплюков, Н. В. Синицын, С. Г. Скоропанов, П. Ф. Тиво, В. П. Трибис, Л. А. Холодок, П. К. Черник, В. Ф. Шебеко и др. На смену им пришли Н. М. Авраменко, Н. К. Вахонин, А. Ф. Веренич, В. П. Дальков, В. Н. Карнаухов, Н. В. Кабанова, В. Н. Кондратьев, А. П. Лихацевич, Л. Н. Лученок, А. С. Мееровский, Н. Н. Погодин, Н. Н. Семененко, Э. Н. Шкутов и др.

В настоящее время к управлению мелиоративной наукой Беларуси и журналом приходят новые молодые и активные кадры: А. С. Анженков, А. Л. Бирюкович, Р. Т. Пастушок и др. Надеемся, что этот список будет постоянно пополняться и обновляться.

Широкая область проводимых в Беларуси и за ее пределами экспериментальных исследований по самым различным направлениям, квалифицированное обобщение полученных результатов давали возможность предоставлять читателям качественные научные материалы. Журнал всегда шел в ногу со временем, его публикации служили основой для разработки и принятия первой Государственной программы в Беларуси «Сохранение и использование мелиорированных земель» (1999–2004) и ее продолжений с 5-летней периодичностью, Законов Республики Беларусь «О мелиорации земель» (2008), «Об охране и использовании торфяников» (2019). В настоя-

щее время реализуется уже пятая программа Беларуси в области мелиорации земель.

С первого номера содержание издания характеризовалось комплексностью: сочетанием освещения технических проблем мелиорации болот, переувлажненных земель и агротехнологий использования мелиорированных почв. Редколлегия журнала всегда была готова принять к рассмотрению и последующей публикации работы молодых авторов, и уже несколько поколений исследователей воспользовались такой возможностью. Сегодня это единственный мелиоративный журнал в нашей республике. Подобных регулярных изданий в Беларуси больше нет, что налагает особую ответственность на его учредителя и редколлегию.

Журнал рецензируется, в числе его авторов – известные ученые из Беларуси, России, других стран СНГ, Польши. Он входит в Международную реферативную базу данных *Agris*. Совершенствуется структура и периодичность издания: с 2004 г. журнал издавался 2 раза в год, с 2016 г. в год выходит 4 номера.

Журнал включен в перечень научных изданий ВАКа Республики Беларусь для опубликования результатов диссертационных исследований, а также в Перечень научных изданий ВАКа Российской Федерации (распоряжение Министерства образования и науки Российской Федерации от 12 февраля 2019 г. № 21-р).

Главным редактором журнала с 1997 г. является член-корреспондент НАН Беларуси, доктор технических наук, профессор А. П. Лихацевич. Состав редколлегии постоянно обновляется. В настоящее время в редколлегию входят известные ученые из России – академик РАН, доктор сельскохозяйственных наук, профессор Н. Н. Дубенок; доктор сельскохозяйственных наук, заслуженный деятель науки

Российской Федерации, профессор Ю. А. Мажайский; из Беларуси – доктор сельскохозяйственных наук, профессор В. И. Желязко; доктор сельскохозяйственных наук, профессор А. С. Мееровский; доктор технических наук, профессор Э. И. Михневич; доктор сельскохозяйственных наук, профессор Н. Н. Цыбулько; кандидат сельскохозяйственных наук, доцент А. С. Анженков и др. Сложился квалифицированный и работоспособный коллектив по подготовке и оформлению каждого его номера.

Журнал живет и активно развивается. Его традиционные основные рубрики, объединяющие статьи одного направления исследований, «Мелиорация», «Использование мелиорированных земель», «Луговое хозяйство», «Кормопроизводство». При поступлении в редакцию комплексных материалов эти разделы могут объединяться. С развитием направлений научных исследований появляются новые рубрики. Например, в этот юбилейный номер включены статьи, по результатам обработки данных полевого опыта предлагающие специалистам новые методы, методики, технологии, дающие ощутимый эффект в научной и производственной работе. Мы объединили их под заголовком «Инновационные технологии».

Надеемся, что ученые Института мелиорации, коллеги из научных, учебных и производственных организаций Беларуси, других стран будут и далее активно представлять для публикации новые наукоемкие материалы, результаты актуальных исследований, всячески способствуя научному обеспечению дальнейшего развития мелиоративного комплекса Беларуси.

Мелиорация земель имеет начало, но не должна иметь конца. Эта старая истина в равной степени относится к печатному слову о ней.

Редколлегия

• МЕЛИОРАЦИЯ •

УДК 626.8:624.131.37 (476)

СОПОСТАВЛЕНИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ФИКТИВНОГО И ИДЕАЛЬНОГО ГРУНТОВ С РЕАЛЬНЫМ

А. А. Боровиков¹, старший преподаватель

В. С. Боcharников², доктор технических наук

¹Белорусская государственная сельскохозяйственная академия, г. Горки, Беларусь

²Волгоградский государственный аграрный университет, г. Волгоград, Россия

Аннотация

Проведено сопоставление теоретических моделей фиктивного и идеального грунтов. Предложена зависимость коэффициента фильтрации от пористости и размера частиц. Для исследованных видов сапропелей и смесей на их основе подсчитана поправка на форму частиц реального грунта и содержащуюся в нем физически связанную воду.

Ключевые слова: сапропель, песок, песчано-сапропелевая смесь, водно-физические свойства, фиктивный грунт, идеальный грунт.

Abstract

A. A. Borovikov, V. S. Bocharnikov

COMPARISON OF THE THEORETICAL MODELS OF FICTIVE AND IDEAL SOILS WITH REAL

The article compares the theoretical models of fictitious and ideal soils. The dependence of the filtration coefficient on porosity and particle size is proposed. The correction for the shape of real soil particles and the physically bound water contained in it was calculated for the studied types of sapropels and mixtures based on them.

Keywords: sapropel, sand, sand-sapropel mixture, water-physical properties, fictitious soil, ideal soil.

Введение

Формирование благоприятных условий для повышения и сохранения плодородия сельскохозяйственных угодий, увеличения урожайности культур, благоприятного воздействия на экосистему является первостепенной задачей комплексных мелиоративных мероприятий, включающих создание водоподпорных, водорегулирующих и водопроводящих сооружений. Строительство и реконструкция данных сооружений на мелиоративных системах в современных условиях осложняется постоянным ростом стоимости материалов. Закрытие границ вследствие санкционной политики отдельных государств или в связи с проводимыми противоэпидемиологическими мероприятиями сокращает количество поставщиков, что также увеличивает цену материалов, препятствует их доставке в требуемый срок или вообще невозможна. В создающихся неблаго-

приятных условиях все это заставляет искать способы выполнения поставленных задач, используя доступные местные ресурсы [1–5]. Вопросы защиты окружающей среды, особенно актуально звучащие в последние десятилетия в связи с ростом техногенной нагрузки на агроэкосистемы, побуждают вести поиск экологически безвредных материалов, не оказывающих негативного влияния на экологию [6].

Инженерная защита территорий от подтопления, осуществляемая с применением низконапорных грунтовых сооружений, включает в себя мероприятия по сокращению фильтрации через их тело и основание. Задача эксплуатационной службы состоит в поддержании сооружений в исправном состоянии, своевременном обнаружении угроз, проведении профилактических ремонтов и контроле уровней грунтовых вод [7].

Совершенствование конструкций противо-фильтрационных устройств гидротехнических сооружений мелиоративных систем с применением местных материалов взамен дорого-

Материалы и методы исследований

Объект исследования – высокозольные сапропели, пески и смеси на их основе. Применялись стандартные методы определения водно-физических свойств сапропелей, песков и их смесей. Проводились теоретические исследования моделей фиктивного и иде-

Результаты исследований и их обсуждение

Изменение водно-физических свойств грунтов при проведении мелиоративных мероприятий носит непрерывный и неустраняемый характер. Довольно сложно подобрать точную математическую модель для их описания в силу строения и генезиса грунтов. Дополнительные трудности возникают с почвами вследствие способности последних к агрегатированию, выстраиванию сложных пространственных структур, в которых размер пор может превосходить размер слагающих ее частиц, возникающих в результате обработки, изменения влажности и т. п. В этом случае для интерпретации изменчивости свойств можно воспользоваться моделями идеального и фиктивного грунтов.

Модель идеального (капиллярного) грунта подходит при рассмотрении условий движения гравитационной и капиллярной воды, определении фильтрационных свойств грунта, подсчете запасов влаги. Суть данной модели состоит в представлении порового пространства грунта в виде сети параллельных цилиндрических трубок.

Модель фиктивного грунта удобна при оценке его пористости. В ней реальный грунт заменяется эквивалентным, в виде шарообразных частиц одного размера. При этом его пористость колеблется в диапазоне от 25,95 % (для плотного сложения) до 47,64 % (для рыхлого сложения) в случае различной ком-

стоящих привозных приведет к значительной экономии финансовых ресурсов, что особенно важно в современных реалиях.

ального грунтов с целью их сопоставления с реальным грунтом. Использовались данные исследований, посвященных свойствам сапропелевых суспензий, фильтрационным характеристикам смесей песка с сапропелем.

бинации контакта всех частиц. При этом соотношение диаметров частиц и диаметра вписанной окружности между шарообразными частицами определяется как $D/d = 6,46$ (для случая трех контактной комбинации, при угле 60°) и $D/d = 2,41$ (для случая четырехконтактной комбинации, при угле 90°) (рис. 1).

Для сопоставления моделей идеального и фиктивного грунтов мы должны добиться выполнения следующих условий: 1) объем поровых трубок идеального грунта должен быть равен объему порового пространства фиктивного грунта; 2) удельная поверхность идеального и фиктивного грунтов должны быть также равны; 3) пористость идеального и фиктивного грунтов должна быть одинаковой. При выполнении названных условий структура основного закона фильтрации будет неизменна для обеих моделей в условиях ламинарной фильтрации.

Рассмотрим, как изменится удельная поверхность, под которой понимают отношение суммарной поверхности частиц к объему, занимаемому ими, при изменении размера частиц на примере модели фиктивного грунта:

$$S_{уд} = \frac{S}{V}, \quad (1)$$

где $S_{уд}$ – удельная поверхность, мм^{-1} ;
 S – суммарная поверхность частиц, мм^2 ;
 V – объем частиц, мм^3 .

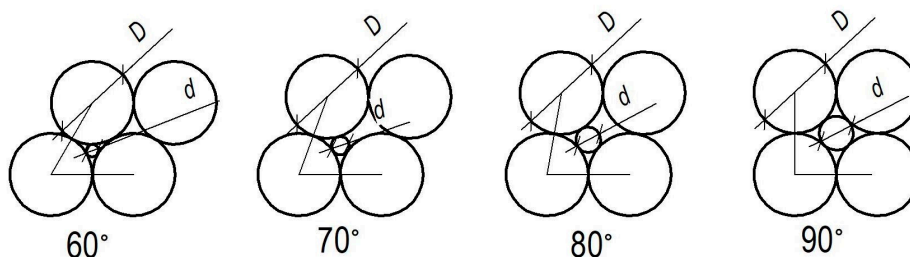


Рис. 1. Соотношения между диаметрами шарообразной частицы и цилиндрической поры

Чем больше в грунте мелких частиц, тем больше их удельная поверхность. От ее величины зависят многие водно-физические свойства (например, такие как проницаемость, влагоемкость и др.), поэтому ее необходимо учитывать, поскольку от нее зависит проявление молекулярных (поверхностных) сил на контакте «жидкость – порода». Данные явления могут очень сильно изменять характер фильтрации: так, при фильтрации через крупнозернистую породу со сравнительно небольшой удельной поверхностью частиц (табл. 1) влияние молекул жидкости, контактирующих с поверхностью частиц породы, на фильтрацию невелико, поскольку их количество несопоставимо меньше количества молекул фильтрующейся жидкости. Однако если грунт имеет большую удельную поверхность (что характерно для мелкозернистой породы), то число молекул жидкости, контактирующих с грунтом при фильтрации, сопоставимо с общим числом молекул в ней. Чем мельче части-

цы, слагающие породу, тем больше ее удельная поверхность.

Из анализа табл. 1 можно сделать следующий вывод: при уменьшении диаметра частицы в 10 раз удельная поверхность также увеличивается в 10 раз. Как показывают наши расчеты, данное положение справедливо не только для частиц в форме шара, но и для частиц в форме куба, тетраэдра, додекаэдра, то есть на него форма частиц не влияет.

Как зависит удельная поверхность от размера частицы на примере частиц различной правильной конфигурации? Обратимся к форме отверстий в наборе сит. При определении механического состава грунтов используется их стандартный набор. Сита с размером отверстий 10, 5 и 2 мм имеют круглую перфорацию, а сита 1, 0,5, 0,25 и 0,1 мм – квадратную (рис. 2). При определении размера частиц менее 0,1 мм прибегают к методам, основанным на свободном выпадении частиц в спокойной воде (по ГОСТ 12536-2014).

Таблица 1. Удельная поверхность частиц фиктивного грунта

Диаметр частиц, мм	Площадь поверхности, мм ²	Объем частицы, мм ³	Удельная поверхность, мм ⁻¹
10,00	314,160	523,60	0,6
5,00	78,540	65,45	1,2
2,00	12,566	4,189	3
1,00	3,142	0,524	6
0,50	0,785	0,065	12
0,25	0,196	0,0082	24
0,10	0,031	0,0005	60

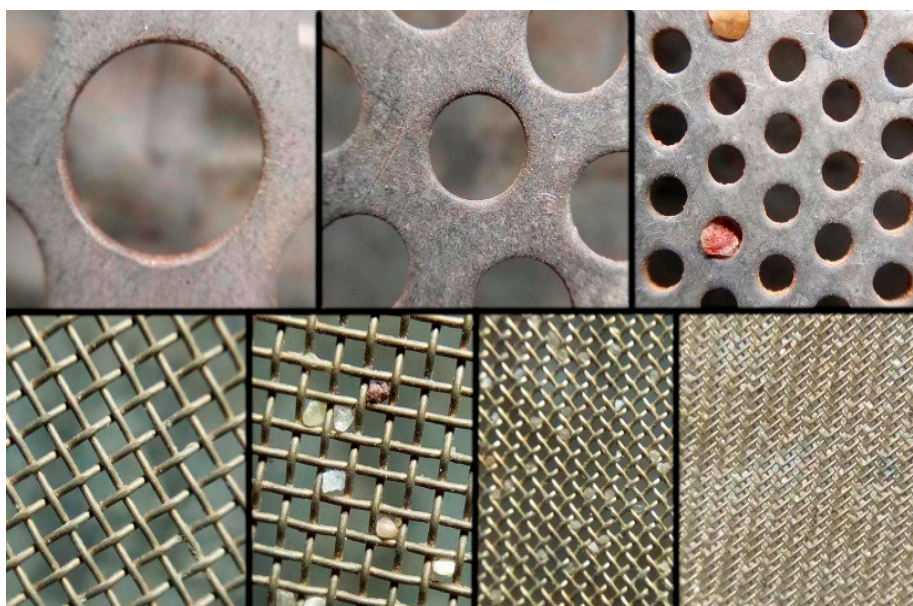


Рис. 2. Форма ячеек стандартного набора сит для определения гранулометрического состава

Для шарообразных частиц в качестве размера частицы выступает ее диаметр, соответствующий диаметру круглого отверстия; для частиц в форме куба, тетраэдра и т. д. – диаметр описанной окружности, через которую способна просыпаться частица соответствующей формы (рис. 3).

Проанализируем, как может меняться пористость частиц в зависимости от их формы. Предположим, что грунт состоит из одинаковых частиц в форме куба. Зададимся пористостью от 0 до 90 %, подсчитаем количество частиц в единице объема при заданной пористости и определим суммарную поверхность этих частиц. Частицы в форме куба выбраны неслучайно. Дело в том, что шарообразные частицы одинакового размера не удастся уложить с пористостью, равной нулю. Наименьшая пористость для плотной укладки составляет 25,95 %. Частицы в форме додекаэдра, состоящие из 12 граней пятиуголь-

ников, также не получится плотно разместить в пространстве, чтобы полностью заполнить его без зазоров. В то же время при оперировании с одинаковыми частицами в форме куба может быть достигнута нулевая пористость.

На рис. 4 представлен график зависимости удельной поверхности от размера кубической частицы при показателе пористости $n = 0$. С учетом того, что частицы уложены без зазора, зависимость можно описать следующим уравнением (с величиной достоверности аппроксимации $R^2 = 1$):

$$S_{уд} = \frac{\alpha}{d}, \quad (2)$$

где α – параметр, зависящий от формы частицы и плотности укладки частиц (для куба равен 6), – это параметр формы и плотности укладки частиц;

d – диаметр частицы, мм (для частицы в форме шара – D , куба – $0,707 D$).

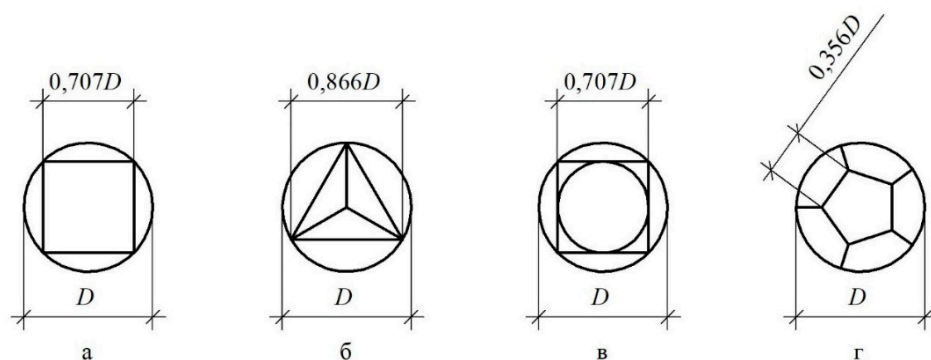


Рис. 3. Соотношение диаметров описанной окружности (отверстия сита) и размеров стороны частицы: а – куб; б – тетраэдр; в – цилиндр; г – додекаэдр

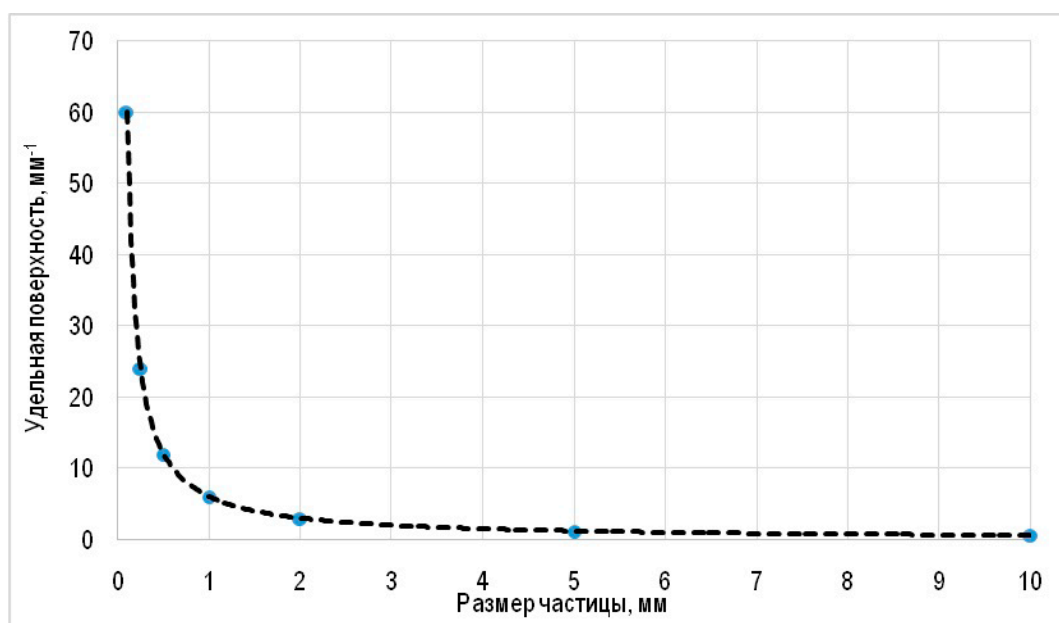


Рис. 4. График зависимости удельной поверхности от размера частицы фиктивного грунта

Задавая пористость от 0 до 90 % и подсчитав удельную поверхность частиц в заданном объеме, мы увидим, как изменяется параметр формы и плотности укладки частиц при изменении пористости (табл. 2).

Построив зависимость параметра формы и плотности укладки частиц от пористости $\alpha = f(n)$, видим, что данная функция является уравнением прямой (рис. 5) и описывается уравнением:

$$\alpha = -0,06 \cdot n + 6 \quad (3)$$

с величиной достоверности аппроксимации $R^2 = 1$.

Подставив полученное уравнение в формулу (2), получим зависимость удельной поверхности частиц от размера частиц и пористости:

$$S_{уд} = \frac{-0,06 \cdot n + 6}{d}, \quad (4)$$

где n – пористость, %.

Проведя аналогичные расчеты для фиктивного грунта, состоящего из частиц в форме шара в диапазоне пористости от плотного ($n = 25,95$ %) до рыхлого сложения ($n = 47,64$ %), замечаем сохранение зависимости (3) для определения параметра формы и плотности укладки частиц и, как следствие, зависимости (4).

Аналогичным образом получается формула для определения удельной поверхности идеального грунта, представляющего собой модель, которая состоит из одинаковых цилиндрических трубочек (капилляров):

$$S_{уд} = \left(\pi d_k^2 / \frac{\pi d_k^3}{4} \right) \cdot n = \frac{4 \cdot n}{d_k}. \quad (5)$$

Сопоставив модели фиктивного и идеального грунтов,

$$\frac{-6 \cdot n + 6}{d} = \frac{4 \cdot n}{d_k}, \quad (6)$$

где n – пористость в долях единицы, получим зависимость диаметра капилляра от размера частицы:

$$d_k = \frac{4 \cdot n \cdot d}{-6 \cdot n + 6} = \frac{2 \cdot n \cdot d}{3 \cdot (1 - n)}. \quad (7)$$

Из курса гидравлики известна зависимость между коэффициентом фильтрации и коэффициентом проницаемости:

$$k = \frac{\gamma_v \cdot k_0}{\mu}, \quad (8)$$

где k – коэффициент фильтрации, м/с;

γ_v – удельный вес воды, Н/м³;

k_0 – коэффициент проницаемости, м²;

μ – динамический коэффициент вязкости, Па·с.

Таблица 2. Значения параметра формы и плотности укладки частиц в форме куба

Пористость n , %	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
Параметр α	6	5,4	4,8	4,2	3,6	3	2,4	1,8	1,2	0,6

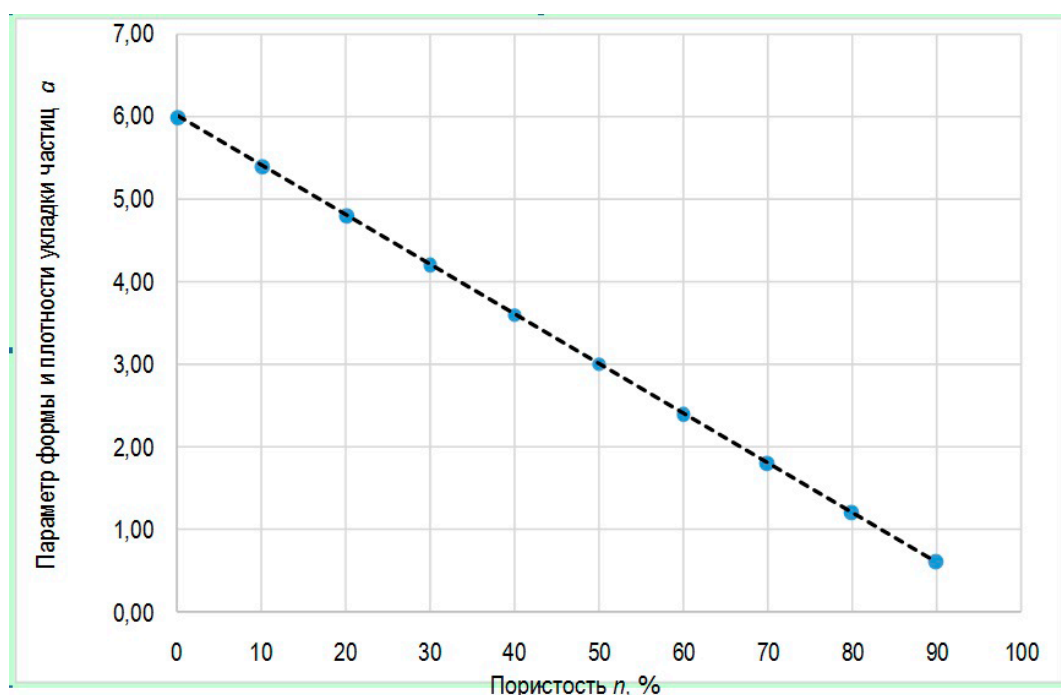


Рис. 5. Зависимость параметра формы и плотности укладки частиц от пористости для частиц в форме куба

Применив линейный закон фильтрации (А. Дарси, 1856):

$$v = \frac{k_0}{\mu} \cdot \frac{\Delta p}{l}, \quad (9)$$

где Δp – перепад давления между концами капилляра, Па;

l – длина капилляра, м,

и формулу Пуазейля:

$$u = \frac{d_k^2}{32 \cdot \mu} \cdot \frac{\Delta p}{l}, \quad (10)$$

где u – средняя скорость движения воды в капилляре, м/с,

для случая одномерной фильтрации в ламинарном режиме с учетом того, что средняя скорость потока

$$v = n \cdot u, \quad (11)$$

получаем равенство:

$$\frac{k_0}{\mu} \cdot \frac{\Delta p}{l} = \frac{n \cdot d_k^2}{32 \cdot \mu} \cdot \frac{\Delta p}{l}. \quad (12)$$

С использованием зависимости (7) и (12) формулу (8) можем записать в виде:

$$k = \frac{\gamma_v}{72 \cdot \mu} \cdot \frac{n^3}{(1-n)^2} \cdot d^2. \quad (13)$$

Нерешенным остается вопрос, какой размер частиц стоит принимать и насколько точно он будет соответствовать моделям идеального и фиктивного грунтов. Решить данную задачу поможет теория эквивалентной сферы, согласно которой при измерении некоторых характеристик частиц они соотносятся с размером эквивалентной сферы, и, как следствие, нет необходимости описывать частицы рядом числовых значений (таких как длина, ширина, высота, масса, площадь поверхности, объем и т. п.).

Простейшей геометрической характеристикой пористой среды является эффективный диаметр частиц грунта. Его можно найти различными способами: микроскопическим, ситовым, седиментационным и т. п. Эффективный диаметр (d_s) – это такой диаметр частиц фиктивного грунта, при котором гидравлическое сопротивление фильтрующейся воды одинаково для всех моделей грунтов.

Его вычисляют по гранулометрическому составу по формуле веса средней частицы:

$$d_s = \sqrt[3]{\frac{\sum m_i d_i^3}{\sum m_i}}, \quad (14)$$

где d_i – средний диаметр i -й фракции;

m_i – массовая или счетная доля i -й фракции.

Для приведения диаметра, найденного микроскопическим или ситовым методами, в соответствие гидравлическому сопротивлению потока необходимо ввести поправку гидравлической формы. При определении диаметра гидродинамическими методами поправка не требуется.

Имея дело с реальными грунтами, представленными частицами всевозможных форм и размеров, следует учитывать наличие мелкодисперсных фракций, оказывающих значительное влияние на их пористость, проницаемость, водоудерживающую способность, капиллярные свойства. Для песчаных грунтов в силу их крупнозернистости (и, как следствие, крупнопористости) капиллярные свойства проявляются лишь на стыках частиц.

Смеси песка с сапропелем характеризуются мелкопористостью, так как частички сапропеля в некоторой степени заполняют крупные поры песка, уменьшая их до размеров капилляров, и чем больше сапропеля в смеси, тем в большей степени это проявляется. Кроме того, органическое вещество сапропеля способно удерживать несопоставимо большее количество воды, нежели минеральные частицы смеси. В результате песчано-сапропелевые смеси характеризуются более ярко выраженными капиллярными свойствами. Размер порового пространства также влияет на влагоемкость и проницаемость пород. Воде гораздо легче просачиваться через крупные поры. При уменьшении пор до уровня капилляров ей все сложнее передвигаться из-за влияния капиллярных сил, и чем миниатюрнее поры, тем сильнее это влияние. При еще большем снижении размера порового пространства значительная его часть заполнена физически связанной водой.

Оценивая фильтрационную устойчивость материала противифльтрационных преград из нетвердеющих заполнителей (смесь песчаного грунта с сапропелем), следует принимать размер частиц дисперсной фракции, полученный по результатам механического анализа, с учетом толщины водных пленок, удерживаемых на поверхности частиц силами электростатического притяжения (рис. 6).

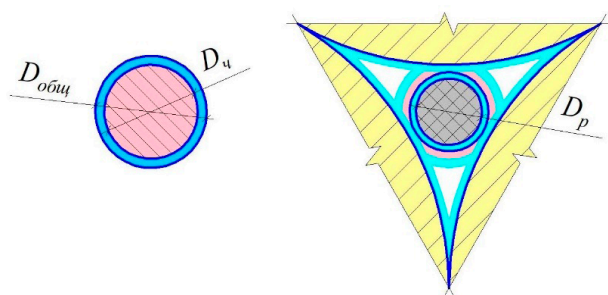


Рис. 6. Схема фильтрационного хода и частицы:
 $D_ч$ – диаметр частицы, способной просыпаться
 сквозь пору в сухом грунте;

$D_{общ}$ – диаметр частицы с учетом пленки физи-
 чески связанной воды;

D_p – реальный диаметр частицы, способный
 быть вынесенным из грунта

Подходы к возможному учету данного вида
 воды приведены в работах [1, 3]. Коэффициент,
 учитывающий уменьшение диаметра пор:

$$K_1 = \sqrt[3]{\frac{V_{тф}}{V_{тф} + V_w^m}}, \quad (15)$$

где $V_{тф}$ – объем твердой фазы;

V_w^m – объем воды при влажности, равной
 молекулярной.

Заключение

В результате сопоставления моделей
 фиктивного и идеального грунтов получена
 зависимость коэффициента фильтрации от
 пористости и размера частиц. В качестве гео-
 метрической характеристики пористой среды
 предложено использовать эффективный диа-
 метр частиц грунта. Учитывать пленки физи-
 чески связанной воды, формирующейся вокруг

Коэффициент, учитывающий увеличение
 диаметра частиц, способных выноситься из
 грунта:

$$K_2 = \frac{1}{K_1} = \sqrt[3]{\frac{V_{тф} + V_w^m}{V_{тф}}}. \quad (16)$$

Для исследованных видов сапропелей [4]
 величина коэффициента K_1 колеблется в диа-
 пазоне 0,811–0,874, коэффициента K_2 – от 1,114
 до 1,232. В этом случае важно учитывать, что по-
 добные пленки формируются не только вокруг
 частиц, которые способны быть вынесены из
 грунта, но и вокруг частиц, формирующих пору.
 Кроме того, в реальных грунтах, сложенных да-
 леко не шарообразными частицами, следует
 учитывать зазор (вводить поправку на форму
 частиц) между выносимой частицей и стенкой
 поры. Таким образом, для полного учета влия-
 ющих факторов данные коэффициенты нужно
 использовать в третьей степени, то есть K_1^3 или
 K_2^3 . Коэффициент, учитывающий уменьшение
 диаметра пор для исследованных сапропелей
 составит 0,533–0,667, а коэффициент, учитыва-
 ющий увеличение диаметра частиц, способных
 выноситься из грунта, составит 1,382–1,870.

частиц в дисперсных грунтах, и форму этих
 частиц предложено путем введения коэф-
 фициентов. Для исследованных сапропелей
 коэффициент, учитывающий уменьшение ди-
 аметра пор, составит 0,533–0,667, а коэффи-
 циент, учитывающий увеличение диаметра
 частиц, способных выноситься из грунта, со-
 ставит 1,382–1,870.

Библиографический список

1. Боровиков, А. А. Мелиорация песчаных грунтов суспензией сапропеля / А. А. Боровиков // Мелиорация. – 2012. – № 1. – С. 220–229.
2. Боровиков, А. А. Результаты статистической обработки фильтрационных исследований / А. А. Боровиков // Мелиорация. – 2013. – № 1. – С. 37–45.
3. Боровиков, А. А. Фильтрационная устойчивость смесей песка и сапропеля / А. А. Боровиков // Мелиорация. Современные методики, инновации и опыт практического применения : материалы Междунар. науч.-практ. конф., Минск, 19–20 окт. 2017 г. / Нац. акад. наук Беларуси, Ин-т мелиорации; редкол.: Н. К. Вахонин [и др.]. – Минск, 2017. – С. 107–114.
4. Бочарников, В. С. К вопросу о сапропелях и их влиянию на водно-физические свойства в смесях с песком при строительстве и эксплуатации инженерно-мелиоративных систем / В. С. Бочарников, А. А. Боровиков // Изв. Нижневолж. агроуниверситет. комплекса. Наука и высш. проф. образование. – 2021. – № 4 (64). – С. 324–334.

5. Бочарников, В. С. Эффективность противofiltrационной песчано-сапропелевой завесы на примере шлюза-регулятора мелиоративных систем / В. С. Бочарников, А. А. Боровиков // Изв. Нижневолж. агроуниверситет. комплекса. Наука и высш. проф. образование. – 2021. – № 4 (64). – С. 463–471.

6. Боровиков, А. А. Строительство противofiltrационных завес с экологической точки зрения / А. А. Боровиков // Инновационные технологии в мелиорации и сельскохозяйственном использовании мелиорированных земель : тез. докл. Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 100-летию со дня рожд. акад. С. Г. Скоропанова, Минск, 15–17 сент. 2010 г. / НАН Беларуси, Ин-т мелиорации; редкол.: Н. К. Вахонин [и др.]. – Минск, 2010. – С. 31–33.

7. Боровиков, А. А. О необходимости мероприятий инженерной защиты водоподпорных и водопроводящих сооружений / А. А. Боровиков // Вестн. мелиорат. науки. – 2021. – № 1. – С. 4–8.

Поступила 13 мая 2022 г.

ОСУШИТЕЛЬНАЯ СПОСОБНОСТЬ ДРЕНАЖА НА ТЯЖЕЛЫХ ПОЧВАХ

А. И. Митрахович¹, кандидат технических наук

И. Ч. Казьмирук², кандидат технических наук

¹РУП «Институт мелиорации», г. Минск, Беларусь

²Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Беларусь

Аннотация

Изучен опыт исследования осушительной способности дренажа на слабопроницаемых минеральных почвах по данным отечественных и зарубежных ученых. Характеризуются природные условия изученных объектов и применяемые конструкции дренажа. Отмечаются основные причины неудовлетворительной работы дренажа и факторы, их обуславливающие. Приведены наиболее эффективные мероприятия и конструктивные решения дренажных систем, повышающие их быстродействие в сложных природных условиях на тяжелых почвах. Данный опыт исследований рекомендуется использовать при разработке конструкций дренажа с учетом изменяющихся природных условий, применяя современные, более технологичные способы строительства и новые материалы.

Ключевые слова: горизонтальный дренаж, почвогрунт, коэффициент фильтрации, траншейная засыпка, пахотный слой.

Abstract

A. I. Mitrakhovich, I. Ch. Kazmiruk

THE DRAINAGE CAPACITY OF DRAINAGE ON HEAVY SOILS

The article considers the experience of studying the drainage capacity of drainage on poorly permeable mineral soils according to the data of domestic and foreign scientists. The natural conditions of the studied objects and the applied drainage designs are characterized. The main reasons for the unsatisfactory operation of drainage and the factors causing them are noted. The most effective measures and constructive solutions for drainage systems are given, which increase their performance in difficult natural conditions on heavy soils. It is recommended to use this research experience in the development of drainage structures, taking into account changing natural conditions, using modern, more technological construction methods and new materials.

Keywords: horizontal drainage, soil, filtration coefficient, trench backfill, arable layer.

Введение

Актуальная долговременная задача мелиоративной отрасли Республики Беларусь – повышение эффективности действия мелиоративных систем по регулированию водного режима почв. В первую очередь это касается систем горизонтального дренажа, которым в нашей стране осушено более 2 млн га переувлажненных земель. Однако если осушение переувлажненных легких почвогрунтов не является проблемой, то мелиорация тяжелых – тема постоянных дискуссий и споров.

Эффективность работы дренажной системы зависит от многих факторов. В течение

длительного времени во многих странах, в том числе и Беларуси, велись работы по совершенствованию дренажных систем на тяжелых слабопроницаемых почвах для повышения эффективности их действия. Достижение этой цели сводится к выбору наиболее эффективной засыпки дренажной траншеи различных конструкций дренажа с учетом характера поступления воды в дрены, обеспечивающих необходимую интенсивность осушения и высокую их надежность, а также улучшению водно-физических свойств почвогрунтов.

Основные результаты

Учеными Украинского института инженеров водного хозяйства в результате многочисленных исследований установлено, что одним из наиболее эффективных способов является закрытый дренаж с фильтрующей засыпкой

и поперечной прокладкой кротовых дрен, то есть комбинированный дренаж [1].

Другие исследователи отмечают, что основной причиной неудовлетворительного действия дренажа на тяжелых почвогрунтах

является низкая водопроницаемость подпахотного горизонта и дренажной засыпки [2]. Установлено, что в 50 случаях из 100 коэффициент фильтрации традиционной дренажной засыпки менее 0,2 м/сут, при этом максимальный модуль стока не превышает 0,3 л/с с га.

Согласно научно обоснованной концепции осушения слабоводопроницаемых почвогрунтов требуемая интенсивность осушения сельскохозяйственных земель закрытым дренажем может быть достигнута при расстоянии между элементами закрытой регулирующей сети не более 3–5 м в зависимости от окультуренности подпахотного слоя и использования земель. В связи с тем, что более 70 % избыточной воды поступает в дренаж по пахотному слою и по поверхности почвы, дренажная засыпка обязательно должна иметь повышенную водопроницаемость для обеспечения гидравлической связи с пахотным слоем и поверхностью почвы.

В результате экспериментов, проведенных Северным научно-исследовательским институтом гидротехники и мелиорации на опытных участках с различными вариантами конструкций дренажа, было доказано следующее:

- поглощательные колонки из крупнопористых материалов на систематическом дренаже повышают дренажный сток в 1,2 раза осенью и до 2,8 раза весной и зимой;
- двухъярусный дренаж отводит в среднем в 3,8 раза больше воды, чем систематический с междренним расстоянием 10 м и объемным фильтром из ПГС слоем 0,2 м, а при наличии мерзлоты – в 12 раз больше воды, чем систематический [2].

В Эстонии проводились исследования осушительной способности дренажа на тяжелых почвах [3, 4]. Установлено, что в подпахотном слое почв содержалось 75–85 % физической глины на глубине 0,3–0,5 м с $K_f = 0,008$ м/сут и что закрытый дренаж в этих условиях функционирует в режиме отвода поверхностных вод.

Переформировать поверхностный сток во внутрпочвенный при помощи глубокого дренажа (более 1,5 м) на глинистых почвах практически не удалось [2]. Средняя глубина дрен составляла 0,9–1,2 м с расстоянием между ними 10–12 м. Дрены присыпались гумусовым горизонтом, слоем 15 см. Траншейная засыпка состояла из вынутого грунта, содержащего 75–78 % глины. При сумме осадков за три месяца порядка 465 мм большая часть дренажа

в 1978–1981 гг. оказалась малоэффективной, повсеместно наблюдалось недоосушение: засыпка и подпахотный слой из-за переувлажнения и давления тяжелой уборочной техники сильно переуплотнились.

Анализ фильтрационной способности элементов дренажа показал, что пахотный слой тяжелых почв является составной его частью, поэтому для хорошей осушительной способности дренажа важна его высокая водопроницаемость, при которой обеспечивается приток воды к дренам в объеме расчетного модуля стока. При определении диаметра коллектора он составляет на глеевых почвах 1,1 л/с с га, на перегнойных глеевых – 1,3 л/с с га. Этим значениям соответствуют следующие значения притока воды (q) к дренам: при расстоянии между ними $E = 10$ м – 1,1 см³/с на 1 м длины, а при $E = 12$ м – 1,32–1,56 см³/с.

Для определения q предлагается формула:

$$q = 1,48 \cdot k \cdot h, \quad (1),$$

где q – приток воды к дрене с двух сторон на 1 м ее длины, м³/с;

k – коэффициент фильтрации пахотного слоя, м/сут;

h – мощность пахотного слоя, м.

Как показали исследования, водопроницающая способность пахотного слоя глинистых почв $h = 0,2$ м в зависимости от их состояния изменяется от 1,5 до 8,2 см³/с при коэффициенте фильтрации 0,45–2,4 м/сут. Соответственно, водопроницаемость пахотного слоя обеспечивает формирование расчетного модуля стока.

Засыпки дренажных траншей состояли:

- из почвы пахотного слоя, содержащего гумус более двух третей по объему;
- смеси глины с содержанием гумуса от одного до двух третей с пахотной почвой;
- глины, вынутой при отрывке траншеи (обратная засыпка).

Результаты исследований показывают, что в улучшении водопроницаемости засыпки большую роль играет гумусовый слой. Например, при сроке эксплуатации 20–30 лет водопроницаемость засыпки, состоящей из гумусовой почвы и глины в пропорции 1:1, в 7–8 раз превышала водопроницаемость засыпки из глины, а у засыпки, состоящей только из гумусовой почвы, – в 15–20 раз.

Содержание гумусовой почвы оказывает влияние на продолжительность эффективного действия засыпки: чем больше ее в засыпке,

тем медленнее происходит снижение ее водопроницаемости. Водопроницаемость тяжелых почв, осушенных закрытым горизонтальным дренажем, с содержанием в обратной засыпке траншеи 75–85 % физической глины с $K_{\phi} = 0,04$ м/сут, превышала водопроницаемость нетронутого подпахотного слоя примерно в 5 раз.

Фильтрационный расход через поперечное сечение засыпки траншеи шириной 0,5 м и при равномерном притоке воды по ее длине определяется по формуле:

$$q = 57,9 \cdot K_z / E \quad (2),$$

где K_z – коэффициент фильтрации засыпки, м/сут;

E – расстояние между дренами, м.

Вычисленная по этой формуле пропускная способность траншейной засыпки из смеси гумусового слоя и глины 1:1 не приводит к требуемой интенсивности осушения. Пропуск расчетного модуля стока, равного 1,1 л/с-га, обеспечивается при засыпке с содержанием гумусовой почвы около 50 %.

Присыпка дрена на тяжелых почвах должна выполнять функцию объемного фильтра с коэффициентом фильтрации более 1 м/сут. Гумусовая почва, применяемая как траншейная засыпка, удовлетворяет этому требованию в первые 15 лет эксплуатации дренажа. При использовании ее в качестве присыпки дрена общая водопроницаемость траншейной засыпки оказывается в 13 раз ниже требуемой. Это объясняется переувлажнением обсыпки дрена под действием нагрузки от засыпки и гидравлическим давлением, а также кольматацией гумусовой обсыпки дрена глинистым грунтом.

По данным К. Алеханда, при строительстве дренажа на почвах тяжелого гранулометрического состава для присыпки дрена использовался отвал грунта, где гумусовая почва перемешивается с глиной [5]. При экскавации мокрого грунта создается смесь, представляющая собой водонепроницаемый, а не фильтрующий материал.

Не оправдала себя обсыпка дрена из фрезерного торфа, которая в первые 2 года эксплуатации обеспечивала в 1,7 раза более высокие модули дренажного стока по сравнению с присыпкой из пахотного слоя. Однако после 17 лет работы разложившийся фрезерный торф представлял собой слабоводопроницаемую студенистую массу.

Для повышения водопроницаемости дрена может применяться гравийная засыпка. Также установлено, что в результате кольматации глиной водопроницаемость гравийной засыпки значительно снижается. Присыпка из грунта пахотного слоя функцию объемного фильтра не выполняет. Для обеспечения надежной гидравлической связи верхнего водопроницаемого слоя с дренажной трубой важна засыпка с хорошей проницаемостью. Это может достигаться засыпкой траншеи сухим грунтом с содержанием гумусовой почвы порядка 50 %. Непосредственно на дренах рекомендуется укладывать объемные фильтрующие материалы (гравий, опилки, древесную щепу, остатки торфа верхних слоев и – в порядке исключения – солому толщиной не менее 5 см), а на них присыпку из гумусового горизонта.

К мерам временного действия относится глубокое рыхление. Глубокая вспашка, рыхление тяжелых почв, а также посев трав улучшают их водно-физические свойства. Кротование оказывает положительную роль, что доказано опытами, проведенными исследователями Белорусской сельхозакадемии еще в 1948 г. Высокая эффективность бессточного кротового дренажа и эффективность комбинированного дренажа на лессовых почвах доказана в опытах А. И. Богдановича при осушении почв в Горечком районе [6]. Устойчивая работа кротовых дрена сохранялась более 3 лет.

На эффективность действия дренажа на тяжелых минеральных почвах существенно влияют дренажные засыпки, о чем указывают данные работ на опытных гидромелиоративных площадках участка «Коринка» и при естественном увлажнении почвы весной. Так, исследовались дренажные засыпки из аглопорита, керамзита, песка, пахотного слоя и вынутого грунта. Наиболее эффективными оказались засыпки из аглопорита с керамзитом, которые увеличили дренажный сток в осенний период на участке «Коринка» в 25 раз, засыпка из керамзита – в 21 раз, из пахотного слоя – в 11 раз по сравнению с обратной засыпкой вынутым грунтом.

Эти данные получены спустя два года после строительства закрытого дренажа, когда засыпка уже уплотнилась. Коэффициент фильтрации засыпки из грунта пахотного слоя

и вынутого грунта составляли 1,7 и 0,3 м/сут соответственно. Исследования показали, что водопроницаемость грубопористых и гравийно-песчаных засыпок существенно не изменилась. Их кольматация при обработке почвы также не наблюдалась. В зимний период пустоты между отдельными агрегатами фильтрующего материала на 60–70 % были заполнены рыхлым льдом, однако оставшихся свободных пустот оказалось достаточно для отвода избыточных вод в весенний период.

Процесс осушения дренажа тяжелых минеральных почвах породил дискуссию о нецелесообразности его применения. Однако обширные и всесторонние опыты по изучению работоспособности гончарного дренажа, проведенные под руководством А. И. Ивицкого на опытных участках в Шарковщинском районе, доказали, что его эффективность зависит от многих факторов и, в частности, от дополнительных мероприятий по отводу поверхностных вод, водопроницаемости дренажных засыпок, уровня агротехники и глубины промерзания почвы [7, 8].

Доказано, что на одном и том же участке с тяжелыми почвами гончарный дренаж работает хорошо при малой глубине промерзания (30–65 см) и очень плохо или вовсе не работает при большой глубине промерзания почвы и засыпок (80–90 см) [9].

Главные задачи при осушении тяжелых почв – своевременный отвод поверхностных вод и перераспределение влаги по почвенным горизонтам. Необходимо применять для отвода поверхностной воды водопроницаемую дренажную засыпку хотя бы из грунта пахотного слоя, проводить планировку поверхности для ликвидации мелких западин, в понижениях устанавливать колодцы-поглотители или использовать выборочный дренаж с грубопористой засыпкой траншеи и др.

Для выяснения путей попадания воды в дренажную засыпку проведены специальные

опыты на двухъярусном дренаже: в траншею закладывалась гончарная дрена на глубине 1,0 м, ее засыпали на высоту 0,5 м пахотным гумусным слоем с коэффициентом фильтрации 2–3 м/сут. Задача верхней дрены – отводить воду из глинистого горизонта почвы с коэффициентом фильтрации 0,2 м/сут. Верхняя дрена отводила воду из пахотного и подпахотного слоев, а также воду, поступающую с поверхности почвы.

Исследования показали, что дренаж действовал довольно интенсивно. Дрена верхнего яруса отвела за месяц 25,8 мм избыточной воды, а нижнего – 27 мм. На долю стока с поверхности почвы пахотного слоя и частично подпахотного приходилось 48 %, а на долю подпахотного и подстилающего горизонта мощностью 0,5 м – 52 %. В летний и осенний периоды, когда выпадали осадки в пределах среднесезонной нормы или происходило кратковременное переувлажнение, соотношение изменялось в сторону увеличения отвода воды верхним ярусом.

При изучении формирования стока по горизонтам тяжелых глин в условиях Калининградской обл. (Российская Федерация) было установлено, что годовой объем дренажного стока в среднем по водности году распределяется следующим образом: сток пахотного слоя – 43 %, подпахотного – 29, сток по поверхности почвы через засыпку – 28 % [9].

Краткий обзор опыта исследований осушительного действия горизонтального дренажа на слабводопроницаемых грунтах в различных регионах позволяет судить о его эффективности и целесообразности строительства с учетом установленных достоинств дренажных систем с применением разных конструктивных решений. Следует принимать во внимание недостаточный объем научных исследований по вопросам действия горизонтального дренажа на тяжелых почвах в последние десятилетия.

Выводы

1. Проанализированы результаты опыта исследований осушительного действия горизонтального дренажа на тяжелых почвах в условиях России, Беларуси, Украины, Эстонии.
2. Установлены основные факторы и конструктивные решения дренажа, влияющие на его неудовлетворительную работу.

3. Отмечаются конструктивные элементы дренажа, наиболее существенно влияющие на повышение его осушительного действия.

4. Рекомендуются расчетные зависимости для определения притока воды к дренам.

Библиографический список

1. Кожушко, П. Ф. Агромелиоративная дренажная система для тяжелых почв / П. Ф. Кожушко, С. В. Кравец // Мелиорация и вод. х-во. – 1990. – № 6. – С. 40–42.
2. Штыков, В. И. Прогрессивные конструкции дренажа для осушения слабоводопроницаемых грунтов / В. И. Штыков, А. И. Климко // Мелиорация и вод. х-во. – 1997. – № 1. – С. 43–45.
3. Томсон, Х. Ю. Исследование действия глубокого дренажа на тяжелых глинистых почвах / Х. Ю. Томсон // Науч. тр. Эстон. НИИ земледелия и мелорации. – Таллин, 1985. – С. 139–147.
4. Томсон, Х. Ю. Осушительная способность дренажа на глинистых почвах Эстонии / Х. Ю. Томсон // Науч.-техн. информация по мелиорации и вод. х-ву. – 1991. – № 10. – С. 37–39.
5. Изучение качества дренажа в 1974–1982 гг. (рекомендации для мелиораторов) / К. Ф. Алеканд [и др.]. – Таллин, 1983. – 40 с.
6. Богданович, А. И. Осушение пылевато-суглинистых периодически переувлажняемых почв разреженным и выборочным гончарным дренажем : автореф. дис. ... канд. с.-х. наук / А. И. Богданович ; М-во с. х. СССР, Белорус. с.-х. акад. – Горки, 1964. – 24 с.
7. Ивицкий, А. И. Основы проектирования и расчетов осушительных и осушительно-увлажнительных систем / А. И. Ивицкий. – Минск : [б. и.], 1993. – 202 с.
8. Ивицкий, А. И. Осушительное действие закрытого дренажа в минеральных почвах / А. И. Ивицкий // Тр. БелНИИМВХ. – Минск : Ураджай, 1968. – Т. 16. – С. 3–23.
9. Мелиорация тяжелых минеральных почв : сб. науч. тр. / Сев. НИИ гидротехники и мелиорации ; А. И. Климко (гл. ред.). – Ленинград : СевНИИГиМ, 1983. – 117 с.

Поступила 2 июня 2022 г.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ЭЛЕКТРОАКТИВАЦИИ ВОДЫ

А. Мухаммадиев¹, доктор технических наук

К. Баймаханов², кандидат технических наук

М. Мустафаев³, доктор аграрных наук

Д. Р. Юсупов⁴, PhD

Г. М. Эргашев⁵, преподаватель

¹Институт проблем энергетики Республики Узбекистан, г. Ташкент, Узбекистан

²Южно-Казахстанский государственный университет имени М. Ауэзова, г. Шымкент, Казахстан

³Институт почвоведения и агрохимии НАН Азербайджана, г. Баку, Азербайджан

⁴Наманганский инженерно-строительный институт, г. Наманган, Узбекистан

Аннотация

Проанализировано действие электроактиватора, межэлектродное пространство которого разделено диафрагмой. Установлена зависимость сопротивления в камерах при разных температурах воды. Приводится сравнение экспериментальных и теоретических значений сопротивлений.

Ключевые слова: электроактиватор воды, электроактивация водных растворов, анолит, католит, схема замещения, камера, диафрагма, сопротивление, удельное сопротивление, мощность, вода, температура.

Abstract

A. Muhammadiev, K. Baimakhanov, M. Mustafae, D. Yusupov, G. Ergashev

STUDY OF THE PROCESS OF WATER ELECTROACTIVATION

The effect of an electroactivator whose interelectrode space is separated by a diaphragm has been analyzed. The dependence of the resistance in the chambers at different water temperatures has been established. The comparison of experimental and theoretical values of resistances is given.

Keywords: electroactivator of water, electroactivation of water solutions, anolyte, catholyte, equivalent circuit, chamber, diaphragm, resistance, resistivity, power, water, temperature.

Введение

Активированные растворы воды ввиду своих уникальных свойств нашли весьма широкое применение в растениеводстве, животноводстве, птицеводстве, пчеловодстве, медицине, строительстве и др. Исследования по применению активированной воды очень интенсивно проводятся в различных странах мира. Ученые, исследовавшие как достоинства, так и побочные действия химических лекарственных средств, активно ищут новые экологически чистые технологии, которые бы не вызывали аллергических осложнений и резистентности (невосприимчивости) и не имели побочных эффектов [1–3].

Сущность электрохимической активации состоит в том, что разбавленные растворы минеральных солей (к ним относится и обыч-

ная питьевая вода) в результате анодной или катодной (униполярной) обработки в диафрагменном проточном электроактиваторе переходят в метастабильное (активированное) состояние, характеризующееся аномальной физико-химической активностью.

Вместо традиционно используемых растворов специальных химических реагентов применяют полученные растворы – католит или анолит. Католит, имея выраженную щелочную реакцию и R_h , равный –800 мВ, обладает восстановительными свойствами и при взаимодействии с биологическими молекулами выступает в качестве донора электронов. Анолит, имея кислую реакцию и R_h , равный +300 мВ, проявляет окислительные свойства.

Электрический потенциал на внешней стороне тканей при обработке их анолитом воз-

растает, а при обработке католитом или смесью католита и анолита снижается. Анолит при контакте с клеточной мембраной порождает

протон-движущую силу, направленную внутрь клеток, а католит и смесь католита и анолита – силу противоположного направления.

Результаты исследования и их обсуждение

Предлагаемая установка для электроактивации воды представляет собой устройство полустационарного типа, работающее в постоянном режиме и обслуживаемое одним оператором. Поток воды, попадая в полость, приобретает змеевидную направленность благодаря особой конструкции [4]. Из анализа научной литературы, посвященной видам конструкции электроактиватора, можно заключить, что они представляют собой в первую очередь проточный нагреватель жидкости. Все основные расчеты по активатору можно вести на основе его расчета. Энергия, затраченная из электрической сети, уходит на нагрев воды, одновременно происходит диссоциация молекул. В результате увеличивается температура жидкости на выходе активатора и изменяется уровень водородного показателя (отдельно в каждой камере активатора).

В связи с этим представим электроактиватор в виде проточного электроводонагревателя, межэлектродное пространство которого

разделено диафрагмой. Схема замещения электроактиватора представлена на рис. 1.

С учетом такой схемы замещения проводить анализ электроактиватора будет удобнее, если проанализировать каждую камеру и диафрагму в отдельности [5]. Согласно [6] при расчете водонагревателя

$$P = \frac{Q \cdot \rho_{\text{ж}} \cdot c \cdot (t_{\text{к}} - t_{\text{н}})}{\eta_{\text{н}}}, \quad (1)$$

где Q – производительность активатора, м³/с; $\rho_{\text{ж}}$ – плотность жидкости, кг/м³; c – удельная теплоемкость воды, 4,19 кДж/кг·°С; $t_{\text{к}}$, $t_{\text{н}}$ – температура соответственно в конце и начале нагрева, °С; $\eta_{\text{н}}$ – КПД активатора по нагреву, принимается в пределе 0,9–0,98. Разница температур $t_{\text{к}}$, $t_{\text{н}}$ – это фактически превышение температуры конечной над начальной.

Исходя из этого, можно рассчитать мощность, необходимую для нагрева воды до определенной температуры в каждой камере активатора в ходе его работы.

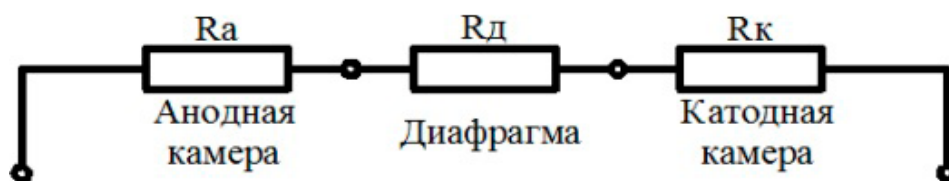


Рис. 1. Электрическая схема замещения электроактиватора

Рассчитаем мощность, необходимую для нагрева воды в анодной камере до 70 °С, ступенчато увеличивая разность температур от 10 до 70 °С с шагом в 10 °С.

Расчет мощности проведем при производительности анодной камеры:

$$Q = 8,0 \text{ л/с} = 0,22 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с}.$$

Мощность, необходимая для нагрева воды от 0 до 10 °С:

$$P = \frac{0,22 \cdot 10^{-3} \cdot 4,19 \cdot 10^3 (10 - 0)}{0,9} = 100 \text{ Вт}.$$

Аналогично рассчитаем мощность для других диапазонов температур (полученные результаты сведены в таблицу). С возрастанием температуры увеличиваются степень диссоциации молекул солей на ионы и их

подвижность, вследствие чего проводимость повышается, а сопротивление снижается. Сопротивление воды можно определить по формулам [7]:

$$R = \rho_l \cdot \frac{l}{S}, \quad (2)$$

где ρ_l – удельное сопротивление воды, Ом · м;

l – расстояние от диафрагмы до электрода в камере, м;

S – площадь сечения канала протекания жидкости, м²;

$$\rho_l = \frac{1}{y_l} = \frac{\rho_{20}}{1 + \alpha(t - 20)}, \quad (3)$$

где y_t – проводимость воды при температуре воды, отличной от 20 °С;

ρ_{20} – сопротивление воды при 20 °С;

α – температурный коэффициент проводимости, равный 0,025–0,035 °С⁻¹.

Если принять $\alpha = 0,025$ °С⁻¹, то удельное сопротивление воды определим по формуле:

$$\rho_t = \frac{40 \cdot \rho_{20}}{t + 20} \quad (4)$$

Подставив (4) в (2), получим окончательное выражение для определения сопротивления воды:

$$R_c = \frac{40 \cdot \rho_{20}}{t + 20} \cdot \frac{l}{S} \quad (5)$$

Рассчитаем сопротивление воды при температуре 10 °С:

$$R_{c(10)} = \frac{40 \cdot 1600}{10 + 20} \cdot \frac{0,6}{36,1} = 35,43 \text{ Ом.}$$

Аналогично рассчитаем сопротивление воды для других диапазонов температур.

Сопротивление диафрагмы определим согласно формуле:

$$R_d = \rho_d \cdot \frac{l_d}{S \cdot \alpha_d} = \frac{40 \cdot \rho_{20}}{t + 20} \cdot \frac{l_d}{S \cdot \alpha_d} \quad (6)$$

где ρ_d – удельное сопротивление диафрагмы;

l_d – толщина диафрагмы;

S – активная площадь диафрагмы;

α_d – коэффициент уменьшения естественной площади для жидкости в диафрагме.

Рассчитаем сопротивление диафрагмы при изменении температуры на 10 °С:

$$R_d = \frac{40 \cdot 1600}{10 + 20} \cdot \frac{0,2}{36,1 \cdot 0,666} = 17,7.$$

Аналогично рассчитывается сопротивление диафрагмы для других диапазонов температур (см. таблицу).

Построим графики, отражающие в соответствии с расчетными данными, зависимость сопротивления воды от подаваемой мощности и изменения температуры.

График (рис. 2) демонстрирует увеличение мощности потребления в результате снижения сопротивления воды в анодной камере.

На рис. 3 отражено, что в результате снижения сопротивления воды в соединении фиксируются увеличение тока в камере узла и повышение температуры.

Таблица. Зависимость сопротивления воды от подаваемой мощности и изменения температуры в анодной камере

ΔT , °С	10	20	30	40	50	60	70
P , Вт	100	200	310	410	510	620	720
$R_{\text{в}}$, Ом	35,43	26,5	21,2	17,7	15,19	13,3	11,8
$P_{\text{д}}$, Ом	17,7	13,44	10,74	8,9	7,67	6,71	5,97

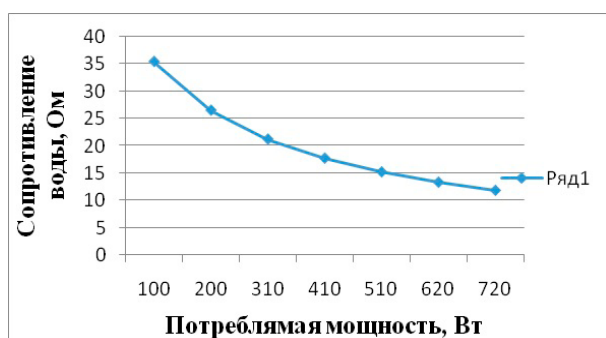


Рис. 2. График зависимости сопротивления воды от мощности, подаваемой на активатор

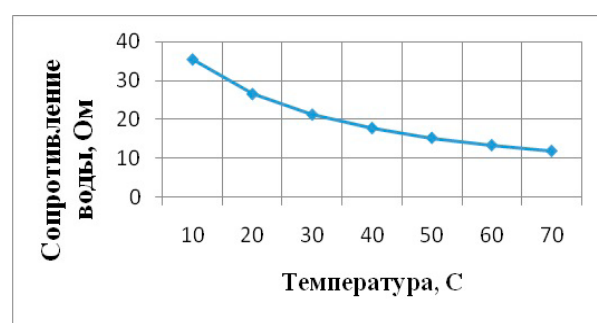


Рис. 3. График зависимости сопротивления воды от температуры

Выводы

В результате проведенных исследований установлено, что энергетическими свойствами воды можно управлять путем измерения ее температуры и потребляемой активной мощности, подаваемой на активатор.

Библиографический список

1. Способ подготовки к посеву семян хлопчатника : пат. 1482562 (1986) / В. Бурлаков, Н. Джабаров, А. Мухаммадиев, А. Ниязкулов, В. Тарушкин, Г. Уришев ; дата публ.: 30.05.1989.
2. Устройство для уничтожения сорной растительности : пат. 1586653 (1990) / А. Мухаммадиев, Т. Байзаков, М. Холияров, Г. Эрназарова, Н. Тошпулатов, П. Абдуллаев ; дата публ.: 23.08.90.
3. Мухаммадиев, А. О перспективах защиты сложного биологического объекта «Семя, почва и растение» от болезней с использованием электрического воздействия / А. Мухаммадиев, А. Санбетова // Intern. Journ. of Discourse on Innovation, Integration and Education. – 2020. – Vol. 1, № 4. – P. 154–159.
4. Электротехнология предпосевной обработки зерен пшеницы / Ш. И. Набиев, Д. Р. Юсупов, Э. Х. Беркинов, Д. Ж. Холбаев // Science Time. – 2016. – № 4 (28). – С. 596–602.
5. Изучение повышения эффективности дезинфекции воды ультрафиолетовыми лучами в водоснабжающих установках / Ш. И. Набиев, Э. Х. Беркинов, Д. Р. Юсупов, Р. Р. Юлдашев // Вестн. науки и творчества. – 2019. – № 3 (39). – С. 42–45.
6. Юсупов, Д. Р. Электрохимическая активация водных сред / Д. Р. Юсупов, Э. Х. Беркинов, Р. Н. Муродов // Вестн. науки и творчества. – 2018. – № 2 (26). – С. 48–51.
7. Абдуллаев, М. Т. Изучение нормативных условий выкормки восковой моли на основе электрохимический активированной воды / М. Т. Абдуллаев, Б. А. Хайитов, Д. Р. Юсупов // Междунар. науч. журн. – 2016. – Вып. 6. – Т. 3. – С. 103–104.

Поступила 13 апреля 2022 г.

• КОРМОПРОИЗВОДСТВО •

УДК 633.15:581.19+577.1:551.5:631.5

ИЗМЕНЕНИЕ БИОХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА МОРФОЛОГИЧЕСКИХ ЧАСТЕЙ И ПИТАТЕЛЬНОЙ ЦЕННОСТИ РАСТЕНИЙ КУКУРУЗЫ ПОД ВЛИЯНИЕМ ПОГОДНЫХ УСЛОВИЙ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРИЕМОВ ЕЕ ВОЗДЕЛЫВАНИЯ

А. З. Богданов, научный сотрудник

Д. В. Лужинский, кандидат сельскохозяйственных наук

Н. Ф. Надточаев, кандидат сельскохозяйственных наук

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

Аннотация

В 2019–2021 гг. в центральной части Беларуси на дерново-подзолистой связносупесчаной почве проведены исследования с тремя гибридами кукурузы (ДН Пивиха – ФАО 210, Полесский 202 – ФАО 230 и ДН Галатея – ФАО 250), возделываемыми при густоте растений 70, 90, 110 и 130 тыс./га, двух сроках сева и уборки с разницей в 2 недели. Изучен биохимический состав растений кукурузы и ее морфологических частей, что позволило выявить следующие закономерности: самое низкое содержание жира имеют стебли (1,0 %), высокое – початки (3,6 %) при среднем накоплении его в растениях 2,3 %; зольных элементов имеется соответственно 1,6 % в початках, 6,9 % в листьях, 4,0 % в растениях. Протеина меньше в стеблях (3,6 %), больше в початках (8,7 %); в среднем его в растении содержится 6,7 %. Клетчатки меньше в початках (7,5 %), больше в стеблях (36,2 %), в растении 23,0 %. БЭВ меньше в листьях (49,5 %), больше в початках (78,8 %), в растении 64,0 %. Погодные условия года являются наиболее существенным фактором, влияющим на изменение биохимического состава растений и некоторых морфологических частей кукурузы.

Ключевые слова: сырые жир, зола, протеин, клетчатка, БЭВ, растения, листья, стебли, обертки, початки кукурузы, биохимический состав, кормовые единицы, обменная энергия.

Abstract

A. Z. Bogdanov, D. V. Luzhinsky, N. F. Nadtochaev

CHANGES IN BIOCHEMICAL COMPOSITION OF MORPHOLOGICAL PARTS AND NUTRITIONAL VALUE OF CORN PLANTS UNDER THE INFLUENCE OF WEATHER CONDITIONS AND TECHNOLOGICAL METHODS OF ITS

In 2019–2021, in the central part of Belarus, studies were conducted on the derno-podzolic consolidated loamy soil with three maize hybrids (DN Piviha – FAO 210, Polesky 202 – FAO 230 and DN Galatea – FAO 250), cultivated at a plant density of 70, 90, 110 and 130 thousand/ha, two terms of sowing and harvesting with a difference of 2 weeks. The biochemical composition of maize plants and its morphological parts was studied, which made it possible to identify the following patterns. The stems have the lowest fat content (1.0 %), the cobs have the highest fat content (3.6 %), with an average accumulation of it in plants of 2.3 %. The ash elements are respectively 1.6 % in the cob, 6.9 % in the leaves and 4.0 % in the plants. Protein is less in the stems (3.6 %), more in the cob (8.7 %) and on average in the plant contains 6.7 %. Fiber is less in the cob (7.5 %), more in the stems (36.2 %), in the plant – 23.0 %. The nitrogen-free extractive substances is less in the leaves (49.5 %), more in the cobs (78.8 %), in the plant – 64.0 %. Weather conditions of the year are the most significant factor affecting the change in the biochemical composition of plants and some morphological parts of maize.

Keywords: raw fat, raw ash, raw protein, raw fiber, nitrogen-free extractive substances, plants, leaves, stems, wrappers, maize cobs, biochemical composition, feed units, exchange energy.

Введение

В соответствии с зоотехническими требованиями питательная ценность корма, помимо показателя содержания сухих веществ и сырого белка, определяется наличием сырой клетчатки и ее основных компонентов, крахмала, водорастворимых углеводов и мине-

ральных веществ. Питательность кормов выражается в кормовых единицах или обменной энергии. Источниками обменной энергии являются углеводы, жиры, протеины, поступающие с кормом [1]. Результаты анализов, проведенных в середине XX в., показывают, что

по мере созревания зерна кукурузы содержание БЭВ и жира в нем возрастает, а сырой клетчатки и зольных веществ – уменьшается. Сравнивая химический состав стеблей и листьев, Н. И. Захарьев показывает, что последние значительно богаче первых протеином, белком, жиром и зольными элементами по всем фазам развития растений культуры, но содержат меньше БЭВ и клетчатки. По общей оценке, химический состав оберток не усту-

пает по качеству стеблям и имеет лучший состав в сравнении со стержнями початков [1]. Аналогичные закономерности выявлены и учеными Научно-практического центра НАН Беларуси по земледелию [2]. Цель данной работы – изучение влияния погодных условий и технологических приемов возделывания кукурузы на биохимический состав морфологических частей и питательную ценность растений данной культуры.

Материалы и методы исследований

Исследования проводились в 2019–2021 гг. на опытном участке Научно-практического центра НАН Беларуси по земледелию на дерново-подзолистой связносупесчаной почве (рН – 6,11, гумус – 2,55 %, P_2O_5 – 193 мг/кг, K_2O – 276 мг/кг). Подготовка почвы – общепринятая для кукурузы. В опыте применялись: осенью под вспашку навоз КРС (в среднем 53 т/га), аммонизированный суперфосфат (1,5 ц/га), хлористый калий (2 ц/га), весной под первую обработку – карбамид (2,75 ц/га). Объектом исследований выступали гибриды ДН Пивиха (ФАО 210), Полесский 202 (ФАО 230) и ДН Галатея (ФАО 250), которые высевались в 2 срока: 1) ранний – при сумме положительных температур 200–250 °С (20 апреля 2019–2020 гг. и 23 апреля 2021 г.); 2) оптимальный – через 2 недели после первого срока. Уборка урожая также проводилась в 2 срока: при наступлении восковой спелости зерна и через 2 недели.

Результаты исследований и их обсуждение

Изучение биохимического состава растений кукурузы в целом (рис. 1) и морфологических частей в частности (рис. 2–5) показало существенные различия в содержании питательных элементов и их зависимость от различных факторов. Во всех рисунках приняты следующие сокращения: СЖ – сырой жир; СЗ – сырая зола; СК – сырая клетчатка; БЭВ – безазотистые экстрактивные вещества; к. ед. – кормовые единицы; СВ – сухое вещество; ОЭ – обменная энергия.

Так, из 5 элементов (протеин, жир, зола, клетчатка и безазотистые экстрактивные вещества) обертки, стебли, листья, равно как и целые растения, меньше всего содержали в сухом веществе жира. В обертках в среднем по всем вариантам трехлетнего опыта его содержание варьировало от 1,04 % (Полес-

Сравнительно благоприятным для формирования урожая кукурузы был 2019 г., однако ранние морозы (–2...–3 °С 24 и 25 сентября) привели к гибели листьев, особенно у более поздних гибридов при соответствующих сроках сева и уборки. Неблагоприятным оказался 2021 г., когда в критический для кукурузы период содержание влаги в пахотном слое почвы длительное время находилось на уровне мертвого запаса.

Сырая клетчатка определялась по ГОСТ 13496.2–91; сырой жир – ГОСТ 13496.15–2016; азот и сырой протеин – ГОСТ 13496.4–2019; сырая зола – ГОСТ 32933–2014. Расчет кормовых единиц проведен по [3], обменной энергии – по формуле, предложенной шведскими учеными [4]: $ОЭ (МДж) = 0,181 \text{ ПП \%} + 0,328 \text{ ПЖ \%} + 0,122 \text{ ПК \%} + 0,155 \text{ ПБЭВ \%}$, где ПП, ПЖ, ПК, ПБЭВ – переваримые протеин, жир, клетчатка, БЭВ в %. Коэффициенты переваримости установлены по [5] с учетом фазы развития растений и содержания питательных веществ в корме.

ский 202) до 1,3 % (ДН Галатея). Больше всего в этом органе растения его накопилось в 2021 г. (1,36 %), а меньше – в 2019 г. (0,96 %). Опоздание со сроками сева и уборки приводило к уменьшению содержания жира в обертках с 1,21 до 1,11 и с 1,23 до 1,09 % соответственно.

По содержанию жира в стеблях отмечают несколько иные закономерности: меньше всего его было у гибрида ДН Пивиха (0,95 %) и по-прежнему больше у ДН Галатея (1,07 %). В 2020 г. жира здесь накопилось 0,94 %, а в 2019 г. и 2021 г. – 1,03–1,04 %. Задержка с севом не приводила к снижению в них содержания жира (0,98 % при севе в апреле и 1,02 % в мае), в то время как более поздняя, на 2 недели, уборка, как и в случае с обертками, заметно снижала этот показатель с 1,07 до 0,94 %.

В листьях жира содержится больше, чем в стеблях и обертках. Как свидетельствуют данные наших исследований, в зависимости от генотипа гибрида этот показатель изменялся от 1,9 % (ДН Галатея) до 2,29–2,33 % у двух других. В связи с погодными условиями была выявлена еще большая разница: от 1,55 % в 2019 г. до 2,42–2,56 % в 2020–2021 гг. Надо полагать, морозы привели листья к гибели и снижению в них жира с 2,45 до 1,90 %.

Лишь в початке жира больше, чем золы: от 3,09 % у гибрида ДН Галатея до 3,76 % у гибрида ДН Пивиха. В отличие от листьев содержание жира в початках в 2019 г. было самым высоким (3,61 %), а в 2020 г. – самым низким

(3,22 %). Если сев задерживался, в початках оно не изменялось, а при более поздней уборке возрастало с 3,33 до 3,5 %.

По содержанию жира в целом растении отмечают следующие закономерности: как и в початках, его больше всего накопила ДН Пивиха (2,4 % против 2,2 % у двух других гибридов); в растениях оно было максимальным в 2019 г. (2,4 % против 2,2 % в два последующие). Загущение посева с 70 до 130 тыс. растений на 1 га имело тенденцию к снижению жира в растениях с 2,3 до 2,2 % (равно как и опоздание с уборкой). Задержка с севом на 2 недели не влияла на этот показатель.

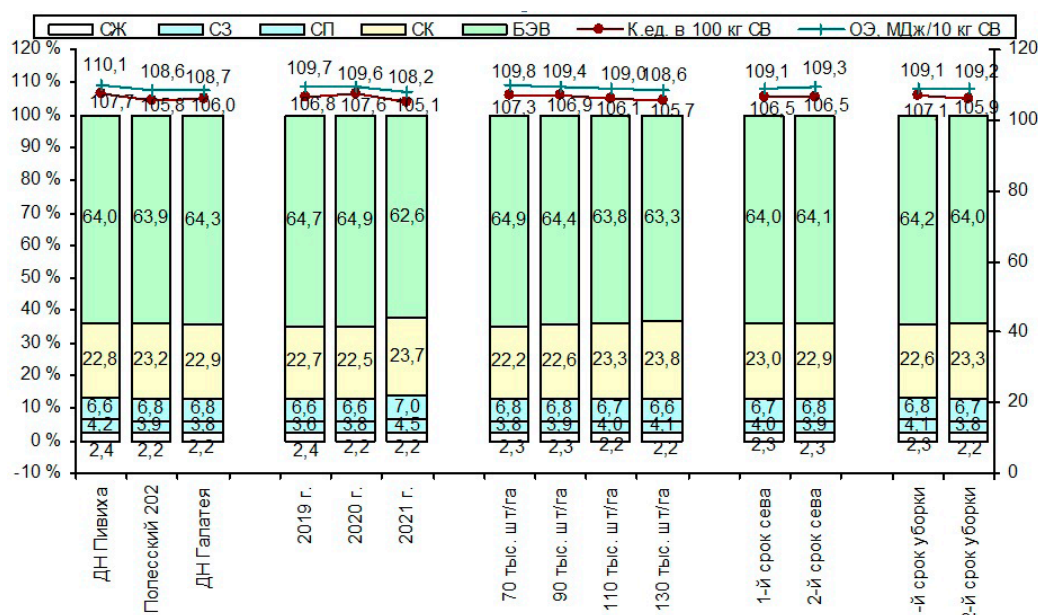


Рис. 1. Биохимический состав и питательная ценность растений кукурузы под влиянием погодных условий и приемов ее возделывания

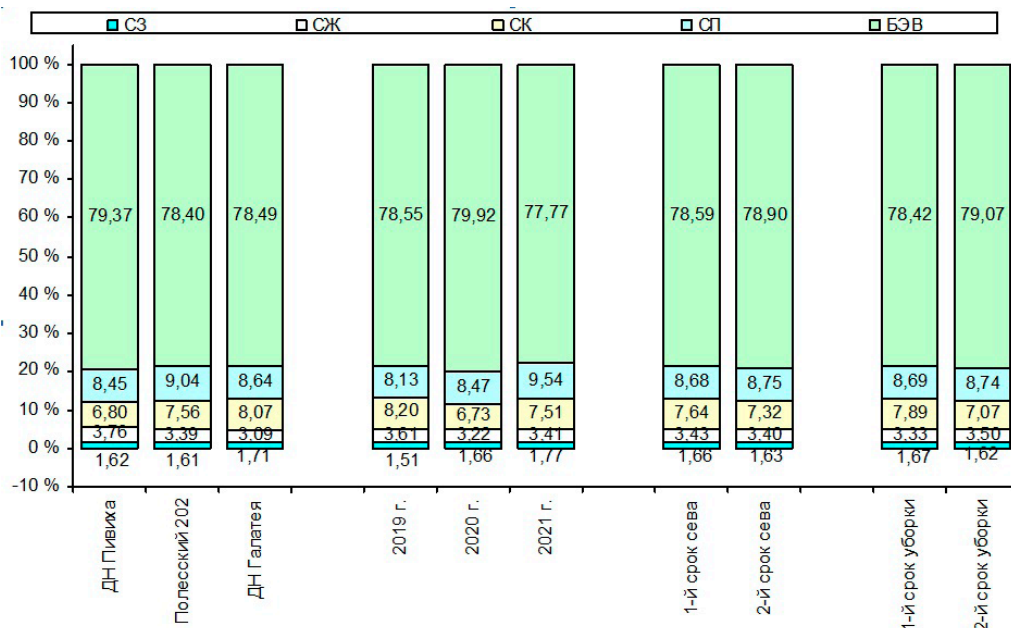


Рис. 2. Биохимический состав початков кукурузы

Следующим показателем по возрастанию биохимического состава является зола, хотя, как уже упоминалось, в початках ее содержится меньше всего, а в стеблях она располагается на третьем месте после протеина. Технологические приемы оказывают малое влияние на зольность початков: например, в зависимости от генотипа колебания составляют от 1,61 % (Полесский 202) до 1,71 % (ДН Галатея); опоздание с севом и уборкой также незначительно снижало содержание золы в початках: с 1,66–1,67 до 1,62–1,63 %. Более заметно воз-

действовали на этот показатель погодные условия: 1,51 % в благоприятном 2019 г. и 1,77 % в 2021 г., неблагоприятном для культуры.

По содержанию золы в обертках отмечают более заметные различия: от 2,75 % (Полесский 202) до 3,58 % (ДН Галатея). Больше всего ее содержалось в 2021 г. (3,70 % против 3,00 % в 2019–2020 гг.). Опоздание с севом приводило к тому, что накопление зольных элементов в обертках снижалось (с 3,30 до 3,16 %), а задержка на 2 недели с уборкой не влияла на этот показатель (3,22 и 3,24 % соответственно).

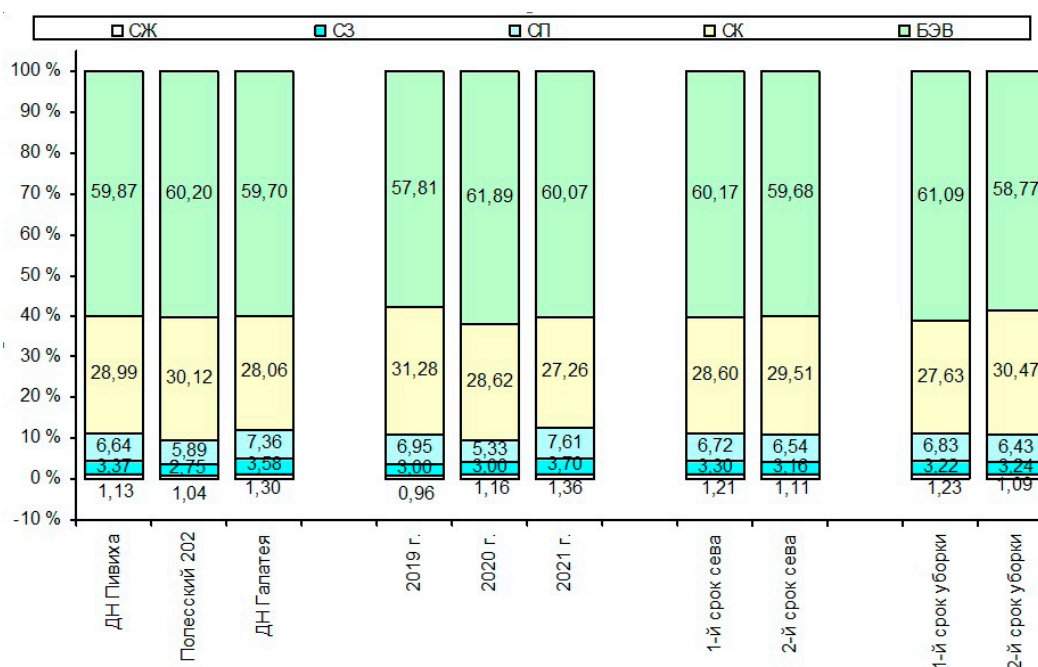


Рис. 3. Биохимический состав обертки кукурузы

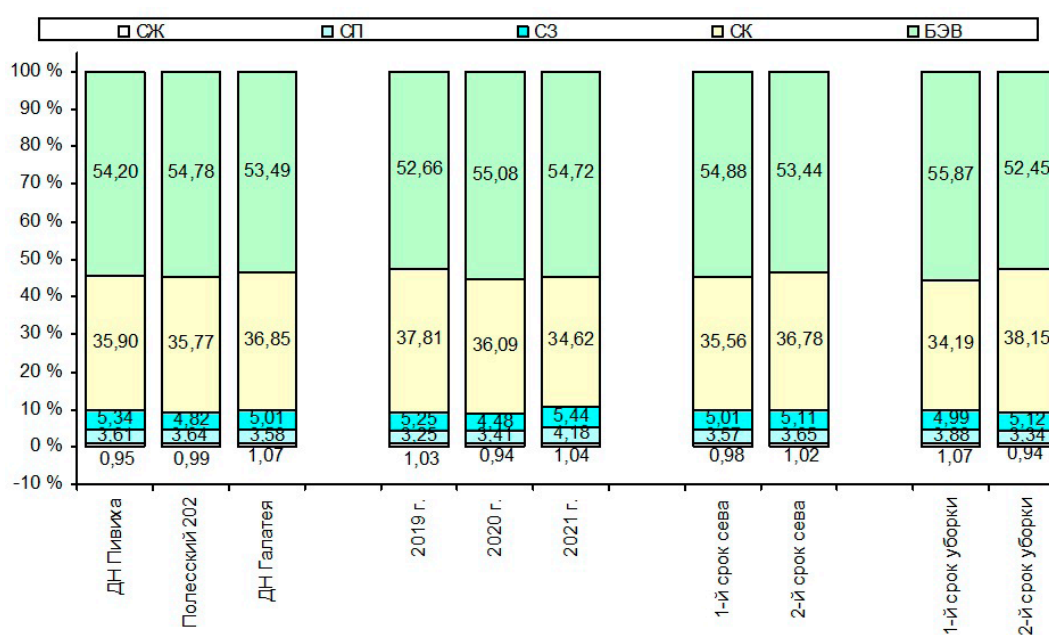


Рис. 4. Биохимический состав стеблей кукурузы

В стеблях содержание золы более высокое, чем в початках и обертках; в зависимости от генотипа оно колебалось от 4,82 % (Полесский 202) до 5,34 % (ДН Пивиха). Также наблюдалась определенная разница под влиянием погодных условий: если в 2020 г. ее накопилось 4,48 %, то в 2021 г. – 5,44 %. Поздние сев и уборка также приводили к увеличению накопления зольных элементов: с 5,01 до 5,11 % и с 4,99 до 5,12 % соответственно.

Из всех органов растения наибольшее содержание золы – в листьях. Так, у гибрида Полесский 202 оно составляло 5,97 %; подобно стеблям, его максимальное значение (7,75 %) зафиксировано у гибрида ДН Пивиха. Что касается влияния погодных условий, то, в отличие от стеблей, минимальное накопление золы в листьях было в 2019 г. (6,3 %), а максимальное – в 2020 г. (7,27 %), которое почти не отличается от 2021 г. (7,16 %). Опоздание с севом и уборкой приводило к снижению зольности листьев: с 7,24 до 6,59 % и с 7,12 до 6,70 % соответственно.

Высокое содержание зольных элементов в стеблях и листьях в целом и у гибрида ДН Пивиха в частности обусловило то, что и во всем растении их оказалось больше (4,2 % против 3,8–3,9 % у двух других гибридов). Самое высокое значение данного показателя зафиксировано в засушливом 2021 г. (4,5 %), а в 2019–2020 гг. оно колебалось в пределах 3,6–3,8 %. Эти показатели больше коррелируют с данными по початкам и обертке, но все же в данном случае в значительной степени просматривается взаимодействие всех органов растения на итоговые значения. Загущение посевов приводило к увеличению зольности растения с 3,8 до 4,1 %, что объясняется соответствующим ростом незерновой части урожая, у которой ее значительно больше, чем в зерне. Задержка с севом и уборкой, подобно всем органам, вызывала небольшое снижение содержания золы в растениях кукурузы с 4,0 до 3,9 % и с 4,1 до 3,8 %.

Третьим показателем биохимического состава по количественному содержанию в растениях кукурузы является протеин. Вместе с тем по накоплению в початках он располагается на четвертом месте после клетчатки, а в стеблях – на втором после жира. В початках больше всего протеина аккумулирует По-

лесский 202 (9,04 %), а меньше всего – ДН Пивиха (8,45 %). В 2019 г. в початках его накопилось только 8,13 %, а в 2021 г. – 9,54 %, что обратно коррелирует с их урожайностью. Задержка с севом и уборкой способствовала увеличению протеина в початках: с 8,68–8,69 до 8,74–8,75 %. В обертках его содержание несколько ниже, чем в початках: оно колебалось от 5,89 % у гибрида Полесский 202 до 7,36 % у ДН Галатея. Если в початках Полесского 202 находилось больше всего протеина, то в обертках его оказалось меньше по сравнению с двумя другими гибридами. В 2020 г. протеина в обертках накопилось всего 5,33 %, а в 2021 г. – 7,61 %, как и в початках. Более поздний сев или уборка обусловили снижение содержания протеина в обертках (с 6,72 до 6,54 % и с 6,83 до 6,43 % соответственно).

Клетчатка составляет довольно большой процент в зеленой массе растений кукурузы. В зависимости от возделываемого гибрида на нее приходится 22,8–23,2 % от сухой массы. При уборке в оптимальную для заготовки силоса фазу развития растений этот показатель мало изменяется из-за погодных условий (22,5–23,7 %). В то же время загущение посева с 70 до 130 тыс. растений на 1 га приводит к более заметному увеличению клетчатки в растениях: с 22,2 до 23,8 %. Возрастает ее количество и при опоздании с уборкой: на 0,7 %. По сравнению с другими органами растения меньше всего клетчатки в початках. Но по гибридам разница значительная: от 6,8 % у ДН Пивиха до 8,07 % у ДН Галатея. На ее количество заметно влияют условия года (от 6,73 % в 2020 г. до 8,20 % в 2019 г.). При задержке с севом и уборкой содержание клетчатки в початках снижается: с 7,64 до 7,32 % и с 7,89 до 7,07 % соответственно. В обертках оно возрастает и даже превышает ее накопление в растениях. Гибрид ДН Галатея в среднем за 3 года имел 28,06 %, а максимальное значение отмечено у Полесского 202 – 30,12 %. Меньше всего клетчатки в обертках было в 2021 г. (27,26 %), а больше – в 2019 г. (31,28 %). Более поздние сев и уборка приводят к ее увеличению в обертках: с 28,6 до 29,51 % и с 27,63 до 30,47 % соответственно.

Следующим по нарастанию клетчатки органом растения являются листья. В зависимости от возделываемого гибрида они имели от

32,20 % (ДН Пивиха) до 34,67 % (ДН Галатея). Меньше всего ее накопилось в них в 2020 г. (31,71 %), а больше – в 2019 г. (35,03 %). Задержка с севом и уборкой приводила к увеличению клетчатки в листьях (с 32,99 до 33,11 % и с 31,57 до 34,53 % соответственно).

Больше всего содержат клетчатки стебли. Выбор гибрида на это влияет мало: 35,77–36,85 %. Воздействие погодных условий более выражено: 34,62 % в 2021 г. и 37,81 % в 2019 г. Задержка с севом и особенно с уборкой так же, как в листьях и обертках, приводила к увеличению клетчатки в стеблях: с 35,56 до 36,78 % и с 34,19 до 38,15 % соответственно.

Кукуруза относится к углеводистым растениям. По этой причине содержание БЭВ у этой культуры одно из самых высоких и мало изменяется от генотипа гибрида (63,9–64,3 %). В зависимости от погодных условий фиксируется большой диапазон различий в содержании БЭВ: от 62,6 % в 2021 г. до 64,9 % в 2020 г. Увеличение плотности посева приводит к снижению этих элементов (с 64,9 до 63,3 %), а сроки уборки и сева практически не влияют на наличие БЭВ в растениях, где разница составляет всего 0,1–0,2 %. Самое высокое содержание БЭВ в початках. Разница между генотипами здесь бóльшая, чем в целом растении: 78,4–79,37 %. Как и в растении, менее всего накопилось БЭВ в початках в 2021 г. (77,77 %), а больше – в 2020 г. (79,92 %). Задержка с севом и уборкой незначительно изменяла количество

БЭВ в початках: с 78,59 до 78,90 % и с 78,42 до 79,07 % соответственно. В обертках их меньше, чем в початках, что близко к целым растениям. Генотип и срок сева оказывают на накопление БЭВ малое влияние: оно колеблется в пределах 59,7–60,2 % и 59,68–60,17 % соответственно. Условия года показывают бóльшую разницу – от 57,81 % в 2019 г. до 61,89 % в 2020 г. Также заметно меньше их в обертках при задержке на 2 недели с уборкой кукурузы (с 61,09 до 58,77 %).

Следующим органом растения по убыванию БЭВ являются стебли. Гибрид ДН Галатея в среднем за 3 года показал 53,49 %, Полесский 202 – 54,78 %. Меньше всего этих элементов накопилось в стеблях в 2019 г. (52,66 %), а больше – в 2020 г. (55,08 %). Более поздние сев и уборка приводили к снижению БЭВ в стеблях: с 54,88 до 53,44 % и 55,87 до 52,45 % соответственно. Меньше всего БЭВ имеется в листьях кукурузы. Здесь уже отмечаются большие различия и по гибридам. Например, ДН Галатея содержала 48,22 % БЭВ, а Полесский 202 – 51,09 %, но вместе с тем это не сказалось на общем наличии БЭВ в растениях. В 2019 г. в листьях было меньше всего этих элементов (48,78 %) вследствие осенних заморозков, а максимальное значение отмечено в 2020 г. (50,05 %). Задержка с севом способствовала повышению содержания БЭВ в листьях (с 49,19 до 49,75 %), а с уборкой, напротив, снижала их количество с 50,04 до 48,91 %.

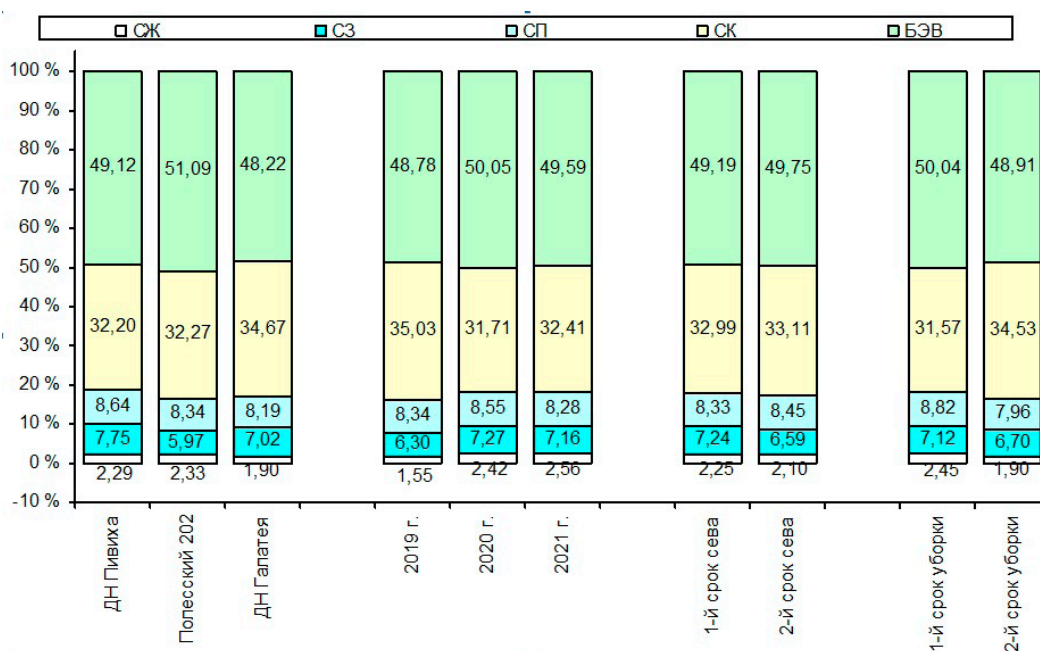


Рис. 5. Биохимический состав листьев кукурузы

Изменение биохимического состава отдельных органов растения кукурузы под влиянием различных факторов в конечном результате сказалось не только на питательной ценности целого растения, но и на его энергетической составляющей, включающей оценку в кормовых единицах и в обменной энергии.

В зависимости от условий года содержание кормовых единиц в 1 кг СВ колебалось от 1,08 в 2020 г. до 1,05 в 2021 г., обменной энергии – 11,0 МДж в 2019–2020 гг. и 10,8 МДж в 2021 г. Увеличение плотности посева с 70 до 130 тыс. растений на 1 га, а также задержка с севом или уборкой изменяли количество к. ед. с 1,07 до

1,06, обменной энергии – с 11,0 до 10,9 МДж на 1 кг сухого вещества.

Согласно [6], снижение содержания кормовых единиц в СВ рациона только на 0,01 влечет за собой недобор 0,8 л молока в сутки. Самая малая разница в накоплении кормовых единиц и обменной энергии отмечена по гибридам: 0,019 к. ед./кг и 0,15 МДж/кг СВ.

Таким образом, погодные условия года являются наиболее существенным фактором, влияющим на изменение биохимического состава растений и некоторых морфологических частей кукурузы (таблица).

Таблица. Варьирование содержания питательных элементов в различных органах растений кукурузы под влиянием различных факторов, %

Орган растения	Элемент	Фактор				
		генотип	условия года	плотность стеблестоя	срок сева	срок уборки
Стебель	Жир	6,1	5,5	–	2,8	9,1
	Зола	5,2	10,1	–	1,4	1,8
	Протеин	0,8	13,8	–	1,6	10,6
	Клетчатка	1,6	4,4	–	2,4	7,7
	БЭВ	1,2	2,4	–	1,9	4,5
Лист	Жир	10,9	25,1	–	4,9	17,9
	Зола	12,9	7,7	–	6,6	4,3
	Протеин	2,7	1,7	–	1,0	7,2
	Клетчатка	4,3	5,3	–	0,3	6,3
	БЭВ	3,0	1,3	–	0,8	1,6
Обертка	Жир	11,4	17,2	–	6,1	8,5
	Зола	13,3	12,5	–	3,1	0,7
	Протеин	11,1	17,7	–	1,9	4,3
	Клетчатка	3,6	7,0	–	2,2	6,9
	БЭВ	0,4	3,4	–	0,6	2,7
Початок	Жир	10,3	5,7	–	0,6	3,5
	Зола	3,3	7,9	–	1,3	2,1
	Протеин	3,5	7,5	–	0,6	0,4
	Клетчатка	8,5	9,8	–	3,0	7,8
	БЭВ	0,7	1,4	–	0,3	0,6
Среднее	Все	5,7	8,4	–	2,2	5,4
Растение	Жир	5,1	5,1	2,6	0,0	3,1
	Зола	5,2	11,9	3,3	1,8	5,4
	Протеин	1,7	3,4	1,4	1,0	1,0
	Клетчатка	0,9	2,8	3,1	0,0	2,5
	БЭВ	0,3	2,0	1,1	0,0	0,3
Среднее	Все	2,6	5,0	2,3	0,6	2,5

Средняя степень изменчивости (10,1–17,7 %) по данному фактору отмечена в содержании золы и протеина в стеблях, жира, золы и протеина в обертках, а также золы в целых растениях, а по накоплению жира в листьях установлена даже сильная степень изменчивости (25,1 %). На втором месте по влиянию изучаемых факторов на питательную ценность кукурузы стоит генотип гибрида. Средняя степень изменчивости выявлена в наличии жира и золы в листьях,

жира, золы и протеина в обертках, жира в початках. Сроки уборки показали среднюю степень изменчивости по аккумулярованию протеина в стеблях и жира в листьях, в то время как срок сева и густота стояния растений, равно как и другие неупомянутые комбинации (фактор – орган растения – питательный элемент), показали слабую степень изменчивости (менее 10 %) по влиянию на биохимический состав растений кукурузы и отдельных органов.

Выводы

1. При среднем содержании протеина в растениях кукурузы (6,7 %) меньше всего его накапливают стебли (3,6 %), а больше – початки (8,7 %). Жиры в растении имеются 2,3 %, при минимуме в стеблях (1,0 %) и максимуме в початках (3,4 %), золы соответственно 4,0 %, 1,6 % (початки) и 6,9 % (листья), клетчатки – 23,0 %, 7,5 % (початки) и 36,2 % (стебли), БЭВ – 64,1 %, 49,5 (листья) и 78,8 % (початки).

2. Разница в сроках сева (2 недели) не приводит к существенному изменению биохимического состава растений и морфологических частей кукурузы. Такая же закономерность отмечается и по срокам уборки с разницей в 2 недели, за исключением содержания протеина в стеблях и жира в листьях, где при более позднем сроке отмечено их снижение при варьировании данных показателей (10,6 и 17,9 % соответственно).

3. Генотип в большинстве случаев также существенно не влияет на изменение биохимических показателей растений кукурузы и их органов, за исключением содержания протеина в початках, листьях и обертках (коэффици-

ент вариации v составляет 10,3–11,4 %), золы в листьях и обертках ($v = 12,9$ –13,3 %), протеина в обертках ($v = 11,1$ %).

4. Погодные условия – наиболее значимый фактор изменения биохимического состава растений и морфологических частей кукурузы. Средняя степень изменчивости выявлена в содержании протеина в стеблях и обертках ($v = 13,8$ и 17,7 % соответственно), золы в стеблях, растениях и обертках ($v = 10,1$ –12,5 %), жира в обертках ($v = 17,2$ %); в листьях его варьирование достигало 25,1 %.

5. Увеличение плотности стеблестоя кукурузы с 70 до 130 тыс. растений на 1 га не приводит к значимому изменению их биохимического состава.

6. В зависимости от погодных условий года содержание кормовых единиц в 1 кг СВ колеблется от 1,05 до 1,08, обменной энергии – от 10,8 до 11,0 МДж. Увеличение плотности посева с 70 до 130 тыс. растений на 1 га, а также задержка с севом или уборкой изменяет питательность кукурузы с 1,07 до 1,06 к.ед. и с 11,0 до 10,9 МДж ОЭ на 1 кг СВ.

Библиографический список

1. Захарьев, Н. И. Питательность кукурузы и кукурузного силоса / Н. И. Захарьев // Кормовое достоинство кукурузы / Всесоюз. акад. с.-х. наук им. В. И. Ленина, Всесоюз. науч.-исслед. ин-т животноводства ; ред. М. Ф. Томмэ. – М. : Изд-во М-ва с. х. СССР, 1959. – С. 55–77.
2. Надточаев, Н. Ф. Кукуруза на полях Беларуси / Н. Ф. Надточаев. – Минск : ИВЦ Минфина, 2008. – 412 с.
3. Дмитроченко, А. П. Практикум по кормлению сельскохозяйственных животных / А. П. Дмитроченко, В. М. Крылов, А. В. Тоичкина. – М. : Колос, 1972. – 351 с.
4. Григорьев, Н. Г. Определение обменной энергии кормов / Н. Г. Григорьев // Кормопроизводство. – 1992. – № 1. – С. 6–9.
5. Новая система оценки кормов в ГДР / М. Бейер [и др.] // Пер. с нем. Г. Н. Мирошниченко. – М. : Колос, 1974. – 248 с.
6. Шупик, М. В. Кормление сельскохозяйственных животных : учеб.-метод. пособие / М. В. Шупик, А. Я. Райхман. – Горки : БГСХА, 2014. – 236 с.

ВЛИЯНИЕ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ НА ДИНАМИКУ ПРОДУКТИВНОСТИ ЛУГОВЫХ АССОЦИАЦИЙ ПОЙМЫ Р. СОЖ

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

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

Аннотация

На протяжении 11 лет оценивалась продуктивность травостоя растительных сообществ на пойменных лугах р. Сож. Убывающий ряд по продуктивности травостоя можно представить следующим образом: *Caricetum gracilis* > *Deschampsia cespitosa* > *Poo-Festucetum pratensis* > *Agrostis vinealis*. Наиболее стабильной по продуктивности является ассоциация *Caricetum gracilis*. Для оценки влияния метеофакторов на продуктивность травостоя рассчитан гидротермический коэффициент. Его значения менялись в пределах от 0,99 до 1,60. Установлены существенные корреляции между гидротермическим коэффициентом и продуктивностью растительности. Содержание радиocesия в травостое не превышало существующих нормативов.

Ключевые слова: гидротермический коэффициент, климат, пойменный луг, р. Сож, растительные ассоциации, продуктивность и качество травостоя.

Abstract

N. M. Daineko, S. F. Timofeev

INFLUENCE OF METEOROLOGICAL CONDITIONS ON THE DYNAMICS OF PRODUCTIVITY OF MEADOW ASSOCIATIONS IN THE SOZH RIVER FLOODPLAIN

Over the course of 11 years, the productivity of the herbage of plant communities in the floodplain meadows of the river was evaluated. Sozh. A decreasing series of herbage productivity can be represented as follows: *Caricetum gracilis* > *Deschampsia cespitosa* > *Poo-Festucetum pratensis* > *Agrostis vinealis*. The most stable in terms of productivity is the *Caricetum gracilis* association. To assess the influence of meteorological factors on the productivity of the herbage, the hydrothermal coefficient was calculated. The values of the hydrothermal coefficient varied from 0.99 to 1.60. Significant correlations between the hydrothermal coefficient and vegetation productivity have been established. The content of radiocesium in the herbage did not exceed the existing standards..

Keywords: hydrothermal coefficient, climate, floodplain meadow, r. Sozh, plant associations, productivity and quality of herbage.

Введение

В настоящее время наиболее существенным фактором, влияющим на сельское хозяйство, является изменение климата. Климатические изменения в Европе (в том числе и в Беларуси) происходят быстрее, чем в среднем на планете [1]. Пространственная неоднородность изменений климата предопределяет неоднозначную реакцию растительных сообществ. По мнению ряда авторов, под влиянием потепления климата происходит «раскачка» геосистем, в процессе которой растительный покров активизирует свои адаптационные возможности [2].

С 1989 г., когда было отмечено наиболее интенсивное и продолжительное потепление климата в Беларуси, увеличилась продолжи-

тельность периода активной вегетации сельскохозяйственных культур со среднесуточной температурой воздуха выше 10 °С, что привело к изменению границ агроклиматических областей республики. В дополнение к северной, центральной и южной зонам на юге страны выделилась новая агроклиматическая область с суммой температур периода активной вегетации более 2600 °С. Вместе с тем в отдельные годы фиксируется несовпадение вегетационных периодов по срокам, а также отклонения среднемесячных и среднедекадных температур от их многолетних норм на 40–60 % [3–5].

В период потепления климата установлено некоторое увеличение среднего количества осадков в мае на востоке и юго-востоке

страны (на 10–13 мм) и их значимое снижение в июне (на 10–15 мм) в западной части и отдельных районах в северной и центральной частях Беларуси. В июле количество осадков увеличивается на значительной территории юга страны и в центральном регионе (от 15 до 35 мм). В августе отмечается рост количества осадков на севере Беларуси и их уменьшение на большей части территории, статистически значимое в северной части Гомельской обл., в южных и восточных районах Могилевской обл. (на 15 мм). В сентябре в северной и южной частях Беларуси наблюдаются статистически незначимые изменения среднего количества осадков, противоположные по знаку. В различных регионах республики в течение 1989–2019 гг. средняя температура воздуха статистически значимо растет в зависимости от месяца.

Таким образом, повышение гидротермического коэффициента Селянинова (далее – ГТК) в мае на востоке и юго-востоке страны связано с увеличением количества осадков в этих районах при почти неизменной температуре, а снижение ГТК в юго-западном регионе – с ростом температуры воздуха в этот месяц [6].

Анализ степени увлажнения территории Белорусского Полесья по гидротермическому коэффициенту показывает уменьшение его величин за период потепления, которое, несмотря на незначительное увеличение осадков, связано в первую очередь с ростом температуры и в целом говорит об увеличении засушливости территории в период активной вегетации растений [7].

Температура воздуха и количество осадков считаются для трав главными факторами произрастания. На продуктивность агрофитоценозов данного вегетационного периода влияют осадки предыдущих осени, зимы, весны и текущего лета. В связи с этим проведены изыскания по определению воздействия осадков этих периодов на продуктивность смесей трав. Наилучшие факторы для получения хорошего урожая травосмесей складываются

при количестве осадков 110–125 мм за два месяца вегетационного сезона. Если они превышают 130 мм и не достигают 70 мм, формируются отрицательные условия и уменьшается потенциальная продуктивность [8].

Важнейшим параметром качества травяных кормов является содержание радионуклидов. Это особенно актуально для оценки травостоя в условиях заливных лугов. До сих пор травяные корма, получаемые с пойменных лугов р. Сож, характеризуются радиоактивным загрязнением [9, 10]. Так, в исследованиях, проводимых в продолжение 2009–2015 гг. на аллювиальной луговой почве поймы р. Ипуть, установлено, что миграция радиоцезия из верхних слоев в низлежащие происходит медленно. В настоящее время наибольшее количество ^{137}Cs находится в дернине, поэтому без применения минеральных удобрений при плотности загрязнения ^{137}Cs территории $>555 \text{ кБк/м}^2$ невозможно получить сено, соответствующее нормативу [11].

Количество радионуклида в растениях зависит от плотности радиоактивного загрязнения, форм выпадения радионуклидов, уровня грунтовых вод и биологических особенностей растений [12, 13].

Содержание цезия-137 в растениях может снижаться за счет следующих процессов: физического распада радиоцезия, миграции на глубину, недоступную для корней растений, химического связывания минералами почвы. Наиболее существенным фактором может быть уровень грунтовых вод. Падение уровня и изменение гидрологического режима приводят к вторичным сукцессиям и трансформации существующего травостоя. В самом общем виде это можно представить как смену гигрофитов на мезофиты, далее мезоксерофиты и ксерофиты. Такая трансформация будет сказываться на содержании радиоцезия в травостое.

В связи с изложенным целью работы являлась оценка влияния метеорологических условий на многолетнюю динамику урожайности луговых ассоциаций и уровни радиоактивного загрязнения травостоя.

Материалы и методы исследований

Объект исследований – растительные ассоциации хозяйственных типов лугов поймы р. Сож Чечерского р-на Гомельской обл.

Луга крупноосокового типа представлены ассоциацией *Caricetum gracilis* Almquist

(Almquist 1929) R. Tx. 1937, союза *Caricion gracilis* (Neuhaust 1959) Bab.-Tul. 1963, порядка *Magnocaricetalia* Piga. 1953, класса *Phragmito-Magnocaricetea* Klika in Klika et Novak 1941. В составе травостоя отмечены следующие

виды: осока лисья (*Carex vulpina*), вейник седеющий (*Calamagrostis canescens*), чистец болотный (*Stachys palustris*), горошек мышиный (*Vicia cracca*), авран лекарственный (*Gratiola officinalis*), подмаренник болотный (*Galium palustre*), горец земноводный (*Persicaria hydropiper*), поручейник широколистный (*Sium latifolium*), кадения сомнительная (*Kadenia dubia*), лютик ползучий (*Ranunculus repens*), вероника щитковая (*Veronica scutellata*), лютик жгучий (*Ranunculus flammula*), мятлик болотный (*Poa palustris*), лапчатка гусиная (*Potentilla anserina*), мята полевая (*Mentha arvensis*), ситник черный (*Juncus atratus*), незабудка болотная (*Myosotis palustris*), окопник лекарственный (*Symphytum officinale*), птармика обыкновенная (*Achillea ptarmica*), вероника длиннолистная (*Veronica longifolia*), калужница болотная (*Caltha palustris*). Почвы дерновые оглеенные, перегнойно-глеевые суглинистые, торфянисто- и торфяно-болотные.

В луга дернистощучкового типа (щучка дернистая) входит ассоциация *Deschampsietum cespitosae*, где доминантом является щучка дернистая (*Deschampsia cespitosa*). Также в состав ассоциации входят виды черноголовка обыкновенная (*Prunella vulgaris*), тысячелистник обыкновенный (*Achillea millefolium*), лютик жгучий (*Ranunculus acris*), жгун-корень (*Cnidium dubium*), кукушкин цвет (*Coronaria flos-cuculi*), вероника длиннолистная (*Veronica longifolia*), мятлик луговой (*Poa pratensis*), василек луговой (*Centaurea jacea*), подмаренник болотный (*Galium palustre*), щавель курчавый (*Rumex crispus*), лапчатка гусиная (*Potentilla anserina*), лютик жгучий (*Ranunculus flammula*). Почвы дерново-глеевые, суглинистые.

В луга мелкозлакового типа (полевица виноградноковая) входит ассоциация полевица виноградноковая (*Agrostietum vinealis*), субассоциация *Festucetum rubrae*, вариант *Plantago lanceolata*. Диагностические виды ассоциации: полевица виноградноковая (*Agrostis vinealis*), лапчатка серебристая (*Potentilla argentea*); д. в. субассоциации – овсяница красная (*Festuca rubra*), тысячелистник обыкновенный (*Achillea millefolium*); д. в. варианта – подорожник ланцетолистный (*Plantago lanceolata*), клевер луговой (*Trifolium pratense*), полевица тонкая (*Agrostis tenuis*), кульбаба осенняя (*Leontodon autumnalis*), гвоздика травянка (*Dianthus deltoides*), очиток едкий (*Sedum acre*), кле-

вер ползучий (*Trifolium repens*), черноголовка обыкновенная (*Prunella vulgaris*), подорожник средний (*Plantago media*), Василек луговой (*Centaurea jacea*); д. в. класса *Festuco-Brometea* – Вероника колосистая (*Veronica spicata*). Почвы дерново-глеевые супесчаные.

В луга крупнозлакового типа (мятлик луговой + овсяница луговая) входит ассоциация *Poo – Festucetum pratensis Sapegin* 1986 союза *Festucion pratensis Sipajlova Mirkin, Shelyag et V. Solomakha* 1985, порядка *Arrhenatheretalia Pawl.* 1928, класса *Molinio-Arrhenatheretea* R. Тх. 1937 em. R. Тх. 1970. В травостое отмечены следующие виды растений: мятлик луговой (*Poa pratensis*), овсяница луговая (*Festuca pratensis*), клевер луговой (*Trifolium pratense*), подорожник ланцетолистный (*Plantago lanceolata*), осока черная (*Carex nigra*). Почвы дерново-глеевые, супесчаные и суглинистые.

Отбор растительных и почвенных проб для определения содержания ^{137}Cs в вегетационные периоды 2010–2020 гг. проводили по общепринятым методикам [14–17].

Выделение хозяйственных типов лугов осуществляли согласно [18]. Использование травостоя – одноукосное, он скашивался в фазу конца трубкования – начала колошения видов доминантов злаковых трав.

Определение содержания ^{137}Cs в почвенных пробах и растительных образцах производили на гамма-спектрометрическом комплексе *Tennelec* по МВИ. МН 3421-2010 «Методика выполнения измерений объемной и удельной активности гамма-излучающих радионуклидов на гамма-спектрометрах с полупроводниковыми детекторами».

Оценку радиоактивного загрязнения растений и возможности их безопасного использования выявляли путем сопоставления полученных результатов с нормативным показателем Республиканского допустимого уровня содержания ^{137}Cs в лекарственно-техническом сырье (РДУ/ЛТС-2004), равным 370 Бк/кг.

Удельная активность – это содержание радионуклида в единице массы, Бк/кг. Для оценки влияния количества осадков и температуры воздуха использовали ГТК, комплексный показатель увлажнения, который представляет отношение суммы осадков (P) за определенный период к уменьшенной в 10 раз сумме температур (ΣT) выше 10 °C за тот же период.

Результаты исследований и их обсуждение

Для выполнения поставленных задач в 2010–2020 гг. проведен анализ количества осадков и температуры воздуха (табл. 1). Количество осадков за вегетационные периоды исследований менялось в пределах от 285 до 442 мм при среднем многолетнем значении 388 мм. Сумма температур воздуха выше 10 градусов составляла от 2726 до 3249 градусов. Кратность варьирования количества осадков между максимальными и минимальными значениями составляла 1,6, суммы температуры воздуха – 1,2 раза. Таким образом, амплитуда колебаний количества осадков существенно превышала амплитуду варьирования температуры воздуха.

Для более детальной оценки соотношения количества осадков и температуры воздуха

произведен расчет гидротермического коэффициента. Его значения составляли от 0,99 до 1,6.

Из проанализированных 11 вегетационных периодов величины ГТК в течение 5 вегетационных периодов составляли 1,22–1,25. В течение 3 периодов ГТК оказалось 0,99–1,09. Среднее значение ГТК за годы исследований составило 1,19, что означает преобладание более влажных периодов вегетации растений и относительно трех засушливых периодов. Наличие такой вариабельности ГТК позволяет более корректно оценить такие параметры, как продуктивность и качество травостоя.

Одной из задач исследований была оценка продуктивности травостоя. Установлены существенные различия по данному показателю как в целом по годам, так и в отдельные годы (рис. 1).

Таблица 1. Динамика количества осадков и температуры воздуха по годам исследований

Месяц	2010 г.	2011 г.	2012 г.	2013 г.	2014 г.	2015 г.	2016 г.	2017 г.	2018 г.	2019 г.	2020 г.	Средне-/многолетние
Апрель	<u>9,8</u> 14,7	<u>9,1</u> 22,6	<u>10,0</u> 35,1	<u>8,9</u> 37,0	<u>10,2</u> 16,0	<u>8,4</u> 13,2	<u>10,0</u> 53,3	<u>8,1</u> 16,9	<u>11,0</u> 19,1	<u>10,1</u> 15,7	<u>8,1</u> 7,8	<u>6,6</u> 45,0
Май	<u>17,5</u> 90,3	<u>15,4</u> 60,8	<u>16,9</u> 57,9	<u>18,1</u> 34,0	<u>16,1</u> 116,0	<u>14,9</u> 76,4	<u>15,4</u> 88,2	<u>13,4</u> 31,2	<u>18,4</u> 20,6	<u>16,4</u> 35,2	<u>11,9</u> 141,0	<u>13,9</u> 55,0
Июнь	<u>21,1</u> 35,9	<u>20,2</u> 86,3	<u>17,6</u> 114,7	<u>20,7</u> 76,0	<u>17,0</u> 74,0	<u>19,4</u> 71,5	<u>19,4</u> 46,2	<u>17,7</u> 43,5	<u>19,2</u> 67,6	<u>23,0</u> 44,3	<u>21,5</u> 54,8	<u>17,0</u> 79,0
Июль	<u>24,5</u> 125,3	<u>21,9</u> 98,6	<u>22,2</u> 111,7	<u>19,6</u> 35,0	<u>21,7</u> 65,0	<u>20,0</u> 69,3	<u>21,2</u> 54,6	<u>18,5</u> 115,2	<u>20,3</u> 186,0	<u>18,1</u> 118,6	<u>20,2</u> 53,1	<u>19,8</u> 90,0
Август	<u>23,5</u> 24,0	<u>18,8</u> 64,4	<u>19,1</u> 82,7	<u>19,1</u> 37,0	<u>19,9</u> 89,0	<u>21,1</u> 6,4	<u>19,8</u> 73,6	<u>20,3</u> 57,9	<u>20,9</u> 67,7	<u>18,5</u> 35,4	<u>20,0</u> 52,5	<u>18,7</u> 61,0
Сентябрь	<u>13,6</u> 60,0	<u>13,8</u> 22,7	<u>14,4</u> 40,2	<u>12,1</u> 77,0	<u>14,4</u> 14,0	<u>16,1</u> 48,6	<u>14,0</u> 18,4	<u>14,8</u> 28,9	<u>16,5</u> 68,5	<u>13,8</u> 52,6	<u>16,2</u> 34,7	<u>13,0</u> 58,0
Сумма осадков	350,2	335,4	442,3	296,0	374,0	285,4	334,3	293,6	399,5	301,8	343,9	388
ГТК	1,14	1,22	1,60	1,09	1,23	1,02	1,22	1,13	1,23	0,99	1,25	–

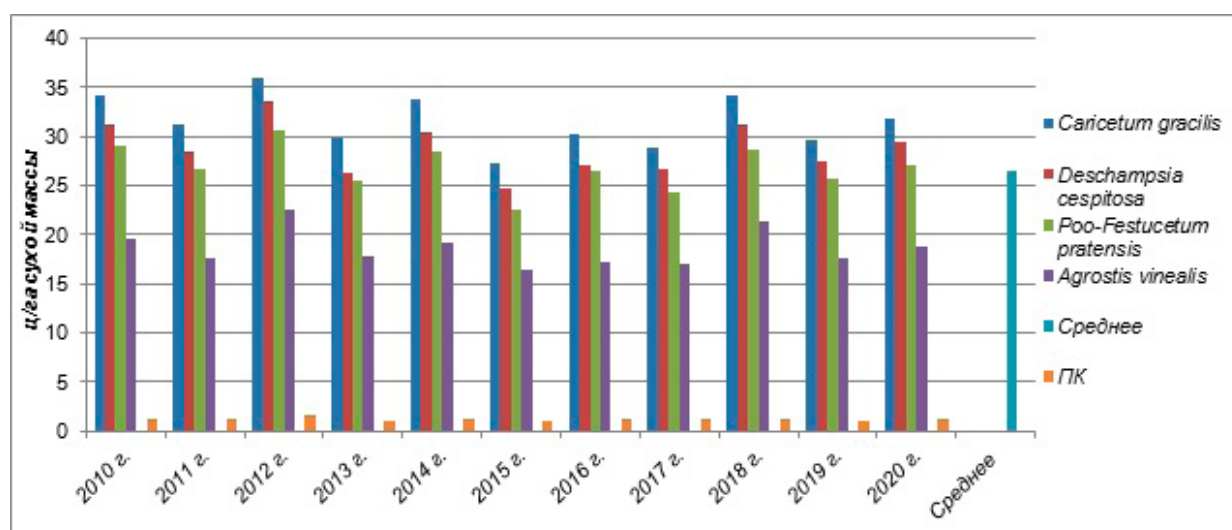


Рис. 1. Динамика урожайности луговых ассоциаций в пойме р. Сож Чечерского р-на Гомельской обл.

Убывающий ряд по продуктивности можно представить следующим образом: *Caricetum gracilis* > *Deschampsia cespitosa* > *Poo-Festucetum pratensis* > *Agrostis vinealis*.

Наиболее стабильной по продуктивности является ассоциация *Caricetum gracilis*. Так, на протяжении семи лет из одиннадцати продуктивность ассоциации была в пределах 30–36 ц/га. В течение четырех лет продуктивность варьировала от 27 до 30 ц/га.

Для ассоциации *Deschampsia cespitosa* урожайность свыше 30 ц/га наблюдалась лишь в течение 4 лет из 11. Все остальные семь лет продуктивность была на уровне 26–30 ц/га сухой массы.

Ассоциация *Poo-Festucetum pratensis* характеризуется лишь единичным превышением урожайности 30 ц/га. Шесть лет из одиннадцати характеризуются продуктивностью 25–30 ц/га.

Минимальная продуктивность установлена для травостоя *Agrostis vinealis*. За годы исследований наименьшая продуктивность

изучаемых ассоциаций была выявлена в условиях 2015 г. Проведенный анализ показывает наличие определенных взаимосвязей между продуктивностью и ГТК. В условиях 2015 г. было зафиксировано наименьшее количество осадков: 285 мм по сравнению с 388 мм по средним многолетним данным. Значение ГТК было близко к минимальным значениям и составило 1,02.

Наиболее резко реагируют на соотношения количества осадков и температур воздуха ассоциации с преобладанием злаков. Ассоциация *Agrostis vinealis* представлена на 87 % злаками и на 10 % разнотравьем, что привело к большей зависимости от количества осадков и суммы температур воздуха. В итоге была сформирована наименьшая продуктивность.

Менее всего реагировала на изменение ГТК ассоциация *Caricetum gracilis*, которая представлена на 83 % осоками (табл. 2). Это в немалой степени связано с тем, что осоки предпочитают пониженные местообитания с повышенной влажностью субстрата.

Таблица 2. Участие агроботанических групп в составе ассоциаций луговых экосистем поймы р. Сож в среднем за 2010–2020 гг., %

Названия ассоциаций	Агроботанические группы, %			
	Злаки	Осоки	Бобовые	Разнотравье
<i>Caricetum gracilis</i>	9,4	82,8	–	7,8
<i>Deschampsia cespitosa</i>	82,1	–	–	17,9
<i>Poo-Festucetum pratensis</i>	86,2	–	–	13,8
<i>Agrostis vinealis</i>	87,2	–	2,2	10,6

Ассоциации *Deschampsia cespitosa* и *Poo-Festucetum pratensis* представлены более чем на 80 % злаковыми компонентами и более чем на 10 % разнотравьем. Зависимость этих сообществ от количества осадков и хода температур менее значительна, чем у злаковых сообществ. Это в немалой степени объясняется и пониженными местообитаниями.

Одна из задач исследований – оценка взаимосвязей между ГТК и продуктивностью луговой растительности. Общепринятыми методиками являются расчет коэффициентов корреляции, детерминации и ковариации.

Коэффициент корреляции – это статистическая мера, которая вычисляет силу связи между относительными движениями двух пере-

менных. Значения коэффициента корреляции находятся в диапазоне от –1,0 до 1,0.

Регрессия в теории вероятностей и математической статистике – это зависимость среднего значения какой-либо величины от некоторой другой величины или от нескольких величин. Использован коэффициент детерминации.

Ковариация – это мера взаимодействия двух случайных переменных.

Коэффициенты корреляции варьировали в пределах от 0,75 до 0,79.

Коэффициенты детерминации, или r^2 , составляли 0,65–0,75.

Коэффициенты ковариации составляли 0,24–0,34.

Данные параметры свидетельствуют о наличии сильной взаимосвязи между ГТК и продуктивностью растительности.

Важнейший параметр качества кормов – содержание радионуклида, которое зависит от удельной активности радиоцезия в почве (рис. 2). Установлены факты достоверного снижения удельной активности радиоцезия в почве с течением времени. Значения r^2 по данному параметру составляли от 0,96 до 0,99.

Максимальной удельной активностью радиоцезия в почве отличается территория под ассоциацией *Poo-Festucetum pratensis*.

Минимальное значение параметра выявлено для территории под ассоциацией *Agrostis vinealis*.

Ассоциации *Caricetum gracilis* и *Deschampsietum cespitosae* занимают проме-

жуточное положение по удельной активности радиоцезия в почве среди обследованных участков.

Кратность снижения удельной активности радионуклида в почве за исследуемый период составляла 1,8–2,2 раза.

Как уже ранее отмечалось, важнейшим параметром качества корма является содержание радионуклида. Он менялся за годы исследований от 150 до 20 Бк/кг (рис. 3).

Максимальная удельная активность радиоцезия была выявлена для ассоциации *Poo-Festucetum pratensis*. Установлены факты достоверного снижения удельной радионуклида в травостое с течением времени. Значения r^2 по данному параметру составляли от 0,86 до 0,99. Превышения нормативов по данному показателю не зафиксировано.

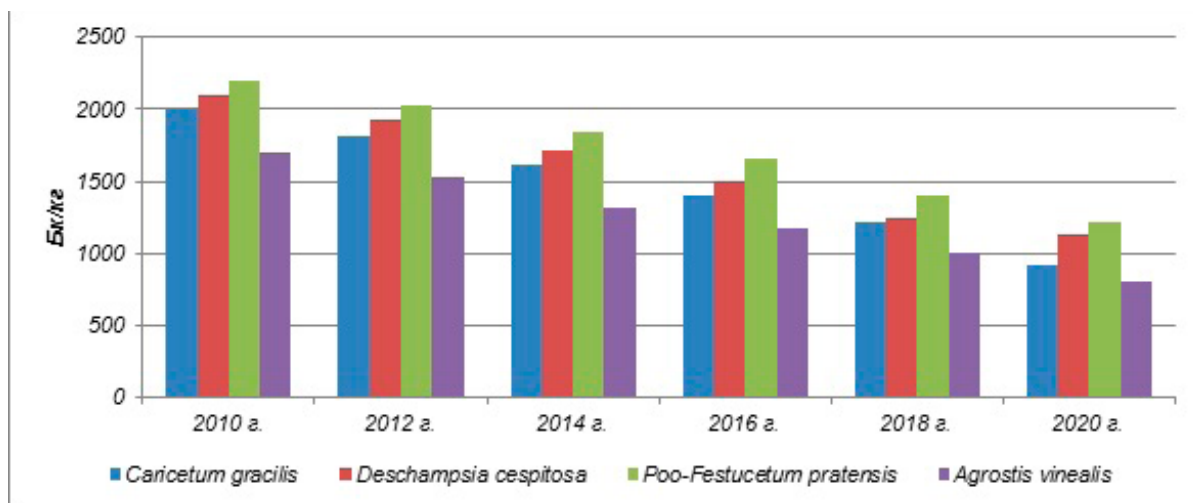


Рис. 2. Удельная активность ^{137}Cs в почве луговых сообществ в пойме р. Сож Чечерского р-на по годам исследований

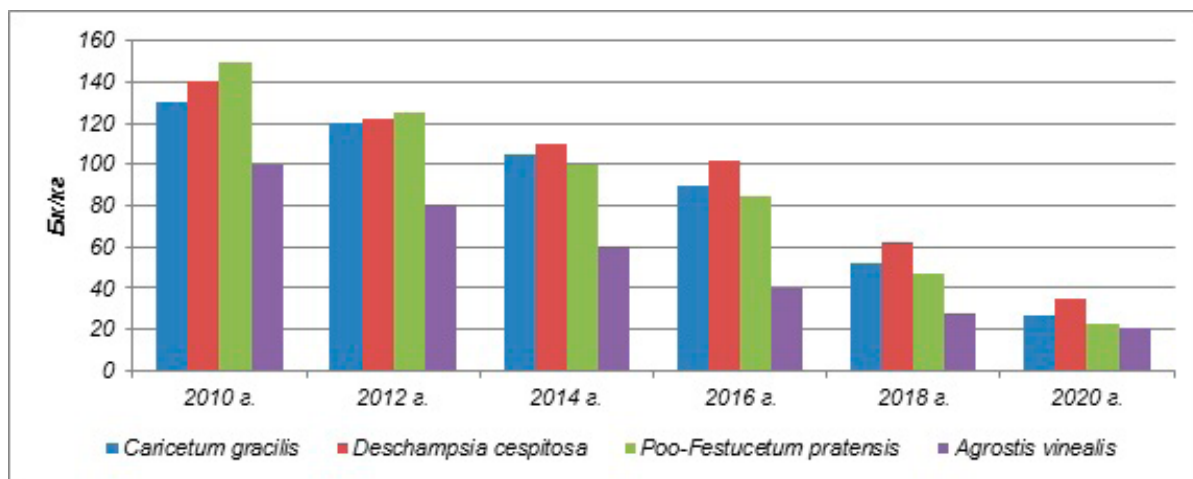


Рис. 3. Удельная активность ^{137}Cs в надземной фитомассе луговых сообществ в пойме р. Сож Чечерского р-на по годам исследований

Заключение

На протяжении 11 лет исследований выявлены факты существенного варьирования количества осадков и температуры воздуха. В течение пятилетнего периода значения ГТК составляли около 1,22–1,25. В течение 3-летнего периода ГТК составляли 0,99–1,09. Среднее значение параметра за годы исследований составило 1,19, что означает преобладание более влажных периодов вегетации растений и относительно трех засушливых периодов. Наличие такой вариабельности ГТК позволяет более корректно оценить такие параметры, как продуктивность и качество травостоя.

В результате проведенных исследований показаны существенные различия по продуктивности травостоя изучаемых сообществ. Убывающий ряд по продуктивности ассоциаций можно представить следующим образом:

Caricetum gracilis > *Deschampsia cespitosa* > *Poo-Festucetum pratensis* > *Agrostis vinealis*.

Наиболее стабильной по продуктивности является ассоциация *Caricetum gracilis*. В течение семи лет из одиннадцати продуктивность ассоциации была в пределах 30–36 ц/га. Минимальная продуктивность установлена для травостоя *Agrostis vinealis*.

Анализ показывает наличие определенных взаимосвязей между продуктивностью и ГТК. Наиболее резко реагируют на соотношения количества осадков и температур воздуха ассоциации с преобладанием злаков. Менее всего отзывалась на изменение ГТК ассоциация *Caricetum gracilis*, которая была представлена на 83 % осоками. Это в немалой степени связано с тем, что осоки предпочитают пониженные местообитания с повышенной влажностью субстрата.

Ассоциация *Agrostis vinealis* представлена на 87 % злаками и на 10 % разнотравьем. Это вызвало большую зависимость от количества осадков и суммы температур воздуха, что привело к формированию наименьшей продуктивности.

Содержание радиоцезия – один из критериев оценки качества кормов. Кратность снижения удельной активности радионуклида в почве за исследуемый период составляла 1,8–2,2 раза.

Максимальная удельная активность радиоцезия была выявлена для ассоциации *Poo-Festucetum pratensis*. Установлены факты достоверного снижения удельной активности радионуклида в травостое с течением времени. Превышения нормативов по данному показателю не зафиксировано.

Библиографический список

1. Стратегия адаптации сельского хозяйства Республики Беларусь к изменению климата [Электронный ресурс] // М-во с. х. и продовольствия Респ. Беларусь, Нац. акад. наук Респ. Беларусь. – Режим доступа: <https://minpriroda.gov.by/uploads/files/4-Minselxozprod-Strategija-adaptatsii-s-x.pdf>. – Дата доступа: 15.03.2022.
2. Голубятников, Л. Л. Влияние климатических изменений на растительный покров России / Л. Л. Голубятников // Глобальные климатические изменения: региональные эффекты, модели, прогнозы : материалы Междунар. науч.-практ. конф., Воронеж, 3–5 окт. 2019 г. : в 2 т. / Рос. фонд фундамент. исслед.; Воронеж. гос. ун-т ; под общ. ред. С. А. Куролапа, Л. М. Акимова, В. А. Дмитриевой. – Воронеж : Изд-во «Цифровая полиграфия», 2019. – Т. 2. – С. 43–47.
3. Вихров, В. И. Ретроспективные расчеты и пространственно-временная изменчивость сезонных показателей водного режима почв на территории Беларуси / В. И. Вихров. – Горки : БГСХА, 2019. – 176 с.
4. Логинов, В. Ф. Глобальные и региональные изменения климата: причины и следствия / В. Ф. Логинов. – Минск : ТетраСистемс, 2008. – 496 с.
5. Агроклиматическое зонирование территории Беларуси с учетом изменения климата в рамках разработки национальной стратегии адаптации сельского хозяйства к изменению климата в Республике Беларусь : отчет о выполнении работ в рамках Службы предоставления экспертных услуг проекта «Clima East» / В. Мельник [и др.] ; сост. и общ. ред. Н. Денисов. – Минск – Женева : Clima East, 2017. – 83 с.

6. Бровка, Ю. А. Изменение гидротермического коэффициента и повторяемости экстремальных условий увлажнения на территории Беларуси в период потепления климата / Ю. А. Бровка, И. В. Буюков // Природопользование. – 2020. – № 2. – С. 5–18.
7. Оценка влагозапасов и повторяемости почвенных засух на территории Белорусского Полесья в период современного потепления климата / В. И. Мельник, И. В. Буюков, Н. Г. Пискунович, Т. Г. Шумская // Природ. ресурсы. – 2020. – № 2. – С. 104–114.
8. Авдеев, С. М. Использование коэффициентов увлажнения в кормопроизводстве / С. М. Авдеев // Докл. ТСХА : сб. ст. / Рос. гос. аграр. ун-т – МСХА им. К. А. Тимирязева. – М., 2021. – Вып. 293, ч. IV. – С. 3–5.
9. Дайнеко, Н. М. Оценка радиоактивного загрязнения лекарственных растений луговых экосистем поймы реки Сож спустя 30 лет после катастрофы на Чернобыльской атомной станции / Н. М. Дайнеко, С. Ф. Тимофеев // Радиационная гигиена. – 2022. – Т. 15, № 1. – С. 80–87.
10. Радиоэкологические последствия аварии на Чернобыльской АЭС: биологические эффекты, миграция, реабилитация загрязненных территорий / Под ред. чл.-корр. РАН Н. И. Санжаровой и проф. С. В. Фесенко. – М. : РАН, 2018. – 278 с.
11. Применение минеральных удобрений в условиях радиоактивно загрязненного пойменного луга / Е. В. Смольский, Н. М. Белоус, В. Ф. Шаповалов, Л. П. Харкевич, С. Ф. Чесалин, К. А. Сердюкова // Агрохимия. – 2018. – № 1. – С. 87–96.
12. Дайнеко, Н. М. Анализ изменений луговых сообществ поймы р. Беседь Ветковского района / Н. М. Дайнеко, С. Ф. Тимофеев, С. В. Жадько // Изв. ГГУ имени Ф. Скорины. Сер. Естественные науки. – 2020. – № 3. – С. 40–45.
13. Дайнеко, Н. М. Состав и структура пойменных лугов бассейна р. Сож / Н. М. Дайнеко, С. Ф. Тимофеев. – Чернигов : Десна Полиграф, 2020. – 208 с.
14. Методика полевых геоботанических исследований : сб. ст. / Ботанич. ин-т акад. наук СССР. – М.-Л. : Изд-во АН СССР, 1938. – 215 с.
15. Программа и методика биогеоэкологических исследований. – М. : Наука, 1974. – 404 с.
16. Радиоактивное загрязнение растительности Беларуси (в связи с аварией на Чернобыльской АЭС) / Акад. наук Беларуси, Ин-т эксперимент. ботаники им. В. Купревича; ред. В. И. Парфенов, Б. И. Якушев. – Минск : Навука і тэхніка, 1995. – 582 с.
17. Сапегин, Л. М. Хозяйственная типология пойменных лугов Белорусского Полесья / Л. М. Сапегин, Н. М. Дайнеко // Изучение и сохранение пойменных лугов : материалы Междунар. совещ., Калуга, 26–28 июня 2013 г. / Нац. парк «Угра». – Калуга : ООО «Ноосфера», 2013. – С. 53–58.
18. Определитель высших растений Беларуси : учеб. пособие для вузов / Под ред. В. И. Парфенова. – Минск : Дизайн ПРО, 1999. – 472 с.

Поступила 1 июня 2022 г.

ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

УДК 631.84:001.895

ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРИМЕНЕНИЯ АЗОТНЫХ УДОБРЕНИЙ

Н. Н. Семененко, доктор сельскохозяйственных наук

Аннотация

Предложен для широкого использования метод проведения диагностики обеспеченности почв потенциально усвояемой растениями формой азота как основы инновационных технологий применения азотных удобрений. Разработаны градации обеспеченности дерново-подзолистых почв потенциально усвояемым азотом и потребности сельскохозяйственных культур в азотных удобрениях на планируемую урожайность, под основное внесение и для подкормки растений, установлены поправочные коэффициенты к дозам удобрений. Дифференцированные по полям дозы внесения азотных удобрений с учетом содержания в почвах усвояемого азота в сравнении с базовой технологией обеспечивают рост урожайности зерновых культур на 6–10 ц/га, повышают оплату 1 кг азота удобрений в 1,7 раза при уменьшении потерь на 17–24 % и способствуют экономии азота удобрений до 20 кг д. в./га при снижении потерь гумуса почвы и минерализации органических веществ на 12–26 %.

Ключевые слова: почва, диагностика, азотные удобрения, инновационные технологии, урожайность, эффективность.

Abstract

N. N. Semenenko

INNOVATIVE TECHNOLOGIES FOR THE USE OF NITROGEN FERTILIZERS

A method for diagnosing the provision of soils with a form of the nitrogen that is potentially assimilated by plants has been proposed for wide use in production as the basis for innovative technologies for the use of nitrogen fertilizers. Grades for the provision of soddy-podzolic soils with potentially assimilable nitrogen and for the need for agricultural crops in nitrogen fertilizers for the planned yield, for basic application and top dressing of plants, for correction factors for fertilizer doses have been elaborated. Application of doses of nitrogen fertilizers differentiated by fields given the data on the content of Nst in soils ensures an increase in the yield of grain crops in comparison with the basic technology up to 6–10 kg/ha and payment for 1 kg of fertilizer nitrogen by 1.7 times with a decrease in losses by 17–24 and saving fertilizer nitrogen up to 20 kg/ha of a. i., reduction of mineralization of organic substances by 12–26 % and loss of soil humus.

Keywords: soil, diagnostics, nitrogen fertilizers, innovative technologies, yield, efficiency.

Введение

На производство зерна урожайностью 5–6 т/га, получение высокого уровня урожаев кукурузы, сахарной свеклы и других культур требуется применение повышенных доз удобрений, затраты на которые постоянно возрастают. По данным Минсельхозпрода, планируемое на 2022 г. финансирование затрат на приобретение и внесение минеральных удобрений составляет более 2,3 млрд рублей (или 39 % от общей суммы затрат на проведение полевых работ, создание кормовой базы и уборки урожая).

Исследованиями зарубежных и белорусских ученых с применением радиоактивных

изотопов фосфора P^{32} и калия K^{40} еще в начале 1960-х гг. (С. Н. Иванов и др.) установлено, что растения усваивают элементы минерального питания из почвы и внесенных удобрений пропорционально их наличию в соединениях, доступных для растений. Поэтому наряду с общей потребностью культур на планируемую урожайность при внесении элементов питания с удобрениями необходимо учитывать их содержание в почвах в доступных для растений соединениях.

Академиком Т. Н. Кулаковской и другими учеными в полевых опытах (1965, 1970) было доказано, что дифференцированное приме-

нение доз фосфорных и калийных удобрений по полям с учетом содержания подвижных соединений фосфора и калия в почвах Беларуси повышает эффективность их использования на 15–20 %. В настоящее время Агрохимической службой ведется оценка почв на содержание в них подвижных форм фосфора и калия. С учетом получаемых данных применяются дифференцированные по полям дозы фосфорных и калийных удобрений, как правило, в виде основного внесения перед севом (посадкой) культур. Окупаемость 1 кг этих видов удобрений невысокая: чаще всего колеблется в пределах 3–5 кг зерна. Коэффициент использования фосфорных и калийных удобрений, установленный с применением радиоактивных изотопов, составляет соответственно 10–15 и 25–35 % от внесенной дозы (Б. А. Ягодин и др., 1989).

Технологии применения азотных удобрений под сельскохозяйственные культуры и их эффективность принципиально отличаются от фосфорных и калийных. Азот – один из важнейших элементов, определяющих плодородие почвы, минеральное питание растений, урожайность и качество растениеводческой продукции. На дерново-подзолистых почвах разработанные нами инновационные технологии применения азотных удобрений в оптимальных дозах обеспечивают повышение (в сравнении с фоном РК) урожайности зерновых культур на 40–70 % и более при окупаемости 15–32 кг зерна на 1 кг азота и злаковых трав в 2,5–3,0 раза, увеличивают содержание белка в зерне на 2–5 % и обеспеченность кормовой единицы переваримым протеином до 40 %. На окультуренных почвах на азотные удобрения приходится до 90 % от общей прибавки урожайности от минеральных удобрений.

В настоящее время не учитывается разный уровень обеспеченности почв усвояемой формой азота. Минсельхозпрод Беларуси предлагает в 2022 г. использовать усредненные по полям дозы азотных удобрений в ранневесеннюю подкормку озимых 60–70 и основное внесение под яровые зерновые – 80–90 кг/га азота [1, 2]. Рекомендуются также 2–3 внекорневые подкормки зерновых культур усредненными по полям дозами азотных удобрений: 30–50 кг д. в./га без учета состояния посевов. Таким образом, на одних полях реко-

мендуемые дозы азота удобрений могут быть оптимальны, а на других – завышены, что приводит к увеличению затрат на ресурсы при посевах как озимых, так и яровых культур.

В отличие от фосфатов и калия соединения азота почвы и внесенных удобрений в большей степени имеют биологическую природу трансформации. С применением изотопа азота N^{15} установлено, что при традиционной технологии внесения минеральный азот удобрений в течение периода вегетации поглощается растениями (32–40 % от внесенной дозы), закрепляется почвой (аммонийные формы – около 42, нитратные – 26 %) и частично теряется: аммонийные формы в среднем 28, а нитратные и амидные до 34 % в виде газообразных соединений (95 % от общих потерь) и нитратов [3].

Анализ научной литературы показывает, что основные превращения азота удобрений происходят в первые 20–30 суток после их внесения в почву [3]. Основная часть поглощенного почвой азота удобрений закрепляется микроорганизмами в органической форме, а после их отмирания белковые тела частично минерализуются и их азот может быть доступен растениям (3–5 % от внесенной дозы). Использование поглощенного азота удобрений в последствии низкое, не превышает 2–3 % от внесенной дозы, поэтому азотные удобрения необходимо вносить дробно, согласуя сроки их внесения с периодами наибольшей потребности растений в азоте.

По нашему мнению, одним из наиболее актуальных и относительно легко решаемых вопросов совершенствования технологий использования азотных удобрений под сельскохозяйственные культуры является внесение оптимальных дифференцированных по полям доз азотных удобрений на планируемую урожайность, основное внесение и внесение в подкормки с учетом содержания в почве азота в усвояемой для растений форме.

Азот в почве находится в минеральных и органических соединениях. В зависимости от содержания органического вещества в дерново-подзолистых почвах запасы минеральных соединений азота могут колебаться в пахотном слое в пределах от 15 до 85, а в активном корнеобитаемом слое 0–40 см – от 30 до 130 кг/га [3]. Азотное питание растений проис-

ходит за счет поглощения корневой системой его минеральных соединений — нитратов и аммония. Азот органических соединений может быть доступен растениям только после их минерализации. Резервом в азотном питании растений служит то количество азоторганических соединений, которые в течение периода их вегетации в результате минерализации переходят в аммонийную и нитратную формы.

В мировой практике известно много методов диагностики содержания в почвах соединений азота, доступных растениям. В европейских странах чаще всего проводится диагностика запаса минеральных соединений азота в слоях: Ап, 0–40 (Россия и др.), 0–60 (Германия, Франция, Бельгия), 0–90 см (Нидерланды). На черноземных почвах во многих регионах России

диагностируется содержание только нитратной формы азота. В то же время рядом исследователей (Е. М. Лимантова, 1973; Н. А. Сапожников, 1973; Л. И. Никифоренко, 1974; Д. М. Андреева 1978 и 1982; А. В. Петербургский, 1983; С. А. Тарасенко, 1983 и др.) отмечается ненадежность метода расчета содержания только его минеральных соединений. Считается, что метод определения нитрификационной способности почв по методике С. П. Кравкова, учитывающий содержание минеральных и легкоминерализуемых органических соединений азота, дает более приемлемые результаты. Широкому распространению данного метода мешает длительность анализа (14 суток), поэтому возникает необходимость в более быстрых и простых по выполнению химических методах.

Объекты и методы проведения исследований

Нашими исследованиями с применением ^{15}N установлено, что в общем выносе азота почвы урожаем количество его минерализованных органических соединений в зависимости от погодных условий, гранулометрического состава и содержания гумуса в почве составляет 65–85 % зерновых, 80–85 % картофеля. В этой связи аналитический метод для оценки содержания в почвах усвояемой формы азота должен учитывать сумму минеральных и минерализуемых органических соединений азота почвы и быть пригодным для инструментального выполнения и массового пользования. Исходя из вышеуказанных условий нами был разработан метод определения содержания в почвах потенциально усвояемых растениями соединений азота [4–6].

Теоретической основой для оценки предлагаемого метода в наших исследованиях служили результаты изучения азотного режима почв во взаимосвязи с азотным питанием растений в течение их вегетации, уровнем и прибавкой урожайности сельскохозяйственных культур, качеством продукции при внесении азотных удобрений на почвах разного гранулометрического состава и уровня содержания потенциально усвояемого азота. Для этого было проведено 48 микрополевых (с применением ^{15}N) и 36 полевых опытов. Также осуществлялись точечные, на фиксированных площадках в производственных посевах, отборы почвенных проб и учеты доз

применяемых удобрений и урожая на почвах разного гранулометрического состава, уровня плодородия, степени гидроморфности и эродированности с различными культурами. Так, установлено, что содержание потенциально усвояемой формы азота в пахотном слое почв может колебаться в пределах от 10 до 115 мг/кг. Между содержанием в почве потенциально усвояемой формы азота и урожайностью ячменя, озимой ржи, картофеля и других культур, выносом азота почвы урожаем выявлена тесная пропорциональная связь ($R^2 = 0,89–0,96$), описываемая соответствующими уравнениями регрессии. В то же время между содержанием в почвах азота и прибавкой урожайности от применения азотных удобрений их окупаемостью определена обратно пропорциональная зависимость: чем выше уровень содержания азота в почве, тем больше снижается эффективность азотных удобрений ($R^2 = -0,82–0,93$).

Результаты полевых исследований показывают, что мощность перегнойного слоя дерново-подзолистых почв колеблется от 18–20 до 35–38 см. В связи с этим при равном содержании азота в почве, выраженном в мг/кг, фактические его запасы и обеспеченность им растений с учетом мощности перегнойного слоя значительно различаются. С учетом этого, а также того, что в ряде стран диагностика запасов доступных растениям соединений азота проводится на разную глубину почвенного профиля (от Ап до 90 см), исследовалась

оценка доступности растениям азота почвы с разной глубины (20, 40 и 60 см) почвенного профиля. В исследованиях с применением изотопа азота ^{15}N было доказано, что на дерново-подзолистых почвах Беларуси основная роль в питании растений и формировании урожайности сельскохозяйственных культур принадлежит запасам доступных растениям соединений азота в слое почвы 0–40 см (93–97 % от общего выноса урожаем азота почвы) [7]. Следовательно, диагностику почв на обеспеченность их доступными для растений соединениями азота необходимо проводить в слое 0–40 см. В Республиканском стандарте по проведению почвенной диагностики на азот рекомендовалось отбирать почвенные пробы отдельно из слоев 0–20 и 21–40 см [6]. При проведении почвенной диагностики на азот в производственных условиях оказалось, что отбор почвенных проб слоя 21–40 см наиболее затратен. Дополнительными статистическими исследованиями выявлено, что между запасами усвояемого азота ($N_{\text{усв.}}$, кг д. в./га) в слое почвы 0–20 см и слоя 0–40 см существует тесная связь ($R^2 = 0,98\text{--}0,99$), описываемая уравнениями регрессии, различающимися по типам почв:

суглинистые:

$$y_{\text{сугл.}} = 1,26x + 45,51; \quad R^2 = 0,99; \quad (1)$$

супесчаные:

$$y_{\text{супесч.}} = 1,35x + 38,29; \quad R^2 = 0,98; \quad (2)$$

песчаные:

$$y_{\text{песч.}} = 1,41x + 22,67; \quad R^2 = 0,98, \quad (3)$$

где y – запас усвояемого азота ($N_{\text{усв.}}$) в слое почвы 0–40 см, кг д. в./га; x – запас $N_{\text{усв.}}$ в слое почвы 0–20 см (в пределах от 35 до 310 кг д. в./га).

Запас $N_{\text{усв.}}$ в слое 0–20 см почвы рассчитывают по формуле:

$$N_{\text{усв.}} = 0,001 C B; \quad (4)$$

где $N_{\text{усв.}}$ – запас азота в слое 0–20 см почвы, кг/га; C – содержание азота в почве слоя 0–20 см, мг/кг; B – средний вес слоя почвы 0–20 см осенью (октябрь, ноябрь), который составляет для почв суглинистых – 2400, супесчаных – 2600 и песчаных – 2800 т/га; число 0,001 – коэффициент пересчета данных содержания азота с мг/кг почвы на кг/га.

Установлено, что без ущерба точности оценку уровня обеспеченности почв $N_{\text{усв.}}$ в слое 0–40 см можно проводить по данным запаса азота в слое 0–20 см. Зная запас усво-

яемого азота в этом слое по соответствующим уравнениям регрессии, запас азота в слое 0–40 см определяют с высокой долей достоверности (отклонения от средних не превышает 5 %). Это позволяет сократить почти в два раза затраты и время на диагностику содержания в почвах потенциально усвояемой фракции азота.

Результаты многолетних исследований, проведенных на почвах разного гранулометрического состава, разной окультуренности, увлажнения и подверженных эрозии, показывают, что запасы усвояемого азота в наиболее корнеобитаемом слое почвы (0–40 см) колеблются в пределах от 60 до 450 кг/га (в среднем от 90 до 350 кг/га).

В работах с применением изотопа азота ^{15}N нами ранее установлено, что культурные растения в течение своей вегетации поглощают азот из почвы и вносимых азотных удобрений пропорционально содержанию их соединений в доступной для растений форме [3, 8, 9]. Выявлена следующая закономерность: чем больше почва содержит азота потенциально усвояемых растениями соединений, тем меньше растения поглощают азот удобрений. Доказано, что доля участия азота удобрений в общем выносе его урожаем изменяется: при очень низком и низком содержании – от 50–55 %, а при высоком и очень высоком – до 10–15 % (рис. 1, 2).

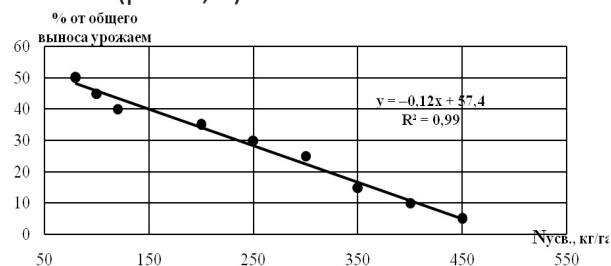


Рис. 1. Зависимость потребления азота удобрения яровыми зерновыми культурами (% от общего выноса урожаем) от уровня содержания $N_{\text{усв.}}$ в почве

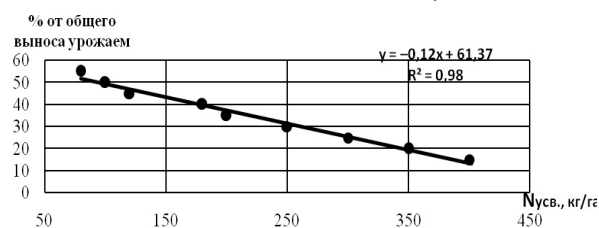


Рис. 2. Зависимость потребления азота удобрения озимыми зерновыми культурами (% от общего выноса урожаем) от уровня содержания $N_{\text{усв.}}$ в почве

Между запасом $N_{\text{усв.}}$ в почвах и долей участия азота удобрений в общем выносе его урожаем зерновых культур также установлена тесная устойчивая связь, описываемая соответствующими уравнениями регрессии:

$$y_{\text{я.р.}} = -0,12x + 57,4; R^2 = 0,99 \text{ (яровые); (5)}$$

$$y_{\text{оз.}} = -0,12x + 61,37; R^2 = 0,98 \text{ (озимые); (6)}$$

Результаты исследований

Зависимость уровня урожайности зерновых культур (аналогично для кукурузы, рапса и картофеля) от содержания потенциально усвояемого азота в слое 0–40 см почвы носит криволинейный характер и отличается у почв разного гранулометрического состава. Графики, представленные на рис. 3, показывают, что между запасом азота в почве (кг д.в./га) и урожайностью (ц/га) по всем опытам существует тесная связь ($R^2 = 0,83\text{--}0,99$) [3, 8, 9].

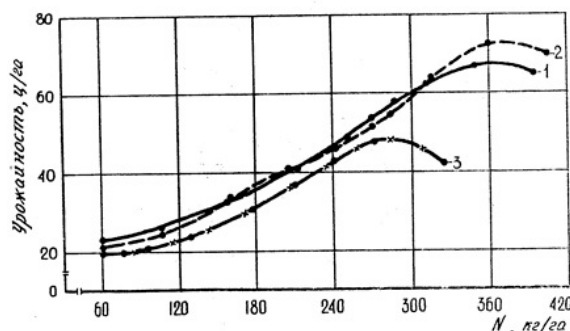


Рис. 3. Зависимость урожайности озимой ржи от содержания усвояемого азота в почвах: 1 – суглинистые; 2 – супесчаные; 3 – песчаные

где y – долевое участие азота удобрений в общем выносе его урожаем, %; x – содержание $N_{\text{усв.}}$ в почве (в пределах от 60 до 450 кг д. в./га).

Это закономерность явилась основой для определения оптимальных, дифференцированных по полям доз азотных удобрений.

На основании установленной зависимости, с учетом выноса азота почвы и удобрений с урожаями нами предложены ориентировочные градации обеспеченности дерново-подзолистых почв потенциально усвояемым азотом в слое 0–40 см, определены корректирующие коэффициенты к расчетным дозам азота на планируемую урожайность, дозы азотных удобрений для ранневесенней подкормки озимых зерновых культур и основного внесения под яровые зерновые культуры (табл. 1).

Доза азота на планируемую урожайность рассчитывается по формуле:

$$N = K_{\text{в}} U_{\text{пл.}} N_{\text{уд. в.}}; \quad (7)$$

где N – доза азотного удобрения, кг д. в./га; $K_{\text{в}}$ – нормативный коэффициент возмещения удобрениями выноса азота урожаем культуры; $U_{\text{пл.}}$ – планируемая урожайность культуры, т/га; $N_{\text{уд. в.}}$ – норматив удельного выноса азота с учетом побочной продукции, кг д. в./т.

Таблица 1. Градации обеспеченности дерново-подзолистых почв потенциально усвояемым азотом, потребности зерновых культур в азотных удобрениях на планируемую урожайность 6–8 т/га и ориентировочные дозы азотных удобрений под зерновые культуры

Группа	$N_{\text{усв.}}$ в слое почвы 0–40 см, кг д. в./га	Степень обеспеченности почв азотом	Потребность растений в азотных удобрениях	Коэффициент возмещения выноса	Доза азота, кг д. в./га	
					Ранневесенняя подкормка озимых	Основное внесение под яровые
1	Менее 80	Очень низкая	Очень высокая	1,1–1,2	80–90***	80–90***
2	80–120	Низкая	Высокая	1,1–1,0	70–80	
3	121–200	Средняя	Средняя	0,8–0,7	50–60	60–70
4	201–300	Повышенная	Низкая	0,6–0,5	40–50	40–50
5	301–400*	Высокая	Очень низкая	0,3–0,2**	20–30	15–25
6	Более 400*	Экологически опасная	Отсутствует	0	0	0

Примечания. *Экологически опасный уровень содержания азота в песчаных и супесчаных почвах, подстилаемых песком; **азотные удобрения применяют в подкормку; ***при изреженных слаборазвитых растениях; более высокие дозы для пшеницы и тритикале.

Исследованиями также установлено, что содержание нитратов в картофеле, корнеплодах и травах, как правило, превышает предельно допустимый уровень при запасах в слое 0–40 см песчаных почв потенциально усвояемого азота более 300 кг д. в./га и более 400 кг д. в./га в суглинистых почвах. В таких почвах содержание нитратов в значительных количествах обнаруживается не только в верхних слоях почвенной толщи, но и на глубине 80–100 см, что может привести к загрязнению грунтовых вод нитратами.

Приведенные в табл. 2 результаты полевых и производственных опытов показывают, что применение азотных удобрений с учетом требований инновационной технологии на посевах зерновых культур обеспечивает повышение урожайности до 50–80 ц/га в среднем на 6,5 ц/га, окупаемости азота удобрений на 40 % и более, снижение дозы азота в среднем на 20 кг/га и удельных энергозатрат на 20–40%, а также полегаемости посевов.

Следует отметить, что в опытах, когда посевы не могут реализовать биологический потенциал урожайности сортов по причинам, не связанным с уровнем азотного питания, происходит экономия азотных удобрений до 30 и более кг д. в./га. Особенно высокая агроэкологическая эффективность предлагаемой технологии применения азотных удобрений установлена на эродированных почвах [10].

По оценке эффективности инновационных технологий применения азотных удобрений проведены также опыты на почвах разного уровня плодородия с зерновыми, картофелем и кукурузой. Результаты таких опытов с зерновыми культурами представлены в табл. 3.

В наших опытах, как при базовой, так и при инновационной технологии использования азотных удобрений, на посевах зерновых культур применялся весь рекомендуемый комплекс мероприятий по защите растений и использованию ретардантов. Во втором случае дозы корректировались с учетом запаса $N_{\text{усв.}}$ в почвах, что позволило снизить их уровень на 20–30 кг/га (озимая пшеница: с 140 до 105–110 кг/га; ячмень на песчаных почвах – до 10 кг/га). За счет увеличения в 1,5–1,8 раза коэффициента использования и снижения потерь в 2,5–3 раза повысилась прибавка урожайности озимой пшеницы в среднем по 6 опытам с 17,8 до 25,0 ц/га (на 40 %), достигая уровня 76 ц/га. Оплата 1 кг азота зерном увеличилась с 12,9 до 21,7 кг, или в 1,7 раза. На посевах озимой ржи, возделываемой на песчаных почвах, от применения инновационной технологии внесения азотных удобрений прибавка урожайности в сравнении с базовой увеличилась с 10,0 до 15,5 ц/га, или на 55 %; увеличилась окупаемость 1 кг удобрений зерном с 8,3 до 13,3 кг, или в 1,6 раза.

Таблица 2. Сравнительная эффективность технологий применения азотных удобрений под озимые зерновые культуры [3, 8, 9]

Почвы, культура	Технология применения удобрений	Вариант опыта	Доза азота*, кг/га	Урожайность, ц/га	Оплата 1 кг азота зерном, кг	Удельные энергозатраты, Мдж/ц
Суглинистые (озимая пшеница)	(дробно) базовая	$P_{60}K_{120}N_{140}$	140	72,0**	21,7	528
	(дробно) по диагностике	$P_{60}K_{120}N_{120}$	120	76,1	28,8	407
	относительно базовой		–20	+4,1	+7,1	–127
Суглинистые (озимая рожь)	(дробно) базовая	$P_{90}K_{120}N_{120}$	120	64,6	23,7	590
	(дробно) по диагностике	$P_{90}K_{120}N_{100}$	100	68,3	32,2	490
	относительно базовой		–20	+3,7	+8,5	–100
Супесчаные (озимая рожь)	(дробно) базовая	$P_{90}K_{120}N_{120}$	120	54,6**	20,6	593
	(дробно) по диагностике	$P_{90}K_{120}N_{110}$	110	70,9	37,4	408
	относительно базовой		–10	+16,3	+16,8	–185

Примечания. *На фоне РК; **полегание.

**Таблица 3. Эффективность инновационных технологий
применения азотных удобрений на посевах зерновых культур**

А – озимая пшеница, почвы суглинистые (доза азота уд.: N_6 – 140 кг д. в./га; $N_{ин.}$ – 130–(120–105) кг д. в./га)						
Технология	Запас $N_{усл.}$ в почве, кг д. в./га					
	121		190		297	
	А***	Б***	А***	Б***	А***	Б***
РК – фон	30	–	38	–	49	–
Фон + N_6^*	41	7,9	62	17,1	70	15,0
Фон + $N_{ин.}^{**}$	48	13,8	64	21,7	76	25,7
Б – озимая пшеница, почвы супесчаные (доза азота: N_6 – 140; $N_{ин.}$ – 130–(120–110) кг/га)						
Технология	Запас $N_{усл.}$ в почве, кг д. в./га					
	125		189		299	
	А***	Б***	А***	Б***	А***	Б***
РК – фон	34	–	40	–	47	–
Фон + N_6^*	49	10,7	57	12,1	66	13,6
Фон + $N_{ин.}^{**}$	56	16,9	69	24,2	75	25,9
В – озимая рожь, почвы песчаные (доза азота: N_6 – 120; $N_{ин.}$ – 120 – (115–110) кг/га)						
Технология	Запас $N_{усл.}$ в почве, кг д. в./га					
	105		152		231	
	А***	Б***	А***	Б***	А***	Б***
РК – фон	21	–	25	–	34	–
Фон + N_6^*	29	6,7	37	10,0	45	9,2
Фон + $N_{ин.}^{**}$	36	12,0	41	13,8	53	17,3

Примечания. Технологии: *базовая, без учета запаса $N_{усл.}$ в почве; **инновационная; ***А – урожайность, ц/га, Б – окупаемость 1 кг азота удобрений зерном, кг.

**Таблица 4. Результаты почвенной диагностики на посевах озимых культур
(% от обследуемой площади)**

Область	Обследовано всего, тыс. га	Распределение площадей, %			
		запас азота (слой 0–40 см), кг д. в./га			
		менее 120	120–200	201–300	более 300
Брестская	119	38	35	18	9
Витебская	78	22	44	19	14
Гомельская	137	26	36	28	10
Гродненская	34	32	44	13	10
Минская	120	17	23	48	12
Могилевская	134	14	35	37	14
По Беларуси в целом	621	25	34	30	11
$N_{уд.}$, кг д. в./га	70*	80–70**	50**	30**	20–0**

Примечания. *Усредненная рекомендуемая доза азота; **дифференцированные дозы с учетом данных запаса азота в почвах.

Анализ результатов почвенной диагностики посевов озимых зерновых культур на площади 621 тыс. га, проведенной Агрохимической службой республики в 1990 г., показывает, что в каждом сельхозпредприятии различия в содержании доступного растениям азота в почвах по отдельным полям достигали 3–4 и более раз (табл. 4). Так, из общей обследуемой площади на долю с очень низкой и низкой обеспеченностью $N_{\text{усв.}}$ в среднем приходилось 25 % (колебания по областям – 14–38 %), средней – 34 (23–44), повышенной – 30 (13–48), высокой и очень высокой – 11 % (9–14 %).

В наших исследованиях, проведенных с изотопом азота ^{15}N , установлено, что при внесении дифференцированных по полям доз азотных удобрений с учетом содержания усво-

яемых соединений азота в почве в среднем за 6 лет севооборота коэффициент их использования в сравнении с базовым вариантом повышается на 13–18 %, а потери снижаются на 17–24 кг д. в./га [3, 8, 9]. Инновационная технология применения азотных удобрений позволяет снизить минерализацию органического вещества на 12–26 %; потери азота почвы в слое 0–40 см составляют: на суглинистых и супесчаных – на 43, на песчаных – 65 кг д. в./га. Расчеты показывают, что при внедрении данной технологии применения азотных удобрений на посевной площади 2 млн га и внесении средних доз суммарная экономия азота удобрений может составить более 30 тыс. тонн д. в. ежегодно. При этом потери плодородия почв снизились бы на 1,7 млн т гумуса.

Заключение

Диагностика обеспеченности почв потенциально усвояемой растениями формой азота служит основой инновационных технологий применения азотных удобрений.

Доказано, что доля участия азота удобрений в общем выносе его урожаем изменяется: при очень низком и низком содержании – от 50–55 %, а при высоком и очень высоком – до 10–15 %.

Инновационные технологии применения азотных удобрений под сельскохозяйственные культуры предусматривают дробное внесение удобрений – основное и 1–2 или более подкормок – в комплексе с микроудобрениями, физиологически активными веществами,

регуляторами роста и пестицидами. При этом дозы удобрений, применяемые в каждый срок, дифференцируются по полям с учетом данных почвенной и растительной диагностики на содержание азота. Использование в производственных условиях новых технологий применения азотных удобрений обеспечивает в сравнении с базовой повышение урожайности зерновых культур до 6–10 ц/га; за счет увеличения коэффициента усвоения растениями в 1,5–1,8 раза и снижения потерь в 2,5–3 раза экономия азота удобрений достигает 20 кг/га д. в.; минерализация ОВ на 12–26 % и потери гумуса почвы уменьшаются.

Библиографический список

1. Рекомендации по экономически обоснованным приемам управления продуктивностью посевов зерновых культур в агротехнологиях различной интенсивности на дерново-подзолистых почвах / В. В. Лапа [и др.]. – Минск : Ин-т почвоведения и агрохимии, 2014. – 24 с.
2. Отраслевой регламент. Применение удобрений при возделывании зерновых культур. Типовые технологические процессы / В. В. Лапа [и др.]. – Минск : Ин-т почвоведения и агрохимии, 2014. – 16 с.
3. Семененко, Н. Н. Азот в земледелии Беларуси / Н. Н. Семененко, В. Н. Невмержицкий. – Минск : Т-во «Хата», 1997. – 195 с.
4. Семененко, Н. Н. Метод определения усвояемого азота в дерново-подзолистых почвах / Н. Н. Семененко // Агрохимия. – 1981. – № 11. – С. 129–134.
5. Методические указания по проведению комплексной почвенно-растительной диагностики азотного питания зерновых культур / Н. Н. Семененко [и др.]. – Минск : Ураджай, 1988. – 32 с.

6. Почвы. Метод определения потенциально усвояемого азота : РСТ Беларуси 908–91 / Н. Н. Семененко [и др.]. – Минск : Минсельхозпрод Республики Беларусь, 1991. – 13 с.
7. Семененко, Н. Н. Доступность растениям минеральных соединений азота подпахотных слоев дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы и их роль в формировании урожая озимой ржи / Н. Н. Семененко, Н. Н. Цыбулько // Агрохимия. – 1995. – № 7. – С. 21–24.
8. Семененко, Н. Н. Адаптивная система применения азотных удобрений / Н. Н. Семененко. – Минск : Т-во «Хата», 2003. – 164 с.
9. Семененко, Н. Н. Инновационные технологии применения азотных удобрений: теория, методология, практика / Н. Н. Семененко. – Минск : ООО «Альфа-книга», 2020. – 320 с.
10. Семененко, Н. Н. Влияние способов применения азотных удобрений на формирование элементов продуктивности и урожайность зерновых культур на эродированных почвах / Н. Н. Семененко, И. М. Почицкая // Изв. Акад. аграр. наук Респ. Беларусь. – 2001. – № 4. – С. 42–47.

Поступила 19 мая 2022 г.

РАСЧЕТ ЭЛЕМЕНТОВ ВОДНОГО БАЛАНСА ПОЧВЫ ПОД МНОГОЛЕТНИМИ ТРАВАМИ В СЛОЖНЫХ УСЛОВИЯХ

И. А. Романов¹, ассистент

А. П. Лихачев², доктор технических наук

Г. В. Латушкина², кандидат технических наук

¹УО «Белорусская государственная сельскохозяйственная академия», г. Горки, Беларусь

²РУП «Институт мелиорации», г. Минск, Беларусь

Аннотация

Расчет элементов водного баланса почвы под многолетними травами проведен по данным, полученным на опытном участке оросительного комплекса «Тушково» (УО «БГСХА») с уклоном поверхности почвы, изменяющимся в пределах 0,023–0,027. Наименьшая ошибка водного баланса получена при расчете водопотребления многолетних трав по максимальным температурам воздуха и биотермическим коэффициентам, установленным на основе физического принципа баланса причинно-следственных взаимодействий в замкнутой физической системе и не зависящим от способа использования травостоя (зеленая масса, сенаж, сено, пастбище). Установлено, что при указанных значениях уклона поверхности поверхностный сток необходимо учитывать только на вершине склона и на расстоянии по уклону приблизительно до 50 м. На участках, расположенных ниже по склону, поверхностным стоком как расходным элементом водного баланса при возделывании многолетних трав можно пренебречь. Такое ограничение объясняется тем, что при дожде (или поливе) дополнительно в почву инфильтруется примерно столько же воды, притекающей с вышерасположенной части склона, сколько ее убывает с поверхностным стоком ниже по склону.

Ключевые слова: многолетние травы, водопотребление, поверхностный сток, водобалансовый расчет, математическое моделирование.

Abstract

I. A. Romanov, A. P. Likhachev, G. V. Latushkina

CALCULATION OF SOIL WATER BALANCE ELEMENTS UNDER PERENNIALGRASSES UNDER DIFFICULT CONDITIONS

The calculation of the elements of water balance of the soil under perennial grasses was carried out according to the data obtained at the experimental site of the irrigation complex «Tushkovo» (Belarusian State Agricultural Academy) with a soil surface slope varying within 0.023–0.027. The smallest error was obtained when calculating the water consumption of perennial grasses according to the maximum air temperatures and biothermal coefficients established on the basis of the physical principle «balance of cause-and-effect interactions in a closed physical system», independent of the method of grass stand use (green mass, haylage, hay, pasture). The analysis showed that with given indicators of surface slopes, surface runoff should be taken into account only at the top of the slope and at a distance along the slope of up to approximately 50 m. In areas located down the slope, surface runoff, as a consumable element of the water balance, can be neglected when cultivating perennial grasses. This limitation is explained by the fact that during rain (or irrigation), about the same amount of water inflowing from the higher part of the slope additionally infiltrates into the soil, as it decreases with surface runoff down the slope.

Keywords: perennial grasses, water consumption, surface runoff, water balance calculation, mathematical modeling.

Введение

Обычно в методиках водобалансового расчета почвенных влагозапасов традиционно ориентируются на календарный декадный интервал (10–11 суток). Именно к этому интервалу привязываются все элементы водного баланса, включая водопотребление орошаемых культур. Однако на практике пользоваться декадными биотермическими коэффициентами не совсем удобно применительно к многолетним травам (сенокос, пастбище и др.),

поскольку сроки проведения уборки зеленой массы (укосов или стравливаний при пастбищном использовании травостоя) по годам различаются, сдвигаясь на несколько суток в ту или иную сторону, причем часто со сменой декады. Кроме того, в производственных условиях на одних и тех же участках могут применяться разные способы и сроки заготовки травяного корма (сено, сенаж, зеленая масса на откорм при стойловом содержании крупного рогатого

скота). В зависимости от различных производственных обстоятельств могут меняться количество укосов и очередность уборки трав по площади.

В связи с этим возникает проблема в определении одного из основных элементов водного баланса – водопотребления многолетних трав, без учета которого целенаправленное управление водным режимом орошаемой культуры невозможно. Привязка биоклиматических или биотермических коэффициентов водопотребления к календарным декадам здесь явно не подходит.

Методика проведения опыта

Опыт заложен в 2017 г. Структура многолетних трав состояла из бобово-злаковой травосмеси. Фон удобрений на всех вариантах опыта составлял $P_{60}K_{90}$. Использование травостоев в 2018–2019 гг. – трехукосное со скашиванием в фазу цветения бобового элемента и колошения злаковых; в 2020 г. – без орошения, с имитацией уборки на зеленую массу для откорма крупного рогатого скота при стойловом содержании.

Норма высева рассчитана по И. В. Ларину. Посев многолетних трав выполнялся в апреле 2017 г. сеялкой СПУ-6 под покров ярового ячменя, уборка которого проведена в конце июля. Поэтому 2017 г. был исключен из анализа, а в расчетах использовались трехлетние данные с полным периодом вегетации травостоя (2018–2020).

Опытный участок расположен на склоне с переменным уклоном, причем варианты и повторности опыта располагались так, чтобы уклон поверхности почвы на опытных делянках существенно не различался и колебался в пределах 0,023–0,027. Вариант без орошения (контрольный) расположен у вершины склона (рис. 1).

Цель исследования – изучение влияния диапазона колебаний почвенной влажности на водопотребление многолетних трав. Первый вариант дождевания (РО-1), расположенный ниже по склону по сравнению с контрольным вариантом (без орошения), ориентирован на предполивную влажность 70 % НВ, но допускал кратковременное снижение почвенной влажности в корнеобитаемом слое почвы при вегетации третьего укоса до 50 % от наименьшей влагоемкости.

Особенно усложняется водобалансовый расчет при наличии на участке поверхностного стока. На наш взгляд, использование для его определения отдельно устроенных стоковых площадок нарушает протекание процессов инфильтрации и стока воды по поверхности почвы с растительностью в виде многолетних трав. Для выделения объема поверхностного стока из уравнения водного баланса мы использовали данные инструментального контроля за динамикой почвенных влагозапасов на опытном участке в течение вегетационных периодов 2018–2020 г.г.

Второй вариант дождевания (РО-2) расположен по склону ниже варианта РО-1 и ориентирован на предполивную влажность 80 % НВ, но допускал кратковременное снижение почвенной влажности в корнеобитаемом слое почвы до 40 % от наименьшей влагоемкости при вегетации второго укоса. Таким образом имитировался производственный полив с возможными сбоями в его проведении, что существенно может усложнять реализацию технологии полива, основанной на водобалансовом расчете динамики почвенных влагозапасов.

Повторность каждого варианта опыта трехкратная. Ширина одной повторности 3 метра, длина 30 м, причем длинная сторона делянки расположена вдоль склона. Учетная площадь делянок составляет 90 м².

Определение сроков начала поливов выполнялось с помощью водобалансовых расчетов и контролировалось послойным измерением фактических влагозапасов почвы термостатно-весовым способом. Дождевание производилось позиционно, по сектору в утренние часы, чтобы уменьшить снос искусственного дождя ветром. Точность выдачи поливной нормы контролировалась осадкомерами.

Водно-физические свойства почвы определялись по стандартным методикам: наименьшая влагоемкость почвы – методом залива площадок; плотность почвы – методом режущего кольца; плотность твердой фазы – пикнометрическим методом; пористость почвы – расчетным путем; гранулометрический состав – ареометрическим методом.

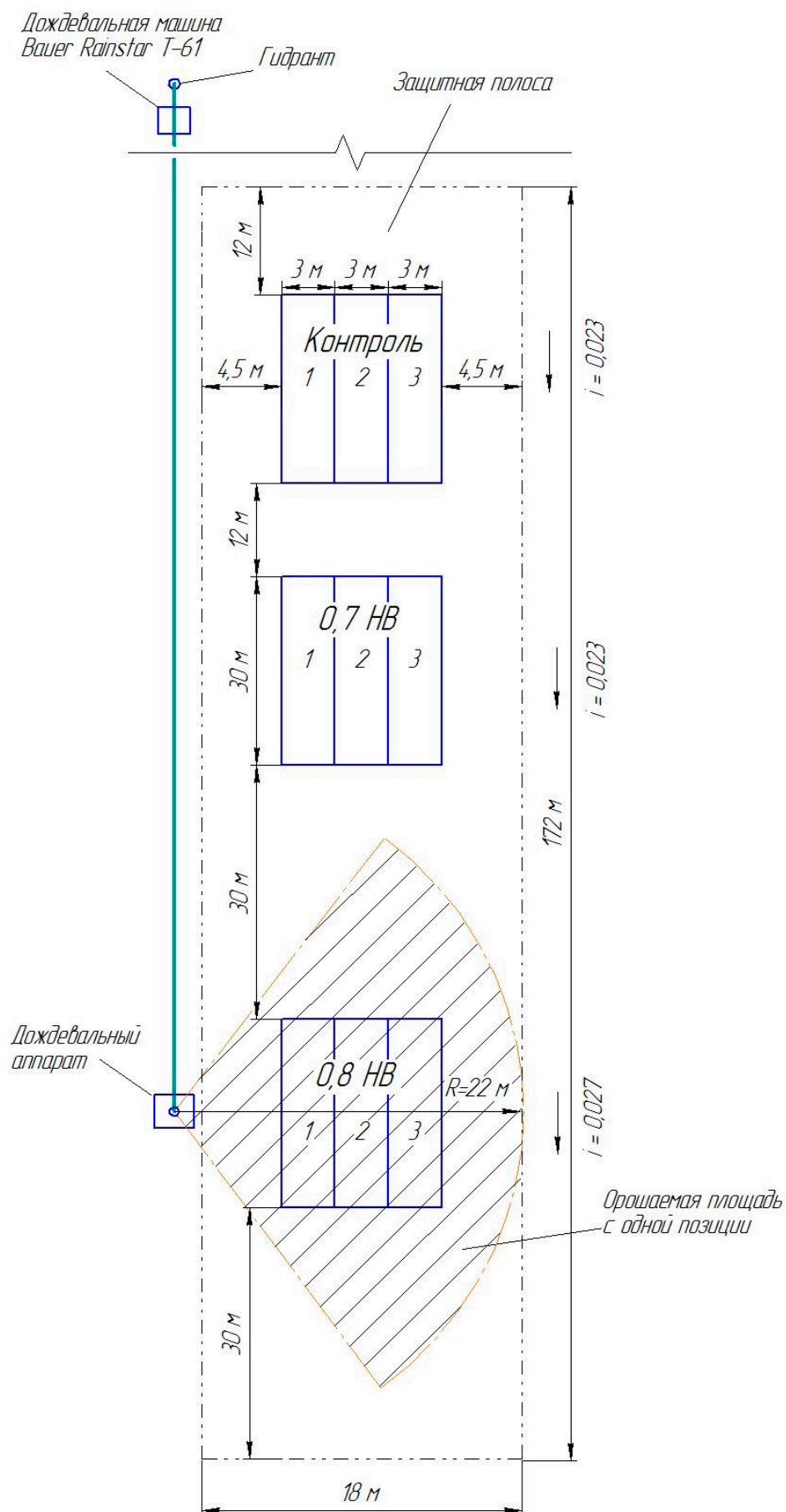


Рис. 1. Схема орошения многолетних трав

Пробы почвы на влажность на опытных площадках отбирались по слоям 0–10, 10–20, 20–30, 30–40 см с помощью почвенного бура. Влажность почвы определялась термостатно-весовым способом с использованием технических весов ВК-600 для взвешивания почвенных образцов и сушильного шкафа-термостата для их сушки. Максимальная температура воздуха измерялась метеорологическим термометром ТМ-1, атмосферными осадки – почвенными дождемерами ГР-28. Максимальная температура воздуха и атмосферные осадки измерялись ежедневно в 19 часов на метеопосту, расположенном на границе орошаемого участка.

Водный баланс почвы. Уравнение водного баланса, используемое для управления орошением сельскохозяйственных культур, состоит из приходной и расходной групп элементов. Приходная группа повышает содержание влаги в почве. К основным элементам этой группы водного баланса на автоморфных почвах с глубоким залеганием грунтовых вод относятся атмосферные осадки и поливы. Расходная часть водного баланса включает водопотребление культуры (эвапотранспирация), внутрипочвенный и поверхностный стоки влаги за пределы расчетного слоя. Итоговым показателем водного баланса орошаемого участка является количество влаги, содержащееся в заданном слое почвы на конец расчетного интервала:

$$W_k = W_n + (P + m) - (E + C + G), \quad (1)$$

где W_k – запасы влаги в почве на конец расчетного интервала; W_n – влагозапасы в почве в начале расчетного интервала; P – атмосферные осадки; m – поливы; E – водопотребление (эвапотранспирация) орошаемого поля; C – внутрипочвенный сток влаги за пределы расчетного слоя; G – поверхностный сток влаги за пределы участка.

Чтобы обеспечить высокую точность расчета по (1), начальные почвенные влагозапасы (в начале водобалансового расчета) замерялись непосредственно в поле, а продолжительность расчетного интервала составляла одни сутки [1]. Атмосферные осадки контролировались в соответствии с методиками гидрометеослужбы с помощью дождемера. Для определения поливных норм использовались стандартные методики расчета, а для контроля – мерные сосуды [2–4].

Основная сложность состоит в определении расходных элементов водного баланса. Для расчета внутрипочвенного стока нами использовалась формула, полученная по данным полевого опыта [5]:

$$C = (W_n - E_m - W_{нв}) \left(\frac{t}{T} \right)^\alpha + P \left(\frac{t}{T} \right)^b, \quad (2)$$

где P , E_m – впитавшиеся в почву атмосферные осадки и максимальная эвапотранспирация, наблюдающаяся при насыщении почвы влагой до наименьшей влагоемкости, суммируемые за расчетный интервал продолжительностью t ; $W_{нв}$ – наименьшая влагоемкость заданного (расчетного, корнеобитаемого) слоя почвы, мм; t – продолжительность расчетного интервала, изменяющаяся в диапазоне времени $0 < t < T$, сут; α , b – показатели, характеризующие, соответственно, водоудерживающую способность почвы и интенсивность выпавшего дождя (безразмерные величины); T – продолжительность полного стекания гравитационной влаги из корнеобитаемого слоя после заполнения водой всех почвенных пор при отсутствии подпора от капиллярной каймы грунтовых вод, сут. В уравнении (2) наименьшая влагоемкость ($W_{нв}$) измеряется, как и другие элементы водного баланса почвы, в мм.

Продолжительность полного стекания гравитационной влаги из корнеобитаемого слоя (T) устанавливается для любой почвы на основе стандартной методики определения наименьшей влагоемкости. Эта продолжительность зависит от типа почвы и плотности ее сложения (например, может изменяться в диапазоне 1–2 суток для легких почв рыхлого сложения; 2–3 суток для легких почв средней плотности; 3–4 суток для средних по гранулометрическому составу почв рыхлого сложения; 4–5 суток для средних по грансоставу почв средней плотности; 5–6 суток для средних по грансоставу уплотненных почв; 6–7 суток и более для тяжелых почв) [6].

Водопотребление растений сложно измерить, поэтому его тоже вычисляют по косвенным показателям. Для этого обычно используется известный биоклиматический метод расчета водопотребления по среднесуточным дефицитам влажности, или среднесуточным, или максимальным за сутки температурам воздуха. Биологическая составляющая при этом учитыва-

ется через вводимые в расчетные формулы так называемые биоклиматические или биотермические коэффициенты. В наших исследованиях водопотребление растений увязывалось с максимальными за сутки температурами воздуха, для чего использовались соответствующие биотермические коэффициенты [2–4].

С учетом расположения вариантов опыта на участке с уклоном поверхности почвы в пределах 0,023–0,027 в уравнении водного баланса (1) присутствует поверхностный сток, алгоритм определения которого будет приведен ниже. Вначале уточним методику расчета водопотребления многолетних трав.

Расчет водопотребления многолетних трав. В качестве фактора, управляющего процессом водопотребления многолетних трав, мы использовали максимальную за сутки температуру воздуха, поскольку этот метеопараметр не только достаточно точно отражает влияние испаряющей способности приземного слоя атмосферы на растения, но и наиболее легко контролируется в производственных условиях, что особенно важно при управления орошением. Биологические особенности развития культур учитываются здесь соответствующими биотермическими коэффициентами, рассчитанными по максимальным за сутки температурам воздуха. Расчет велся посуточно по формуле:

$$E_i = 0,1\varphi_i K_{ii} \sum_{i=9}^i t_i, \quad (3)$$

где E_i – водопотребление многолетних трав за i -е сутки, мм; φ_i – коэффициент, учитывающий увлажненность почвы в i -е сутки; K_{ii} – биотермический коэффициент i -х суток, вычисленный по максимальным суточным температурам воздуха, мм/°С; $\sum_{i=9}^i t_i$ – сумма максимальных суточных температур воздуха за расчетные (i -е) сутки и 9 суток, предыдущих расчетным, °С.

Коэффициент, учитывающий увлажненность почвы, вычислялся по формуле А. П. Лихачевича:

$$\varphi_i = \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{W_{\text{HB}}}{W_{i-1}} - 1 \right)^2 \right], \quad (4)$$

где W_{HB} – наименьшая влагоемкость расчетного слоя почвы, мм; W_{i-1} – влагозапасы почвы в сутки, предыдущие расчетным (i -м), то есть начальные влагозапасы i -х суток.

Сложность расчета водопотребления многолетних трав состоит в определении их биотермических коэффициентов, поскольку уборка многолетних трав в течение вегетации в разные годы производится в разные сроки. Для решения указанной проблемы нами выполнена количественная оценка результатов водобалансовых расчетов с использованием при определении водопотребления трав биотермических коэффициентов, установленных на основе физического принципа баланса причинно-следственных взаимодействий в замкнутой физической системе.

В качестве одного из возможных и наиболее простых вариантов данной связи предлагаем уравнение в частных производных, вытекающее из математического выражения данного физического принципа, представленного в работе [7] и используемого при построении полуэмпирических уравнений:

$$\begin{aligned} \frac{\partial k}{\partial r_i} &= \left[\frac{\mu(k - k_{\min})}{r_i(k_{\max})} \right] \frac{r_i(k_{\max}) - r_i}{r_i(k_{\max})} = \\ &= \mu(k - k_{\min}) \frac{r_i(k_{\max}) - r_i}{[r_i(k_{\max})]^2}, \end{aligned} \quad (5)$$

где k – изменяемое в процессе вегетации многолетних трав (текущее) значение биотермического коэффициента; μ – показатель, учитывающий форму биологической кривой; $k_{\min}$ – минимальное значение биотермического коэффициента; $k_{\max}$ – максимальная величина биотермического коэффициента; r_i – i -я характеристика окружающей среды, влияющая на развитие и урожайность культуры; $r_i(k_{\max})$ – фиксированное значение i -й характеристики окружающей среды, при которой биотермический коэффициент достигает максимума.

Решением дифференциального уравнения (5) является функция:

$$\begin{aligned} k &= k_{\min} + (k_{\max} - k_{\min}) \times \\ &\times \prod_{i=1}^{i=n} \exp \left[-\frac{\mu}{2} \left(1 - \frac{r_i}{r_i(k_{\max})} \right)^2 \right], \end{aligned} \quad (6)$$

где n – количество учитываемых характеристик окружающей среды.

Уравнение (6) может содержать неограниченное количество характеристик окружающей среды, влияющих на развитие растений в процессе их вегетации, которое количественно

выражается через изменение биотермического коэффициента. Главное условие при подборе аргументов в функцию (6) состоит в том, чтобы выбранные характеристики были независимы друг от друга.

Весьма подробный анализ зависимости биологических (биоклиматических, биотермических) коэффициентов водопотребления сельскохозяйственных культур от характеристик окружающей среды, влияющих на развитие растений в процессе их вегетации, приведен в монографии В. И. Вихрова. Со ссылкой на результаты изысканий разных авторов исследователем сделан вывод, что «...темпы и фазы развития растений более надежно определяются соответствующими суммами накопленных температур воздуха» [8, с. 29–30].

Помимо того, многолетние травы в процессе накопления биомассы используют почвенную влагу и растворенные в ней питательные элементы в соответствии с характерной для них биологической кривой, имеющей колоколообразную форму, которую можно увязать с прошедшим от начала вегетации количеством суток, начиная от первоначальной даты водобалансового расчета.

С учетом сказанного, выберем в качестве аргументов функции (6), во-первых, номер расчетных суток, накопление которых от начала вегетации культуры характеризует изменение потребности растений в почвенной влаге, во-вторых, сумму максимальных (можно среднесуточных) температур воздуха, накопленных от начала водобалансового расчета:

$$k = k_{\min} + (k_{\max} - k_{\min}) \times \exp \left[-\frac{\mu_N}{2} \left(1 - \frac{N}{N(k_{\max})} \right)^2 - \frac{\mu_t}{2} \left(1 - \frac{t}{t(k_{\max})} \right)^2 \right], \quad (7)$$

где μ_N – показатель влияния номера расчетных суток на форму биотермической кривой; μ_t – показатель влияния на форму биотермической кривой максимальных (или среднесуточных) температур воздуха, накопленных от начала водобалансового расчета; $N(k_{\max})$ – фиксированное значение номера расчетных суток от начала водобалансового расчета, при котором биотермический коэффициент достигает максимума; N – текущий номер расчетных суток от начала водобалансового расчета; $t(k_{\max})$ – фиксированное значение суммы максимальных (или среднесуточных) температур воздуха,

накопленных от начала водобалансового расчета, при которой биотермический коэффициент достигает максимума; t – текущее на расчетную дату значение суммы максимальных (или среднесуточных) температур воздуха, накопленной от начала водобалансового расчета.

Если в качестве фактора, управляющего водопотреблением многолетних трав, выбрать только номер расчетных суток, накопление которых характеризует изменение потребности растений в почвенной влаге в процессе вегетации, или только сумму максимальных (или среднесуточных) температур воздуха, накопленных от начала водобалансового расчета, получим:

$$k = k_{\min} + (k_{\max} - k_{\min}) \times \exp \left[-\frac{\mu_N}{2} \left(1 - \frac{N}{N(k_{\max})} \right)^2 \right], \quad (8)$$

и

$$k = k_{\min} + (k_{\max} - k_{\min}) \times \exp \left[-\frac{\mu_t}{2} \left(1 - \frac{t}{t(k_{\max})} \right)^2 \right]. \quad (9)$$

Проверка полученных расчетных формул выполнена нами по данным полевых исследований в 2018–2020 гг. на оросительном комплексе «Тушково-1» (УО «БГСХА»).

Точность расчета водопотребления многолетних трав по формулам (7)–(9).

Первый вариант водобалансовых расчетов проведен без учета поверхностного стока. Полученные результаты сравнивались между собой. В качестве критерия сравнения использовались среднеквадратичные (стандартные) и среднеарифметические отклонения, вычисляемые по известным формулам:

$$\delta_{\text{ст.}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^z (W - W_{\text{изм.}})^2}{z - 1}}, \quad (10)$$

где $\delta_{\text{ст.}}$ – стандартное (среднеквадратичное) отклонение влагозапасов (W), вычисленных на дату отбора почвенных образцов, от измеренных термовесовым способом по отобранному почвенным образцам ($W_{\text{изм.}}$), мм; z – количество измеренных в поле значений влагозапасов, участвующих в определении стандартного отклонения;

$$\delta_{\text{ср.}} = \frac{1}{z} \sum_{i=1}^z (W - W_{\text{изм.}}), \quad (11)$$

где $\delta_{\text{ср.}}$ – среднеарифметическое отклонение влагозапасов (W), вычисленных на дату отбора почвенных образцов, от измеренных термовесовым способом по отобранным почвенным образцам ($W_{\text{изм.}}$), мм.

Ранее нами было установлено, что в условиях опыта водобалансовый расчет по среднеукусным биотермическим коэффициентам

дал стандартное (среднеквадратичное) отклонение 9,6 мм, а по средневегетационному – в пределах от 11,4 до 12,8 мм [8]. В табл. 1 приведены среднеарифметические и среднеквадратичные отклонения между почвенными влагозапасами, замеренными в поле и вычисленными по биотермическим коэффициентам, установленным по формулам (7)–(9) без учета поверхностного стока в уравнении водного баланса.

Таблица 1. Отклонения между почвенными влагозапасами, замеренными в поле и вычисленными по уравнению водного баланса (без учета поверхностного стока), мм

Год	z, шт.	Среднеарифметические			Среднеквадратичные		
		Контроль	PO-1	PO-2	Контроль	PO-1	PO-2
Расчет по формуле (7) – $k = f(N, t)$							
2018	22	8,5	–3,6	1,6	11,9	9,0	6,1
2019	18	11,1	–1,0	4,6	13,6	6,9	8,7
2020	17	11,1	–2,6	–1,3	10,6	8,4	7,2
Среднее по варианту		10,2	–2,4	1,6	12,0	8,1	7,3
Среднее по опыту за 3 года +3,1 мм					Среднее по опыту +9,1 мм		
Расчет по формуле (8) – $k = f(N)$							
2018	22	7,1	–5,1	0,1	11,0	10,1	6,7
2019	18	9,9	–2,2	3,7	13,0	7,2	8,5
2020	17	8,8	–2,4	0,1	13,9	6,9	7,3
Среднее по варианту		8,6	–3,2	1,3	12,6	8,1	7,5
Среднее по опыту за 3 года +2,2 мм					Среднее по опыту +9,4 мм		
Расчет по формуле (9) – $k = f(t)$							
2018	22	7,5	–4,6	0,7	11,2	9,5	6,6
2019	18	10,4	–1,7	4,1	13,5	7,3	8,6
2020	17	8,0	–3,2	–0,7	12,8	7,7	7,5
Среднее по варианту		8,6	–0,2	1,4	12,5	8,2	7,6
Среднее по опыту за 3 года +2,3 мм					Среднее по опыту +9,4 мм		

Как видим, наименьшее среднеквадратичное отклонение (9,1 мм) получено при расчете биотермических коэффициентов по формуле (7), которая учитывает два фактора: номер расчетных суток, накопление которых характеризует изменение потребности растений в почвенной влаге в процессе вегетации, и сумму максимальных температур воздуха, накопленных от начала водобалансового рас-

чета до расчетных дат. Расчет по формуле (8) дал результат с несколько большей ошибкой расчета (9,4 мм), близкий к полученному при расчете водопотребления многолетних трав по среднеукусным биотермическим коэффициентам (9,6) [9]. При использовании в водобалансовом расчете формулы (9) средняя ошибка также составила 9,4 мм. Что касается точности определения среднеквадратичных

отклонений, можно считать, что ошибки водобалансового расчета (без учета поверхностного стока) по среднеукосным биотермическим коэффициентам (если ориентироваться только на трехукосное использование травостоя) и по предложенным нами формулам, соотносящимся с любым использованием травостоя, практически совпадают.

Таким образом, расчет почвенных влагозапасов по уравнению водного баланса даже без учета поверхностного стока при определении водопотребления многолетних трав при их смешанном использовании (сенокос, пастбище и др.) с применением любой из расчетных формул (7)–(9) дает ошибку в пределах 9,1–9,4 мм, которая примерно соответствует точности водобалансового расчета по среднеукосным биотермическим коэффициентам при трехукосном использовании травостоя (9,6 мм) [9]. Вместе с тем анализ среднеарифметических превышений вычисленных значений почвенных влагозапасов над измеренными на варианте без орошения (контроле) во все годы исследований (табл. 1) показывает, что на варианте, расположенном у вершины склона, явно присутствует поверхностный сток, причем его величина может достигать значительной части выпавшего дождя. Это не позволяет игнорировать данный элемент водного баланса при расчете динамики почвенных влагозапасов.

Заметим, что на варианте РО-1 наблюдалась обратная картина. Во все годы исследований в почву на середине склона поступало воды больше, чем выпадало с дождем (табл. 1). В свою очередь, в нижней части склона (вариант РО-2) положение стабилизировалось и различия между вычисленными и замеренными почвенными влагозапасами колебались в пределах ошибки измерений.

Таким образом, исследования показали, что при выпадении дождя на опытное поле поток воды, помимо перемещения вниз по склону, частично инфильтруется, и эта часть поступающей в почву воды в условиях опыта приблизительно через 50 м компенсирует поверхностный сток.

Учет поверхностного стока. Согласно результатам представленного выше анализа, поверхностный сток будем учитывать в уравнении водного баланса только на контрольном

варианте, расположенном в верхней части склона (рис. 1, вариант без орошения). В простейшем алгоритме расчета уравнием интенсивности атмосферных осадков и поливов в течение всего вегетационного периода и примем поверхностный сток равным только некоторой доле от атмосферных осадков. Эту долю определим, как и при расчете водопотребления, на основе физического принципа баланса причинно-следственных взаимодействий в замкнутой физической системе [7]. В качестве одного из наиболее простых вариантов данной связи предлагаем простейшее уравнение для условий нашего опыта:

$$\frac{d(G/P)}{di} = \beta \frac{G/P}{i}, \quad (12)$$

где G – поверхностный сток влаги за пределы участка, мм; P – количество воды, поступившей на поверхность почвы (атмосферные осадки, а при проведении орошения поливная норма), мм; i – уклон поверхности почвы, по которой идет сток (безразмерная величина); β – показатель, учитывающий впитывающую способность почвы, по которой идет поверхностный сток (безразмерная величина).

Решением дифференциального уравнения (12) будет формула

$$G/P = i^{\beta}, \quad (13)$$

где G/P – доля поверхностного стока от количества воды, поступившей на поверхность почвы (безразмерная величина).

Из (13) следует, что

$$G = P i^{\beta}. \quad (14)$$

Заметим, что в опытах, проведенных в подобных условиях, для расчета поверхностного стока, вызванного орошением многолетних трав на участке, расположенном в средней части склона на местности с уклоном 0,002, Д. В. Яланским предложена формула

$$G = am + b, \quad (15)$$

где m – поливная норма; a , b – эмпирические коэффициенты, зависящие от интенсивности дождя.

В формуле Д. В. Яланского эмпирические коэффициенты, зависящие от интенсивности дождя, ориентированы на конкретный уклон опытного участка при изменяющейся интенсивности дождя [10]. Вторым ограничением формулы (15) является наличие поверхностного стока при полном отсутствии полива (при $m = 0$, $G = b$), из чего следует необходимость

введения границ, внутри которых можно использовать данную формулу в расчетах.

Вполне очевидно, что поверхностный сток зависит не только от величины поливной нормы, но и от величин выпадающих атмосферных осадков. Формула (14) учитывает данный факт. Вместе с тем в (14) также присутствует серьезное упрощение. Основным ее ограничением является указанное выше уравнивание интенсивностей атмосферных осадков и поливов в течение всего вегетационного периода. Кроме того, главная сложность использования полученного уравнения (14) состоит в определении показателя β , учитывающего впитывающую способность почвы, по которой имеет место поверхностный сток. Но заметим, что в формуле (2), предложенной для расчета внутрипочвенного стока, присутствует показатель водоудерживающей способности почвы (α). Если рассматривать эти показатели в совокупности (почвенные поры, удерживающие влагу при насыщении до уровня НВ, и остающийся объем пор для впитывания поступающей влаги сверх НВ), то можно предположить, что относительные показатели α и β в сумме должны быть равны единице. Следовательно,

$$\beta = 1 - \alpha. \quad (16)$$

Для суглинистых почв $\alpha = 0,5$. Значит, $\beta = 1 - 0,5 = 0,5$, и в нашем случае при уклоне поверхности почвы опытного участка в среднем 0,025 определим:

$$G/P = i^{(1-\alpha)} = 0,025^{0,5} = 0,16. \quad (17)$$

Проверим полученную долю (17) поверхностного стока от количества воды, поступившей на поверхность почвы, используя ее в разных вариантах водобалансового расчета и методом подбора, находя минимальную величину стандартного (среднеквадратичного) отклонения.

В табл. 2 приведены полученные указанным образом из разных вариантов расчета наименьшие среднеарифметические и среднеквадратичные отклонения между почвенными влагозапасами, замеренными в поле и вычисленными по уравнению (1). Водопотребление определялось по биотермическим коэффициентам, рассчитанным по формулам (7)–(9). Поверхностный сток на контрольном варианте, расположенном в верхней части склона, получен также путем минимизации стандартного (среднеквадратичного) отклоне-

ния; он оказался близким к 16 % от величины выпадающих атмосферных осадков.

Как видим, результаты подбора и расчета (17) совпали, что подтверждает справедливость полученных нами формул (2) и (14). Именно при равенстве (17) водобалансовый расчет дает минимальное отклонение рассчитанных величин почвенных влагозапасов от измеренных в поле. Данное совпадение подтверждает возможность уравнивания интенсивностей атмосферных осадков и поливов в течение всего вегетационного периода, что принято при выводе формулы (14).

Данные табл. 2 показывают, что учет поверхностного стока в уравнении водного баланса (1) на контрольном варианте, расположенном в верхней части склона, позволяет резко уменьшить расхождения между вычисленными и измеренными влагозапасами. Среднеквадратичные отклонения между почвенными влагозапасами, замеренными в поле и вычисленными по уравнению водного баланса, снизились от 9,1 до 7,2 мм. Полученный результат даже лучше, чем при расчете водопотребления многолетних трав 3-укосного использования по декадным биотермическим коэффициентам (7,9 мм) [9] и практически не зависит от того, учитывается ли при расчете водопотребления один фактор – формулы (8), (9) – или два фактора – формула (7).

Установленные по данным трехлетних опытов (2018–2020) опорные показатели биотермических коэффициентов для многолетних трав при любых способах использования травостоя в течение весенне-летне-осеннего периода (на сено, сенаж, зеленую массу для откорма при стойловом содержании крупного рогатого скота) для формул (7)–(9) приведены в табл. 3.

Исходя из данных табл. 3, можем рекомендовать использовать при расчете водопотребления многолетних трав простейшую формулу (8), в которой биотермические коэффициенты не зависят от температурных условий года и определяются только номером расчетной даты, начиная от 21 апреля (начало вегетации) с нулевым номером начальной даты.

На рис. 2 показано изменение биотермических коэффициентов в процессе вегетации многолетних трав, полученных с применением разных методик их определения.

Таблица 2. Отклонения между почвенными влагозапасами, замеренными в поле и вычисленными по уравнению водного баланса (с учетом поверхностного стока), мм

Год	z, шт.	Среднеарифметические			Среднеквадратичные		
		Контроль	РО-1	РО-2	Контроль	РО-1	РО-2
Расчет по формуле (7) – $k = f(N, t)$							
2018	22	–0,4	–3,7	1,6	8,8	8,9	6,1
2019	18	0,1	1,0	4,6	5,4	6,9	8,7
2020	17	3,5	–1,9	0,6	7,1	6,2	6,8
Среднее по варианту		1,1	–2,2	2,3	7,1	7,3	7,2
Среднее по опыту за 3 года +0,9 мм					Среднее по опыту +7,2 мм		
Расчет по формуле (8) – $k = f(N)$							
2018	22	–1,1	–5,1	0,1	8,5	10,1	6,7
2019	18	–1,7	–2,1	3,7	5,9	7,2	8,5
2020	17	1,2	–2,4	0,1	3,9	6,9	7,3
Среднее по варианту		–0,5	–3,2	1,3	6,1	8,1	7,5
Среднее по опыту за 3 года -0,5 мм					Среднее по опыту +7,2 мм		
Расчет по формуле (9) – $k = f(t)$							
2018	22	–0,7	–4,6	0,7	8,3	9,5	6,6
2019	18	–0,6	–1,7	4,1	5,8	7,3	8,6
2020	17	0,8	–3,2	–0,7	3,7	7,7	7,5
Среднее по варианту		–0,2	–3,2	1,4	5,9	8,2	7,6
Среднее по опыту за 3 года –0,4 мм					Среднее по опыту +7,2 мм		

Таблица 3. Опорные показатели биологических кривых для расчетных формул (7)–(9)

Формула	Опорные показатели биологических кривых						Среднеквадратичные отклонения между почвенными влагозапасами, замеренными в поле и вычисленными, если поверхностный сток	
	μ_T	μ_t	$k_{\min}$	$k_{\max}$	$N(k_{\max})$	$t(k_{\max})$	не учитывается	учитывается
	–	–	мм/°C	мм/°C	сут	°C	мм	мм
(7)	2	2	0,11	0,16	70	1000	9,1	7,3
(8)	2	–	0,11	0,15	50	–	9,4	7,3
(9)	–	2	0,11	0,15	–	1050	9,4	7,3

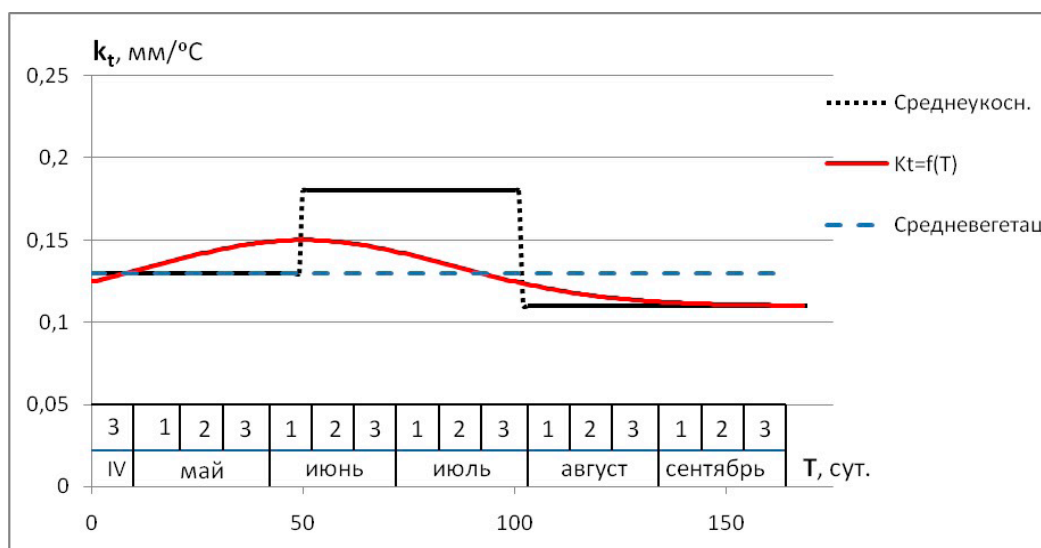


Рис. 2. Динамика биотермических коэффициентов в процессе вегетации многолетних трав

В заключение отметим, что полученные нами значения показателей влияния на форму биотермической кривой номеров расчетных суток (μ_N) или максимальных (среднесуточных) температур воздуха, накопленных от начала водобалансового расчета (μ_t), позволяют исключить эти показатели из формул, поскольку отношения $\mu_N/2$ и $\mu_t/2$ всегда равны единице. Следовательно, при расчете водопотребления многолетних трав для определения формы их биологической кривой по формуле (8) достаточно знать только три параметра:

Заключение

Анализ результатов обработки данных полевого опыта на участке оросительного комплекса «Тушково» (УО «БГСХА») показал, что при контроле динамики почвенных влагозапасов наименьшая ошибка получена при расчете водопотребления многолетних трав по максимальным температурам воздуха и биотермическим коэффициентам, установленным на основе физического принципа баланса причинно-следственных взаимодействий в замкнутой физической системе и не зависящим от способа использования травостоя (зеленая масса, сенаж, сено, пастбище).

Формула для расчета поверхностного стока также получена с использованием физического принципа баланса причинно-следственных взаимодействий в замкнутой физической системе. Анализ опытных данных показал, что при уклонах поверхности 0,023–0,027 поверх-

$k_{\min}$ – минимальное значение биотермического коэффициента;

$k_{\max}$ – максимальное значение биотермического коэффициента;

$N(k_{\max})$ – фиксированное значение номера расчетных суток от начала водобалансового расчета, при котором биотермический коэффициент достигает максимума.

Подчеркнем, что водобалансовый расчет следует начинать в любой год, как рекомендовано нормативным документом [11] для северо-восточной зоны Беларуси, с даты, имеющей нулевой номер отсчета, – 21 апреля.

ностный сток необходимо учитывать только на вершине склона и на расстоянии по уклону приблизительно до 50 м. На участках, расположенных ниже по склону, при возделывании многолетних трав можно пренебречь поверхностным стоком как расходным элементом водного баланса. Такой вывод объясняется тем, что на этих участках при дожде или поливе в почву дополнительно инфильтруется примерно столько же воды, притекающей с вышерасположенной части склона, сколько ее убывает с поверхностным стоком ниже по склону. Точность водобалансового расчета, выполняемого по предложенному алгоритму, в абсолютном выражении равна 7,2 мм, что меньше, чем при расчете водопотребления многолетних трав трехукосного использования по декадным биотермическим коэффициентам.

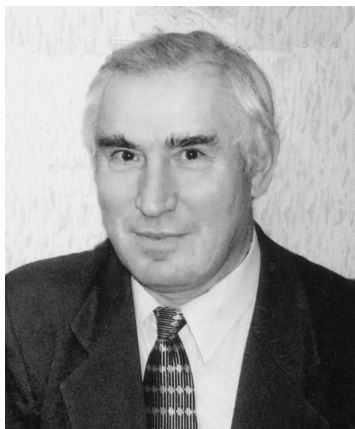
Библиографический список

1. Лихацевич, А. П. Оценка влияния продолжительности расчетного интервала на точность водобалансового расчета при неустойчивых погодных условиях / А. П. Лихацевич, И. А. Романов // Мелиорация. – 2017. – № 2. – С. 5–9.
2. Управление орошением сельскохозяйственных культур на основе расчета динамики почвенных влагозапасов / А. П. Лихацевич, Г. В. Латушкина, И. А. Романов, С. В. Набздоров // Эффективное использование мелиорированных земель: проблемы и решения : материалы Междунар. науч.-практ. конф., Тверь, 28 сент. 2018 г. / ФГБНУ «Всероссийский НИИ мелиорированных земель». – Тверь, 2018. – С. 270–275.
3. Лихацевич, А. П. Управление режимом орошения сельскохозяйственных культур в условиях Беларуси / А. П. Лихацевич, Г. В. Латушкина, И. А. Романов // Мелиорация. – 2019. – № 2. – С. 18–25.
4. Рекомендации по управлению дождеванием в производственных условиях / А.С. Анженков [и др.]. – Минск : РУП «Институт мелиорации», 2020. – 40 с.

5. Лихацевич, А. П. Расчет водного баланса почвы при краткосрочном переувлажнении / А. П. Лихацевич, И. А. Романов // Мелиорация. – 2016. – № 4. – С. 6–17.
6. Лихацевич, А. П. Орошаемое плодородное земледелие : учеб. пособие для студентов учреждений высшего образования по специальности «Плодородное земледелие» / А. П. Лихацевич, М. Г. Голченко ; ред. А. П. Лихацевич. – Минск : ИВЦ Минфина, 2017. – 286 с.
7. Лихацевич, А. П. Использование физического принципа для построения экспериментальных математических моделей исследуемых процессов в мелиоративной науке / А. П. Лихацевич. // Мелиорация и вод. х-во. – 2021. – № 6. – С. 30–36.
8. Вихров, В. И. Ретроспективные расчеты и пространственно-временная изменчивость сезонных показателей водного режима почв на территории Беларуси / В. И. Вихров. – Горки : БГСХА, 2019. – 176 с.
9. Романов, И. А. Влияние способа определения биотермических коэффициентов водопотребления растений на точность расчета водного баланса почвы / И. А. Романов, А. П. Лихацевич, Г. В. Латушкина // Мелиорация. – 2021. – № 1. – С. 5–18.
10. Оросительные системы. Правила проектирования : ТКП 45-3.04-178-2009 (02250). – Введ. 29.12.2009 г. – Минск : Минстройархитектуры, 2010. – 74 с.
11. Яланский, Д. В. Водный режим минеральных почв и его регулирование при орошении дождеванием сенокосно-пастбищной травосмеси : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 06.01.02 / Д. В. Яланский ; ФГБОУ ВО «РГАУ – МСХА им. К. А. Тимирязева». – М., 2022. – 24 с.

Поступила 6 мая 2022 г.

• НАШИ ЮБИЛЯРЫ •



НИКОЛАЙ ГАВРИЛОВИЧ ХОЛОДОК (к 75-летию)

Николай Гаврилович Холодок родился 16 мая 1947 г. в дер. Грабьё Октябрьского р-на Гомельской обл. Трудовую деятельность начал в 1963 г. кочегаром Октябрьской средней школы.

В 1969 г. окончил факультет гидротехнического строительства Московского гидро-мелиоративного института, получив специальность инженера-гидротехника.

После окончания вуза работал инженером в БелНИИ мелиорации и водного хозяйства (1969–1971), затем служил в Советской Армии (1971–1973), учился в аспирантуре БелНИИМуВХ (1974–1977), после окончания которой работал в этом же институте младшим, старшим научным сотрудником (1977–1985). В период 1985–1991 гг. – старший научный сотрудник, заведующий лабораторией нетрадиционных источников воды ЦНИИ комплексного использования водных ресурсов, с 1991 г. по 1999 г. – заместитель директора научно-производственного центра «Экополис». С 1999 г. директор экспериментально-производственного республиканского унитарного предприятия БелНИИМуЛ. В 1998 г. избран членом-корреспондентом Международной академии экологии.

В 1983 г. Николай Гаврилович успешно защитил диссертацию на соискание ученой степени кандидата технических наук (тема – «Исследование закрытой осушительно-увлажнительной системы с грунтовым водохранилищем»). Им опубликовано 34 научные работы, в том числе 2 рекомендации, 2 изобретения.

Награжден медалью ВДНХ СССР, Почетными грамотами Главполесьевогостроя, Департамента по мелиорации и водному хозяйству Минсельхозпрода Республики Беларусь, БелНИИМуВХ и др.

Коллектив РУП «Институт мелиорации» поздравляет уважаемого Николая Гавриловича с юбилеем и желаем ему здоровья, бодрости и успехов во всех начинаниях.



НИКОЛАЙ КИРИЛЛОВИЧ ВАХОНИН (к 70-летию)

Николай Кириллович Вахонин родился 14 апреля 1952 г. в г. Горки Могилевской обл. После окончания в 1974 г. гидромелиоративного факультета Белорусской сельскохозяйственной академии получил направление в аспирантуру Белорусского НИИ мелиорации и водного хозяйства.

В институте работал младшим, старшим, ведущим научным сотрудником, заведующим лабораторией мониторинга и моделирования природных систем, заместителем директора по науке, а в течение 2007–2019 гг. – в должности директора института.

В 1982 г. защитил кандидатскую диссертацию, в 1985 г. получил второе образование в Московском физико-техническом институте по специальности «Автоматизация проектирования».

Основными направлениями исследований Николай Кириллович избрал системный анализ, моделирование и принятие решений в больших природно-технических системах (мелиорированных сельскохозяйственных объектах), автоматизированное проектирование мелиоративных систем, оптимизацию сельхозиспользования на основе экономико-математических методов, автоматизированное информационное обеспечение принятия решений на основе геоинформационных технологий. Он активно применяет современные методы компьютерного математического моделирования. Им разработаны теоретические основы информационного обеспечения мелиорации и сельхозиспользования земель.

На протяжении многих лет Н. К. Вахонин являлся руководителем заданий ГНТП «Агропромкомплекс», фундаментальных и прикладных исследований. Участвовал в международных проектах TACIS в Беларуси.

За годы научной деятельности опубликовал свыше 175 научных работ, в том числе 5 авторских свидетельств на изобретения, 4 нормативных документа, 2 монографии (в соавторстве).

Николай Кириллович проявил себя как активный организатор исследований, сосредоточенных на приоритетных научных направлениях. Главное его требование ко всем работам, проводимым в институте (как мелиоративным, так и агрономическим), – доведение их результатов до экономических показателей на основе использования информационных технологий.

Многолетняя плодотворная работа исследователя отмечена рядом высоких наград: Серебряной медалью Выставки достижений народного хозяйства СССР, почетными грамотами Министерства сельского хозяйства, Государственного комитета по науке и технике, ВАКа Республики Беларусь. В 2010 г. он был удостоен нагрудного знака «Ганаровы меліяратар» и почетной грамоты НАН Беларуси. За заслуги в мелиорации земель награжден медалью Франциска Скорины (2016).

Поздравляем Николая Кирилловича с юбилеем, желаем ему крепкого здоровья, неиссякаемой энергии, новых исследовательских перспектив и достижений.



ГАЛИНА ВИКТОРОВНА ЛАТУШКИНА (к 70-летию)

Галина Викторовна Латушкина родилась 26 апреля 1952 г. в г. Горки Могилевской обл.

В 1974 г. окончила гидромелиоративный факультет Белорусской сельскохозяйственной академии и получила специальность инженера-гидротехника. Работала инженером отдела треста «Белоргводстрой» (1974–1978), старшим инженером БСХА (1978–1983), училась в аспирантуре БелНИИМВХ (1983–1985). После ее окончания работала в БелНИИ мелиорации и луговодства младшим (1986–1992), научным (1992–1994), старшим научным сотрудником (1994–2000), ведущим научным сотрудником (2003–2011), заведующей лабораторией эксплуатации мелиоративных систем (2011–2014). В 2000–2002 гг. – главный специалист Академии аграрных наук Республики Беларусь.

В настоящее время трудится в лаборатории эксплуатации ведущим научным сотрудником.

Кандидат технических наук (1992), доцент.

Галина Викторовна – известный исследователь в области мелиорации земель Беларуси. Она внесла и продолжает вносить существенный вклад в решение теоретических и практических вопросов по оценке водного режима мелиорированных почв и его регулированию в условиях подпочвенного увлажнения и дождевания сельскохозяйственных растений. С ее непосредственным участием ведется разработка энерго- и ресурсосберегающих технологий дождевания; подготовлен комплекс методических и технологических документов для планирования, проектирования и управления дождеванием в производственных условиях, контролю и принятию решений по двухстороннему регулированию водного режима почв; осуществляется внедрение экологически безопасных режимов орошения и шлюзования сельскохозяйственных земель.

Г. В. Латушкина опубликовала 86 научных работ, в том числе 16 материалов – в зарубежных изданиях. Ею подготовлено 7 нормативно-методических и технологических документов.

Она член ученого совета института, секретарь комиссии по аттестации аспирантов, член профсоюзного комитета института. За плодотворную производственную и научную работу, активное участие в общественной деятельности награждена Почетными грамотами Академии аграрных наук, концерна «Белмелиоводхоз», РУП «Институт мелиорации».

Г. В. Латушкина пользуется заслуженным уважением и в трудовом коллективе института, и в мелиоративной отрасли Беларуси. Ее высокая работоспособность, энергичное и инициативное отношение к работе, порядочность, внимательное и доброжелательное отношение к сослуживцам вызывают у коллег искреннее уважение.

Желаем уважаемой Галине Викторовне крепкого здоровья, жизненного благополучия, дальнейших успехов в научной деятельности.

• ЧТОБЫ ПОМНИЛИ •



ПАВЕЛ АНДРЕЕВИЧ ДРОЗД (к 105-летию)

Павел Андреевич Дрозд родился 2 июня 1917 г. в дер. Тешково Пуховичского р-на Минской обл. Окончил гидротехнический факультет Белорусского политехнического института в 1946 г., получив специальность инженера-гидротехника. Участник Великой Отечественной войны (1942–1944).

Работал инженером-гидротехником народного комиссариата БССР (1944–1946), старшим инженером проектного отдела треста «Белсельэлектро» (1946–1948), учился в аспирантуре Белорусского политехнического института (1948–1951), после окончания которой работал в БПИ старшим преподавателем, доцентом.

С 1955 г. по 1972 г. заведующий отделом гидротехнических сооружений в БелНИИ мелиорации и водного хозяйства. В 1952 г. защитил диссертацию на соискание ученой степени кандидата технических наук (тема – «Исследования свойств торфа как основания низконапорных плотин»).

Павел Андреевич Дрозд – автор 46 научных работ, в том числе 2 монографий и 6 пособий, рекомендаций, методических указаний. Наиболее значимые работы П. А. Дрозда – это «Сельскохозяйственные дороги» (1966), «Указания по проектированию осушительных систем. Часть 5. Дороги на осушаемых землях» (1967), «Фильтрационная устойчивость грунтов и подбор обратных фильтров для мелиоративных сооружений» (1967, в соавторстве с Ю. Ф. Буртысом), пособие по строительству дорог на осушенных землях (1973, в соавторстве с М. И. Святцевым и П. К. Черником).

Изучал физико-механические свойства грунтов мелиорированных территорий, разработал методы проектирования и строительства плотин, обваловывающих дамб и других насыпей, а также наиболее простые и устойчивые конструкции сельскохозяйственных дорог на болотах. Подготовил 6 кандидатов наук.

Был председателем профкома БелНИИМВХ, членом ученого совета и специализированных советов по защите диссертаций, технического совета Белгипроводхоза и др.

Награжден орденом Отечественной войны I степени, 6 медалями СССР, Почетной грамотой Верховного Совета БССР, 3 медалями ВДНХ СССР.



АНАТОЛИЙ ИВАНОВИЧ МУРАШКО (к 95-летию)

Анатолий Иванович Мурашко родился 29 апреля 1927 г. в пос. Березино Бегомльского р-на Минской обл.

С 1944 г. по 1951 г. служил в рядах Советской Армии.

В 1955 г. с отличием окончил гидротехнический факультет Белорусского политехнического института и затем работал там преподавателем. В 1957 г. стал аспирантом Белорусского НИИ мелиорации и водного хозяйства. В 1961 г. защитил диссертацию на соискание ученой степени кандидата технических наук на тему «Исследование осадки торфяной залежи под влиянием ее осушения», а в 1972 г. – диссертацию на соискание ученой степени доктора технических наук на тему «Основы проектирования, расчетов и строительства горизонтального пластмассового дренажа в Белорусской ССР». В БелНИИМуВХ работал заведующим лабораторией пластмасс и стекломатериалов (1966–1972), заведующим лабораторией вертикального дренажа и новых материалов (1972–1976), заведующим отделом гидротехнической мелиорации (1976–1983).

С 1983 г. по 1990 г. Анатолий Иванович был директором Центрального научно-исследовательского института комплексного использования водных ресурсов (ЦНИИКИВР), одновременно в течение 1986–1988 гг. выполнял обязанности академика-секретаря Западного отделения ВАСХНИЛ, координировал работу научно-исследовательских и опытно-производственных учреждений сельскохозяйственного профиля на территории Беларуси и прибалтийских республик.

А. И. Мурашко – основоположник теоретических и практических основ проектирования, расчетов и строительства горизонтального пластмассового дренажа. Он руководил разработкой новых конструкций пластмассовых дренажных труб и защитных фильтрующих материалов, организацией их производства и внедрения на мелиоративных системах; теоретически обосновал и внедрил на болотах Полесья автоматизированные осушительно-увлажнительные системы на базе вертикального дренажа.

За почти тридцатипятилетний период научной деятельности Анатолий Иванович Мурашко подготовил более 20 кандидатов наук, опубликовал около 250 научных работ, в том числе монографии по проблемам мелиоративного строительства, получил 14 авторских свидетельств на изобретения.

Профессор (1974), член-корреспондент (1978), академик ВАСХНИЛ (1982), заслуженный деятель науки и техники Белорусской ССР (1987). Награжден орденом Трудового Красного Знамени (1986), 4 медалями СССР, Почетной грамотой Верховного Совета БССР, 5 медалями ВДНХ, золотой медалью имени академика А. Н. Костякова (1987).

А. И. Мурашко запомнился коллегам в высшей степени интеллигентным человеком, внимательным и чутким к коллегам, он по праву пользовался в коллективе большим авторитетом.

Светлая память об Анатолии Ивановиче Мурашко, талантливом ученом, скромном и тактичном человеке, навсегда останется в наших сердцах.



**АНДРЕЙ ФЕДОРОВИЧ
ВЕРЕНИЧ
(к 75-летию)**

Андрей Федорович Веренич родился 26 апреля 1947 г. в дер. Стахово Столинского р-на Брестской обл. В 1978 г. окончил агрономический факультет Гродненского сельскохозяйственного института и получил специальность ученого агронома.

Трудовую деятельность Андрей Федорович начал в 1966 г. электрослесарем шахты «Южная-1» в Ростовской обл. В 1966–1969 гг. служил в Советской Армии, затем работал агрономом в колхозе «Октябрьская революция» Каменецкого р-на Брестской обл. С 1973 г. по 1994 г. он старший техник, старший агроном, младший и старший научный сотрудник лаборатории пойменных сенокосов и пастбищ Института мелиорации и луговодства НАН Беларуси. В течение 1994–2006 гг. – заведующий Полесским отделом пойменного луговодства, 2006–2014 гг. – ведущий научный сотрудник лаборатории пойменных сенокосов и пастбищ на мелиорированных землях.

В 1987 г. Андрей Федорович успешно защитил диссертацию на соискание ученой степени кандидата сельскохозяйственных наук (тема – «Продуктивность многолетних злаковых трав при внесении стоков крупного рогатого скота»); в 2004 г. получил ученое звание доцента.

Опубликовал 60 научных материалов по проблемам луговодства, мелиорации и экологии. А. Ф. Веренич является одним из соавторов таких значимых работ, написанных коллективом ученых, как «Агропромышленный комплекс Столинского района Брестской области: состояние, проблемы, перспективы» (2004), «Пути повышения эффективности агропромышленного производства Ганцевичского района Брестской области» (2005), «Состояние мелиорированных земель и повышение эффективности их использования в хозяйствах Пинского района Брестской области» (2012).

А. Ф. Веренич был членом Научного совета по проблемам Белорусского Полесья НАН Беларуси. Награжден медалями ВДНХ СССР, Почетными грамотами Института мелиорации и луговодства НАН Беларуси.

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) 331-49-03
факс: 8 (017) 292-64-96
e-mail: info@niimel.by,
niimel@mail.ru