

ISSN 2070–4828

МЕЛИОРАЦИЯ

Научный журнал

№ 1(95)

Основан в 1951 году
Выходит 4 раза в год

Январь – март, 2021



Минск
2021

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 **В. И. Желязко**

д-р с.-х. наук **П. Ф. Тиво**

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

канд. техн. наук, доцент **Н. К. Вахонин**

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 23.03.2021 г. Формат 60x84 1/8.
Уч.-изд. л. 5,81. Усл. печ. л. 8,84. Заказ 106. Тираж 100 экз.

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

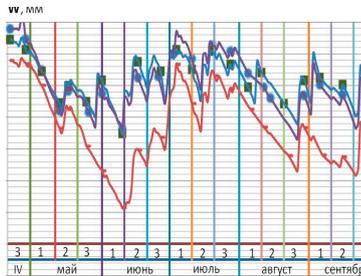
E-mail: info@niimel.by <http://niimel.by>

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

Содержание Contents

Мелиорация

Land improvement



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

Влияние способа определения биотермических коэффициентов водопотребления растений на точность расчета водного баланса почвы

5

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

The influence of the method for determining of the biothermal coefficients of plant water consumption on the accuracy of calculations of the soil water balance



А. А. Боровиков

Оценка суффuzionной устойчивости грунтов

19

Borovikov A.A.

Evaluation of suffusion stability of mineral soils

Использование мелиорированных земель

The usage of reclaimed lands



А. Л. Бирюкович, А. С. Мееровский

Сорт чины многолетней Журавушка

25

A. L. Biryukovich, A. S. Meerovsky

Variety of the lathyrus sylvestris I. Zhuravushka



А. С. Мееровский, Р. Т. Пастушок, А. Л. Бирюкович, О. С. Михайлова

Технологический регламент производства зеленого корма и сырья для заготовки кормов на улучшенных сенокосах

31

A. S. Meerovsky, R. T. Pastushok, A. L. Biryukovich, O. S. Mikhailova

Technological regulations of the production of green feed and raw materials for forage harvesting on improved hayfields



А. В. Юзупанов, Л. Н. Лученок, О. В. Пташец

Урожайность люцерны желтой, возделываемой на агроторфяных почвах Полесья

38

A.V. Yuzupanov, L. N. Luchanok, O. V. Ptashats

Yield value of yellow-flowered alfalfa cultivated on agricultural peat soils of Polesie

• МЕЛИОРАЦИЯ •

УДК 626.86:551.5

ВЛИЯНИЕ СПОСОБА ОПРЕДЕЛЕНИЯ БИОТЕРМИЧЕСКИХ КОЭФФИЦИЕНТОВ ВОДОПОТРЕБЛЕНИЯ РАСТЕНИЙ НА ТОЧНОСТЬ РАСЧЕТА ВОДНОГО БАЛАНСА ПОЧВЫ

И. А. Романов¹, ассистент

А. П. Лихацевич², доктор технических наук

Г. В. Латушкина², кандидат технических наук

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

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

Аннотация

Водопотребление растений зависит от почвенно-климатических условий и физиологии культуры и как элемент водного баланса включает транспирацию растений и испарение с поверхности почвы. Водопотребление сложно измерить, поэтому его обычно вычисляют с использованием косвенных показателей. Наиболее точным, как показали результаты многочисленных исследований, является биоклиматический метод расчета водопотребления, когда в расчетах используется достаточно устойчивая корреляция потребления влаги сельскохозяйственным полем с одним из метеопоказателей: например, с дефицитом влажности воздуха, или со среднесуточной, или с максимальной за сутки температурой воздуха. Биологическая составляющая в этой связи учитывается через так называемые биоклиматические (биотермические) коэффициенты. В наших расчетах водопотребление растений увязывалось с максимальной за сутки температурой воздуха, для чего использовались биотермические коэффициенты. Сравнительный анализ измеренных в поле и рассчитанных почвенных влагозапасов показал, что точность расчета водного баланса почвы существенно зависит от способа установления биотермических коэффициентов водопотребления сельскохозяйственных культур.

Ключевые слова: водный баланс почвы, биотермические коэффициенты, водопотребление растений, ошибка опыта, среднеквадратичные отклонения.

Abstract

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

THE INFLUENCE OF THE METHOD FOR DETERMINING OF THE BIOTHERMAL COEFFICIENTS OF PLANT WATER CONSUMPTION ON THE ACCURACY OF CALCULATIONS OF THE SOIL WATER BALANCE

Plant water consumption depends on soil and climatic conditions and culture physiology and, as an element of water balance, includes plant transpiration and evaporation from the soil surface. Water consumption is difficult to measure, so it is usually calculated using indirect indexes. The most accurate as indicated by numerous research, is the bioclimatic method for calculating water consumption, when calculations are based on a rather stable correlation of moisture consumption on an agricultural field with one of the meteorological indicators, for example, with a deficit of air humidity, daily average or maximum air temperature. In this regard, the biological component is taken into account through the so-called bioclimatic (biothermal) coefficients. In our calculations, plant water consumption was linked to the maximum air temperature per day, using biothermal coefficients. Comparative analysis of measured in the field and calculated soil moisture reserves showed that the accuracy of calculating the soil water balance to a great extent depends on the method of establishing the biothermal coefficients of water consumption of crops.

Keywords: water balance soil, biothermal coefficients, evapotranspiration, field experiment error, standard deviations.

Введение

Технологии управления водным режимом растений при орошении базируются на основе контроля за элементами водного баланса почвы

[1, 2]. Процесс водобалансового расчета состоит из последовательных операций, направленных на определение почвенных влагозапасов в кон-

це очередного расчетного интервала, начиная от исходной даты (начало расчета) и завершая концом оросительного периода. От точности водобалансового расчета зависит точность определения даты начала очередного полива.

Водопотребление, или так называемое суммарное испарение (эвапотранспирация) сельскохозяйственного поля, зависит от увлажненности почвы и теплоэнергетических ресурсов приземного слоя атмосферы. Наличие связи названных факторов с водопотреблением сельскохозяйственных культур подтверждено в условиях недостаточного и неустойчивого естественного увлажнения в исследованиях А. Н. Костякова, А. М. Алпатьева, С. М. Алпатьева, М. С. Григорова, Н. Н. Иванова, А. Р. Константинова, И. П. Кружилина, Е. А. Стельмаха, Н. В. Окулика, В. И. Ольгаренко, И. А. Шарова и многих других авторов [1–4 и др.]. На основании результатов этих ис-

следований А. М. Алпатьевым и И. А. Шаровым разработан биоклиматический метод расчета водопотребления с использованием так называемых биоклиматических и биотермических коэффициентов. С помощью биоклиматических коэффициентов (по Алпатьевым) водопотребление культур связывают с дефицитами влажности воздуха, а биотермические коэффициенты (модуль испарения по Шарову) используются для установления связи водопотребления с среднесуточными температурами воздуха. При разработке соответствующих расчетных формул обычно ориентируются на некий заданный (плановый) урожай, получаемый при оптимальной влажности почвы, полагая, что можно ограничиться только связью водопотребления с одним из метеофакторов (дефицитом влажности воздуха, среднесуточными температурами воздуха).

Методы исследований

В своих исследованиях в качестве фактора, управляющего водопотреблением сельскохозяйственного поля, мы использовали максимальную за сутки температуру воздуха, измеряемую, согласно наставлениям гидрометеорологической службе, один раз в сутки. При расчете водопотребления растений по максимальной суточной температуре воздуха биология культуры учитывается с использованием биотермических коэффициентов [5].

Для учета влияния почвенной влажности на величину биотермического коэффициента определение водопотребления производится поэтапно. Сначала вычисляется максимальное водопотребление при достаточном увлажнении почвы (при содержании влаги в расчетном слое почвы на уровне наименьшей влагоемкости) [4, 5]:

$$E_{mj} = k_{tmj} \sum_1^j t_m, \quad (1)$$

где E_{mj} – максимальное водопотребление за j -й интервал времени при достаточном увлажнении почвы (при содержании влаги в расчетном слое почвы на уровне наименьшей влагоемкости); k_{tmj} – биотермический коэффициент за j -й интервал времени, зависящий от фазы развития растений, мм/°С; j – продолжительность j -го интервала между смежными замерами почвенной влажности, сут.;

$\sum_1^j t_m$ – сумма максимальных суточных температур воздуха за j -й интервал времени, °С.

Затем определяется водопотребление, учитывающее уровень фактического увлажнения почвы [4, 5]:

$$E_j = \varphi_j E_{mj}, \quad (2)$$

где E_j – водопотребление культуры за j -й интервал времени; φ_j – коэффициент, учитывающий зависимость водопотребления за j -й интервал времени от степени увлажненности почвы, определяется по формуле [4, 5]

$$\varphi_j = \exp \left[-\mu \left(\frac{W_{HB}}{W_{Hj}} - 1 \right)^2 \right], \quad (3)$$

где μ – показатель, характеризующий интенсивность снижения водопотребления при понижении содержания влаги в корнеобитаемом слое почвы; W_{HB} – влагозапасы расчетного слоя почвы при насыщении до наименьшей влагоемкости, мм; W_{Hj} – фактические влагозапасы в начале j -го интервала времени, мм.

В методиках расчета водного баланса почвы традиционно ориентируются на декадный интервал (10–11 суток). Именно к этому интервалу привязываются и биотермические коэффициенты. Но отбор почвенных образцов для установления их влажности термостатно-весовым способом и дальнейшего определения водопотребления (из уравнения водного

баланса) может производиться в процессе вегетации культуры с произвольными временными интервалами. Чтобы от произвольного интервала времени перейти к декаде, используются:

- расчетный способ, включающий расчет по формулам (1)–(3), за интервалы времени, входящие в данную декаду, и дальнейшее уточнение декадного водопотребления как средневзвешенной величины по продолжительности каждого интервала, входящего в данную декаду. Расчет декадных биотермических коэффициентов путем обратного расчета

$$k_{tmi} = \frac{E_i}{\varphi_i \sum_1^i t_{mi}}, \quad (4)$$

где k_{tmi} – биотермический коэффициент за i -ю декаду, мм/°С; E_i – водопотребление культуры за i -ю декаду, мм; φ_i – коэффициент, учитывающий зависимость водопотребления за i -ю декаду от степени увлаженности почвы; i – продолжительность i -й календарной декады (10–11 сут.); $\sum_1^i t_m$ – сумма максимальных суточных температур воздуха за i -ю декаду, °С;

- графоаналитический способ, включающий *на первом этапе* построение интегральной кривой водопотребления, где по оси абсцисс располагаются номера календарных дат от начала вегетации, а по оси ординат нарастающим итогом фиксируется водопотребление (суммарное испарение, эвапотранспирация), соответствующее номерам дат отбора почвенных образцов и рассчитанное по формулам (1)–(3); *на втором этапе* отрезки, соответствующие началу каждой декады, фиксируются прямыми, параллельными оси ординат от нулевой ординаты до интегральной кривой водопотребления с засечками в точках пересечения с интегральной кривой; *на третьем этапе* проводятся прямые, параллельные оси абсцисс, от полученных точек пересечения с интегральной кривой водопотребления до оси ординат; *на четвертом этапе* с оси ординат снимаются величины сумм водопотребления за выделенные календарные декады; *на пятом этапе* выполняется расчет декадных сумм суточных максимальных температур; *на шестом этапе* – расчет декадных биотермических коэффициентов по формуле (4).

Установленные расчетным и графоаналитическими способами величины биотермических коэффициентов в течение одного вегетационного периода для конкретных календарных декад практически совпадают по величине. Но по годам эти коэффициенты могут существенно различаться. В качестве выхода из подобной неопределенности предложено все проблемы решать путем осреднения биотермических коэффициентов за многолетие. Такое осреднение приемлемо для ретроспективных расчетов, в частности, при установлении проектных режимов орошения. Но при управлении поливом в конкретных условиях подобные осреднения могут приводить к значительным ошибкам, поскольку в разные годы начало вегетации и сроки последовательного прохождения фаз развития растений могут различаться.

Оценка способа установления биотермических коэффициентов выполнялась нами на примере орошения дождеванием многолетних трав 3-укосного использования. Эта культура выбрана исходя из уникальной возможности в течение каждого сезона получать по три ряда биотермических коэффициентов, по которым можно оценивать практическую приемлемость того или иного способа их установления. Опыты по орошению многолетних трав проводились в течение 2017–2020 гг. на испытательном комплексе «Тушково-1» вблизи дер. Гоц-Чарный Горецкого р-на Могилевской обл. Закладка опыта проведена в начале вегетации 2017 г. Структура многолетних трав состояла из бобово-злаковой травосмеси. Фон удобрений на всех вариантах опыта составлял $P_{60}K_{90}$. Использование травостоев 3-укосное со скашиванием в фазу цветения бобового элемента и колошения злаковых. 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 все данные по динамике водного режима почвы и водопотреблению трав 2017 г. соотносились с данными 2018 и 2019 гг., характеризующими третий укос с периодом вегетации август – сентябрь.

Дождевание осуществлялось с помощью БШДУ *Bauer Rainstar* Т61. Поливы проводились в соответствии с утвержденными стандартами и рекомендациями [5]. С целью изучения влия-

ния диапазона колебаний почвенной влажности на водопотребление орошаемой культуры первый вариант дождевания (РО-1) допускал кратковременное снижение почвенной влажности в корнеобитаемом слое почвы при вегетации третьего укоса до 40–50 % от наименьшей влагоемкости, второй вариант дождевания (РО-2) – до 40–50 % от наименьшей влагоемкости при вегетации второго укоса. Контрольным являлся вариант без орошения (БО).

Определение сроков начала поливов выполнялось с помощью водобалансовых расчетов и контролировалось послойным измерением фактических влагозапасов почвы термостатно-весовым способом [6]. Дождевание проводилось позиционно, по сектору, в утренние часы, чтобы уменьшить снос искусственного дождя ветром. Точность выдачи поливной нормы контролировалась осадкамерами.

Водно-физические свойства почвы определялись с использованием стандартных методик: наименьшая влагоемкость почвы – методом затпливаемых площадок [7]; плотность почвы – методом режущего кольца [8]; плотность твердой фазы почвы – пикнометрическим методом [8]; пористость почвы – расчетным путем [9]; гранулометрический состав – ареометрическим методом [9].

Пробы почвы на влажность на опытных площадках отбирались по слоям 0–10, 10–20, 20–30, 30–40 и 40–50 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 и атмосферные осадки измерялись ежедневно в 19 часов на метеопосту, расположенном непосредственно на границе орошаемого участка.

Водобалансовый расчет велся по стандартной методике при суточном расчетном интервале [5]. Рассмотрены три способа водобалансового расчета: с использованием средних за декаду (декадных), средних за укос (укосных) и средних за вегетацию (вегетационных) биотермических коэффициентов при участии данных 2017 г. в качестве показателей 3-го укоса многолетних трав. Каждый способ расчета включал два варианта. В

первом варианте расчета значения биотермических коэффициентов определялись по замеренным в поле почвенным влагозапасам. Во втором варианте расчета декадные, укосные и вегетационные биотермические коэффициенты устанавливались путем подбора с целью получения наименьших среднеквадратичных отклонений между почвенными влагозапасами, вычисленными и замеренными в поле.

Согласно действующим рекомендациям, водопотребление определяется по метеопказателю (дефициту влажности воздуха, среднесуточной температуре воздуха, максимальной за сутки температуре воздуха), значение которого осредняется за предыдущие 10 суток с целью исключения резких перепадов полученных величин водопотребления при суточном интервале водобалансового расчета [5]. Однако до настоящего времени не проводились какие-либо исследования, подтверждающие установленную продолжительность осреднения метеопказателя, и неясно, как эта продолжительность влияет на точность водобалансового расчета. В связи с этим нами была предусмотрена возможность менять продолжительность интервала, в течение которого осредняется используемая в расчетах максимальная за сутки температура воздуха.

На основе сделанных замечаний в качестве способов определения биотермических коэффициентов многолетних трав, трижды скашиваемых за сезон, мы использовали:

1) стандартный способ определения декадных, укосных и вегетационных значений биотермических коэффициентов, представленный выше формулами (1)–(4);

2) подбор значений декадных, укосных и вегетационных биотермических коэффициентов, позволяющих до минимума снизить среднеквадратичные (стандартные) отклонения рассчитанных почвенных влагозапасов от замеренных в поле;

3) определение стандартных отклонений в динамике почвенных влагозапасов при различной продолжительности интервала осреднения максимальной за сутки температуры воздуха, используемой в вычислениях водопотребления.

Результаты исследований и их обсуждение

Биотермические коэффициенты определялись из уравнения водного баланса на первом

этапе для периодов между смежными датами замера почвенных влагозапасов (датами отбора

в поле почвенных образцов) в корнеобитаемом слое многолетних трав. В 2017 г. таких замеров было 8, в 2018 г. – 21, в 2019 г. – 17. На втором этапе расчета полученные за выделенные периоды биотермические коэффициенты определялись по формулам (2)–(3) посуточно, пропорционально начальным почвенным влагозапасам на каждые сутки, вычисленным при рекомендуемом значении показателя μ , характеризующего интенсивность снижения водопотребления при понижении содержания влаги в корнеобитаемом слое почвы ($\mu = 0,5$) [4].

На рис. 1 показаны результаты расчета динамики влагозапасов почвы в 2018 г. по вычисленным суточным биотермическим коэффициентам. Как видим, для одного года расчет водопотребления многолетних трав по суточ-

ным биотермическим коэффициентам, вычисленным по замеренным влагозапасам, дает полное совпадение рассчитанных и замеренных их величин. Аналогичный результат получен в 2017 г. и 2019 г.

В то же время определение водопотребления по среднемноголетним значениям биотермических коэффициентов для одной и той же календарной декады приводит при водобалансовом расчете к существенным различиям между рассчитанными и замеренными почвенными влагозапасами в каждом году.

На рис. 2 приведены хронологические графики декадных биотермических коэффициентов для многолетних трав 3-укосного использования, вычисленные по формулам (1)–(4) для каждого года, и средние для трех лет.

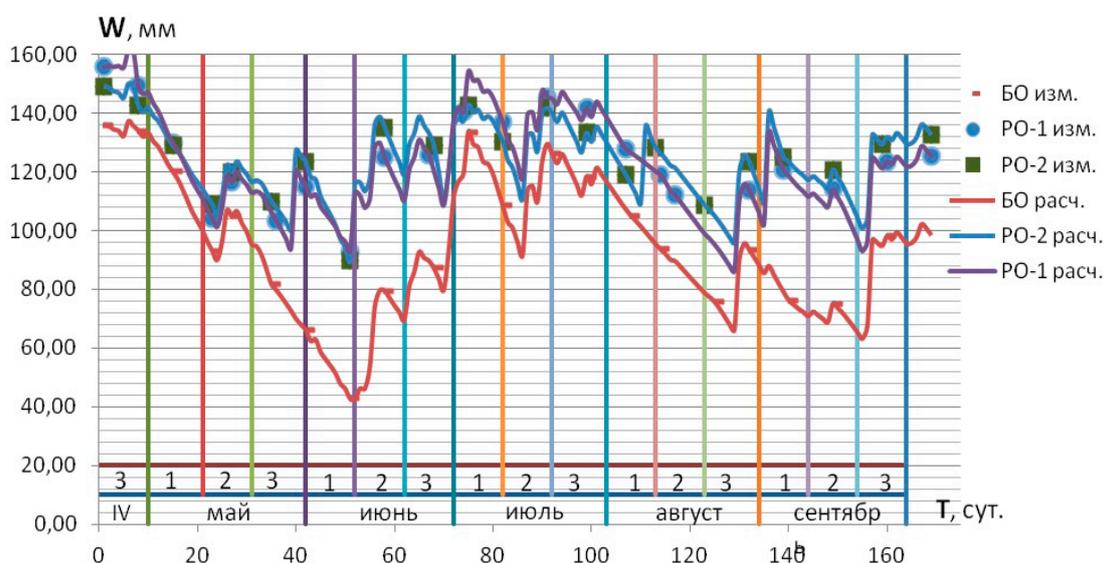


Рис. 1. Графики динамики почвенных влагозапасов по вариантам опыта, использованные для определения суточных значений биотермических коэффициентов в 2018 г.

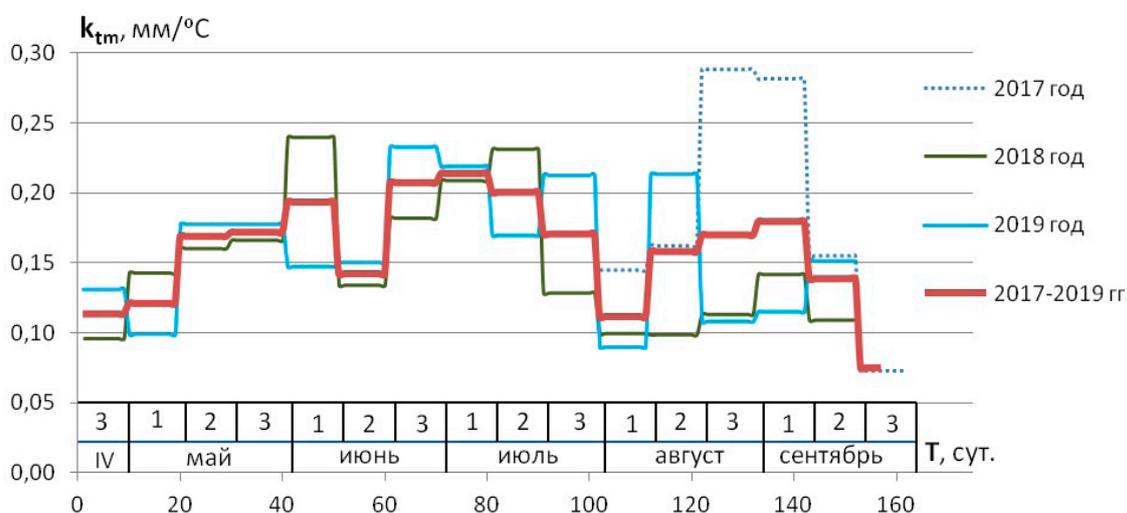


Рис. 2. Изменение биотермических коэффициентов многолетних трав 3-укосного использования по декадам вегетационных периодов 2017–2019 гг., вычисленных по формулам (1)–(4)

Наблюдающиеся колебания декадных значений биотермических коэффициентов в пределах одного года сложно связать с динамикой роста биологической массы у многолетних трав в течение каждого укоса. Но осреднение биотермических коэффициентов по декадам вегетации за три года (2017–2019) четко указывает на 3-укосное использование травостоя. Есть пониженное водопотребление в начале вегетации каждого укоса, есть и максимум водопотребления в течение этой вегетации.

В водобалансовых расчетах показатель, характеризующий интенсивность снижения водопотребления растений при понижении содержания влаги в корнеобитаемом слое почвы, принимался, согласно нормативу, равным 0,5 [4]. Вместе с тем научное обоснование данной рекомендации отсутствует. Для того чтобы оценить справедливость предложенного равенства ($\mu = 0,5$), мы провели водобалансовые расчеты при разных величинах данного коэффициента. Причем в соответствии со схемой опыта для оценки зависимости показателя μ от уровня влагообеспеченности периода вегетации культуры на вариантах с орошением (РО-1 и РО-2) в годы исследований допускались кратковременные понижения почвенной влаги, чтобы выявить их влияние на величину данного показателя. Например, установленное водобалансовым расчетом по декадным биотермическим коэффициентам минимальное содержание почвенной влаги на варианте РО-1 (53,6 мм) имело место 27 августа 2018 г. как следствие пропуска одного полива в первой декаде августа. На варианте РО-2 полив в 2018 г. был проведен 9 августа нормой 30 мм, после чего к 27 августа в корнеобитаемом слое сохранилось 67,0 мм влаги. В 2019 г. минимум содержания почвенной влаги на вариантах с орошением наблюдался 5 июня (на варианте РО-1 – 67,4 мм, а на варианте РО-2 – 68,8 мм). Заметим, что первый укос многолетних трав в 2019 г. был проведен 3 июня, а поливы на орошаемых вариантах опыта нормой 30 мм были выполнены 6 июня. Использование такой схемы опыта предполагало приближение к реальным производственным условиям, в которых подобное смещение поливов может возникать достаточно часто.

В качестве критерия точности выполненных расчетов при разных величинах коэффи-

циента μ использованы среднеквадратичные (стандартные) отклонения вычисленных влагозапасов от замеренных в поле. Эти отклонения определялись по известной формуле

$$\delta = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (W - W_{\text{изм.}})^2}{n - 1}}, \quad (5)$$

где δ – среднеквадратичное отклонение вычисленных влагозапасов (W) от измеренных ($W_{\text{изм.}}$), мм; n – количество измеренных значений влагозапасов, участвующих в расчете.

Декадные, укосные и вегетационные биотермические коэффициенты определялись путем осреднения суточных значений за декаду, укос, вегетацию соответственно. Сначала осреднение выполнялось для каждого года, а затем – для всех лет исследований. Согласно результатам расчета, получено в 1-м укосе $k_{tm1} = 0,15$; во 2-м $k_{tm2} = 0,19$; в 3-м укосе $k_{tm3} = 0,14$, а в среднем за вегетацию $k_{tm(\text{cp})} = 0,16$.

В табл. 1 приведены среднеквадратичные отклонения (δ , мм) между почвенными влагозапасами, замеренными в поле и вычисленными по формулам (1)–(4). Согласно рекомендациям, при расчетах водопотребления максимальная за сутки температура воздуха осреднялась за 10 суток, предыдущих дате расчета [4, 5]. Поскольку все данные по динамике водного режима почвы и водопотреблению многолетних трав 2017 г. характеризуют только один укос из трех, то при расчете средневзвешенных величин весовой коэффициент для этого года принят равным $1/3 = 0,333$. Данные 2017 г. соотносились с тремя укосами 2018 и 2019 гг., весовой коэффициент для которых принят равным 1,0. В расчетах для определения средневзвешенных по вариантам опыта за 2017–2019 гг. среднеквадратичных отклонений использовалась формула

$$\delta_{\text{cp.}} = \frac{0,333\delta_{2017} + \delta_{2018} + \delta_{2019}}{2,333}. \quad (6)$$

Данные табл. 1 указывают на то, что рекомендуемое значение показателя ($\mu = 0,5$), характеризующего в формуле (2) интенсивность снижения водопотребления при пониженном содержании влаги в корнеобитаемом слое почвы, не в полной мере соответствует результатам полевого опыта. Как видим, с повышением влагообеспеченности культуры значение показателя μ увеличивается.

Таблица 1. Среднеквадратичные отклонения (мм) между почвенными влагозапасами, замеренными в поле и вычисленными по декадным биотермическим коэффициентам, полученным по формулам (1)–(4), при различных значениях показателя μ

Вариант опыта	Год	Значения показателя μ					
		0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0
Расчет по декадным биотермическим коэффициентам							
БО	2017	11,8	12,7	13,3	13,8	14,2	14,6
	2018	10,9	9,4	12,0	14,5	16,5	18,2
	2019	11,0	8,9	11,5	13,9	15,9	17,6
	среднее	11,0	9,7	12,0	14,1	15,9	17,4
РО-1	2017	12,1	12,1	12,1	12,1	12,0	12,0
	2018	19,0	14,5	12,2	10,9	10,2	9,9
	2019	21,2	14,6	11,2	9,2	7,9	7,2
	среднее	19,0	14,2	11,8	10,3	9,5	9,0
РО-2	2017	9,1	9,0	8,6	8,7	8,6	8,5
	2018	16,7	12,9	10,6	9,1	8,1	7,4
	2019	14,5	11,4	9,6	8,6	7,8	7,4
	среднее	14,7	11,7	9,9	8,8	8,0	7,6
среднее по вариантам		14,9	11,8	11,2	11,1	11,1	11,3
Расчет по укосным биотермическим коэффициентам							
БО	2017	13,5	14,0	14,4	14,7	15,0	15,3
	2018	10,8	9,5	11,9	14,2	16,1	17,7
	2019	8,8	8,7	12,2	15,0	17,0	18,7
	среднее	10,3	9,8	12,4	14,6	16,3	17,8
РО-1	2017	16,9	16,6	16,3	16,0	15,8	15,6
	2018	20,4	16,0	13,7	12,3	11,5	11,0
	2019	19,8	13,4	10,6	9,0	8,2	7,8
	среднее	19,6	15,0	12,7	11,4	10,7	10,3
РО-2	2017	14,5	14,0	13,6	13,3	13,0	12,7
	2018	17,7	14,0	11,7	10,2	9,1	8,4
	2019	12,6	9,9	8,5	7,8	7,5	7,3
	среднее	15,1	12,2	10,6	9,6	9,0	8,5
среднее по вариантам		15,0	12,3	11,9	11,9	12,0	12,2
Расчет по вегетационным биотермическим коэффициентам							
БО	2017	12,0	12,8	13,1	13,4	13,7	14,0
	2018	11,3	11,1	13,1	15,0	16,7	18,2
	2019	10,8	13,3	15,8	17,7	19,3	20,7
	среднее	11,2	12,3	14,3	15,9	17,4	18,7
РО-1	2017	14,8	14,5	14,2	14,0	13,8	13,6
	2018	21,9	17,3	14,8	13,3	12,4	11,8
	2019	16,7	13,0	11,1	9,9	9,1	8,7
	среднее	18,7	15,1	13,1	11,9	11,2	10,7
РО-2	2017	13,5	13,1	12,7	12,3	12,0	11,7
	2018	20,8	16,5	14,0	12,3	11,1	10,2
	2019	14,9	12,2	10,7	9,7	9,1	8,8
	среднее	17,2	14,2	12,4	11,2	10,4	9,8
среднее по вариантам		15,7	13,8	13,2	13,0	13,0	13,1

Например, из табл. 1 следует, что в условиях неустойчивой естественной влагообеспеченности, то есть при отсутствии орошения, значение показателя μ в формуле (2) близко к рекомендуемому и колеблется в пределах 0,5–1,0. Но в условиях орошения значение показателя μ повышается до 2,0 и выше. Следовательно, имеет место зависимость данного показателя от среднего уровня влагообеспеченности вегетационного периода. Вместе с тем расчеты показывают, что показатель μ не реагирует на кратковременные понижения почвенной влажности до 40–50 % от НВ на орошаемых вариантах РО-1 и РО-2.

Несколько другой результат водобалансовых расчетов получен с использованием декадных, укосных и вегетационных биотермических коэффициентов, найденных методом подбора, имеющего целью добиться минимальных различий между рассчитанными и замеренными в поле почвенными влагозапасами. Оказалось, что величины декадных, укосных и вегетационных биотермических коэффициентов, найденных методом подбора, не совпадают с аналогичными коэффициентами, вычисленными с использованием формул (1)–(4) по данным полевого опыта. Данное различие наглядно иллюстрирует рис. 3.

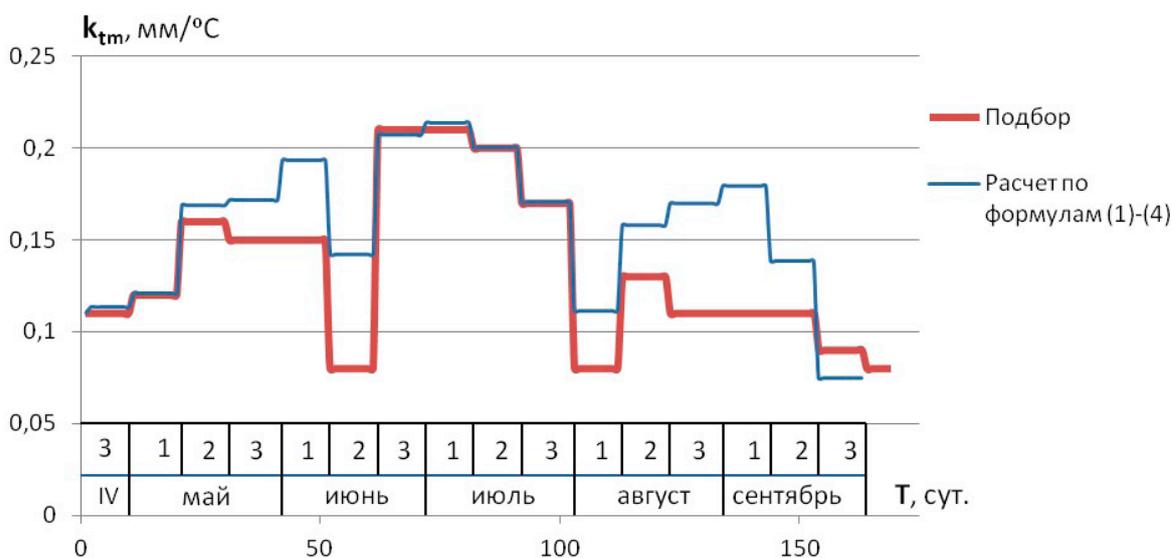


Рис. 3. Средние за 2017–2019 гг. биотермические коэффициенты многолетних трав 3-укосного использования, вычисленные по формулам (1)–(4) и найденные методом подбора

Таблица 2. Среднеквадратичные отклонения (мм) между почвенными влагозапасами, замеренными в поле и вычисленными по декадным биотермическим коэффициентам, найденным методом подбора, при различных значениях показателя μ

Вариант опыта	Год	Значения показателя μ				
		0	0,5	1,0	1,5	2,0
БО	2017	14,9	16,7	17,4	17,8	18,1
	2018	34,4	8,8	13,0	16,4	18,7
	2019	38,7	7,0	12,2	15,4	17,9
	среднее	33,5	9,2	13,3	16,2	18,3
РО-1	2017	9,9	10,0	10,1	10,2	10,3
	2018	15,4	10,6	9,4	9,3	9,5
	2019	11,9	6,2	5,0	5,0	5,5
	среднее	13,1	8,6	7,6	7,6	7,9
РО-2	2017	6,8	6,8	6,8	6,9	6,9
	2018	6,7	6,1	5,9	5,9	5,9
	2019	6,5	5,5	5,8	6,5	7,3
	среднее	6,6	6,0	6,0	6,3	6,6
среднее по вариантам		17,7	7,9	9,0	10,0	10,9

В табл. 2 приведены среднеквадратичные отклонения между почвенными влагозапасами, замеренными в поле и вычисленными по декадным биотермическим коэффициентам, найденным методом подбора. Как видим, результаты расчета по подобранным коэффициентам оказались существенно точнее. Минимальные среднеквадратичные отклонения между почвенными влагозапасами, вычисленными и замеренными в поле, снизились более чем на четверть (с 11,1 до 7,9 мм). При этом значение

показателя μ , при котором получен лучший результат, также понизилось до 0,5 на варианте без орошения и до 1,0 на вариантах с орошением.

В среднем за вегетацию значения биотермических коэффициентов, найденных методом подбора, оказались на 13 % меньше, чем вычисленных по формулам (1)–(4), причем корреляция между коэффициентами, вычисленными и найденными подбором, оказалась невысокой (рис. 4).

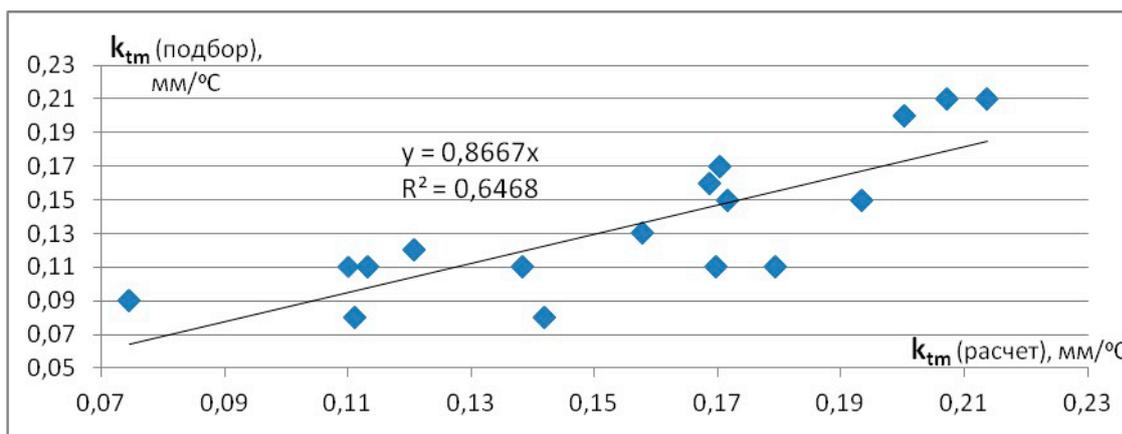


Рис. 4. Связь между биотермическими коэффициентами, вычисленными по формулам (1)–(4) и найденными методом подбора

Результаты сравнения данных табл. 1 и 2 указывают также на то, что уточнение значений биотермических коэффициентов методом подбора, имеющего целью добиться наименьшего различия между рассчитанными и замеренными в поле почвенными влагозапасами, – необходимый этап в методике их определения.

Причина различий между значениями биотермических коэффициентов, вычисленных по формулам (1)–(4) и уточненных методом подбора, на наш взгляд, состоит в разных условиях вегетации на варианте без орошения и на орошаемых вариантах. Определение между этими вариантами среднеарифметических величин биотермических коэффициентов является весьма грубым осреднением. Подбор значений коэффициентов позволяет точнее приблизить их к биологической кривой водопотребления культуры.

Значительный научный и практический интерес представляет влияние на результаты водобалансового расчета продолжительности интервала осреднения максимальных суточных температур воздуха при расчете водопотребления растений. На рис. 5 в качестве примера показан ход суточных и расчетных

максимальных температур воздуха, осредненных за 5 и за 10 суток в период вегетации 2018 г. Такая же закономерность справедлива для 2017 и 2019 гг.

В табл. 3 приведены среднеквадратичные отклонения между почвенными влагозапасами, замеренными в поле и вычисленными по декадным биотермическим коэффициентам при максимальных суточных температурах, осредненных за n -е количество суток при различных значениях показателя μ .

Как видим, осреднение температур почти не сказывается на ошибке водобалансового расчета. Вместе с тем, учитывая тенденцию изменения точности расчета, можно утверждать, что наилучшие результаты получены при осреднении максимальных температур воздуха за 5 суток. Большая продолжительность осреднения максимальных суточных температур не повышает точность результатов вычислений. На эти результаты также не влияет способ определения декадных биотермических коэффициентов. Точность водобалансового расчета не изменяется как при расчете коэффициентов по формулам (1)–(4), так и при их определении методом подбора.

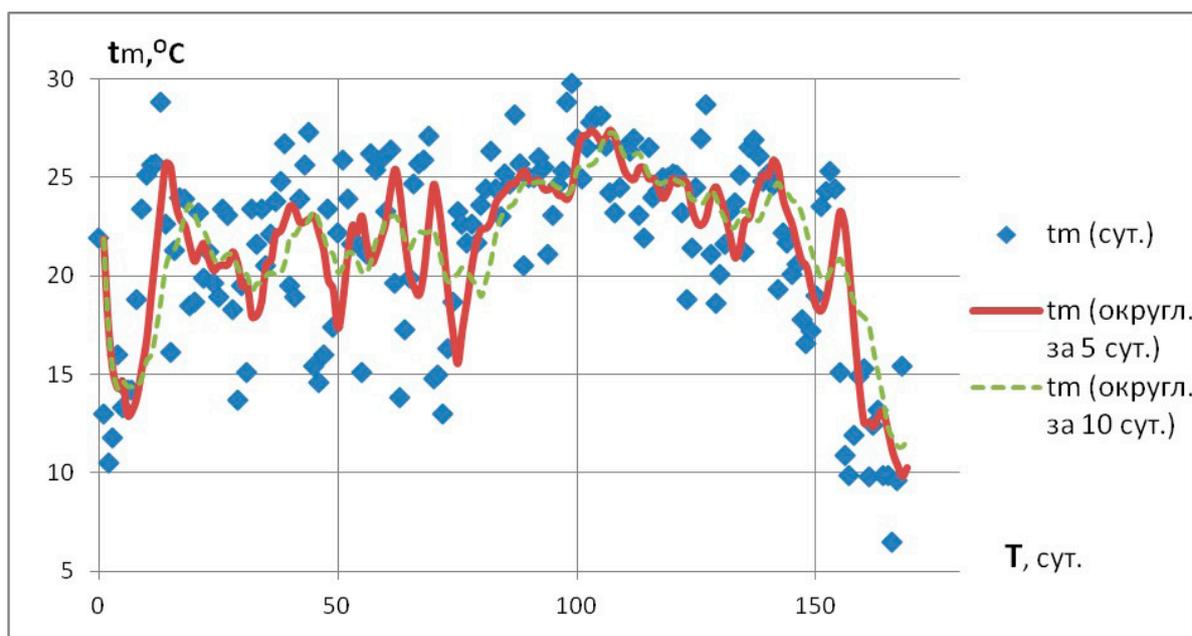


Рис. 5. Распределение максимальных температур воздуха суточных и осредненных за 5 и за 10 суток в период вегетации 2018 г.

Таблица 3. Осредненные за 2017–2019 гг. среднеквадратичные отклонения (мм) между почвенными влаготпасами, замеренными в поле и вычисленными при максимальных суточных температурах, округленных за *n*-е количество суток по декадным биотермических коэффициентам

Вариант определения биотермич. коэфф.	Вариант округления (<i>n</i> , суток)	Значения показателя μ					
		0	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5
По формулам (1)–(4)	1	50,1	15,0	11,9	11,3	11,2	11,3
	3	45,9	15,0	11,9	11,3	11,2	11,3
	4	45,7	14,9	11,8	11,2	11,2	11,2
	5	45,4	14,9	11,8	11,2	11,1	11,2
	6	45,1	14,9	11,8	11,2	11,1	11,2
	10	44,6	14,9	11,8	11,2	11,1	11,1
Методом подбора	1	18,1	8,0	9,1	10,2	11,1	11,9
	4	18,1	8,0	9,1	10,2	11,1	11,9
	5	18,0	7,9	9,0	10,1	11,0	11,8
	6	17,9	7,9	9,0	10,1	11,0	11,8
	10	17,7	7,9	9,1	10,1	10,9	11,7

Следует отметить, что согласно данным табл. 3, при устойчиво недостаточной естественной влагообеспеченности, когда орошение является необходимым условием получения урожая, с ростом показателя μ значения декадных биотермических коэффициентов начинают выравниваться при разных способах их определения, а при $\mu \geq 2,0$ эти значения совпадают по величине. Установленная закономерность объясняет совпадение декад-

ных биотермических коэффициентов (вычисленных по формулам и найденных методом подбора) во втором укосе многолетних трав (рис. 3).

В табл. 4 приведены найденные подбором укосные и вегетационные биотермические коэффициенты, а также среднеквадратичные отклонения между почвенными влаготпасами, замеренными в поле и вычисленными по этим коэффициентам при различных значе-

ниях показателя μ . Из таблицы следует, что в условиях естественной влагообеспеченности, то есть при отсутствии орошения, значение показателя μ соответствует рекомендуемому 0,5.

В условиях орошения значение этого показателя повышается до 1,0–2,0 и более. Однако если рассматривать в совокупности все варианты опыта, то в среднем $\mu = 0,5$.

Таблица 4. Биотермические коэффициенты (мм/°С) и среднеквадратичные отклонения (мм) между почвенными влагозапасами, замеренными в поле и вычисленными по укосным и вегетационным величинам биотермических коэффициентов, найденных методом подбора, при различных значениях показателя μ

Вариант опыта	Год	Значения показателя μ				
		0	0,5	1,0	1,5	2,0
Расчет по укосным биотермическим коэффициентам						
Все варианты	2017–2019	Укосные биотермические коэффициенты, мм/°С				
	1-й укос	0,12	0,13	0,14	0,14	0,15
	2-й укос	0,15	0,17	0,18	0,19	0,19
	3-й укос	0,10	0,11	0,11	0,11	0,12
	За 3 укоса	0,12–0,13	0,13–0,14	0,14–0,15	0,14–0,15	0,15
Среднеквадратичные отклонения (мм), вычисленные по укосным биотермическим коэффициентам						
БО	2017	16,6	16,7	17,4	17,7	16,8
	2018	12,7	10,2	11,8	14,3	15,3
	2019	10,9	9,9	12,5	14,6	15,9
	среднее	12,5	11,0	12,9	14,9	15,8
РО-1	2017	11,1	11,7	11,5	11,6	12,3
	2018	11,5	12,0	10,1	10,2	10,5
	2019	7,7	9,6	8,9	8,8	8,3
	среднее	9,8	10,9	9,8	9,8	9,8
РО-2	2017	7,3	7,9	7,8	7,8	8,8
	2018	7,1	6,3	6,5	6,5	7,2
	2019	9,1	7,4	7,1	6,7	6,4
	среднее	8,0	7,0	6,9	6,8	7,1
среднее по вариантам		10,1	9,6	9,9	10,5	10,9
Среднеквадратичные отклонения (мм), вычисленные по вегетационным биотермическим коэффициентам						
БО	2017	12,7	14,3	15,0	14,6	15,0
	2018	19,2	13,9	16,0	16,0	17,9
	2019	12,5	15,5	18,9	19,1	20,9
	среднее	15,4	14,6	17,1	17,1	18,8
РО-1	2017	13,0	14,5	14,4	15,9	15,7
	2018	18,2	14,5	12,1	12,0	11,1
	2019	7,2	7,2	7,2	7,6	7,5
	среднее	12,7	11,4	10,3	10,7	10,2
РО-2	2017	9,9	11,6	11,4	13,1	12,8
	2018	8,3	9,9	8,6	9,7	8,7
	2019	10,1	9,3	9,4	9,0	9,0
	среднее	9,3	9,9	9,3	9,9	9,4
среднее по вариантам		12,5	12,0	12,3	12,5	12,8

Среднеквадратичное отклонение между почвенными влагозапасами, замеренными в поле и вычисленными по подобранным укосным биотермическим коэффициентам, при $\mu = 0,5$ составило 9,6 мм против 11,9 мм для коэффициентов, найденных традиционным способом (табл. 1). Аналогичный результат получен также при $\mu = 0,5$ для подобранных вегетационных биотермических коэффициентов. Среднеквадратичное отклонение снизилось с 13,0 до 12,0 мм.

В табл. 5 представлена сводка данных табл. 1–3. С увеличением продолжительно-

сти действия биотермического коэффициента от декады к укосу и далее к вегетационному периоду точность водобалансового расчета снижается и среднеквадратичные отклонения расчета растут. Для биотермических коэффициентов, вычисленных по формулам (1)–(4), они повышаются от 11,1 до 11,9 соответственно и далее до 13,0 мм. При водобалансовом расчете по биотермическим коэффициентам, найденным методом подбора, эта закономерность сохраняется в пропорции от 7,9 до 9,6 и далее до 12,0 мм соответственно.

Таблица 5. Сравнение показателей, определяющих точность водобалансового расчета по биотермическим коэффициентам, установленным по формулам (1)–(4) и методом подбора

Биотермические коэффициенты	Способ определения биотермических коэффициентов				Повышение точности расчета, мм / %
	формулы (1)–(4)		метод подбора		
	μ	ср.-квадратич. отклонение, мм	μ	ср.-квадратич. отклонение, мм	
Вегетационные	2,0	13,0	0,5	12,0	1,0 / 7,7
Укосные	2,0	11,9	0,5	9,6	2,3 / 19,3
Декадные	2,0	11,1	0,5	7,9	3,2 / 28,8

Данные табл. 5 подтверждают справедливость использования в расчетах рекомендуемого значения показателя μ , характеризующего в формуле (2) интенсивность снижения водопотребления при понижении содержания влаги в корнеобитаемом слое почвы. Его можно принимать равным $\mu = 0,5$ при расчете водопотребления как по декадным, так по укосным и вегетационным биотермическим коэффициентам. Однако следует отметить, что в условиях орошаемого земледелия, согласно данным табл. 2 и 3, величина показателя μ повышается.

Отметим, что расчет динамики почвенных влагозапасов по общепринятой методике (1)–(4) с использованием декадных биотермических коэффициентов дает ошибку большую, чем использование укосных биотермических коэффициентов, найденных методом подбора. Следовательно, в условиях неустойчивой естественной влагообеспеченности наиболее близкие к измеренным в поле результаты во-

добалансового расчета можно получить только после подбора значений биотермических коэффициентов с целью минимизации различий между рассчитанными и замеренными в поле почвенными влагозапасами.

Однако практика использования водобалансового расчета для управления поливами показывает, что не совсем удобно пользоваться декадными биотермическими коэффициентами, по которым расчет наиболее точен (среднеквадратичное отклонение составляет 7,9 мм). Причиной неудобства является то, что сроки проведения укосов по годам различаются, сдвигаясь на несколько суток в ту или иную сторону, часто со сменой номера декады. В зависимости от различных производственных обстоятельств может меняться даже количество укосов. В связи с этим, несмотря на рост ошибки водобалансового расчета в 1,5 раза, технологичнее пользоваться биотермическими коэффициентами, осредненными для всего вегетационного периода.

Исходя из этого замечания дополнительная оценка сделанных выводов и точности водобалансового расчета по вегетационным биотермическим коэффициентам, найденным методом подбора, проведена с использованием данных 2020 г. Поскольку наибольшие отклонения рассчитанных почвенных влагозапасов от замеренных в поле наблюдались на неорошаемом варианте (табл. 2 и 3), в схеме опыта 2020 г. было предусмотрено во всех вариантах исследований исключить орошение и вместо 3-укосного использования травостоя проводить укосы, моделируя разные способы заготовки корма из многолетних трав (сено, сенаж, зеленая масса на откорм при стойловом содержании крупного рогатого скота).

В 2020 г. наблюдалось сравнительно равномерное выпадение атмосферных осадков в течение вегетации. До конца июля почвен-

ные влагозапасы не опускались ниже 70 % от наименьшей влагоемкости (НВ) на всех трех вариантах опыта. Только к середине августа из-за отсутствия дождей влажность почвы понизилась до 0,5 НВ. Несмотря на условия 2020 г., отличавшиеся от условий 2017–2019 гг., согласно данным табл. 6, ошибка расчета динамики почвенных влагозапасов в 2020 г. находилась в пределах, установленных в предыдущие годы исследований при трехразовом скашивании. Наименьшее среднеквадратичное отклонение между рассчитанными и замеренными в поле почвенными влагозапасами наблюдалось при значении показателя $\mu = 0,5$. Причем ошибка водобалансового расчета в 2020 г. оказалась даже несколько меньшей, чем в среднем за 2017–2019 гг. Тем самым данные 2020 г. полностью подтвердили выводы, полученные по результатам исследований за 2017–2019 гг.

Таблица 6. Сравнение среднеквадратичных отклонений (мм), определяющих точность водобалансового расчета, выполненного по вегетационным биотермическим коэффициентам, найденным методом подбора

Годы	Значения показателя μ		
	0	0,5	1,0
2017	11,9	13,5	13,6
2018	15,2	12,8	12,2
2019	9,9	10,7	11,8
среднее за 2017–2019	12,3	12,3	12,5
2020	12,8	11,4	11,6
среднее за 2017–2020	12,4	12,1	12,3

Заключение

Результаты сравнения рассчитанных и замеренных в поле почвенных влагозапасов показали зависимость точности водобалансового расчета от способа определения декадных, укосных и вегетационных биотермических коэффициентов для многолетних трав.

Установлено следующее:

- расчет влагозапасов почвы по общепринятой методике с использованием декадных биотермических коэффициентов дает ошибку большую, чем аналогичный расчет по укосным биотермическим коэффициентам, найденным методом подбора, имеющего целью добиться минимальных различий

между рассчитанными и замеренными в поле почвенными влагозапасами. Следовательно, уточнение биотермических коэффициентов многолетних трав метода подбора является необходимым этапом в методике их определения;

- наибольшая точность водобалансового расчета достигается при осреднении максимальных температур воздуха за 5 предыдущих суток. При дальнейшем увеличении продолжительности периода осреднения максимальных суточных температур до 6–10 суток точность водобалансового расчета не повышается;

- ошибка расчета динамики почвенных влагозапасов по вегетационным биотермическим коэффициентам многолетних трав, найденным методом подбора, не зависит от количества укусов травостоя;
- наименьшее среднеквадратичное отклонение (между замеренными и вычисленными по подобранным вегетационным биотермическим коэффициентам) получено при значении показателя $\mu = 0,5$. Однако следует отметить, что в условиях орошения величина показателя μ повышается.

Библиографический список

1. Голченко, М. Г. Способы и устройства для совершенствования оперативного управления эксплуатационными режимами орошения дождеванием / М. Г. Голченко, Д. А. Емельяненко, Д. В. Яланский // Мелиорация. – 2016. – № 1. – С. 21–25.
2. Kowalczyk, A. An assessment of crop water deficits of the plants growing on the Malopolska Upland (Poland) / A. Kowalczyk, L. Labędzki, A. Kuźniar, M. Kostuch // Journ.of Water and Land Development. – 2016. – No. 29 (IV–VI). – P. 11–22. DOI: 10.1515/jwld-2016-0008.
3. Лихацевич, А. П. Расчет водного баланса почвы при краткосрочном переувлажнении / А. П. Лихацевич, И. А. Романов // Мелиорация. – 2016. – № 4. – С. 6–17.
4. Оросительные системы. Правила проектирования : ТКП/ПР 45-3.04–178–2009 (02250). – Введ. 29.12.2009. – Минск, 2010. – 74 с.
5. Усовершенствованный алгоритм управления орошением в производственных условиях / А. П. Лихацевич [и др.] // Современные методики, инновации и опыт практического применения : материалы Междунар. науч.-практ. конф., Минск, 19 – 20 октября 2017 г. / Нац. акад. наук Беларуси, Ин-т мелиорации ; ред.: Н. К. Вахонин [и др.]. – Минск, 2017. – С. 30–40.
6. Плешаков, В. Н. Методика полевого опыта в условиях орошения / В. Н. Плешаков. – Волгоград : ВНИИОЗ, 1983. – 148 с.
7. Шеин, Е. Ф. Теория и методы физики почв / Е. Ф. Шеин, Л. О. Карпачевский. – М. : «Гриф и К», 2007. – 616 с.
8. Вадюнина, А. Ф. Методы исследования физических свойств почв / А. Ф. Вадюнина, З. А. Корчагина. – М. : Агропромиздат. 1986. – 416 с.
9. Опытное дело в полеводстве / Сост. Г. Ф. Никитенко. – М. : Россельхозиздат, 1982. – 176 с.

Поступила 5 февраля 2021 г.

ОЦЕНКА СУФФОЗИОННОЙ УСТОЙЧИВОСТИ МИНЕРАЛЬНЫХ ГРУНТОВ

А. А. Боровиков, старший преподаватель

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

Аннотация

Рассмотрена суффозионная устойчивость минеральных грунтов. Выполнены расчеты для обоснования отсутствия суффозии в отдельных образцах. Приведены результаты оценки суффозионной устойчивости исследованных грунтов согласно геометрическому критерию выноса, а также зависимости, учитывающие уменьшения размеров пор грунта и увеличения размеров частиц за счет формирования пленок связанной воды.

Ключевые слова: минеральный грунт, фильтрационная устойчивость, механическая суффозия, геометрический критерий выноса.

Abstract

A. A. Borovikov

EVALUATION OF SUFFUSION STABILITY OF MINERAL SOILS.

The article deals with the suffusion resistance of mineral soils. Calculations were performed to substantiate the absence of suffusion in some samples. The results of assessing the suffusion stability of the investigated soils in accordance with the geometrical removal criterion are presented. Dependences are given that take into account the decrease in the pore size of the soil and the increase in the particle size due to the formation of films of bound water.

Keywords: mineral soil, filtration stability, mechanical suffusion, geometric criterion of removal.

Введение

При оценке грунтов с точки зрения их фильтрационной устойчивости в первую очередь необходимо установить вид фильтрационных деформаций, поскольку от этого зависит как характер условий для обеспечения фильтрационной прочности грунта, так и вид аналитических зависимостей для количественной оценки скоростей фильтрации и градиентов напора. Фильтрационные деформации связных и несвязных грунтов могут быть подразделены на следующие основные виды: выпор, происходящий под действием восходящего фильтрационного потока; суффозия; контактный выпор и контактный размыв.

Особое внимание заслуживает суффозия, представляющая собой процесс выноса из грунта фильтрующейся водой мелких частиц за его пределы. Такая суффозия называется механической в отличие от химической суффозии, заключающейся в удалении из грунта растворимых в воде минералов. Данное проявление, связанное с воздействием фильтрационного

потока, приводит к изменению (порой катастрофическому) структуры грунта.

В естественных условиях данный процесс малозаметен в силу установившегося и медленного течения подземных вод. Когда природные условия резко меняются вследствие строительства водоподпорных сооружений, картина кардинально меняется. В этом случае многократно повышаются градиенты напора и скорости, в результате чего может развиваться процесс суффозии в опасных размерах для сохранности сооружений. Данное явление может наблюдаться в районах с интенсивной эксплуатацией подземных водоносных горизонтов. В результате снижения уровней подземных вод на десятки метров вода с поверхности движется к водоносному слою, увлекая за собой мелкие частички грунта, поэтому пористость его увеличивается. Это приводит к проседанию верхних слоев, так как они не могут опираться на нижележащие пласты, прочность которых иногда падает до нуля.

Суффозионные явления отрицательно сказываются на устойчивости зданий и сооружений, и с ними следует активно бороться. Основа всех мероприятий – прекращение фильтрации воды. Этого можно достигнуть гидроизоляцией поверхности, или перехватом и отводом поверхностных вод за пределы участка, пригрузкой мест выхода подземных вод на поверхность, или устройством обратных фильтров, закреплением грунтов, или применении особых конструкций фундамента.

Фильтрационный поток, возникающий в грунте, обуславливает возникновение соответствующих фильтрационных сил, приложенных к скелету грунта, которые, с одной стороны, могут способствовать снижению общей устойчивости грунта или вызывать появление так называемого местного фильтрационного выпора. С другой стороны, упомянутые силы могут приводить к фильтрационным деформациям скелета грунта в виде так называемых суффозии и кольматажа.

При проектировании грунтовых водоподпорных сооружений приходится различать безопасные и опасные фильтрационные деформации, детерминирующие нарушение фильтрационной прочности грунта, которые могут привести к частичному или полному разрушению сооружения или его основания. Анализ аварий грунтовых плотин показывает, что около 80 % аварий произошло именно вследствие нарушения фильтрационной прочности грунта тела или основания.

Условия возникновения механической суффозии можно разделить на две категории: необходимые и достаточные. Необходимыми являются геометрические условия, достаточными – гидромеханические условия в порах грунта. При соответствующих гидродинамических условиях из толщи грунта могут выноситься частицы, максимальная величина которых определяется согласно геометрическому критерию [1, 2].

В зависимости от суффозионных свойств грунты подразделяются на три основные категории: суффозионные, практически несущезуффозионные и несущезуффозионные [1]. Суффозионными считаются те из них, в которых при критических скоростях или градиентах может развиваться механическая суффозия. Если ме-

ханическая суффозия при любых практически достижимых скоростях или градиентах невозможна, то грунт считается несущезуффозионным. Вынос небольшого количества мелких частиц не нарушает прочности грунта, что подтверждается экспериментально [2, 3].

Для решения многих практических задач фильтрационной устойчивости различают еще промежуточную категорию практически несущезуффозионных грунтов, когда при определенных гидродинамических условиях может быть вынесено не более 3–5 % мелких частиц (по массе). В этом случае считается, что грунт практически несущезуффозионен. В практике мелиоративного строительства вследствие низкого класса капитальности сооружений можно различать лишь две категории грунтов – суффозионные и практически несущезуффозионные.

Для установления категории несущезуффозионных грунтов, из которых при любых скоростях или градиентах фильтрационного напора не будет выноса самых мелких частиц d_{\min} , А. Н. Патрашевым и Г. Х. Праведным (ВНИИГ имени Б. Е. Веденеева) была предложена последовательность расчета, основанная на определении диаметра максимального фильтрационного хода по результатам гранулометрического анализа грунта, его пористости и коэффициента фильтрации [1, 2]. Если

$$0,77d_0^{\max} > d_{\min}, \quad (1)$$

то грунт следует отнести к суффозионным, так как из его толщи при определенных гидродинамических условиях по геометрическому критерию выноса могут выноситься все частицы с диаметрами

$$d_{ci} \leq 0,77d_0^{\max}, \quad (2)$$

где d_0^{\max} – диаметр максимального фильтрационного хода, мм;

d_{\min} – минимальный диаметр частиц, содержащихся в грунте (по данным гранулометрического анализа), мм;

d_{ci} – диаметр частиц, способных быть вынесенными из грунта по геометрическому критерию выноса, мм.

Если условие (1) не выполняется, то есть

$$0,77d_0^{\max} < d_{\min}, \quad (3)$$

то грунт считается несuffозионным, так как в данном случае при любых скоростях или градиентах фильтрационного напора вынос самых мелких частиц невозможен. Максимальный процент возможного выноса частиц из грунта устанавливаются по кривой гранулометрического состава и максимальному диаметру выносимых частиц d_{ci} , определяемому по зависимости (2).

Исследуемые грунты в количестве 12 образцов отобраны на объекте «Набережная реки Сож от Лебяжего пруда до учреждения “Гомель-

ская городская клиническая БСМП”». Кривые гранулометрического состава образцов приведены на рис. 1 и 2.

Для примера приведем расчет по определению размера частиц, способных быть вынесенными из грунта для образца 1. Данный грунт с коэффициентом неоднородности $\eta = 3,82$, $d_{17} = 0,065$ мм, плотностью твердых частиц $2,66$ г/см³ характеризуется коэффициентом пористости, равным $0,697$; молекулярная влажность грунта составляет $3,09$ %.

Диаметр максимального фильтрационного хода

$$d_0^{\max} = \chi \cdot C \cdot e \cdot d_{17} = 1,091 \cdot 0,5688 \cdot 0,697 \cdot 0,065 = 0,0281 \text{ (мм)},$$

где χ – коэффициент неравномерности раскладки частиц в грунте;

e – коэффициент пористости грунта;

d_{17} – диаметр частиц, меньше которых в грунте содержится 17 % по массе;

C – коэффициент, определяемый по формуле [4, с. 37]:

$$C = 0,455 \cdot \sqrt[6]{\eta} = 0,455 \cdot \sqrt[6]{3,82} = 0,5688 ,$$

где η – коэффициент неоднородности грунта.

Коэффициент неравномерности раскладки частиц [4, с. 37]

$$\chi = 1 + 0,02 \cdot \eta + 0,001 \cdot \eta^2 = 1 + 0,02 \cdot 3,82 + 0,001 \cdot 3,82^2 = 1,091 .$$

Из грунта (в соответствии с геометрическим критерием выноса) могут быть вынесены частицы, имеющие диаметр менее

$$d_{ci} \leq 0,77 \cdot d_0^{\max} = 0,77 \cdot 0,0281 = 0,0216 \text{ (мм)} .$$

Однако приведенные расчеты не учитывают влияние пленок связанной воды на геометрию пор и частиц. Между тем, по данным справочника гидрогеолога, максимальная молекулярная влагоемкость для пылеватых песков может достигать 12 % [5]. Тем не менее возможность учесть влияние пленок связанной воды на геометрию пор и частиц при оценке suffозионности грунтов приведена в работах [4, 6].

Коэффициент, учитывающий уменьшение диаметра фильтрационного хода [4, с. 38],

$$K_1 = \sqrt[3]{\frac{V_{m\phi}}{V_{m\phi} + V_w^m}} , \quad (4)$$

тогда диаметр максимального фильтрационного хода

$$d_0^{\max} = \chi \cdot C \cdot \frac{n}{1-n} \cdot d_{17} \cdot K_1 . \quad (5)$$

Диаметр выносимых частиц

$$d_{ci} = \frac{0,77 \cdot d_0^{\max}}{K_2} = 0,77 \cdot d_0^{\max} \cdot K_1 . \quad (6)$$

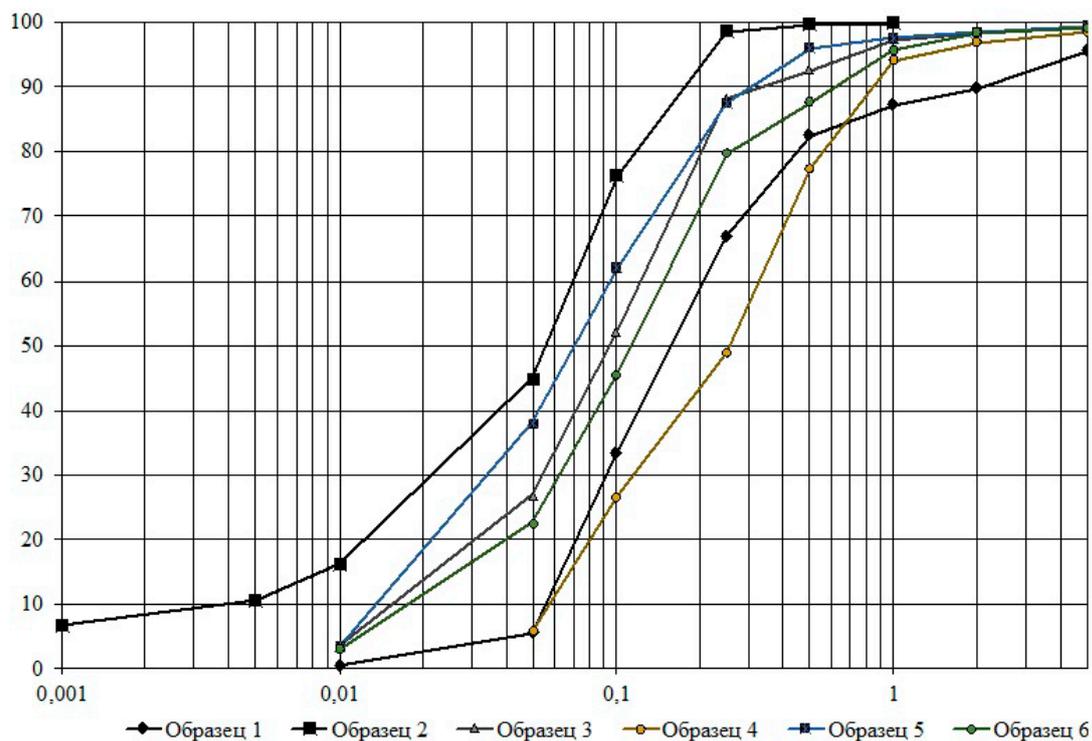


Рис. 1. Кривые гранулометрического состава образцов 1–6

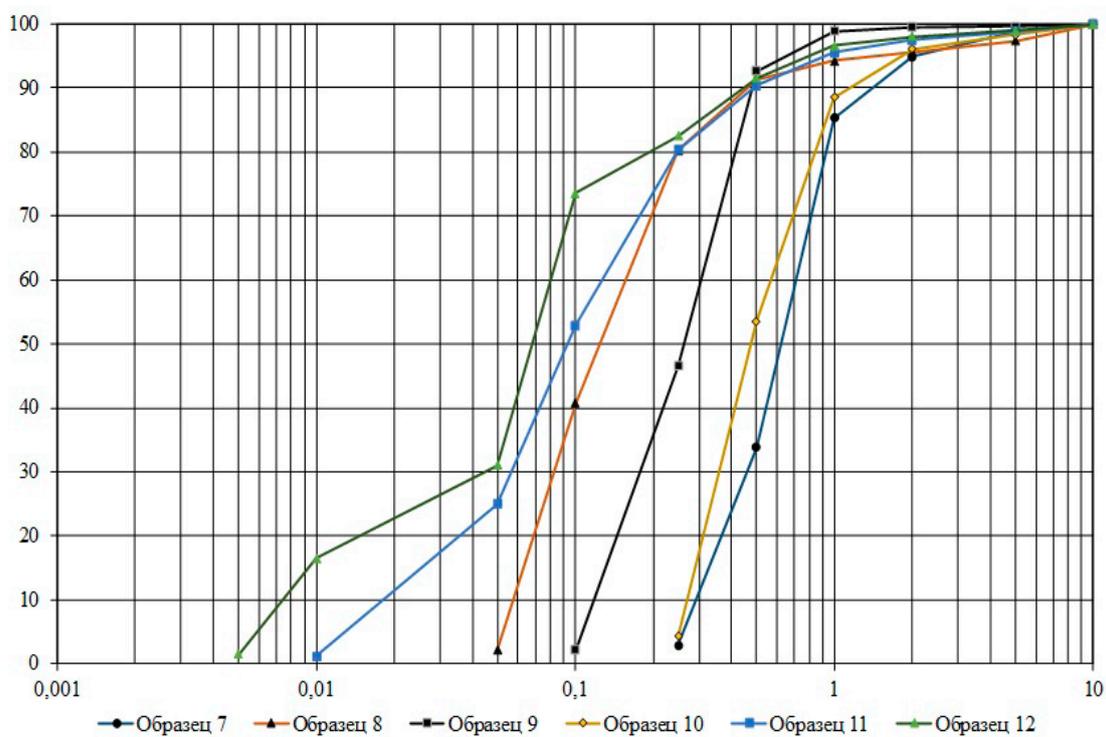


Рис. 2. Кривые гранулометрического состава образцов 7–12

Таблица 1. Оценка суффозионной оценки исследованных образцов по геометрическому критерию выноса

Номер образца	Кэфф. неоднородности, η	d_{17} , мм	Кэфф. пористости, e	Кэфф. неравномерности раскладки частиц, χ	C	$V_{мр}$, г/см ³	Плотность твердых частиц, ρ_{sv} , г/см ³	W^m , %	V_w^m , г/см ³	Кэфф. K_1	d_0^{max} , мм	d_{ci} , мм	Содержание выносимых частиц в грунте, %	Оценка суффозионности грунта
1	3,82	0,065	0,697	1,091	0,5688	0,589	2,66	3,09	0,048	0,974	0,0274	0,0205	3	+
2	16,43	0,011	0,967	1,598	0,7255	0,508	2,70	9,88	0,136	0,924	0,0114	0,0081	16	+
3	8,29	0,0027	0,967	1,235	0,6474	0,508	2,70	17,98	0,247	0,876	0,0018	0,0012	7	+
4	10,40	0,028	0,688	1,316	0,6722	0,592	2,65	6,42	0,101	0,949	0,0162	0,0118	-	-
5	7,00	0,02	0,683	1,189	0,6293	0,594	2,65	7,69	0,121	0,940	0,0096	0,0070	-	-
6	9,68	0,0024	0,959	1,287	0,6643	0,510	2,72	16,25	0,226	0,885	0,0017	0,0012	8	+
7	2,70	0,166	0,700	1,061	0,5370	0,588	2,64	1,91	0,030	0,984	0,0651	0,0493	-	-
8	2,90	0,067	0,710	1,066	0,5432	0,585	2,67	5,48	0,086	0,956	0,0263	0,0194	-	-
9	2,43	0,064	0,696	1,055	0,5276	0,590	2,69	3,43	0,054	0,971	0,0241	0,0180	-	-
10	2,50	0,131	0,685	1,056	0,5302	0,593	2,66	2,15	0,034	0,982	0,0493	0,0373	-	-
11	7,40	0,034	0,718	1,203	0,6352	0,582	2,63	4,61	0,071	0,963	0,0180	0,0133	4	+
12	10,37	0,0053	0,937	1,315	0,6719	0,516	2,73	13,42	0,189	0,901	0,0040	0,0027	8	+

Примечание: «+» означает, что образец подвержен суффозии.

Проанализировав изменение значения коэффициента (K_1) для 12 образцов исследованных грунтов объекта «Набережная реки Сож от Лебяжьего пруда до учреждения “Гомельская городская клиническая БСМП”», следует отметить, что величина уменьшения диаметра максимального фильтрационного хода в зависимости от образца колеблется в диапазоне от

1,6 до 12,4 %. Как следствие, размер частиц, способных быть вынесенными за пределы грунта фильтрационным потоком (d_{ci}) в соответствии с геометрическим критерием выноса (1), также снижается в этом диапазоне. Частицы грунта с диаметром частиц более (d_{ci}) не смогут быть вынесены из грунта фильтрационным потоком чисто геометрически.

Заключение

Рассмотрена суффозионная устойчивость минеральных грунтов. Выполнены расчеты для обоснования отсутствия суффозии в отдельных образцах. Предложены зависимости, позволяющие учитывать толщину пленки прочносвязанной воды при расчетах суффозионной устойчивости образцов, посредством включения ее в состав частицы, то есть частица грунта рассматривается вместе с пленкой как твердая частица грунта. Получены зависимости, позволяющие рассчитать диаметры частиц и пор, учитывающие уменьшения разме-

ров пор грунта и увеличения размеров частиц, способных из него выноситься вследствие формирования вокруг них пленок связанной воды.

При сопоставлении диаметра максимального фильтрационного хода образцов 1–3, 6, 11, 12 с данными гранулометрического анализа видно, что вынесенными могут оказаться частицы в количестве от 3 до 16 % по массе. Следовательно, данные образцы подвержены механической суффозии согласно геометрическому критерию выноса.

Библиографический список

1. Дрозд, П. А. Фильтрационная устойчивость грунтов и подбор обратных фильтров для мелиоративных сооружений / П. А. Дрозд, Ю. Ф. Буртыс. – Минск : Урожай, 1967. – 51 с.
2. Патрашев, А. Н. Проект инструкции по проектированию обратных фильтров гидротехнических сооружений / А. Н. Патрашев, Г. Х. Праведный. – М. – Л. : Госэнергоиздат, 1963. – 87 с.
3. Инструкция по проектированию обратных фильтров гидротехнических сооружений. ВСН-02-65. ВНИИГ имени Б. Е. Веденеева. – Л. : Энергия, 1965. – 95 с.
4. Боровиков, А. А. Методика оценки суффозионной устойчивости песчано-сапропелевых смесей / А. А. Боровиков // Мелиорация сельскохозяйственных земель в XXI веке: проблемы и перспективы : докл. Междунар. науч.-практ. конф., Минск, 20–22 марта 2007 г. / РУП Ин-т мелиорации. – Минск, 2007. – С. 37–40.
5. Справочник гидрогеолога / М. Е. Альтовский [и др.] ; под общ. ред. М. Е. Альтовского. – М. : Госгеолтехиздат, 1962. – 616 с.
6. Нестеров, М. В. Расчет фазового состава сапропеля и песчано-сапропелевых смесей / М. В. Нестеров, А. А. Боровиков // Роль мелиорации и водного хозяйства в реализации национальных проектов : материалы Междунар. науч.-практ. конф., Москва, 22–24 апреля 2008 г. / ФГОУ ВПО Моск. гос. ун-т природообустройства. – Москва, 2008. – Ч. 2. – С. 128–134.

Поступила 26 февраля 2021 г.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ мелиорированных земель

УДК 633.378

СОРТ ЧИНЫ МНОГОЛЕТНЕЙ ЖУРАВУШКА

А. Л. Бирюкович, кандидат сельскохозяйственных наук

А. С. Мееровский, доктор сельскохозяйственных наук

РУП «Институт мелиорации»

Аннотация

Изложены результаты сортоиспытания нового сорта чины многолетней (*Lathyrus sylvestris* L.) Журавушка, морфологические признаки и биологическая характеристика растения. Рассмотрены результаты агроэкологического испытания: зимостойкость, устойчивость к полеганию, засухоустойчивость. Приведены результаты предпосевной обработки семян для ускорения их прорастания.

Ключевые слова: сорт чины многолетней, торфяные почвы, сырой протеин, урожайность сухой массы, зимостойкость.

Abstract

A. L. Biryukovich, A. S. Meerovsky

VARIETY OF THE LATHYRUS SYLVESTRIS L. ZHURAVUSHKA

The results of variety testing of a new variety of *Lathyrus sylvestris* L. are considered. Morphological features of the plant, its biological characteristics are described. The results of agroecological testing are considered: winter hardiness, lodging resistance, drought resistance. The results of pre-sowing treatment of seeds to accelerate their germination are presented.

Keywords: variety of the *Lathyrus sylvestris* L., peat soils, crude protein, dry mass yield, winter hardiness.

Введение

Согласно постановлению Совета Министров Республики Беларусь «Об утверждении государственной программы развития селекции и семеноводства зерновых, зернобобовых, технических и кормовых сельскохозяйственных растений на 2014–2020 годы» от 16 июня 2014 г. № 585, на условную голову скота должно производиться 45–50 ц кормовых единиц (далее – к. ед.), в том числе травяных 30–35 ц, а площадь многолетних трав увеличиться до 1 млн га, причем доля бобовых и бобово-злаковых трав должна составлять 90 % [1].

На мелиорированных землях, занимающих более 2 млн га, использование клевера лугового или люцерны затруднено из-за риска временного переувлажнения, а применение клевера гибридного сдерживается низкими урожаями семян. Поэтому была предпринята попытка поиска многолетней бобовой культуры для торфяных почв. Аборигенным видом,

адаптированным к торфяным почвам, является чина многолетняя (*Lathyrus sylvestris* L.) – многолетний вид семейства бобовых трав (*Fabaceae*), которая распространена в Беларуси, Украине (Карпаты, Днепропетровский р-н), на европейской части России (Двинско-Печорский, Прибалтийский, Ладожско-Ильменский, Верхневолжский, Волжско-Донской, Заволжский, Причерноморский р-ны), в Крыму (Судак), а также на Кавказе.

С 2013 г. в Беларуси районирован сорт чины многолетней Купава. По продуктивному долголетию урожайности и питательным качествам зеленой массы чина превосходит многие травянистые бобовые культуры, обладает высокой зимостойкостью и засухоустойчивостью. Весовая норма высева семян при рядовом посеве 16–20 кг/га, при широкорядном 8–10 кг/га, глубина заделки семян 4–6 см, сроки сева любые при достаточном увлажнении почвы. Использование чины многолетней в производстве на торфяных

почвах Белорусского Полесья позволит увеличить продуктивность мелиорированных торфяных почв и улучшить обеспеченность кормовой единицы белком. Чина вегетирует до наступления морозов ($t^{\circ}\text{C} = -10... -15^{\circ}\text{C}$), что позволяет частично ликвидировать сезонный недостаток зеленой массы в рационах поздней осенью. Долголетнее выращивание чины на торфяных почвах позволит замедлить их сработку [2].

Чина растет на лесных полянах, лугах, канавах, морских песках, осыпях и щебнях у рек до высоты 1850 м над уровнем моря. *Lathyrus sylvestris* L. распространена почти по всей Европе; выращивается в Северной Америке, север-

ной Испании и восточной Португалии [3]. В Западной Европе (Англия, Германия) чина луговая введена в культуру и имеет особое значение для долголетних лугов, так как после посевов держится в продолжение десяти и более лет [4]. В США чина при наличии опоры может достигать высоты 5–7 футов (1,5–2,1 м), а в отсутствии опоры растение имеет высоту 18–30 дюймов (0,45–0,76 м). В обоих случаях травостой образует плотное растительное покрытие. Цветки темно-розовые, образуют 2-дюймовые (5,1 см) длинные семенные стручки, которые содержат твердое круглое семя черного или темно-серого цвета [5].

Материалы и методы исследований

Работы по созданию нового сорта чины многолетней Журавушка проводили на торфяной почве Пинского р-на Брестской обл. и дерново-глеевой Ивьевского р-на Гродненской обл. Он был создан методом массового отбора и районирован по Республике Беларусь с 2021 г. (авторы: А. С. Мееровский, Е. М. Мишук, Н. В. Кабанова, А. Л. Бирюкович).

Для изучения возможности повышения всхожести чины проведен лабораторный опыт по обработке семян наноудобрениями. Гипотеза исследования заключалась в предположении,

что наночастицы размером 2÷40 нм (что меньше размера каналов клеточной мембраны – до 50 нм) смогут проникнуть через оболочку семени без ее нарушения и, стимулируя зародыш, ускорят прорастание. Поэтому проведена обработка семян чины многолетней наноудобрениями на основе наночастиц металлов: Наноплант – Co, Mn, Cu, Fe и Наноплант – Fe. Она проводилась опрыскиванием водными растворами нанопрепаратов с увеличивающимися дозами и экспозицией 1 час. После этого семена проращивали в термостате при $t = 20^{\circ}\text{C}$ в чашках Петри.

Результаты исследований и их обсуждение

Чина многолетняя имеет стержневую корневую систему, от главного корня отходят многочисленные боковые (рис. 1). Некоторые из них по своей мощности не уступают главному корню. Вес корневой массы растений к пятому году жизни достигает 12–18 кг.



Рис. 1. Корни чины многолетней Журавушка 2-го года жизни (торфяная почва)



Рис. 2. Чина многолетняя 3-го года жизни на минеральной почве

Стебли у чины многолетней лианообразные, мощные, длиной от 140 до 200–250 см, количество ветвей на стебле колеблется от 1 до 20 и более (рис. 2). В одновидовых посевах наземные побеги, переплетаясь между собой, образуют устойчивый к полеганию травостой.

Листья у чины парноперистые, с одной парой листочков, заканчивающихся разветвленным усиком; крепятся к стеблю короткими черешками, без прилистников. Листочки цельные, по краям ровные (рис. 3). Соцветие – многоцветковая кисть из 5–18 цветков. Цветки

имеют интенсивно розовую окраску паруса и розовую с фиолетовым оттенком – лодочки. Плод чины многолетней – многосемянный боб длиной 8–10 см, число семян в бобе 7–12 шт.

Сорт чины многолетней Журавушка обладает следующими хозяйственно-биологическими характеристиками:

- имеет способность произрастать на одном месте более 5 лет; в благоприятных условиях урожайность зеленой массы в фазу цветения в сумме за два укоса может достигать 1000 ц/га; урожайность семян – 5–12 ц/га; обладает высокой зимостойкостью и засухоустойчивостью. Весовая норма высева семян на кормовые цели – 8–10 кг/га при широкорядном посеве, причем обработка семян перед посевом не требует применения специфических препаратов для развития клубеньковых бактерий;
- поедаемость зеленой массы чины при первом кормлении крупного рогатого скота удовлетворительная, так как требуется привыкание к ней; в дальнейшем поедаемость значительно увеличивается. Добавка чины многолетней в кормовые смеси значительно повышает надои. Чину многолетнюю можно скармливать свиньям в любом виде –

зеленой или подвяленной массы, даже послеуборочных остатков семенников;

- на кормовые цели чину можно сеять как в одновидовых посевах, так и в смеси с тимофеевкой или овсяницей луговой. Она адаптирована для мелиорированных торфяных почв с содержанием органического вещества 30–50 %. Выдерживает кратковременное затопление 7–10 суток.



Рис. 3. Чина многолетняя 1-го года жизни на минеральной почве

По данным Государственной инспекции по испытанию и охране сортов растений, урожайность чины многолетней Журавушка в 2018–2020 гг. составила 75,0 ц/га сухой массы (табл. 1).

Таблица 1. Урожайность чины многолетней Журавушка в 2018–2020 гг., ц/га сухой массы

Сортоиспытательная станция	Посев 2017 г.			Посев 2018 г.		Средняя
	2 г. ж.	3 г. ж.	4 г. ж.	2 г. ж.	3 г. ж.	
ГСХУ «Кобринская СС»	18,6	50,3	67,6	58,8	105,0	60,1
ГСХУ «Лепельская СС»	9,1	131,0	70,7	102,0	106,0	83,8
ГСХУ «Мозырская СС»	–	–	–	109,0	108,0	108,5
ГСХУ «Жировичская СС»	57,6	100,0	81,7	66,7	77,8	76,8
ГСХУ «Несвижская СС»	26,5	30,3	58,5	108,0	93,2	63,3
ГСХУ «Горецкая СС»	69,1	112,0	48,9	118,0	79,4	85,5
В среднем	36,2	84,7	65,5	93,8	94,9	75,0

Примечание: г. ж. – год жизни.

Урожайность чины 2-го года жизни, посеянной в 2017 г., была в 2,6 раза ниже, чем посева 2018 г. Это может быть связано с погодными условиями в год посева, которые повлияли на всхожесть семян и развитие всходов культу-

ры. Так, май в 2017 г. был несколько холоднее обычного. Средняя температура воздуха по стране составляла +12,7 °С, что ниже климатической нормы на 0,7 °С. Средняя температура воздуха в период 10–12 мая составляла

+1... +4 °С. По ночам температура воздуха была +4... +12 °С. В первой декаде мая и 17 мая в отдельных районах, а 10–12 мая на большей части территории отмечались заморозки до 0–3 °С. Осадки были в виде дождя, в первой и в начале второй декады иногда выпадал снег. В среднем за май по стране выпало 34 мм осадков (58 % климатической нормы) [6]. Таким образом, в условиях более низких среднесуточных температур воздуха всхожесть чины снижалась. Это влияло на развитие культуры и в последующие годы.

Апрель 2018 г. был очень теплым, и за первые пять дней произошло разрушение снежного покрова. Средняя температура воздуха в

апреле составила +10,5 °С, что на 3,2 °С выше климатической нормы. Май также оказался аномально теплым со среднемесячной температурой +16,9 °С, что выше климатической нормы на 3,5 °С. Такой теплый май отмечен в Беларуси впервые за весь период метеонаблюдений. В среднем в мае по стране выпало 29 мм осадков (49 % климатической нормы). Такое или меньшее количество осадков в мае отмечается примерно один раз в 10 лет [7]. Оценка агроэкологических свойств сорта Журавушка показала, что они находятся на достаточно хорошем уровне (табл. 2), так как сорт создан на основе аборигенного вида.

Таблица 2. Агроэкологические свойства чины многолетней Журавушка, балл

Сортоиспытательная станция	Зимостойкость	Устойчивость к полеганию	Засухоустойчивость
ГСХУ «Кобринская СС»	4,7	4,2	4,6
ГСХУ «Лепельская СС»	4,1	4,8	3,7
ГСХУ «Мозырская СС»	4,3	4,0	4,0
ГСХУ «Жировичская СС»	5,0	4,0	4,3
ГСХУ «Несвижская СС»	4,1	3,8	4,2
ГСХУ «Горецкая СС»	5,0	5,0	5,0
В среднем	4,5	4,3	4,3

Биохимический анализ растительных образцов показал, что содержание сырого протеина в чине было достаточно высоким и в среднем составило 24,54 % (табл. 3). Коэффициент корреляции между содержанием сырого протеина и сырой клетчатки невысок ($r = 0,13$), что свидетельствует о том, что сроки уборки чины могут быть растянуты без потери качества корма.

Таблица 3. Основные показатели качества чины многолетней Журавушка

Сортоиспытательная станция	Сырой протеин, %	Сырая клетчатка, %	Сбор сырого протеина, ц/га	К. ед./кг сухой массы	ОЭ, МДж/кг сухой массы
ГСХУ «Кобринская СС»	24,0	26,2	14,0	0,86	10,3
ГСХУ «Лепельская СС»	22,5	23,8	17,6	0,93	10,7
ГСХУ «Мозырская СС»	27,5	23,9	32,7	0,93	10,7
ГСХУ «Жировичская СС»	23,8	26,3	19,1	0,85	10,3
ГСХУ «Несвижская СС»	23,5	23,4	10,8	0,94	10,8
ГСХУ «Горецкая СС»	25,9	27,0	20,3	0,83	10,1
В среднем	24,5	25,1	17,6	0,89	10,5

Примечание. ОЭ – обменная энергия.

Содержание кормовых единиц (к. ед.) и ОЭ в растительной массе рассчитывали в соответствии с «ГОСТ 27978-88 Корма зеленые. Технические условия» по следующим формулам: $OЭ_{к.р.с.} = 15,0 - 0,18 СК$, где 15,0 и 0,18 – постоянные коэффициенты; СК – содержание сырой клетчатки в сухом веществе, %; к. ед. = $OЭ^2 0,0081$, где 0,0081 – постоянный коэффициент; $OЭ = 0,0166СП + 0,017СЖ + 0,00286СК + 0,01159БЭВ$ [8]. Расчет показал, что чина многолетняя обладает высоким кормовым достоинством.

Поскольку семена чины многолетней обладают значительной твердокаменностью (30–40 %), то они нуждаются в предпосевной механической скарификации, при которой всхожесть (в лабораторных условиях) достигает 96–98 %. Использование для этой цели клеверотерок затруднено, так как размер семян составляет 4,0–4,5 мм (рис. 4).

Результаты лабораторного опыта показали, что максимальная всхожесть чины (47,8 %, или 16,7 процентных пункта к контролю) отмечена через 10 дней при обработке Наноплант – Fe [9] (табл. 4). При обработке семян Наноплант – Со, Мп, Си, Fe развитие проростков чины значительно превосходило (~ в 2,0–2,5 раза) развитие растений без обработки. Это говорит о значительной стимуляции ростовых процессов на ранних этапах онтогенеза.

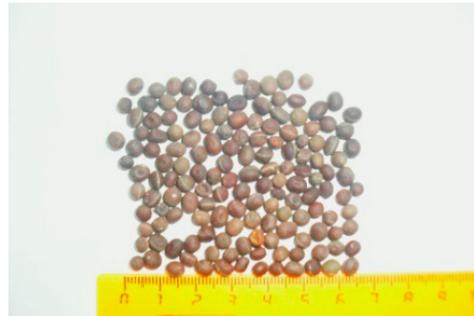


Рис. 4. Семена чины многолетней Журавушка

Таблица 4. **Всхожесть чины многолетней после обработки семян нанодобриями, %**

Доза	Наноплант – Со, Мп, Си, Fe		Наноплант – Fe	
	всхожесть через 10 дней	всхожесть через 20 дней	всхожесть через 10 дней	всхожесть через 20 дней
H ₂ O – контроль	31,1	77,8	31,1	77,8
1	34,7	80,0	30,7	77,3
2	43,1	79,4	47,8	76,5
3	41,9	76,7	42,5	51,9
4	30,3	75,0	42,1	69,3
5	39,0	74,0	30,6	58,7
Среднее с обработкой	37,8	77,0	38,7	66,7

Заключение

Новый сорт чины многолетней Журавушка, районированный с 2021 г. по всей территории Беларуси, в среднем за три года в системе государственного сортоиспытания обеспечил сбор сухой массы 75,0 ц/га.

Агроэкологические характеристики сорта находились на весьма хорошем уровне: зимостойкость – 4,5; засухоустойчивость – 4,3; устойчивость к полеганию – 4,3 балла.

Зоотехнические показатели качества массы чины многолетней следующие: содержание сырого протеина 24,54 % (22,53–27,52 %), сырой клетчатки 25,1 (23,4–27,0 %) и 0,89 к. ед./кг сухой массы, обменной энергии 10,5 МДж /кг

сухой массы. Сбор сырого протеина в среднем составил 17,6 ц/га.

Семена чины многолетней обладают значительной твердокаменностью (30–40 %) и нуждаются в предпосевной механической скарификации, при которой всхожесть (в лабораторных условиях) достигает 96–98 %. При обработке семян Наноплант – Fe их всхожесть через 10 дней составила 47,8 %, а без обработки – 31,1 %. При обработке семян Наноплант – Со, Мп, Си, Fe развитие проростков чины в 2–2,5 раза превосходило развитие растений без обработки.

Библиографический список

1. Об утверждении Государственной программы развития селекции и семеноводства зерновых, зернобобовых, технических и кормовых сельскохозяйственных растений на 2014–2020 годы и внесении изменений в постановление Совета Министров Республики Беларусь от 8 ноября 2013 г. № 961 : постановление Совета Министров Республики Беларусь от 16 июня 2014 г. № 585 [Электронный ресурс] // Нац. прав. Интернет-портал Респ. Беларусь. – Режим доступа: <https://www.pravo.by/document/?guid=3961&p0=C21400585>. – Дата доступа: 12.10.2020.
2. Возделывание чины многолетней (лесной) на мелиорированных торфяных почвах (отраслевой технологический регламент) / А. С. Мееровский [и др.]. – Минск : РУП «Институт мелиорации», 2017. – 19 с.
3. Guija de hoja estrecha [Electronic resource] // AsturnaturaDB, 2004– 2021. *Lathyrus sylvestris*. – Mode of access: <https://www.asturnatura.com/especie/lathyrus-sylvestris.html>. – Data of access: 21.10.2020.
4. Чина лесная [Электронный ресурс] // Википедия. – Режим доступа: ru.wikipedia.org Чина лесная. – Дата доступа: 27.01.2021.
5. *Lathyrus sylvestris* L . Flat pea [Electronic resource] // U.S. Department of Agriculture NRCS. – Mode of access: https://plants.usda.gov/factsheet/pdf/fs_lasy.pdf. – Date of access: 28.11.2020.
6. Обзор климатических особенностей и опасных гидрометеорологических явлений на территории Республики Беларусь в 2017 году [Электронный ресурс]. – Белгидромет, 2018. – Режим доступа: <https://belgidromet.by/ru/news-ru/view/opublikovan-obzor-klimaticeskix-osobennostej-i-opasnux-gidrometeorologicheskix-javlenij-na-territorii-1016/>. – Дата доступа: 27.01.2021.
7. Климатическая характеристика 2018 года [Электронный ресурс]. – Белгидромет, 2019. – Режим доступа: <https://belgidromet.by/ru/climatolog-ru/view/klimaticeskaja-xarakteristika-2018-goda-1502-2019/>. – Дата доступа: 27.01.2021.
8. Методика расчета обменной энергии в кормах на основе содержания сырых питательных веществ (для крупного рогатого скота, овец и свиней) [Электронный ресурс]. – Библиотека нормативной документации. – Режим доступа: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293764/4293764645.htm>. – Дата доступа: 27.01.2021.
9. Бирюкович, А. Л. Влияние микроудобрения Наноплант на урожайность многолетних трав / А. Л. Бирюкович, А. Н. Тузлаева // Мелиорация. – 2017. – № 1 (79). – С. 45–48.

Поступила 28 января 2021 г.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ РЕГЛАМЕНТ ПРОИЗВОДСТВА ЗЕЛЕННОГО КОРМА И СЫРЬЯ ДЛЯ ЗАГОТОВКИ КОРМОВ НА УЛУЧШЕННЫХ СЕНОКОСАХ

А. С. Мееровский, доктор сельскохозяйственных наук

Р. Т. Пастушок, кандидат сельскохозяйственных наук

А. Л. Бирюкович, кандидат сельскохозяйственных наук

О. С. Михайлова, научный сотрудник

РУП «Институт мелиорации», г. Минск, Беларусь

Аннотация

Приведены основные требования к производству зеленого корма и сырья для заготовки кормов на улучшенных сенокосах, составы сенокосных травосмесей для разных типов почв. Рассмотрены факторы продуктивного долголетия лугов на мелиорированных землях при использовании минеральных удобрений, организация сырьевого конвейера, особенности уборки луговых травостоев и заготовки травяных кормов, заготовка сенажа и силоса с упаковкой в полимерные материалы, экономическая эффективность лугового кормопроизводства.

Ключевые слова: бобово-злаковые травосмеси, удобрения, травостой на мелиорированных землях, способы заготовки кормов, зеленый конвейер.

Abstract

A. S. Meerovsky, R. T. Pastushok, A. L. Biryukovich, O. S. Mikhailova

TECHNOLOGICAL REGULATIONS FOR THE PRODUCTION OF GREEN FEED AND RAW MATERIALS FOR FORAGE HARVESTING ON IMPROVED HAYFIELDS

The main requirements for the production of green feed and raw materials for the preparation of feed on improved hayfields, the composition of hay grass mixtures for different types of soils are given. Factors considered productive longevity meadows on reclaimed land when the use of mineral fertilizers, organization of raw material conveyor, particularly harvesting of meadow grass and harvesting of grass forage harvesting and silage packing in polymeric materials, the economic efficiency of meadow fodder production.

Keywords: grass mixtures, fertilizers, grass stands on reclaimed land, methods of forage harvesting, green conveyor.

Введение

В Беларуси осуществляется Программа обновления материально-технической базы молочно-скотоводства. Быстрыми темпами проводится модернизация и строительство новых животноводческих ферм и комплексов, оборудованных современными доильными залами. Изменение условий содержания и кормления обуславливает необходимость существенной перестройки системы кормопроизводства.

Материалы и методы исследований

В работе обобщены результаты исследований по созданию и эксплуатации луговых травостоев в различных почвенно-климатических условиях Беларуси (СПК «Ласицк» Пинского

В структуре кормовых рационов крупного рогатого скота в Беларуси преобладают травяные корма. Они производятся на луговых и пахотных землях. Основная часть улучшенных лугов (более 80 %) мелиорирована и, как правило, расположена на более влагообеспеченных почвах. Их агробиологический потенциал – не менее 6–8 т/га сухой массы, то есть с осушенных луговых земель можно получить 6,8–9,2 млн т сухой массы.

р-на, ГП «АгроПлемЭлита» Смолевичского р-на, ОАО «Унибокс» Червенского р-на, ВОМС (Сенненский р-н)).

Результаты исследований и их обсуждение

Полное обеспечение молочного скота травяными кормами может быть достигнуто созданием сырьевого конвейера из разновременно созревающих травостоев. Его следует рассматривать как систему организационно-технологических мероприятий, обеспечивающих непрерывное поступление высококачественного сырья на протяжении всего вегетационного периода. Дифференциация травостоев по срокам достижения оптимального состояния для уборки и заготовки кормов ориентирована на создание 15–20 % раннеспелых, 45–50 % среднеспелых и 30–35 % позднеспелых. С учетом происходящих изменений содержания и кормления коров структура травостоев по скороспелости должна также трансформироваться. При этом ключевое значение приобретает техническая оснащенность хозяйств кормозаготовительной техникой.

Для получения травяных кормов на суглинистых и супесчаных почвах, в том числе осушенных, используют травосмеси рекомендуемого состава:

злаковые раннеспелые – ежа сборная, 8 + фестулолиум, 8 кг/га; ежа сборная, 10 + овсяница луговая, 10 кг/га; кострец безостый, 12 + овсяница луговая, 6 кг/га;

бобово-злаковые среднеспелые – кострец безостый, 9 + клевер луговой, 6 + фестулолиум, 8 кг/га; кострец безостый, 9 + люцерна посевная, 6 + овсяница луговая, 6 + тимopheевка луговая, 4 кг/га;

бобово-злаковые поздние – тимopheевка луговая, 6 + клевер луговой позднеспелый, 8 + овсяница луговая, 6 кг/га; тимopheевка луговая, 6 + овсяница луговая, 8 + лядвенец рогатый 5 кг/га; тимopheевка луговая, 6 + люцерна посевная, 6 кг/га.

На торфяных почвах используется раннеспелая травосмесь: кострец безостый, 10 + клевер гибридный, 6 + овсяница луговая, 6 кг/га; среднеспелая – тимopheевка луговая, 8 + клевер гибридный, 6 + двукисточник тростниковый, 5 кг/га; позднеспелая – тимopheевка луговая, 10 + клевер гибридный, 6 + овсяница луговая, 6 кг/га.

На пойменных дерново-глееватых и дерново-глеевых осушенных почвах – люцерна посевная, 6 + кострец безостый, 12 + двукисточник тростниковый, 8 кг/га; клевер гибридный, 3 + лядвенец рогатый, 3 + двукисточник тростниковый, 12 кг/га [1].

Луговые травы характеризуются долголетием и продолжительным вегетационным периодом, в течение которого они несколько раз отчуждаются. Это определяет особенности их минерального питания и потребность во внесении удобрений. В среднем хозяйственный вынос питательных веществ с 1 т сухой массы трав составляет: азота (N) 16–18 кг, фосфора (P₂O₅) 4–6; калия (K₂O) 18–26 кг. Вынос питательных веществ отдельными видами трав приведен в табл. 1.

Таблица 1. Вынос питательных веществ с 1 т продукции (воздушно-сухая масса) луговых трав, кг [2]

Вид трав	Вынос, кг		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Клевер луговой	21,4	4,8	25,2
Люцерна посевная	27,3	5,8	23,7
Галега восточная	29,7	3,8	13,1
Тимopheевка луговая	17,6	7,0	24,0
Овсяница луговая	21,1	7,5	24,9
Ежа сборная	23,3	8,0	25,6
Райграс пастбищный	16,3	6,2	20,2
Сенокосы улучшенные	16,1	4,9	22,0

Важное значение для эффективности удобрений имеет увлажненность почв, так как в условиях дефицита влаги они практически не работают.

Во многих предприятиях подкормку многолетних трав на пашне и луговых травостоях осуществляют только калийными удобрениями, которые на бобово-злаковых и злаковых травостоях практически не повышает уро-

жайности, и содержание калия в сухой массе может превысить зоотехнически допустимую норму в 3 %. Азотные удобрения эффективны на злаковых и злаково-бобовых травостоях с долей бобовых менее 30 %. Бобовые травы способны полностью обеспечить себя азотом благодаря азотфиксации в симбиозе с клубеньковыми бактериями (табл. 2) [3, 4].

Таблица 2. Продуктивность симбиотической азотфиксации у многолетних бобовых трав и поступление азота в почву

Вид трав	Усвоение азота растениями из атмосферы, кг/га за вегетацию	Поступление азота в почву кг/га за вегетацию
Клевер луговой	200–250	75–100
Люцерна посевная	300–350	120–150

Основными условиями полноценного симбиоза с клубеньковыми бактериями являются оптимизация фосфорного и калийного питания, внесение микроудобрений (Mo, Co, B), регулирование почвенной кислотности и инокуляция семян специфичными штаммами бактерий.

Нормативная окупаемость удобрений приростом урожая, по данным РУП «Институт почвоведения и агрохимии», составляет в среднем по Беларуси 7,94 к. ед. на 1 кг NPK. При затратах кормов на производство килограмма молока 1,0–1,1 к. ед. килограмм NPK

позволяет получить 7,5–7,6 литра. Таким образом, даже при достижении 50 % нормативной окупаемости применение минеральных удобрений на луговых травостоях и многолетних травах экономически выгодно [2].

При обеспечении даже среднего уровня минерального питания трав их продуктивное долголетие сохраняется до 20–25 лет без перезалужения. По данным РУП «Институт мелиорации», на торфяных осушенных почвах при ежегодном внесении удобрений урожайность трав поддерживалась достаточно долго (табл. 3).

Таблица 3. Урожайность луговых травостоев на торфяных почвах (ц/га сухой массы) [5]

Годы жизни травостоя	Среднегодовая урожайность
1–5	101,3
6–10	108,9
11–15	83,9
16–20	74,9
21–23	90,1

Среднегодовая урожайность травостоя с преобладанием костреца безостого при внесении $N_{75}P_{45}K_{120}$ составила 91,7 ц/га сухой массы. За это время необходимо было провести 4 перезалужения, стоимость которых составила бы около 2000 долл. США, и использовать 100–120 кг/га семян.

Бесперебойное поступление растительного сырья для скармливания и заготовки травя-

ных кормов в течение всего вегетационного периода обеспечивают зеленый и сырьевой конвейеры. В связи с переводом большей части крупного рогатого скота (далее – КРС) и прежде всего дойного стада на круглогодичное стойловое содержание и однотипное кормление особое значение приобретает создание сырьевого конвейера, адаптированно-

го к почвенно-климатическим особенностям территории Беларуси.

Организация сырьевого конвейера включает: расчет потребности в кормах и определение источников их покрытия; технологии выращивания кормовых культур; сроки и спо-

собы использования растительного сырья; расчет потребности в материально-технических ресурсах.

Потребность в кормах для КРС приведена в табл. 4.

Таблица 4. Годовая потребность в кормах на 1 корову в зависимости от удоя молока

Годовой удой, кг	Показатель потребности кормов	Всего	В том числе		
			травяные	силос из кукурузы	концентрированные
5000	сухое вещество, т	5,68	3,11	1,20	1,47
	кормовые единицы	5500	2580	990	1930
	обменная энергия, ГДж	58,58	29,46	11,77	17,35
	сырой протеин, т	0,86	0,47	0,12	0,27
6000	сухое вещество, т	6,37	3,29	1,26	1,82
	кормовые единицы	6300	2890	1080	2330
	обменная энергия, ГДж	67,64	32,02	13,40	22,22
	сырой протеин, т	1,01	0,52	0,14	0,35
7000	сухое вещество, т	6,81	3,16	1,46	2,19
	кормовые единицы	6650	2930	1130	2590
	обменная энергия, ГДж	74,93	33,50	15,85	27,58
	сырой протеин, т	1,11	0,51	0,16	0,44

Основные элементы новой системы кормопроизводства:

- отказ от традиционных принципов формирования зеленого конвейера с учетом непрерывной заготовки кормов на протяжении всего теплого периода;
- замена традиционной непрерывной системы циклическим подходом к созданию кормовых посевов и заготовке кормов с выделением 3 основных циклов, где главный цикл – весенне-летний (первый укос), а также летний (вторые укосы многолетних трав и первые однолетних культур) и осенний (третьи укосы и пожнивные культуры);
- заготовка основной части силоса из провяленных трав не в летний, а в весенне-летний (главный) и осенний циклы;
- расширение ассортимента культур (источников вегетативной массы) благодаря максимальному использованию многолетних трав;

- полная или частичная замена заготовки сена технологией заготовки сенажа в пленочной оболочке [6, 7].

При переводе скота на однотипное кормление только часть КРС будет содержаться на фермах с численностью скота 400 голов и менее, где невозможно обойтись без высокопродуктивных пастбищ. Их оптимальная площадь должна составлять 300 тыс. га, то есть ежегодное перезалужение следует осуществлять на 60 тыс. га. Высокопродуктивные травостои позволяют получать урожайность зеленой массы на дерново-подзолистых и дерновых супесчаных почвах 300–400 ц/га (55–60 ц/га сухой массы), суглинистых – 420–480 ц/га (75–85 ц/га сухой массы), торфяных – 450–500 ц/га (90–100 ц/га сухой массы).

Основным кормом являются сенаж с влажностью массы 50–55 % и силос из провяленных трав 60–65 %. Кормовая ценность 1 кг сухой сенажной массы составляет 0,8–0,9 к. ед. Сроки провяливания растительной массы не должны

превышать 5 часов для силоса и 24 часа для сенажа. Для заготовки сенажа необходимо использовать преимущественно многолетние бобовые травы (клевер, люцерну и др.) и бобово-злаковые травостои, поскольку их силосуемость плохая, а сушка на сено сопряжена с потерями в результате обламывания листьев и соцветий.

Особенность уборки луговых травостоев и многолетних бобовых трав заключается в необходимости ее проведения в сжатые сроки, определяемые биологическими свойствами растений, сохраняющих оптимальную питательную ценность в течение 10–15 дней: бобовые – в фазу бутонизации, злаковые – колошения. Затягивание с уборкой ведет к снижению качества кормов и увеличению потерь [8]. Факторами, сдерживающими темпы уборки трав, являются неустойчивая погода и нехватка кормоуборочной техники. Общие потери при уборке достигают 50 %. Ускорить процесс полевой сушки трав позволяют следующие мероприятия: регулирование времени и высоты скашивания травостоя; способ укладки травяной массы; дополнительная обработка массы при скашивании; ворошение, валкование массы и оборачивание валков; повторное плющение скошенной травяной массы. Время и высота скашивания травостоя существенно влияет на продолжительность естественной сушки трав. Высота скашивания трав 4–6 см.

Сушка трав, обработанных кондиционером или плющильным аппаратом в первые 3–4 часа, идет с наибольшей скоростью. Далее этот процесс замедляется, и через 8–10 часов обработанная зеленая масса сохнет с той же скоростью, что и необработанная. Таким образом, выполняемая при скашивании дополнительная обработка травяной массы недостаточна для существенного ускорения сушки трав. Практика показывает, что сушка валка идет неравномерно, поэтому используют заготовку кормов из провяленных трав с помощью полевого измельчителя (кормоуборочный комбайн) с подборщиком валков отечественного производителя.

Хранилище перед загрузкой массы нужно очистить, отремонтировать и дезинфицировать. Растительную массу необходимо непрерывно разравнивать и уплотнять. Ежедневный слой уплотняемой массы в траншее должен составлять не менее 0,8–1,2 м, а полная загрузка и

герметизация траншеи должны осуществляться за 3–4 дня. Соблюдение этих технологических требований позволяет избежать чрезмерного (выше 37 °С) согревания корма и сохранить его высокую питательность, прежде всего протеиновую. Заканчивать уплотнение рекомендуется через 2–3 часа после выгрузки транспортного средства. Во избежание плесневения поверх сенажной массы следует положить и утрамбовать слой (40–50 см) измельченной свежескошенной легкосилосуемой массы (злаковые травы).

Рекомендуется применять технологию заготовки сенажа прямым комбайнированием без провяливания (при подкашивании семенников или уборке на подкормку). При загрузке эта масса смешивается в соотношении 1–1,3:1 с провяленными до влажности 35–40 % злаковыми травами. При этом потери сухого вещества и протеина сокращаются в 1,2–1,5 раза, а питательность корма повышается (на 22–23 к. ед./т).

Заготовка сенажа и силоса с упаковкой в полимерные материалы. Рекомендуется несколько разновидностей данной технологии:

При заготовке сенажа **в рулонах с индивидуальной обмоткой** скошенная в оптимальной фазе вегетации растительная масса подвяливается, сгребается в валки и прессуется рулонным пресс-подборщиком в рулоны до плотности не менее 400 кг/м³ (влажность – 50 %) и не менее 600 кг/м³ (влажность – 55 %). Рулоны обматываются самоклеящейся пленкой в течение 2–3 часов. При погрузке, перевозке и складировании повреждение пленки недопустимо.

Технология заготовки сенажа **в рулонах с упаковкой в полимерный рукав** отличается от предыдущей лишь завершающей операцией: вместо индивидуальной обмотки рулоны заправляются в полимерный рукав диаметром 1,5, длиной 31 или 65 м. Сохранность корма такая же, как и в рулонах, обмотанных пленкой.

Закладка измельченной массы в полимерный рукав большого диаметра с помощью пресс-подборщика. Провяленная травяная масса подбирается самоходным комбайном-измельчителем и подается в транспортные средства для доставки к месту хранения. Поступающая к месту закладки масса выгружается в приемный бункер пресс-упаковщика, захватывается прессующим ротором и нагнетается в полимерный рукав. Плотность кормов в рукаве

должна быть не менее 850 кг/м³ (при закладке силоса из кукурузы), производительность пресс-упаковщика – 90 т/ч.

Все три технологии заготовки кормов с упаковкой в полимерные рукава и пленки, помимо высокого качества корма, имеют целый ряд технологических и экономических преимуществ: заготовка кормов не зависит от погодных-климатических условий, не требует специальных хранилищ; потери питательных веществ при хранении не превышают биологи-

чески неизбежных 8–10 %; высокое качество получаемого корма и его сохранность эквивалентны получению дополнительно около 1 т молока или 120 кг говядины с 1 га; гарантийный срок хранения кормов в полимерной упаковке не менее двух лет [9].

Экономический эффект (табл. 5) производства травяных кормов с учетом всех затрат, в том числе на приобретение покупных, при увеличении продуктивности с 5000 кг (в среднем по РБ) до 6000 кг превышает 80 у. е./га.

Таблица 5. Доход от увеличения производства молока при переходе стада на однотипное кормление, у. е./га

Удой молока, кг	Доход, у. е./га	Прибавка к удою 5000 кг молока, у. е./га
5000	410,1	–
6000	491,1	81,6
7000	663,1	253,0
8000	785,2	375,1
9000	854,4	444,3
10000	1012,1	602,0

Заключение

Травяные корма являются определяющими в экономической составляющей эффективности производства молочных продуктов Беларуси. Для решения поставленных в этой области задач необходимо вырастить 62–65 млн тонн зеленой массы трав на имеющихся порядка 2,7 млн га сельскохозяйственных землях, из которых более 50 % – улучшенные,

преимущественно мелиорированные луга. Их агробиологический потенциал позволяет полностью обеспечить животноводство высококачественными травяными кормами. Перспектива увеличить надой молочного скота до 6000–7000 кг молока в год является реально выполнимой при условии достаточного поступления травяных кормов в хозяйства страны.

Библиографический список

1. Луговое кормопроизводство на мелиорированных землях, обеспечивающее получение корма с содержанием обменной энергии не менее 10,0–10,5 МДж в 1 кг сухой массы : отраслевой технологический регламент / А. К. Заневский [и др.]. – Минск : РУП «Институт мелиорации», 2015. – 43 с.
2. Справочник агрохимика / под ред. В. В. Лапа ; Нац. акад. наук Беларуси, Ин-т почвоведения и агрохимии. – Минск : Белорус. наука, 2007. – 390 с.
3. Шлапунов, В. Н. Кормовое поле Беларуси / В. Н. Шлапунов, В. С. Цыдик. – Барановичи : РУПП «Барановичская укрупненная типография», 2003. – 304 с.
4. Мееровский, А. С. Приемы использования мелиорированных земель для лугового кормопроизводства / А. С. Мееровский, А. Л. Бирюкович, Р. Т. Пастушок // Мелиорация. – 2017. – № 4 (82). – С. 16–23.
5. Мееровский, А. С. Интенсивность использования травостоев и качество корма / А. С. Мееровский, А. Л. Бирюкович, Э. В. Крень // Вестн. БарГУ. – 2013. – Вып. 1. – С. 80–86.

6. Бирюкович, А. Л. Эксплуатация луговых травостоев в условиях перевода КРС на однотипное кормление / А. Л. Бирюкович, Т. Л. Гонакова // Земледелие и селекция в Беларуси : сб. науч. тр. РУП «НПЦ НАН Беларуси по земледелию». – Минск : ИВЦ Минфина, 2015. – № 51. – С. 245–253.

7. Зеленые и сырьевые конвейеры : рекомендации для с.-х. предприятий Респ. Беларусь / Беларус. гос. с.-х. акад. ; сост. Б. В. Шелюто [и др.]. – Горки : [б. и.], 2009. – 37 с.

8. Справочник по приготовлению, хранению и использованию кормов / Ред. Н. С. Авраменко. – 2-е изд., доп. и перераб. – Минск : Ураджай, 1993. – 352 с.

9. Техническое обеспечение технологий заготовки высококачественных кормов : метод. рекомендации / М-во с. х. и продовольствия Респ. Беларусь [и др.] ; сост.: В. В. Гракун [и др.]. – Минск : [б. и.], 2017. – 77 с.

Поступила 28 января 2021 г.

УРОЖАЙНОСТЬ ЛЮЦЕРНЫ ЖЕЛТОЙ, ВОЗДЕЛЫВАЕМОЙ НА АГРОТОРФЯНЫХ ПОЧВАХ ПОЛЕСЬЯ

А. В. Юзупанов, соискатель

Л. Н. Лученок, кандидат сельскохозяйственных наук

О. В. Пташец, кандидат сельскохозяйственных наук

РУП «Институт мелиорации», г. Минск, Беларусь

Аннотация

Изложены результаты исследований, проведенных в 2016–2020 гг. на агроторфяных почвах региона Полесья. Изучено влияние агротехнологических приемов возделывания люцерны желтой (*Medicago falcata* L.) на формирование урожайности зеленой массы. Установлено, что урожайность люцерны желтой была максимальной при беспокровном севе. Лучшей нормой высева является 24 кг/га, независимо от способа сева. Суммарная урожайность люцерны желтой с покровной культурой при увеличении нормы высева до 18–24 кг/га сопоставима с урожайностью люцерны при беспокровном посеве. Урожайность увеличивалась с повышением доз удобрений до P₉₀K₉₀.

Ключевые слова: люцерна желтая (*Medicago falcata* L.), агроторфяные почвы, вегетативные побеги, урожайность, норма высева, минеральные удобрения.

Abstract

A. V. Yuzupanov, **L. N. Luchanok**, O. V. Ptashats

YIELD VALUE OF YELLOW-FLOWERED ALFALFA CULTIVATED ON AGRICULTURAL PEAT SOILS OF POLESSIE

The article presents the results of the research, conducted in 2016–2020 on agricultural peat soils of the Polesie region. The impact of agrotechnical methods of yellow-flowered alfalfa (*Medicago falcata* L.) cultivation on the formation of yield of green mass was studied. It was established that the yield of yellow alfalfa was the maximum with no-cover sowing. The best seed rate is 24 kg/ha, regardless of the sowing method. The total yield of yellow alfalfa with a cover crop with an increase in the seeding rate to 18–24 kg / ha is comparable to the yield of alfalfa with non-cover sowing. The yield value was improved by increasing doses of fertilizers to P₉₀K₉₀.

Keywords: yellow-flowered alfalfa (*Medicago falcata* L.), agricultural peat soils, vegetative shoots, yield, seeding rate, mineral fertilizers.

Введение

В Республике Беларусь постоянно наращается продуктивность крупного рогатого скота как одного из основных компонентов продовольственной безопасности и экспортного потенциала страны. В связи с этим отрасль нуждается в большом количестве дешевых качественных кормов. К ним относятся травяные корма из бобово-злаковых травосмесей и многолетних бобовых трав, которые обеспечивают получение сенажа и силоса для скормливания в период стойлового содержания животных и используются для сочных подкормок в летний период.

Среди основных сельскохозяйственных культур первостепенное значение в укреплении кормовой базы и увеличении производительности растительного белка имеет люцерна. В связи со вновь приобретенными в процессе сельскохозяйственного использова-

ния почвенно-гидрологическими условиями осушенных торфяных почв различных стадий трансформации, а также с потеплением климата перспективным видом люцерны для возделывания на этих землях является люцерна желтая (*Medicago falcata* L.). Она менее урожайна по сравнению с люцерной посевной или изменчивой и по этой причине была вытеснена ими из севооборотов. Между тем люцерна желтая более устойчива к условиям произрастания: она обладает более высокой засухоустойчивостью и зимостойкостью [1].

Цель исследований – оценка возможности возделывания люцерны желтой на агроторфяных почвах региона Полесья и установление оптимального комплекса технологических приемов, обеспечивающих ее высокую урожайность

Материалы и методы исследований

Полевые эксперименты были проведены в 2016–2020 гг. на землях ГП «Полесская опытная станция», типичном мелиоративном объекте для региона Белорусского Полесья (Лунинецкий р-н Брестской обл.). Почвы агро-торфяные, подстилаемые песком с глубины 35–40 см. Агрехимические показатели: содержание ОВ 75–78 %, $pH_{KCl} = 6,5$, содержание $P_2O_5 \sim 410$ мг/кг почвы, $K_2O \sim 480$ мг/кг почвы.

Люцерну желтую (сорт Вера) высевали под покров пелюшко-овсяной смеси (норма высева снижена на 40 %) и беспокровно. Норма высева: 8 кг/га, 12 кг/га, 18 кг/га, 24 кг/га. Фон минерального питания: $N_0P_0K_0$, $N_0P_{40}K_{90}$, $N_0P_{90}K_{90}$. В первый год удобрения вносили пол-

Результаты исследований и их обсуждение

Одним из факторов, влияющих на урожайность зеленой массы растений, является количество вегетативных побегов. Учет густоты стояния травостоя проводили в начале и в конце вегетации. В первой закладке опыта (2016 г.), на второй год жизни, весной, количество побегов люцерны желтой было максимальным за все годы жизни. Оно колебалось в пределах 745–1266 шт./м². К осени количество побегов снизилось в 2–3 раза и составило 333–497 шт./м². Такое количество сохранялось в дальнейшем. Однако на четвертый год жизни травостой истощился и полностью выпал к третьему укосу. При беспокровном севе в первый год люцерна сформировала 2 укоса. Количество побегов к осени составило 672–1117 шт./м². Весной второго года жизни количество побегов незначительно снизилось. Общие тенденции формирования количества побегов при посеве под покров и при беспокровном посеве одинаковы. Установлено, что при увеличении нормы высева возрастает количество побегов. Норма высева в значительной степени влияет на количество побегов по сравнению с повышением доз удобрений.

При второй закладке опыта (посев 2017 г.) количество вегетативных побегов к концу первого года жизни было на уровне 463–649 и 479–662 шт./м² при посеве под покров и беспокровном посеве соответственно. При посеве беспокровно травостой был более густой. В последующие годы жизни количество побегов

ную дозу в предпосевную обработку почвы, в последующие годы – в подкормку половинными дозами рано весной и после первого укоса. Трехукосное использование в фазы бутонизации – начала цветения. Площадь участков 24 м². Данные получены по двум закладкам опыта в различных погодных условиях вегетационного периода, что позволяет говорить о репрезентативности полученных данных.

Ботанический состав травостоя определяли по ГОСТ 27978–88 [2]. Учет урожайности зеленой массы люцерны осуществляли путем скашивания травостоя с учетной площади и пересчетом ее на 1 га [3].

находилось на том же уровне. К концу третьего года жизни этот показатель был высоким и колебался в пределах 565–832 и 545–782 шт./м² при посеве под покров и беспокровном посеве соответственно. Весной 2020 г. количество побегов снизилось до 220–318 шт./м² и 232–332 шт./м² при посеве под покров и беспокровном посеве соответственно. На четвертый год жизни количество побегов по двум закладкам опытом было сопоставимо независимо от того, в каком состоянии травостой уходил в зимовку.

В связи с засушливой весной (низкими влагозапасами в почве после зимнего периода) в хозяйстве в 2019 и 2020 гг. вынуждены были проводить шлюзование, что привело к повышению УГВ на стационаре в апреле – июне до уровня 50–57 см, что негативно сказалось на травостое и его урожайности из-за выпадения люцерны.

В среднем за годы исследований выявлено, что максимальное количество побегов отмечено при повышенной норме высева 18 и 24 кг/га как для люцерны, высеянной под покров пелюшко-овсяной смеси, так и при беспокровном посеве (табл. 1, рис. 1). Критичным для жизнеспособности травостоя люцерны желтой при возделывании на агроторфяных почвах является количество побегов менее 300 шт./м². Ко второму укосу отмечено резкое выпадение люцерны из травостоя, а к третьему укосу наблюдалось только до 10 % бобового компонента.

Таблица 1. **Динамика количества вегетативных побегов люцерны желтой по годам жизни в зависимости от нормы высева и доз удобрений (в среднем по двум закладкам опытов), шт./м²**

Норма высева, кг/га	Дозы удобрений	Годы жизни (г. ж.)					
		1 г. ж.	2 г. ж.		3 г. ж.		4 г. ж.
		осень	весна	осень	весна	осень	весна
под покров							
8	N ₀ P ₀ K ₀	474	797	398	510	446	215
	P ₄₀ K ₉₀	510	602	424	486	497	262
	P ₉₀ K ₉₀	539	613	441	485	508	282
12	N ₀ P ₀ K ₀	463	822	460	538	510	237
	P ₄₀ K ₉₀	528	816	461	512	541	276
	P ₉₀ K ₉₀	541	810	444	557	543	302
18	N ₀ P ₀ K ₀	508	782	466	547	549	290
	P ₄₀ K ₉₀	597	1024	470	572	593	253
	P ₉₀ K ₉₀	581	765	545	602	593	309
24	N ₀ P ₀ K ₀	496	979	556	590	636	289
	P ₄₀ K ₉₀	649	1026	594	620	656	315
	P ₉₀ K ₉₀	626	971	622	647	684	349
беспокровно							
8	N ₀ P ₀ K ₀	628	637	388	506	420	252
	P ₄₀ K ₉₀	580	616	418	518	450	249
	P ₉₀ K ₉₀	622	604	411	485	506	285
12	N ₀ P ₀ K ₀	660	670	448	504	457	273
	P ₄₀ K ₉₀	669	682	405	525	529	275
	P ₉₀ K ₉₀	719	704	404	528	513	322
18	N ₀ P ₀ K ₀	742	780	529	584	551	273
	P ₄₀ K ₉₀	799	809	537	603	579	298
	P ₉₀ K ₉₀	810	697	527	498	599	327
24	N ₀ P ₀ K ₀	840	853	579	624	627	341
	P ₄₀ K ₉₀	878	914	556	596	652	323
	P ₉₀ K ₉₀	938	845	574	549	660	348
НСР ₀₅ способ сева		15,6	24,5	18,0	15,2	13,3	9,9
НСР ₀₅ норма высева		22,1	34,6	25,5	21,5	18,8	14,1
НСР ₀₅ доза удобрений		19,2	30,0	22,1	18,6	16,3	12,2
НСР ₀₅ взаимодействие		54,2	84,8	62,4	52,5	46,0	34,4

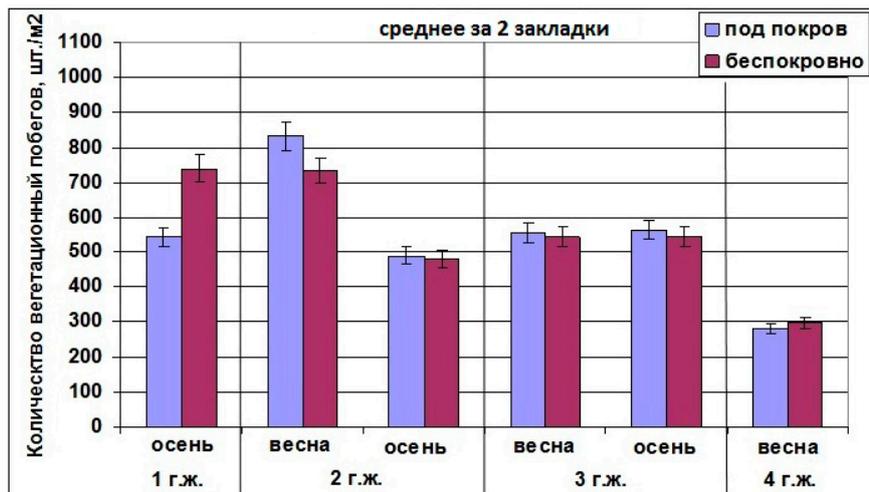


Рис. 1. Динамика количества побегов люцерны желтой (в среднем по всем вариантам и закладкам опыта)

Количество вегетативных побегов определяло и долю люцерны в травостое. В первый год доля люцерны при беспокровном севе была несколько выше, чем при посеве под покров пелюшко-овсяной смеси – на уровне 97,1–98,4 %. В дальнейшем способ сева, норма высева и дозы удобрений не оказыва-

ли значительного влияния на долю бобового компонента в составе травостоя (рис. 2). На второй и третий год жизни этот показатель был на уровне 83,4–92,1 %. К четвертому году доля бобового компонента резко снизилась до 32,4–41,1 %, а к концу вегетации люцерна полностью выпала из травостоя.

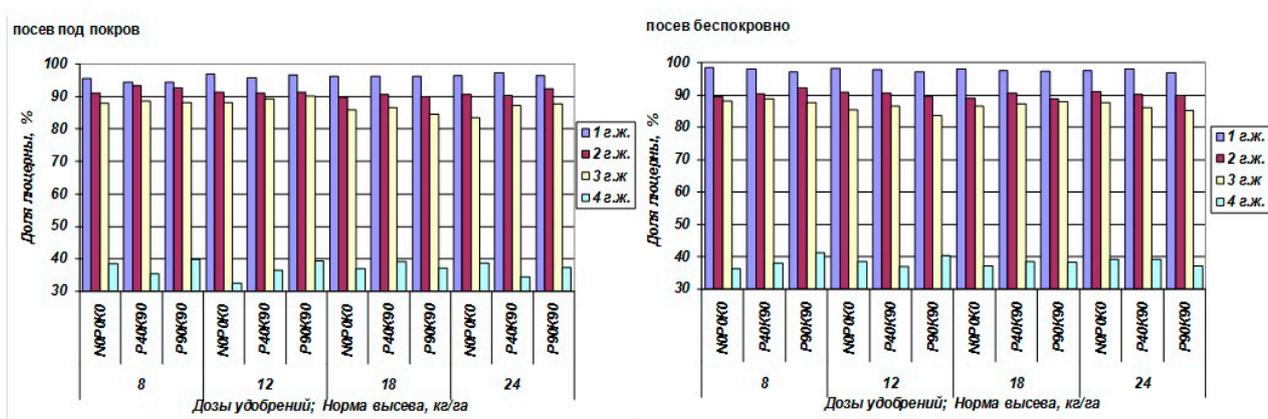


Рис. 2. Динамика доли люцерны в травостое (в среднем за три укоса) по годам исследований при использовании различных агротехнологических приемов, %

В первой закладке опыта (2016 г.) вегетационный период в целом был засушливым. В мае – июне количество осадков было меньше на 22,9 и 35,1 мм соответственно по сравнению со средними многолетними значениями. Обеспеченность составила 80,8 и 85,6 %. В июле и августе количество осадков было выше нормы, однако дожди выпадали нерегулярно, что сказывалось на формировании урожайности культур. Но несмотря на это, люцерна желтая, посеянная под покров

пелюшко-овсяной смеси, в отличие от люцерны посевной, успела сформировать укос к концу вегетационного периода на уровне 142,0–189,0 ц/га зеленой массы. При беспокровном посеве люцерна сформировала полноценных два укоса с суммарной урожайностью 295,4–528,5 ц/га. Во второй закладке (2017 г.) эти показатели были на уровне 271,0–316,0 ц/га и 476,0–600,0 ц/га соответственно в зависимости от нормы высева и фона минерального питания. Таким обра-

зом, средняя урожайность люцерны желтой в первый год жизни за две закладки при беспокровном посеве была на 187,5–285,5 ц/га выше, чем при посеве под покров, и составила 394,0–519,0 ц/га зеленой массы (табл. 2).

На второй и третий годы проводили три полноценных укоса зеленой массы с урожайностью 601,0–794,5 ц/га и 359,5–537,0 ц/га соответственно. На четвертый год жизни сформировано два полноценных укоса, в третьем были отмечены единичные растения люцерны желтой как в первой закладке опыта, так и во второй.

Средняя урожайность травостоя люцерны желтой, высеянной под покров пелюшко-овсяной смеси за четыре года, была на уровне 382,9–499,9 ц/га зеленой массы в зависимости от приемов интенсификации. При увеличении нормы высева с 8 кг/га до 18 кг/га прибавка урожайности составляет 16,1–36,7 ц/га, с 8 кг/га до 24 кг/га – 42,3–49,0 ц/га. Применение минеральных удобрений в дозе $P_{40}K_{90}$ увеличивает урожайность люцерны на 30,6–40,9 ц/га; увеличение дозы до $P_{90}K_{90}$ повышает урожайность

на 68,0–80,7 ц/га по сравнению с контрольным вариантом. Лучшим фоном минерального питания при посеве под покров был вариант $P_{90}K_{90}$ независимо от нормы высева, при этом средняя урожайность зеленой массы составила 450,9–499,9 ц/га.

Урожайность люцерны при беспокровном посеве была на уровне 431,3–554,5 ц/га, что на 47,3–67,9 ц/га выше, чем при посеве под покров. Также отмечено влияние приемов интенсификации: при увеличении нормы высева с 8 кг/га до 18 кг/га урожайность возрастает на 13,4–17,6 ц/га, с 8 кг/га до 24 кг/га – на 30,9–39,2 ц/га; при внесении минеральных удобрений в дозе $P_{40}K_{90}$ прибавка к контролю составляет 34,0–51,2 ц/га, при $P_{90}K_{90}$ – 83,8–90,9 ц/га зеленой массы.

Суммарная урожайность люцерны желтой за годы исследования была на уровне 1531,5–2217,0 ц/га в зависимости от агротехнологических приемов. Урожайность травостоя высеянного беспокровно была на 10–15 % выше, чем при посеве под покров пелюшко-овсяной смеси.

Таблица 2. Урожайность люцерны желтой в зависимости от агротехнологических приемов (среднее по двум закладкам опыта), ц/га

Норма высева, кг/га	Дозы удобрений	Зеленая масса						Сухое вещество	
		1 г. ж.	2 г. ж.	3 г. ж.	4 г. ж.	среднее за годы жизни	сумма за 4 года	среднее за годы жизни	сумма за 4 года
Посев под покров									
8	$N_0P_0K_0$	206,5	642,0	359,5	323,5	382,9	1531,5	76,4	305,5
	$P_{40}K_{90}$	226,0	675,0	452,0	342,0	423,8	1695,0	84,6	338,4
	$P_{90}K_{90}$	245,0	735,0	459,0	364,5	450,9	1803,5	89,6	358,3
12	$N_0P_0K_0$	212,5	636,0	404,0	343,5	399,0	1596,0	80,3	321,1
	$P_{40}K_{90}$	228,5	697,0	432,0	361,0	429,6	1718,5	85,9	343,4
	$P_{90}K_{90}$	238,0	785,5	469,5	389,0	470,5	1882,0	93,8	375,3
18	$N_0P_0K_0$	203,5	640,5	430,0	353,5	406,9	1627,5	81,4	325,7
	$P_{40}K_{90}$	212,5	703,5	460,5	383,0	439,9	1759,5	87,7	350,7
	$P_{90}K_{90}$	224,5	794,0	518,5	413,5	487,6	1950,5	97,3	389,3
24	$N_0P_0K_0$	228,5	640,0	482,0	353,0	425,9	1703,5	85,9	343,6
	$P_{40}K_{90}$	241,0	723,5	515,0	385,0	466,1	1864,5	93,5	374,0
	$P_{90}K_{90}$	244,0	794,5	537,0	424,0	499,9	1999,5	100,6	402,5
среднее по способу сева		225,9	705,5	459,9	369,6	440,2	1761,0	88,1	352,3

Продолжение таблицы 2

Посев беспокровно									
8	N ₀ P ₀ K ₀	394,0	601,5	408,5	321,0	431,3	1725,0	84,0	335,9
	P ₄₀ K ₉₀	423,0	687,0	461,0	359,0	482,5	1930,0	94,2	376,8
	P ₉₀ K ₉₀	471,5	708,0	503,5	392,0	518,8	2075,0	101,2	404,8
12	N ₀ P ₀ K ₀	400,0	635,0	416,0	337,0	447,0	1788,0	87,4	349,4
	P ₄₀ K ₉₀	437,5	701,5	417,5	367,5	481,0	1924,0	93,7	374,8
	P ₉₀ K ₉₀	493,1	714,5	507,0	408,5	530,8	2123,1	104,1	416,3
18	N ₀ P ₀ K ₀	442,0	575,0	417,0	348,0	445,5	1782,0	86,5	346,2
	P ₄₀ K ₉₀	460,5	664,0	462,5	396,5	495,9	1983,5	96,4	385,7
	P ₉₀ K ₉₀	510,0	688,5	516,5	430,5	536,4	2145,5	104,0	416,1
24	N ₀ P ₀ K ₀	461,0	588,0	450,0	383,0	470,5	1882,0	91,4	365,7
	P ₄₀ K ₉₀	470,5	697,0	472,5	413,5	513,4	2053,5	99,7	398,9
	P ₉₀ K ₉₀	519,0	724,0	511,5	462,5	554,3	2217,0	107,1	428,2
среднее по способу сева		456,8	665,3	462,0	384,9	492,3	1969,1	95,8	383,2
НСР ₀₅ способ сева		5,2	12,6	10,3	4,1	6,0	–	1,6	–
НСР ₀₅ норма высева		7,3	17,9	14,6	5,8	8,5	–	2,3	–
НСР ₀₅ доза удобрений		6,4	15,5	12,7	5,0	7,3	–	1,9	–
НСР ₀₅ взаимодействие		18,0	43,8	35,8	14,1	20,8	–	5,6	–

Средняя урожайность сухой массы люцерны при посеве под покров была на уровне 76,4–100,6 ц/га, при этом урожайность покровной культуры в год посева – 25,5–37,4 ц/га. Сухая масса люцерны, высеянной в чистом виде, была на уровне 84,0–107,1 ц/га.

Заключение

Установлено, что за годы исследований урожайность люцерны желтой, возделываемой на агроторфяных почвах, была максимальной при беспокровном севе. На этом варианте средняя урожайность зеленой массы культуры в среднем за 4 года была выше на 52,1 ц/га и на 7,7 ц/га по сухому веществу, чем при посеве под покров. По норме высева лучшим вариантом была норма 24 кг/га, независимо от способа сева; урожайность была на уровне 425,9–554,3 ц/га (85,9–107,1 ц/га сухого вещества). Суммарная урожайность люцерны желтой с покровной культурой при увеличении нормы высева до 18–24 кг/га была сопоставима с урожайностью лю-

Анализ данных показал, что при повышении нормы высева люцерны до 18–24 кг/га и внесении минеральных удобрений средняя урожайность сухого вещества с участка по двум вариантам посева была одинакова.

церны при беспокровном посеве и составила 88,8–110,0 ц/га сухого вещества. Урожайность повышалась с увеличением доз удобрений, максимальная была при P₉₀K₉₀. Норму высева можно снижать при внесении фосфорно-калийных удобрений.

Для люцерны желтой количество побегов менее 300 шт/м² критично для жизнеспособности травостоя, возделываемого на агроторфяных почвах Полесья. На четвертый год жизни ко второму укосу отмечено резкое выпадение люцерны из травостоя, а к третьему укосу наблюдалось только до 10 % бобового компонента

Библиографический список

1. Осипова, В. В. Продуктивность люцерны серповидной и люцерны изменчивой в условиях Якутии / В. В. Осипова, Н. Н. Лазарев // Изв. Тимирязев. с.-х. акад. – Вып. 1. – 2010. – С. 50–58.
2. Корма зеленые. Технические условия : ГОСТ 27978–88. – Введ. 01.05.89. – М. : Гос. комитет по стандартизации Респ. Беларусь, 2014. – 12 с.
3. Методические указания по проведению полевых опытов с кормовыми культурами / Ю. К. Новоселов [и др.] – М. : Россельхозакадемия, 1997. – 156 с.

Поступила 1 февраля 2021 г.

НОВЫЕ ВИДЫ МАСЛИЧНЫХ КУЛЬТУР НА ПЕСЧАНЫХ ПОЧВАХ ЗАПАДНОГО ПРИКАСПИЯ

Т. Ф. Маховикова¹, научный сотрудник

С. Н. Сивцева¹, научный сотрудник

Л. П. Рыбашлыкова², кандидат сельскохозяйственных наук

¹Северо-Кавказский филиал Федерального научного центра агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения РАН, Ставропольский край, с. Ачикулак, Россия

²Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного разведения РАН, г. Волгоград, Россия

Аннотация

В последние десятилетия в связи с глобальным потеплением климата территория Западного Прикаспия становится перспективной для выращивания многих теплолюбивых культур, в том числе технических и масличных видов. Северо-Кавказским филиалом проведены исследования по интродукции нетрадиционных видов растений с высокой масличностью и многоцелевым использованием. Среди них нами выделены культуры арахиса и крамбе. Для внедрения их в производство изучены биоэкологические особенности, определены оптимальные сроки сева, совпадающие с наступлением фактической спелости почвы в регионе (+10 °С): это конец апреля – первая половина мая. Период от всходов до полной спелости в новых условиях выращивания у арахиса составил 125 дней, крамбе – 98 дней. Установлено положительное влияние минеральных удобрений на семенную продуктивность растений-интродуцентов. Использование новых видов высокомасличных культур, показавших высокую адаптированность к факторам внешней среды, стабильность в получении высоких урожаев позволят повысить растительный потенциал агроландшафтов региона.

Ключевые слова: интродукция, масличные культуры, арахис, крамбе, продуктивность, агрофон, ирригация, перспектива, биоразнообразие.

Abstract

T. F. Makhovikova, S. N. Sivtseva, L. P. Rybashlykova
NEW TYPES OF OIL CROPS ON SANDY SOILS OF THE WESTERN CASPIAN

In recent decades, due to global warming, the territory of the Western Caspian Sea becomes promising for the cultivation of many thermophilic crops, including industrial and oil-bearing species. The North Caucasian branch has carried out research on the introduction of non-traditional plant species with high oil content and multipurpose use. Among them, we have identified the crops of peanuts and krambe. To introduce them into production, bioecological features were studied, the optimal sowing dates were determined, coinciding with the onset of the actual ripeness of the soil in the region (+10 °C), this is the end of April – the first half of May. The period from germination to full ripeness under the new growing conditions was 125 days for peanuts, 98 days for krambe. The positive effect of mineral fertilizers on the seed productivity of introduced plants has been established. The use of new types of high-oil crops that have shown a high adaptability to environmental factors, stability in obtaining high yields will increase the vegetative potential of the region's agroforestry landscapes.

Keywords: introduction, oilseeds, peanuts, krambe, productivity, agrophone, irrigation, perspective, biodiversity.

Введение

В каждом регионе мира сформировался определенный набор масличных культур, биологически адаптированных к агроклиматическим условиям выращивания. В России основные площади – около 11 млн га – заняты под подсолнечник, сою, рапс, сафлор, где средняя урожайность составляет 1,23 т/га, а валовой сбор маслосемян сейчас достигает

13,6 млн т – в результате рост потребления растительных масел населением увеличился в 2,1 раза. Растущий спрос на маслосырье активизирует поиски вариантов увеличения производства масличных культур. Одним из возможных и доступным рассматривается продвижение масличных растений в новые климатические регионы. В связи с этим Севе-

ро-Кавказским филиалом на протяжении ряда лет проводились исследования по интродукции и технологии выращивания ценных видов масличных культур арахиса и крамбе, которые обеспечивают высокую продуктивность при оптимизации условий выращивания.

Арахис (*Arachis hypogae* L.) – однолетнее растение семейства *Fabaceae*. В Россию он был завезен в 1792 г. Судя по объемам его производства, ведущее место занимает Китай, а по качеству первенство принадлежит США и Аргентине. В нашем регионе арахис на небольших площадях культивируется в Закавказье, а также Средней Азии. Высокую ценность имеют бобы арахиса с высоким содержанием жира до 42 %, белка 22 %, около 13 % углеводов, из которых получают арахисовое масло, используемое в пищевых и технических целях. Хорошо сбалансированное соотношение в арахисе жирных полиненасыщенных кислот Омега 6,9 позволяет применять его в медицине для нормализации работы сердечно-сосудистой системы, укрепления иммунитета и снижения уровня сахара в крови. Ботва растений – высокобелковый корм для животных. Арахис фиксирует азот из воздуха, обогащая почву азотом. Он предпочитает земли легкого механического состава, хорошо удаётся на

легких супесях и суглинках при достаточном увлажнении [1]. Так как арахис теплолюбивое растение, для созревания ему необходимо сухое жаркое лето, что объясняет возможность его выращивания в жарких условиях Западного Прикаспия.

Высокой пищевой ценностью в совокупности с полезными свойствами обладают семена крамбе. Крамбе (*Crambe abyssinica* Hachst) – малораспространенная масличная культура семейства *Brassicaceae* с высоким содержанием масла в семенах (до 46 %), протеина – 20,9 %. Пищевое масло из семян крамбе становится востребованным, так как по составу (низкое йодное число 86–97) не уступает маслу из семян белой горчицы, а высокое содержание длинноцепочечной эруковой кислоты (до 60 %) определяет его использование в качестве источника биодизеля. Надземная масса служит хорошим кормом для животных [2]. Высокоурожайное, неприхотливое к условиям выращивания растение со сравнительно коротким вегетационным периодом, крамбе вызвало интерес для исследований.

Цель исследований – введение в культуру новых нетрадиционных видов масличных растений для расширения биоразнообразия и увеличения продуктивности фитоценозов.

Объекты, методы и условия проведения исследований

Объект научных исследований – посевы арахиса и крамбе. Процесс окультуривания этих масличных растений проходил с 1998 по 2003 гг. в агроклиматических условиях Западного Прикаспия на опытно-производственных участках Северо-Кавказского филиала ФНЦ агроэкологии РАН, где годовой резерв атмосферных осадков составляет 300–330 мм. Весна короткая, лето продолжительное и жаркое, максимум достигает +40... +42 °С. Первые осенние заморозки отмечены в первой декаде октября, последние – в первой декаде апреля. Зима непродолжительная, почти без снежного покрова, а среднемесячная температура воздуха в январе не превышает +5 °С. Период с устойчивым переходом температур (+ 10 °С) составляет 180–200 дней.

Почвы, где проходили исследования, легкого механического состава (песчаные и супесчаные) с относительно неглубоким залеганием грунтовых (8–10 м) минерализованных

(1–15) вод. На поверхности они супесчаные (песка 86–93 %), в более глубоких слоях связно-песчаные. Содержание гумуса в верхнем горизонте 0,56–0,59 %, азота 0,2–0,4 %, фосфора 0,03 %, калия 0,4 %. Реакция водной вытяжки рН в слое почвы 0–1,5 м нейтральная (7,0) [3]. Суглинистые почвы на 30–40 % состоят из глины, на 60–70 % из песка. Содержание гумуса в верхних горизонтах 1,8–2,3 %, азота до 0,13 %, фосфора 0,04–0,12 %, калия 0,5–2,3 %, рН = 6,5–7,5 [4].

Демонстрируя высокие адаптивные свойства, масличные растения арахиса и крамбе предпочтительно реагируют на качественное и своевременное проведение агротехнических приемов выращивания. В наших исследованиях масличные культуры показали хорошие результаты в получении значимых урожаев по глубоко вспаханной почве (25–27 см) при обязательном внесении органических удобрений 60 т/га и при последующих культивации и бо-

роновании. Многолетние наблюдения показали, что наиболее оптимальные условия для посева семян арахиса и крамбе в условиях интродукции складываются в первой половине мая.

Семена растений арахиса получены из ВНИИМК (Федеральный научный центр «Всероссийский научно-исследовательский институт масличных культур имени В. С. Пустовойта», г. Краснодар) – сорт Краснодарец-14; семена крамбе K27 из ПНИИАЗ (Прикаспийский научно-исследовательский институт аридного земледелия, с. Соленое Займище). Посев семян арахиса выполнен механизированно сеялкой СПЧ-6 с нормой высева 50 кг/га; у крамбе – 15 кг/га с глубиной заделки 5–6 см. Ширина междурядий в посевах – 70 см, размещение семян в ряду – через 10 см. Посевы арахиса обязательно прикатывали гладкими катками. После всходов растений проводили междурядные обработки и поливы до 10

раз в связи с засушливостью за вегетацию по 600–800 м³/га. После каждого полива на посевах арахиса культивацию заменяли окучиванием для увеличения плодородия. Для повышения семенной продуктивности культур в период интенсивного роста (начало цветения – бутонизация) вносили подкормки минеральными удобрениями с разными дозами. Растения-интродуценты за вегетацию практически не повреждались вредителями и болезнями.

В годы исследований проводились фенологические наблюдения за развитием арахиса и крамбе, в динамике прослеживался рост растений, определены оптимальные сроки посева культур и семенная продуктивность. Наблюдения и учеты осуществлялись согласно методике полевого опыта Б. А. Доспехова (1985) и методике исследований при интродукции лекарственных растений Н. И. Майсрадзе (1984).

Результаты исследований и их обсуждение

Повысить продуктивность и качество экосистем в современной экологии можно интродукцией новых видов растений с высоким потенциалом и устойчивостью к абиотическим факторам. Для решения этой проблемы Северо-Кавказский филиал ФНЦ агроэкологии РАН более десяти лет проводит исследования по интродукции новых нетрадиционных видов масличных культур с высокой пластичностью к условиям выращивания и стабильностью в продуктивности. Растения арахиса и крамбе ранее не выращивались на Ставрополье, но наши интродукционные исследования получили положительные результаты.

В новых условиях интродуценты начинают свою вегетацию с появления всходов у арахиса в конце третьей декады мая, крамбе – в первой декаде июня. После прорастания семян у растений арахиса начинается наращивание корневой системы до 1 м в диаметре, чем обуславливается его высокая засухоустойчивость. При достижении растений высоты 20 см (третья декада июня) начинают появляться первые цветы, и их цветение продолжается один день. После их увядания в пазухах отмечено формирование гинофор, которые при достижении достаточно влажной

поверхности почвы погружаются в нее, где, согласно нашим наблюдениям, через две недели образуются бобы (первая декада августа). Созревание бобов длится до конца сентября. Благоприятные термические условия для арахиса складываются до середины октября. Продолжительность периода от появления всходов до полного созревания бобов – 125 дней. У растений крамбе через 3–4 недели после появления всходов при хорошей влажности почвы и температуре воздуха +25... +28 °С отмечено ветвление стеблей, начало цветения – в первой декаде июля. Начало плодоношения наступает через десять дней (10.07), а полное созревание происходит при опадении листьев и пожелтении плодиков (25.08). Свою вегетацию растения крамбе в сезоне онтогенезе проходят за 98–100 дней.

По результатам хозяйственно-биологической характеристики арахиса при выращивании в разных почвенных условиях отмечено, что на легких супесчаных почвах высота кустов арахиса к концу вегетации составила 25,0 см, диаметр – 31,3 см. На одном растении сформировано до 16 шт. бобов с массой 15 г. При наиболее оптимальной для новых условий выращивания густоте стояния расте-

ний 85 000–90 000 шт/га средняя урожайность бобов составила 13,5 ц/га. В плантационных насаждениях на более плодородных суглинистых почвах растения арахиса образовали за вегетацию более мощные кусты с большим количеством бобов (до 48 шт. на растение с массой до 21 г), что в целом и определило бо-

лее высокую урожайность – 24,0 ц/га. В системе мероприятий повышения семенной продуктивности крамбе важное значение имело внесение подкормок в период интенсивного роста (бутонизация – начало цветения) разными дозами (табл. 2).

Таблица 1. Биометрические показатели развития и продуктивность арахиса в разных почвенных условиях Западного Прикаспия (среднее за 1998–2003 гг.)

Почвенные условия, схема посева	Высота растений, см	Диаметр куста, см	Густота состояния растений на		Кол-во бобов, шт. раст	Масса бобов, г	Продуктивность, ц/га	
			1 м ²	1 га			бобов	надземной массы
Супесчаные, 70 × 10 см	24,3	31,1	8,5	85330	9,4	9,0	13,5	17,4
Суглинистые, 70 × 10 см	34,0	36,5	8,5	85000	48,0	24,0	24,0	30,6

Таблица 2. Влияние агрофона на рост и формирование семенной продуктивности крамбе в условиях Западного Прикаспия (среднее за 1998–2003 гг.)

Вариант опыта	Н, см	Продуктивность, ц/га
I – контроль	94,8	7,8
II – 0,9 ц/га (N ₄₅ P ₆₀ K ₄₅)	109,3	10,4
III – 1,2 ц/га (N ₆₀ P ₉₀ K ₄₅)	115,3	12,6

В условиях естественного плодородия (контроль) высота растений крамбе за вегетацию составила 94,8 см, в опыте с меньшей дозой подкормки – 109,3 см. Наибольшую высоту показали растения при максимальной дозе – 115,3 см. Оценивая семенную продуктивность крамбе по вариантам внесения подкормки, следует выделить вариант с максимальной до-

зой N₆₀P₉₀K₄₅, где получена урожайность семян 12,6 ц/га, превышающая на 38 % контроль, и при низких дозах N₄₅ P₆₀ K₄₅ – на 18 %.

Представляющие большой научный интерес растения крамбе и арахиса показали в новых условиях выращивания высокие адаптационные возможности, способность формировать высокую продуктивность.

Заключение

Сейчас на территории Российской Федерации нет крупных плантационных насаждений масличных культур арахиса и крамбе, но есть все условия для расширения посевных площадей. Результаты проведенных интродукционных исследований свидетельствуют о возможности плантационного выращивания нетрадиционных видов масличных культур в юго-восточном районе Ставрополя с высокой теплообеспеченностью (3100–4000 °С), продолжительным безморозным периодом до 200 дней.

Обладая ценными пищевыми и техническими свойствами, интродуценты зарекомендовали себя как засухоустойчивые, менее требовательные к почвенным условиям высокоурожайные культуры. При посеве этих культур в первой половине мая, когда установится устойчивый переход температуры почвы через 10 °С, растения дают дружные всходы и при использовании ирригации активно и своевременно проходят все фазы вегетации.

За время исследований период от всходов до полного созревания у арахиса составил

125 дней, крамбе – 98 дней. Растения арахиса сформировали наибольшую урожайность бобов на более плодородных суглинистых почвах до 24,0 ц/га, на менее гумусированных супесчаных – 13,5 ц/га. Отзывчивость крамбе на улучшение почвенных условий путем внесения подкормки ($N_{60}P_{90}K_{45}$) позволила получить семян 12,6 ц/га, что почти на 40 % больше, чем на естественном фоне. Практически важно, что в засушливых условиях региона не

зафиксировано повреждений растений вредителями и болезнями, что не потребовало дополнительных расходов.

Арахис и крамбе перспективны для выращивания в названном регионе, и внедрение их в севообороты позволит увеличить посевные площади под масличными культурами, расширит биоразнообразие фитоценозов и обеспечит стабильность производства растительных масел.

Библиографический список

1. Минкевич, И. А. Растениеводство / И. А. Минкевич. – М. : Высш. шк.; 1968. – С. 246–257.
2. Прахова, Т. Я. Биология, возделывание и качество маслосемян крамбе / Т. Я. Прахова, В. А. Прахов // Молодой ученый. – 2013. – № 1 (48). – С. 436–437.
3. Рекомендации по комплексному освоению Терско-Кумских песков / В. В. Астахов [и др.]. – Волгоград : ВНИАЛМИ, 1974. – 36 с.
4. Цховребов, В. С. Современные проблемы плодородия почв Ставрополя / В. С. Цховребов, А. Н. Есаулко, А. А. Новиков // Агрехим. вестн. – 2017. – № 4. – С. 3–8.

Поступила 12 октября 2021 г.

УДК 504.61:351.78:614.8

ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ТРЕПЕЛА В КАЧЕСТВЕ ИЗВЕСТКОВОГО МЕЛИОРАНТА НА ЗАГРЯЗНЕННЫХ РАДИОНУКЛИДАМИ ЗЕМЛЯХ

О. А. Мерзлова¹, научный сотрудник
Т. Н. Агеева², кандидат ветеринарных наук

¹ГНУ «НИЭИ Министерства экономики Республики Беларусь», г. Могилев, Беларусь

²МОУ ВО «Белорусско-Российский университет», г. Могилев, Беларусь

Аннотация

В условиях радиоактивного загрязнения, наряду с созданием оптимальных условий получения стабильных урожаев известкование направлено на снижение доступности растениям радионуклидов ⁹⁰Sr и ¹³⁷Cs из почвы. Изучение свойств трепела месторождения «Стальное» Хотимского р-на Могилевской обл. как мелиоранта в полевом опыте на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве в условиях радиоактивного загрязнения показало, что эффект по снижению перехода радионуклидов в продукцию в сравнении с доломитовой мукой сопоставим или превосходит его. Полученные прибавки урожая зерна пшеницы яровой и овса превышают аналогичные с использованием доломитовой муки: в звене севооборота пшеница – овес – люпин в варианте с полной дозой трепела – на 31,5 %, с половинной дозой – на 6,5 %. Оценка экономической эффективности использования доломитовой муки и трепела неоднозначна, поскольку трепел представлен на рынке как кормовая добавка. В этой связи рассчитаны предельная величина затрат на погашение кислотности на 1 га загрязненных радионуклидами слабокислых почвах с использованием трепела в дозе эквивалентной 6 т/га CaCO₃ (840,31 руб./га) и предельная отпускная цена на него (13,32 руб./т), позволяющая обеспечить 5%-ю эффективность затрат на агрохимизацию в условиях полевого опыта.

Ключевые слова: ¹³⁷Cs, ⁹⁰Sr, коэффициент перехода, мелиорант, трепел, урожайность, экономическая эффективность, предельные затраты на известкование, предельная отпускная цена.

Abstract

V. A. Miarzlova, T. N. Aheyeva

ECONOMIC EFFICIENCY OF TREPEL FOR LIMING RADIONUCLIDE-CONTAMINATED LAND

In conditions of radioactive contamination, along with creating optimal conditions for obtaining stable yields, liming aimed at reducing the availability of ⁹⁰Sr and ¹³⁷Cs radionuclides from the soil to plants.

The study of the properties of the diatomite earth deposits of Stalnoye (Khotimsk district, Mogilev region) in the field experience on sod-podzolic light loamy soil under conditions of radioactive contamination showed that the effect on reducing the transfer of radionuclides to products in comparison with dolomite flour is comparable or exceeds it. The resulting increases in the yield of spring wheat and oats are superior to those with the use of dolomite flour. In the link of crop rotation, wheat-oats-lupine in the variant with a full dose of trepel – by 31.5 %, with a half dose – by 6.5%. Evaluation of the economic efficiency of using dolomite flour and trepel is ambiguous, since trepel is presented on the market as a feed additive. In this regard, the maximum value of the cost of repayment of acidity on 1 ha of slightly acidic soils contaminated with radionuclides using trepel at a dose equivalent to 6 t/ha of CaCO₃ (840.31 rubles/ha) and the maximum selling price for it (13.32 rubles/t), which allows to ensure 5 % efficiency of costs for agrochemization in the conditions of field experience.

Keywords: ¹³⁷Cs, ⁹⁰Sr, transition coefficient, meliorant, diatomite, economic efficiency, limiting the cost of liming, marginal selling price.

Введение

Известкование кислых почв сельскохозяйственных земель, загрязненных радионуклидами, проводится с целью оптимизации по-

казателей реакции почвенной среды (рН_{кд}), при которых наблюдается максимальное снижение поступления радионуклидов в расте-

ниеводческую продукцию. Оптимизация степени кислотности почв на фоне применения минеральных удобрений позволяет повысить урожайность и сократить поступление радионуклидов в сельскохозяйственные культуры на 60–80 % [1].

Для Беларуси по-прежнему актуален поиск эффективных, дешевых, экономически и технологически целесообразных сорбентов на основе как органического, так и минерального сырья с целью снижения загрязнения радионуклидами растениеводческой продукции и повышения плодородия почвы. Важное условие их использования – экологическая безопасность. При выборе такого рода сорбентов перспективным может стать применение минералов группы цеолитов.

Цеолиты считаются универсальными минералами, заслуживающими особого внимания. По своей кристаллической структуре они состоят из алюмокремнекислородного каркаса, содержащего пустоты и каналы, где расположены катионы щелочных и щелочноземельных металлов и молекулы воды. Катионы и вода, связанные с каркасом, могут быть частично или полностью замещены или удалены путем ионного обмена и дегидратации. При таком свойстве цеолиты обладают высокой обменной емкостью катионов, что представляет собой исключительную ценность для длительного питания растений.

Другое важное химическое свойство цеолитов, лежащее в основе их применения в народном хозяйстве, – их селективность в отношении к катионам. Обмен одновалентных катионов протекает с резко выраженной избирательностью к крупным катионам Cs^+ , Rb^+ и

K^+ , наблюдается постоянная избирательность к Na^+ . На цеолите осаждаются ионы тяжелых металлов. Обмен ионов щелочноземельных элементов протекает с высокой избирательностью к Sr^{2+} , который можно извлекать из растворов с низкой концентрацией. Особого внимания заслуживает способность цеолитов понижать кислотность почвы [2].

В последние годы отмечается интерес к изучению трепела, который на 15–50 % (в зависимости от месторождения) состоит из цеолита и обладает свойствами этого минерала. Ранее широкого распространения этот минерал не получил по причине своего полимерного состава. Большинство сорбентов разрабатываемых месторождений представлены на 70–85 % одним минералом и имеют небольшой процент примесей, что важно для промышленного использования. В Республике Беларусь имеются два месторождения трепела – «Дружба» и «Стальное», доступных для открытой разработки. Ранее их разработка и применение не считались экономически целесообразными, поскольку на территории СССР, в состав которого входила Беларусь до 1991 г., были разведаны и разрабатывались более богатые месторождения. Однако в сравнении с прочими минералами трепел месторождения «Стальное» содержит повышенное количество оксидов кальция и магния, поэтому относится к классу известковых. В пересчете на $CaCO_3 + MgCO_3$ действующее вещество составляет до 37 %. С учетом имеющегося мирового опыта и проводимых контрмер трепел может быть одним из наиболее перспективных сорбентов радионуклидов в практике сельского хозяйства на загрязненных радионуклидами землях.

Объекты и методы исследований

В связи с вышеуказанным изучены влияние трепела на переход радионуклидов в сельскохозяйственные культуры, их урожайность, агрохимические свойства почвы; дана оценка экономической эффективности применения трепела в растениеводстве.

Объекты исследований – растения овса (сорт Першачвет), яровой пшеницы (сорт Сабина), люпина узколистного (сорт Лидия). Выбор люпина узколистного из ряда зернобобовых культур связан с его наибольшей радиофильностью. Исследования проведены в условиях полевого

эксперимента, заложенного на территории СПК «Дуброва» Костюковичского р-на Могилевской обл. (в рамках тематик Могилевского филиала РНИУП «Институт радиологии»).

Исходные агрохимические и радиологические характеристики агродерново-подзолистой легкосуглинистой почвы опытного участка: пахотный слой – 22–25 см, содержание гумуса – 1,85 %, обменная кислотность $pH_{KCl} = 5,85$, содержание подвижных форм фосфора – 142 мг/кг почвы, подвижных форм калия – 226 мг/кг почвы, средняя плотность загряз-

нения почв ^{137}Cs – 660,8 кБк/м² (17,8 Ки/км²), ^{90}Sr – 7,03 кБк/м² (0,19 Ки/км²).

Химический состав использованного трепела месторождения «Стальное»: СаО (207 г/кг), К₂О (48 г/кг), Р₂О₅ (2,8 мг/кг), MgО (7000 мг/кг). В пересчете на действующее вещество доля оксидов кальция и магния составляет 21 %. Содержание остальных химических элементов не определялось: как правило, они находятся в количествах, не превышающих 2,0 %.

Схема полевого опыта предусматривала внесение следующих мелиорантов: СаСО₃ в дозе 6 т/га, рекомендованной для известкования почв пахотных земель, загрязненных радионуклидами, в диапазоне рН 5,76–6,00 [3], трепела в дозе, эквивалентной указанной, с учетом удельного веса действующего вещества и для сравнения – половинной дозы трепела:

- 1) контроль (без мелиорантов и удобрений);
- 2) NPK + доломитовая мука (полная доза – 6000 кг/га);
- 3) NPK + трепел 1 (полная доза – 16 216 кг/га);
- 4) NPK + трепел 0,5 (половинная доза – 8108 кг/га).

Внесение минеральных удобрений в виде карбамида, аммонизированного суперфосфата (марка 8-30), хлористого калия осуществлено исходя из рекомендованных для внесения доз на почвах с указанными выше агрохимическими и радиологическими характеристиками: под овес и яровую пшеницу – N₉₀P₆₀K₁₂₀, под люпин узколистный – P₆₀K₁₂₀ [1].

Размер делянок 1 x 4 = 4 м². Учетная площадь делянки 4 м². Защитные полосы по 0,5 м. Повторность опыта трехкратная. Принцип размещения делянок – полная рандомизация.

Оценка сравнительной экономической эффективности осуществлялась на основе соотношения стоимостной оценки прибавки урожая, полученной на вариантах опыта с использованием мелиорантов и минеральных удобрений, и дополнительных затрат на его получение в сравнении с контролем.

Разделение эффектов от применения минеральных удобрений и известковых мелиорантов не предусматривалось, поскольку их действие имеет синергетический характер и на фоне ежегодного проведения защитных мер на опытном участке, выделенном в хозяйственном массиве, трудноуловим.

Данное допущение согласуется с результатами, полученными другими авторами при

изучении способности трепела влиять на биологическую доступность радионуклидов в почве. Так, эксперименты РНИУП «Институт радиологии», проведенные на торфяно-болотных почвах в 2000–2002 гг., установили, что трепел месторождения «Стальное» в комплексе с минеральными и органическими удобрениями является эффективным средством стимуляции развития растений, повышения урожайности сельскохозяйственных культур и снижения накопления ими радионуклидов [4]. В 2009–2010 гг. в сопоставимых с представленным нами полевым опытом условиях (плотность загрязнения пахотного слоя почвы ^{137}Cs – 537 кБк/м² (14,5 Ки/км²); содержание гумуса – 1,96 %; рН = 5,60) при выращивании многолетних злаковых трав на дерново-подзолистой супесчаной почве также выявлено: снижение содержания ^{137}Cs в растениях на 11 % при внесении трепела в дозе 15 т/га без минеральных удобрений, на 37 % – при внесении такой же дозы совместно с минеральными удобрениями в количестве N₆₀P₄₀K₈₀. На торфяно-болотной почве при внесении только трепела названного месторождения в дозе 15 т/га снижение удельной активности и коэффициента перехода составило 62 % относительно контроля, внесение совместно с N₆₀P₄₀K₈₀ привело к снижению показателей до 64 % в сравнении с контролем [5]. Многолетние опыты, проведенные Центром химизации и сельскохозяйственной радиологии «Брянский», зафиксировали снижение накопления ^{137}Cs от 1,2 до 3,4 раз в зависимости от культур и дозы внесения трепела месторождения «Хотынецкое» на фоне NPK [6]. Следует отметить, что изученность сорбционных и мелиоративных свойств трепела носит единичный характер, тем самым подтверждается необходимость восполнения сформировавшегося пробела.

Прибавка урожая оценена на основании закупочных цен на растениеводческую продукцию урожая 2020 г., рекомендованных Министерством сельского хозяйства и продовольствия, с учетом налога на добавленную стоимость и рыночной цены реализации зерна люпина.

Расходы на внесение удобрений, известкование, уборку, перевозку и доработку урожая рассчитаны на 1 гектар с учетом статей затрат: материалы, ГСМ, оплата труда, общехозяйственные расходы, НДС в ценах 2020 г. Расходы на известкование включены в ежегодные дополни-

тельные затраты на получение прибавки урожая исходя из четырехлетнего цикла.

Известкование – прием продолжительного действия, поэтому наиболее объективно его эффективность отражает оценка в севообороте. В нашем случае эксперимент проводился в течение 3 лет, поэтому дополнительный доход определен на основе суммарной стоимости прибавок урожая культур за трехгодичную ротацию

Результаты исследований и их обсуждение

Объем защитных мероприятий на загрязненных радионуклидами сельскохозяйственных землях, проведенный за период после Чернобыльской аварии, позволил существенно улучшить их агрохимические характеристики, что отразилось на выборе опытного участка. В целом можно сказать, что даже в почвенных условиях, классифицируемых по кислотности как близкие к нейтральным, выявлено положительное влияние трепела на снижение перехода радионуклидов ^{137}Cs и ^{90}Sr

звена севооборота, дополнительные затраты – как суммарные расходы за 3 года. При этом приведены и результаты оценки эффективности известкования в звене севооборота овес – яровая пшеница, поскольку полная нейтрализация кислотности почв для возделывания люпина не требуется и ведет к снижению урожайности культуры и впоследствии сокращению экономической эффективности применения мелиорантов.

в зерно исследуемых культур. Полученный эффект сопоставим с использованием доломитовой муки или превосходит его.

Так, внесение трепела в дозе, рассчитанной для нейтрализации избыточной кислотности дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы при плотности загрязнения ^{137}Cs 10–15 Ки/км² (370–555 кБк/м²), снизило поступление данного радионуклида в зерно пшеницы яровой на 25 %, люпина узколистного на 13,6 %, зерно овса посевного на 5,6 % (табл. 1).

Таблица 1. Удельная активность (УА, Бк/кг) зерна и коэффициенты перехода (Кп, Бк/кг: кБк/м²) ^{137}Cs и ^{90}Sr из почвы в продукцию при применении различных мелиорантов (в среднем за три года)

Варианты удобрений	^{137}Cs						^{90}Sr					
	пшеница яровая		овес		люпин узколистный		пшеница яровая		овес		люпин узколистный	
	УА	Кп	УА	Кп	УА	Кп	УА	Кп	УА	Кп	УА	Кп
Контроль	8,4	0,012	9,9	0,019	217,6	0,559	6,3	1,38	6,3	1,28	27,5	6,49
НРК + доломит. мука	5,3	0,012	8,4	0,018	209,2	0,502	5,4	1,19	6,1	1,27	28,2	6,11
НРК + трепел 1,0 дозы	4,5	0,009	8,1	0,017	200,9	0,483	5,4	1,01	6,3	1,19	22,1	5,22
НРК + трепел 0,5 дозы	4,2	0,010	9,0	0,018	206,7	0,543	5,6	1,21	6,0	1,23	25,3	6,21

Примечание. Определено при влажности зерна 14 %.

В сравнении со стандартным вариантом (внесение доломитовой муки) применение трепела имело преимущество при возделывании пшеницы и не уступало доломитовой муке по действию на переход ^{137}Cs в зерно овса и люпина узколистного [7].

Внесение трепела в полной дозе на фоне минеральных удобрений достоверно снизило интенсивность миграции ^{90}Sr по всем культурам как по сравнению с контролем (в среднем по культурам на 18 %), так и с внесением

доломитовой муки (на 12 %). Использование цеолитсодержащего мелиоранта в половинной дозе оказалось менее эффективным как в отношении поступления ^{137}Cs , так и ^{90}Sr .

Одной из важных задач агрохимизации является увеличение продуктивности культур. Полная нейтрализация кислотности в совокупности с применением повышенных доз удобрений обеспечила рост урожайности яровой пшеницы и овса (табл. 2).

Таблица 2. Сравнительный анализ экономической эффективности применения доломитовой муки и «дорогого» трепела для известкования почв в условиях радиоактивного загрязнения земель на фоне применения удобрений (вариант 1)

Варианты опыта	Урожайность, ц/га	Прибавка, ц/га	Эффективность дополнительных затрат (ΔЭ ₁)							Эффективность ΔЭ ₁ , %
			Стоимость прибавки урожая, руб./га	Дополнительные затраты (ΔЗ ₁), руб./га в год					Дополнительный доход, руб./га	
				известкование	внесение удобрений	уборка, перевозка, доработка прибавки	всего	ΔД ₁		
У	ΔУ	ΔЦ	З _{изв1}	З _{уд}	ΔЗ _{убор}	ΔЗ ₁	ΔД ₁	ΔЭ _{п1}		
<i>Яровая пшеница</i>										
Контроль	12,9	–	–	–	–	–	–	–	–	
НПК + дол. мука	28,5	15,6	675,3	139,0	339,4	36,3	514,7	160,6	31,2	
НПК + трепел 1	29,3	16,4	709,6	721,7	339,4	38,1	1099,2	–389,6	–35,4	
НПК + трепел 0,5	29,3	16,4	708,2	364,8	339,4	38,1	742,2	–34,0	–4,6	
НСР ₀₅ = 6,1; F _{факт} = 8,45; F ₀₅ = 3,48										
<i>Овес</i>										
Контроль	19,4	–	–	–	–	–	–	–	–	
НПК + дол. мука	34,9	15,5	445,8	139,0	339,4	36,0	514,4	–68,6	–13,3	
НПК + трепел 1	37,8	18,4	529,3	721,7	339,4	42,8	1103,9	–574,6	–52,1	
НПК + трепел 0,5	36,6	17,2	494,7	364,8	339,4	40,0	744,2	–249,4	–33,5	
НСР ₀₅ = 9,6; F _{факт} = 16,8; F ₀₅ = 3,48										
<i>Люпин</i>										
Контроль	12,8	–	–	–	–	–	–	–	–	
НПК + дол. мука	14,2	1,4	110,5	139,0	217,5	3,4	359,9	–249,4	–69,3	
НПК + трепел 1	14,4	1,6	126,3	721,7	217,5	3,9	943,0	–816,8	–86,6	
НПК + трепел 0,5	13,7	0,9	71,0	364,8	217,5	2,2	584,4	–513,4	–87,8	
НСР ₀₅ = 1,0; F _{факт} = 4,20; F ₀₅ = 3,48										
<i>Звено с люпином (стоимостные показатели – суммы за 3 года)</i>										
Контроль	15,0*	–	–	–	–	–	–	–	–	
НПК + дол. мука	25,9*	10,8*	1231,6	417,0	896,3	75,7	1389,0	–157,4	–11,3	
НПК + трепел 1	27,2*	12,1*	1365,1	2165,0	896,3	84,8	3146,1	–1780,9	–56,6	
НПК + трепел 0,5	26,5*	11,5*	1273,9	1094,3	896,3	80,2	2070,8	–796,9	–38,5	
<i>Звено без люпина (стоимостные показатели – суммы за 2 года)</i>										
Контроль	17,7*	–	–	–	–	–	–	–	–	
НПК + дол. мука	25,0*	9,2*	1121,1	278,0	678,8	72,3	1029,1	92,0	8,9	
НПК + трепел 1	26,5*	10,7*	1238,9	1443,3	678,8	80,9	2203,1	–964,2	–43,8	
НПК + трепел 0,5	25,6*	9,9*	1202,9	729,5	678,8	78,1	1486,4	–283,5	–19,1	

П р и м е ч а н и я. 1) Общие затраты на известкование включены в годовые по норме 0,25 с учетом 4 летнего цикла агроприема; 2) значения с звездочкой (*) приведены в среднем по звену зерновых.

Урожайность яровой пшеницы в среднем за три года исследований в вариантах с использованием мелиорантов выросла в 2,2–2,3 раза. Наиболее высокая прибавка 16,4 ц/га получена

в вариантах с внесением трепела на фоне минеральных удобрений.

Урожайность овса в среднем за три года увеличилась в 1,8–1,9 раза. Максимальную прибав-

ку – 18,4 ц/га – обеспечило внесение цеолитсодержащего мелиоранта в полной дозе на фоне минеральных удобрений.

Достоверного увеличения урожайности зерна люпина узколистного не было зафиксировано. Прирост показателя составил около 1,1 раза по всем вариантам – как с использованием трепела, так и доломитовой муки. Это объясняется излишним погашением кислотности почв. В конце вегетационного периода рН достигло величины 7,0, тогда как для данной культуры оптимален диапазон 5,0–6,0.

Производственная эффективность использования цеолитсодержащего мелиоранта очевидна. Прибавка выхода продукции с 1 га в среднем по культурам в вариантах с применением трепела превосходит прибавки, полученные в вариантах с доломитовой мукой: в звене севооборота пшеница – овес – люпин в варианте с полной дозой трепела – на 31,5 %, с половинной дозой – на 6,5 %; в звене пшеница – овес в варианте с полной дозой трепела – на 16,3 %, с половинной дозой – на 7,6 %.

Однако сравнительная экономическая эффективность не столь очевидна.

Оценка эффективности дополнительных финансовых затрат на применение средств агрохимизации в различных вариантах оказалась неоднозначной по следующим причинам. До-

быча и переработка трепела в месторождении «Стальное» налажены лишь в 2018 г. и имеют незначительные объемы (500–700 тонн в месяц). Главным направлением реализации данного сырья, имеющего богатый минеральный состав и способность раскислять среду рубца крупного рогатого скота, является включение его в рацион.

Цена носит договорной характер и с учетом преимущественного использования трепела как кормовой добавки колеблется в большом диапазоне, но не опускается ниже 152 руб. за тонну. Поэтому в первом варианте оценки экономической эффективности применения трепела расчет осуществлен с учетом упомянутой цены как фактически сложившейся на белорусском рынке. Ее результаты свидетельствуют о существенной убыточности применения такого мелиоранта (табл. 2), что прогнозируемо с учетом не только цены, но и невысокого содержания действующего вещества (21,4 % обменного кальция и магния) против доломитовой муки (98 %). В сравнении с применением доломитовой муки, стоимость которой с учетом транспортировки на склад железнодорожным транспортом, доработки и НДС составляет 63,4 руб./т. [8], полная нейтрализация кислотности на опытном участке с применением трепела обойдется в 5,2 раз дороже (табл. 3).

Таблица 3. Калькуляция стоимости известкования с использованием различных мелиорантов и отпускных цен (2020 г.)

Статьи и элементы затрат	Ед. измер.	Доломитовая мука [8]	Трепел кормовой (дорогой)	Трепел – мелиорант (дешевый)
Отпускная цена	руб./т	33,34	–	15,60
Ж.-д перевозка (для трепела автоперевозка до 100 км)	руб./т	7,33	–	2,34
Стоимость переработки на складе «Агромашсервис»	руб./т	16,00	–	7,49
НДС (20 %)	руб./т	6,67	–	3,12
Итого стоимость мелиоранта («франко-склад»)	руб./т	63,35	152,00	28,55
Объем внесения (по схеме опыта)	тонн/га	6,00	16,22	16,22
Затраты на мелиоранты по полной потребности	руб./га	380,08	2464,83	463,08
Затраты на транспортировку (до поля 25 км)	руб./га	57,01	154,08	154,08
Затраты на внесение всей дозы	руб./га	87,42	236,26	236,26
Затраты на разработку ПСД	руб./га	31,47	31,47	31,47
Общие затраты на известкование 1 га	руб./га	555,98	2886,65	884,75
Включение затрат в себестоимость на 1 год (З _{изв})	руб./га	138,99	721,66	221,19

Таблица 4. Сравнительный анализ экономической эффективности применения доломитовой муки и «дешевого» трепела для известкования почв в условиях радиоактивного загрязнения земель на фоне применения удобрений (вариант 2)

Варианты опыта	Эффективность дополнительных затрат (ΔЭ2)							Общая экономическая эффективность производства (Эп2)		
	ΔЦ, руб./га	ΔЗ2, руб./га в год				ΔД, руб./га	Итого ΔЭ2, %	Стоимость урожая (Ц), руб./га	Общие затраты (З), руб./га	Итого Эп2, %
		З _{изв2}	З _{уд}	ΔЗ _{убор}	Всего ΔЗ2					
<i>Яровая пшеница</i>										
Контроль	–	–	–	–	–	–	–	559,91	9,8	1,8
НПК + дол. мука	675,3	139,0	339,4	36,3	514,7	160,6	160,6	1235,20	170,4	16,0
НПК + трепел 1	709,6	221,2	339,4	38,1	598,7	110,9	110,9	1266,36	117,5	10,2
НПК + трепел 0,5	708,2	114,5	339,4	38,1	492,0	216,2	216,2	1268,09	226,0	21,7
<i>Овес</i>										
Контроль	–	–	–	–	–	–	–	558,02	70,9	14,6
НПК + дол. мука	445,8	139,0	339,4	36,0	514,4	–68,6	–13,3	1003,86	2,3	0,2
НПК + трепел 1	529,3	221,2	339,4	42,8	603,4	–74,1	–12,3	1087,28	–3,2	–0,3
НПК + трепел 0,5	494,7	114,5	339,4	40,0	493,9	0,8	0,2	1052,76	71,7	7,3
<i>Люпин</i>										
Контроль	–	–	–	–	–	–	–	1010,05	277,0	37,8
НПК + дол. мука	110,5	139,0	217,5	3,4	359,9	–249,4	–69,3	1120,53	27,6	2,5
НПК + трепел 1	126,3	221,2	217,5	3,9	442,5	–316,3	–71,5	1136,31	–39,2	–3,3
НПК + трепел 0,5	71,0	114,5	217,5	2,2	334,2	–263,2	–78,7	1081,07	13,9	1,3
<i>Звено с люпином (стоимостные показатели – суммы за 3 года)</i>										
Контроль	–	–	–	–	–	–	–	2128,0	357,8	20,2
НПК + дол. мука	1231,6	417,0	896,3	75,7	1389,0	–157,4	–11,3	3359,6	200,4	6,3
НПК + трепел 1	1365,1	663,6	896,3	84,8	1644,7	–279,5	–17,0	3489,9	75,1	2,2
НПК + трепел 0,5	1273,9	343,6	896,3	80,2	1320,1	–46,2	–3,5	3401,9	311,6	10,1
<i>Звено без люпина (стоимостные показатели – суммы за 2 года)</i>										
Контроль	–	–	–	–	–	–	–	1117,9	80,7	7,8
НПК + дол. мука	1121,1	278,0	678,8	72,3	1029,1	92,0	8,9	2239,1	172,7	8,4
НПК + трепел 1	1238,9	442,4	678,8	80,9	1202,1	36,8	3,1	2353,6	114,3	5,1
НПК + трепел 0,5	1202,9	229,1	678,8	78,1	985,9	217,0	22,0	2320,9	297,7	14,7

В то же время технология переработки трепела сопоставима с получением доломитовой муки и при увеличении объемов добываемого сырья и расширении мощностей производства ОДО «Трепел-М» (что зависит от спроса) себестоимость его сократится, причем цеолитсодержащая порода в месторождении «Стальное» выходит на поверхность и позволяет удешевить производство мелиоранта.

Следует сказать, что в мире практикуется отгрузка трепела без переработки из карьера по цене 5–8 долл. США за тонну. Если принять условие, что цеолит, добытый в карьере, будет дорабатываться на мощностях холдинга «Агротранссервис», расположенных в радиусе до 100 км, его цена с учетом затрат поставки на склад («франко-склад») существенно сократится. С учетом доработки она может составить 28,55 руб./т. В этом случае экономическая эффективность применения цеолита существенно возрастает (табл. 4).

Видно, что эффективность дополнительных затрат при внесении «дешевого» трепела в звене пшеница – овес – люпин остается отрицательной (как и с использованием доломитовой муки), а в звене пшеница – люпин возрастает: в варианте с полной дозой до 3,1 %, в половинной дозе – до 22,0 %. Если в первом случае эффективность дополнительных затрат в 2,9 раза ниже в сравнении с использованием до-

ломитовой муки, то во втором случае в 2,5 раза выше.

С точки зрения общей производственной эффективности, рассчитанной исходя из всех понесенных затрат на получение зерна опытных культур и общей стоимости произведенной продукции, во всех случаях будет получен доход, а рентабельность производства зерна будет колебаться в зависимости от вида мелиоранта и применяемой дозы в звене севооборота с люпином в диапазоне 2,2–10,1 %, в звене без люпина – в пределах 5,1–14,7 %.

С учетом неоднозначности ситуации, связанной с несформированностью на белорусском рынке цены трепела как мелиоранта, полезно выявление предельной допустимой величины затрат на известкование почв различными мелиорантами в дозах, предусмотренных описанным полевым опытом, и расчета предельных отпускных цен мелиорантов, которые позволили бы получить минимально обоснованную рентабельность дополнительных затрат 5 % (или норма 0,05).

С этой целью разработаны формулы (1–3) для расчета необходимых показателей. Они получены путем выражения общих затрат на известкование (формула 1) и отпускной цены на мелиоранты (формулы 2–3) из формул расчета эффективности дополнительных затрат на агрохимические меры и калькуляции затрат на известкование в расчет на 1 га:

$$Z_{\text{изв}}^{-\text{пред}} = \sum \Delta C - (\sum Z_{\text{уд}} + \sum \Delta Z_{\text{убор}}) \cdot (N_{\text{эф}} + 1) / (N_{\text{эф}} + 1), \quad (1)$$

где $Z_{\text{изв}}^{-\text{пред}}$ – предельные затраты на известкование при заданной норме эффективности, руб./га;

$\sum \Delta C$ – стоимость прибавки продукции суммарной за период действия мелиоранта (4 года), руб./га;

$\sum Z_{\text{уд}}, \sum \Delta Z_{\text{убор}}$ – суммарные затраты на ежегодное внесение удобрений (с учетом их стоимости) и уборку, транспортировку и доработку прибавки урожая, руб./га;

$N_{\text{эф}}$ – норма эффективности (в нашем расчете принят 0,05, или 5 % рентабельности дополнительных затрат);

$$C_{\text{мелио}}^{-\text{пред}} = (Z_{\text{изв}}^{-\text{пред}} - Z_{\text{псд}} - Z_{\text{тран}} - Z_{\text{внес}}) / V, \quad (2)$$

где $C_{\text{мелио}}^{-\text{пред}}$ – предельная стоимость мелиоранта с учетом его доставки на промежуточный склад и доработки (рыночная цена), руб./га;

$Z_{\text{псд}}, Z_{\text{тран}}, Z_{\text{внес}}$ – затраты на разработку проектно-сметной документации (распределенные на 1 га), транспортировку мелиоранта до поля, внесение в почву, руб./га;

V – количество мелиоранта в физическом весе, внесенного на 1 га, т/га.

Предельная стоимость мелиоранта с учетом его доставки на промежуточный склад и доработки ($C_{\text{мелио}}^{-\text{пред}}$) может быть как окончательной, так и промежуточной ценой. В случае не-

обходимости доработки мелиоранта (холдинг «Агромашсервис») предельная отпускная цена рассчитывается следующим образом:

$$O_{ц}^{-пред} = (C_{мелио}^{-пред} - Z_{жд-ав} - Z_{дорб}) / (1 + НДС/100), \quad (3)$$

где $O_{ц}^{-пред}$ – предельная отпускная цена на мелиорант (без НДС) при заданной норме эффективности, руб./т;

$Z_{жд-ав}$ – затраты на доставку от продавца до склада, руб./т,

$Z_{дорб}$ – затраты на доработку мелиоранта на складе, руб./т;

НДС – ставка налога на добавленную стоимость, примененная продавцом (колеблется от 10 до 20 %).

Расчет по приведенным выше формулам осуществлен исходя из минимально оправданной 5%-й рентабельности затрат на известкование дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы (с $pH_{KCl} - 5,85$; $P_2O_5 - 142$ мг/кг почвы; $K_2O - 226$ мг/кг почвы; $^{137}Cs - 17,8$ Ки/км²; $^{90}Sr - 0,19$ Ки/км²). В качестве предельной стоимости известкования выбран результат, полученный для звена севооборота яровая пшеница – овес. Данный выбор объясняется низкой производственной эффективностью применения мелиорантов при возделывании люпина, для которого оптимальный диапазон кислотности почв отличается от полученной в опыте в сторону более кислой реакции. В то же время при использовании других зернобобовых культур (горох, пелюшка) результаты по прибавке урожайности и далее эффективности мелиорантов предположительно будут более высокими.

Таким образом, установлено, что для звена севооборота яровая пшеница – овес стоимость известкования 1 га при использовании доломитовой муки не должна превышать

633,22 руб./га, при использовании трепела в полной дозе – 840,31 руб./га, трепела в половинной дозе – 777,55 руб./га (табл. 5).

При этом предел отпускных цены доломитовой муки – 44,07 руб./т (то есть допустимо повышение фактической цены на 32 %), трепела при использовании в полной дозе – 13,32 руб./т (на 15 % ниже принятой в расчете для «дешевого» трепела), в половинной дозе – 48,43 руб./т. (в 3,1 раз дороже «дешевого» трепела).

При обеспечении расчетной предельной цены трепела 13,32 руб./т и сохранении фактической отпускной цены на доломитовую муку (33,34 руб./т) общая эффективность производства культур в звене севооборота (с учетом полученных в опыте прибавок урожая) в вариантах с использованием полной дозы трепела незначительно уступает вариантам с доломитовой мукой: на 4,2 процентных пункта (далее – п. п.) в звене с люпином и 1,9 п. п. в звене без люпина, а в половинной дозе превосходит его: на 6,9 п. п. в звене с люпином и 9,5 п.п. в звене без люпина (табл. 6).

Таблица 5. Предельные затраты на известкование и отпускная цена на мелиоранты при норме доходности затрат на агрохимизацию 5 % в звене яровая пшеница – овес

Показатель	Доломитовая мука (полная доза)	Трепел (полная доза)	Трепел (половинная доза)
Предельная стоимость известкования из расчета на 4 года, руб./га	633,22	840,31	777,55
Предельная стоимость известкования из расчета на 1 год, руб./га	158,30	210,08	194,39
Предельная цена доработанного мелиоранта (рыночная цена), руб./т	76,22	25,81	67,95
Предельная отпускная цена мелиоранта от производителя, руб./т	44,07	13,32	48,43

Таблица 6. Прогнозируемая эффективность производства продукции в звене севооборота в среднем

Варианты опыта	Дополнительный эффект		Общая экономическая эффективность производства продукции	
	дополнительный доход ($\Delta D_{\text{прог}}$), руб./га	эффективность дополнительных затрат ($\Delta \mathcal{E}_{\text{прог}}$), %	общий доход ($D_{\text{прог}}$), руб./га	эффективность производства ($\mathcal{E}_{\text{прог}}$), %
<i>звено пшеница яровая – овес – люпин</i>				
Контроль	–	–	357,8	20,2
NPK + дол. мука	157,4	–11,3	200,4	12,4
NPK + трепел 1	–228,7	–14,3	125,9	8,2
NPK + трепел 0,5	–20,8	–1,6	337,0	19,3
<i>звено пшеница яровая – овес</i>				
Контроль	–	–	80,7	7,8
NPK + дол. мука	92,0	8,9	172,7	15,3
NPK + трепел 1	70,7	6,0	148,2	13,4
NPK + трепел 0,5	233,9	24,1	314,6	24,8

Заключение

Трепел с высокой долей действующего вещества (21 %) хорошо проявил себя как известковый мелиорант и радиопротектор на дерново-подзолистых легкосуглинистых почве даже в условиях среды, близкой к нейтральной ($\text{pH}_{\text{KCl}} = 5,85$), при плотности загрязнения почв ^{137}Cs – 660,8 кБк/м², ^{90}Sr – 7,03 кБк/м².

Среди исследованных вариантов применения мелиорантов (доломитовая мука в дозе до полной нейтрализации кислотности, трепела в полной и половинной дозах) в звене пшеница яровая – овес – люпин наблюдалась более высокая тенденция снижения перехода радионуклидов в зерно при применении цеолитсодержащего агента в полной дозе. В среднем за три года в сравнении с доломитовой мукой значение коэффициентов перехода ^{137}Cs было ниже на 25 %, ^{90}Sr – на 12 %. Применение цеолита в половинной дозе менее эффективно в отношении сокращения поступления как ^{137}Cs , так и ^{90}Sr .

Наряду с радиологической эффективностью цеолитсодержащих мелиорантов установлено и их преимущество перед доломитовой мукой как в полной, так и в половинной дозах внесения в части прироста урожайно-

сти. Прибавка выхода продукции в звене севооборота пшеница – овес – люпин в варианте с полной дозой трепела на 31,5 % выше, чем с доломитовой мукой, с половинной дозой – на 6,5 %. В звене пшеница – овес в варианте с полной дозой трепела – на 16,3 %, с половинной дозой – на 7,6 %.

Экономическая оценка полученных прибавок имеет неоднозначный характер ввиду отсутствия рыночной цены на трепел как мелиорант. Применение трепела месторождения «Стальное», реализуемого в качестве кормовой добавки, делает его использование неприемлемым вследствие дороговизны. Снижение отпускной цены до уровня мировых цен, что возможно при увеличении объемов добычи местного сырья и доработки его в условиях предприятий холдинга «Агромашсервис», существенно меняет ситуацию.

В данной связи разработаны формулы и определены предельные величины затрат на известкование почв различными мелиорантами и отпускные цены на них, обеспечивающие минимально обоснованную рентабельность дополнительных затрат 5 %. Предельная цена известкования 1 га для полного погашения кислотности с использованием трепела

составила 840,31 руб./га; предельная отпускная цена на него – 13,32 руб./т. Фактический выход на данный уровень отпускных цен на трепел при сохранении цен на доломитовую муку обеспечит эффективность производства продукции в диапазоне 8,2–24,8 %. Наиболее высокие показатели будут получены при при-

менении половинной дозы трепела, необходимой для нейтрализации кислотности (19,3 и 24,8 % в звене с люпином и без люпина), далее по убывающей доломитовой муки (12,4 и 15,3 % соответственно) и трепела в полной дозе (8,2 и 15,3 %).

Библиографический список

1. Рекомендации по ведению сельскохозяйственного производства в условиях радиоактивного загрязнения земель Республики Беларусь на 2012–2016 годы / Н. Н. Цыбулько [и др.] // Департамент по ликвидации последствий катастрофы на ЧАЭС, М-во с. х. и продовольствия Респ. Беларусь. – Минск, 2012. – 124 с.
2. Цицишвили, Г. В. Природные цеолиты / Г. В. Цицишвили [и др.]. – М. : Химия, 1985. – 223 с.
3. Инструкция о порядке известкования кислых почв сельскохозяйственных земель : утв. постановлением М-ва с. х. и продовольствия Респ. Беларусь, 13.10. 2008, № 77. – Минск : М-во с. х. и продовольствия Респ. Беларусь, 2008. – 14 с.
4. Агрономическая эффективность карбонатных трепелов месторождения «Стальное» / В. Ю. Агеев [и др.] // Природные ресурсы (Межведомственный бюллетень). – 2006. – № 4. – С. 32–41.
5. Влияние трепела на урожайность и радиологическое качество продукции сельскохозяйственных культур / С. С. Лазаревич [и др.] // Вестн. БГСХА. – 2011. – № 2. – С. 70–75.
6. Прудников, П. В. Использование агрономических руд и новых комплексных минеральных удобрений на радиоактивно загрязненных почвах / П. В. Прудников. – Брянск : Изд-во ГУП «Клинцовская городская типография». – 2012. – 296 с.
7. Мерзлова, О. А. Влияние цеолитсодержащего мелиоранта трепела на биологическую доступность радионуклидов растениям / О. А. Мерзлова, Т. П. Шапшеева, Т. Н. Агеева // Вестн. БГСХА. – 2018. – № 1. – С. 45–49.
8. ОАО «Доломит». Продукция [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.dolomit.by/ru/prices.html>. – Дата доступа: 19.11.2020.

Поступила 18 декабря 2020 г.

МИГРАЦИОННАЯ СПОСОБНОСТЬ ГЕРБИЦИДОВ ПОЧВЕННОГО ДЕЙСТВИЯ В ТОРФЯНЫХ ПОЧВАХ РАЗЛИЧНОЙ СТАДИИ ТРАНСФОРМАЦИИ

О. В. Пташец¹, кандидат сельскохозяйственных наук

Л. Н. Лученок¹, кандидат сельскохозяйственных наук

Л. В. Сижук¹, младший научный сотрудник

А. А. Рыбченко¹, младший научный сотрудник

П. М. Кислушко², кандидат биологических наук

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

²РУП «Институт защиты растений»,

д. Прилуки, Минский р-н, Минская обл., Беларусь

Аннотация

В модельных экспериментах проведено изучение и оценка миграционной способности гербицидов почвенного действия в торфяных почвах различной стадии трансформации. С-метолахлор незначительно мигрирует в слои ниже 2,5 см. К 110-м суткам определяемые количества гербицида были и вовсе незначительны. Кломазон характеризовался более высокой миграцией как по профилю (до 12,5 см через 40 суток), так и по верхним слоям. Основное его количество отмечено в слое 0–5 см. Таким образом, кломазон может подавлять рост сорной растительности из семян, расположенных в слое до 5 см.

Ключевые слова: гербициды, С-метолахлор, кломазон, миграция, торфяные почвы.

Abstract

O. V. Ptashats, L. N. Luchanok, L. V. Sizhuk, A. A. Rybchanka, P. M. Kislushko

MIGRATION CAPACITY OF SOIL-APPLIED HERBICIDES IN PEAT SOILS OF VARIOUS STAGES OF TRANSFORMATION

Migration capacity of soil-applied herbicides in peat soils of various stages of transformation was studied and assessed through the model experiment. S-metolachlor migrates marginally to layers below 2.5 cm. By day 110, the quantity of the herbicide determined was negligible. Clomazone was characterized by higher levels of migration both laterally (up to 12.5 cm deep in 40 days) and along the upper layers. Its main amount was noted in the 0–5 cm layer. Consequently, clomazone can inhibit the weeds growth from the seeds in a layer up to 5 cm.

Keywords: herbicides, C-metolachlor, clomazone, migration, peat soils.

Введение

В системе защиты посевов культурных растений, наряду с агротехническими мероприятиями, для применения рекомендован значительный ассортимент гербицидов. Для уничтожения сорняков в достаточно влажных климатических условиях Беларуси имеет смысл использовать гербициды почвенного действия, так как они применяются на самых ранних фазах развития культуры, имеют действие на многие двудольные и злаковые сорняки, их биологическая эффективность меньше зависит от температуры [1]. Почвенные гербициды могут применяться более длительный период – в течение осени или рано вес-

ной, возможны баковые смеси с гербицидами других групп. Это особенно важно при недостатке опрыскивателей [2].

Обычно гербициды вносят с водой путем опрыскивания вегетирующих растений или почвы. В первом случае на растения попадает только 5–30 % гербицида, в то время как 70–95 % ядохимиката поступают в почву. Во втором случае (при предпосевном или предвсходовом опрыскивании) все 100 % гербицида попадают в почву [3].

Одним из важных показателей поведения гербицидов в почве является оценка их миграции. Во-первых, это необходимо для пред-

ставления степени риска загрязнения гербицидами грунтовых вод, имеющих большое значение как источник хозяйственно-питьевого водоснабжения. Во-вторых, грунтовые воды могут быть подвержены загрязнению в результате миграции гербицидов с поверхности почвы через ее профиль вместе с фильтрующей дождевой водой, о чем свидетельствуют факты обнаружения данных веществ в колодцах и скважинах [4]. В-третьих, есть мера неопределенности в прогнозировании миграции гербицидов в почве, что связано не только с различием данных веществ по растворимости в воде, адсорбции почвой, но и с различием самих почв, например, по кислотности и гранулометрическому составу [5].

При соблюдении регламента применения современные гербициды в большинстве случаев не должны загрязнять почву и оказывать негативное действие на почвенные процессы и окружающую среду. Однако при внесении завышенных доз препаратов, длительном применении на одном и том же участке (особенно в случае использования гербицидов, устойчивых в окружающей среде), нарушении сроков и технологии внесения (неисправность опрыскивателя, перекрытие соседних полос при прохождении опрыскивателя и т. д.), в аварийных ситуациях может наблюдаться загрязнение почв гербицидами.

Передовые хозяйства, получающие высокие урожаи, применяют пестициды (в том числе гербициды) в значительных количествах, что может привести к загрязнению почв их остатками. С точки зрения сельского хозяйства особенно опасно загрязнение почвы остатками гербицидов, так как они, в отличие от инсектицидов и фунгицидов, обладают фитотоксичностью и могут значительно снизить урожай последующих культур севооборота.

Миграция химических веществ в почве осуществляется в основном за счет массопереноса в этой пористой среде. В естественных условиях вода фильтруется через почву в результате выпадения осадков или орошения и находящиеся в почве вещества перемещаются с водой. Если гербицид не достигает нужной зоны в почве (например, зоны расположения корней) вследствие слишком слабого или слишком сильного выщелачивания, то его применение окажется неэффективным. Кро-

ме того, легко выщелачивающиеся гербициды загрязняют как поверхностные, так и грунтовые воды, поэтому изучение подвижности гербицидов является необходимым условием при оценке его поведения в окружающей среде [3].

Результаты исследований, проведенных на песчано-глинистом суглинке, показали, что 43–45 % С-метолахлора накапливается в слое почвы 0–5 см [6]. Далее с увеличением глубины происходит уменьшение содержания остатков гербицида, причем ниже 10–17 см (в зависимости от дозы внесенного препарата) их обнаружено не было [6–10]. Остаточные количества препарата в почве во время уборки культур, как правило, не превышают значения ориентировочно допустимой концентрации, которая составляет 0,02 мг/кг [7, 8, 10]. Однако в ряде исследований указано, что С-метолахлор может мигрировать на большую глубину и вымываться в грунтовые воды [6, 9].

Помимо связывания с почвенными компонентами, детоксикация гербицидов в почве может достигаться за счет их разложения или потери вследствие улетучивания [6, 11]. С-метолахлор обладает умеренной летучестью, которая возрастает при температуре выше 25 °С, из-за этого возможны потери в результате испарения [3].

Установлено, что на черноземе малогумусном среднесуглинистом содержание остаточных количеств С-метолахлора через 40 дней снижается на 90 %, а в момент сбора урожая сельскохозяйственных культур содержание остаточных количеств гербицида в почве было ниже предела количественного определения аналитического метода [12].

Некоторыми исследователями отмечена миграция кломазона (нормы внесения 1,4 кг/га) на глубину до 10 см, который обнаруживали через 120 суток после внесения [13]. На лугово-глеевую почвах с pH = 5,7 (Приморский край) отмечена миграция (доза 0,72 л/га) на глубину 10–20 см [9].

Исходя из вышеизложенного целью наших исследований являлась оценка миграционной способности действующих веществ гербицидов почвенного действия (С-метолахлор и кломазон) в торфяных почвах различных стадий трансформации (по содержанию органического вещества (далее – ОВ).

Объекты и методы исследования

Для оценки миграционной способности гербицидов в торфяных почвах различных стадий трансформации без участия растений были проведены модельные эксперименты в колоннах высотой 200 мм, состоящие из колец по $25 \pm 0,05$ мм. Торфяная почва с содержанием ОВ: 10 ± 5 % (минеральные остаточно- и постторфяные почвы), 45 ± 5 % (торфяно-минеральные почвы) и 75 ± 5 % (агроторфяные). Для исследований взяты препараты, содержащие в своем составе исследуемые действующие вещества (далее – д. в.) в двух дозах: Дуал Голд, КЭ (д. в. С-метолахлор) – 1,6 л/га (1 тах) и 3,2 л/га (2 тах); Алгоритм, КЭ (д. в. кломазон) в дозе 0,2 л/га (максимально рекомендованная доза на рапсе, свекле) и 1 л/га (максимально рекомендованная доза на сое). Миграционную способность гербицидов определяли в почве в каждом кольце через 40 и 110 сутки после применения. Условия увлажнения смоделированы по результатам анализа погодных условий за вегетационный период в регионе Полесья.

Д. в. С-метолахлор относится к группе хлорацетамидов (производным аминокислот) (рис. 1). Время полураспада в почве (DT50) составляет 11–31 сут. (неустойчивый), DT90 – до 140 сут. [3, 14]. Хлорацетамиды относятся

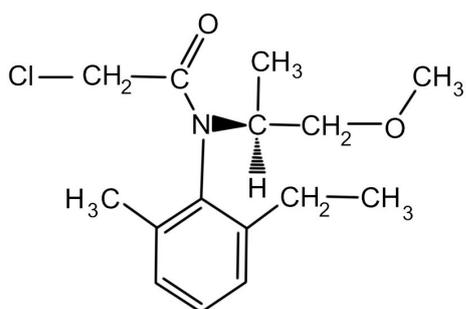


Рис. 1. Структурная формула д. в. С-метолахлор

Результаты исследований и их обсуждение

Детоксикация гербицидов в почве достигается при комплексном протекании трех процессов, а именно адсорбции, разложения и миграции. Преобладание того или иного процесса зависит от почвенно-климатических условий [3, 11].

Миграционная способность С-метолахлора по профилю торфяных почв незначительная: максимальная глубина, на которой он опреде-

к классу гербицидов-ингибиторов меристематического митоза (ингибиторов проростков) [3]. Механизм действия пестицидов класса хлорацетанилидов заключается в блокировке синтеза белка путем изменения активности аминокислот и блокировки синтеза липидов [6, 12].

Д. в. кломазон относится к группе изоксалидинонов (рис. 2). DT50 – 26,7–167,5 дней, в полевых условиях DT50 составляет: 16 дней в Испании, до 90 дней в Великобритании [15, 16]. DT50 кломазона в почве зависит от типа почв и климатических условий [3, 9, 13]; по механизму действия относится к ингибиторам синтеза пигментов; проникая в растение, прекращает синтез ди- и тетра-терпенов и, как следствие, угнетает выработку хлорофиллов и β-каротина. В результате нарушается фотосинтез, что приводит к отмиранию сорняков [3].

Количественное определение д. в. препаратов проводили по модифицированной авторами методике, предназначенной для экстракции д. в. из почв с высоким содержанием ОВ, с помощью газо-жидкостной хроматографии. Методы адаптированы для анализа с учетом фактического содержания ОВ в образцах [17, 18].

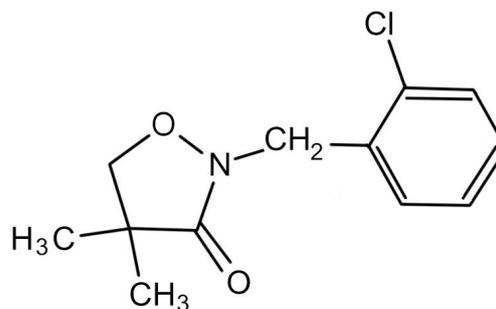


Рис. 2. Структурная формула д. в. кломазон

лялся, составляла 7,5 см при применении 2 тах дозы (рис. 3).

В целом по всему профилю количество свободного С-метолахлора снизилось к 40 суткам и определялось в почвах с содержанием ОВ 10, 37 и 75 % соответственно:

при внесении 1 тах дозы – 14,3 %, 6,1 и 3,1 % (в 1,6–2,0 раза) от стартовой концентрации 5,608 мг/кг, 12,178 и 18,522 мг/кг почвы соответственно;

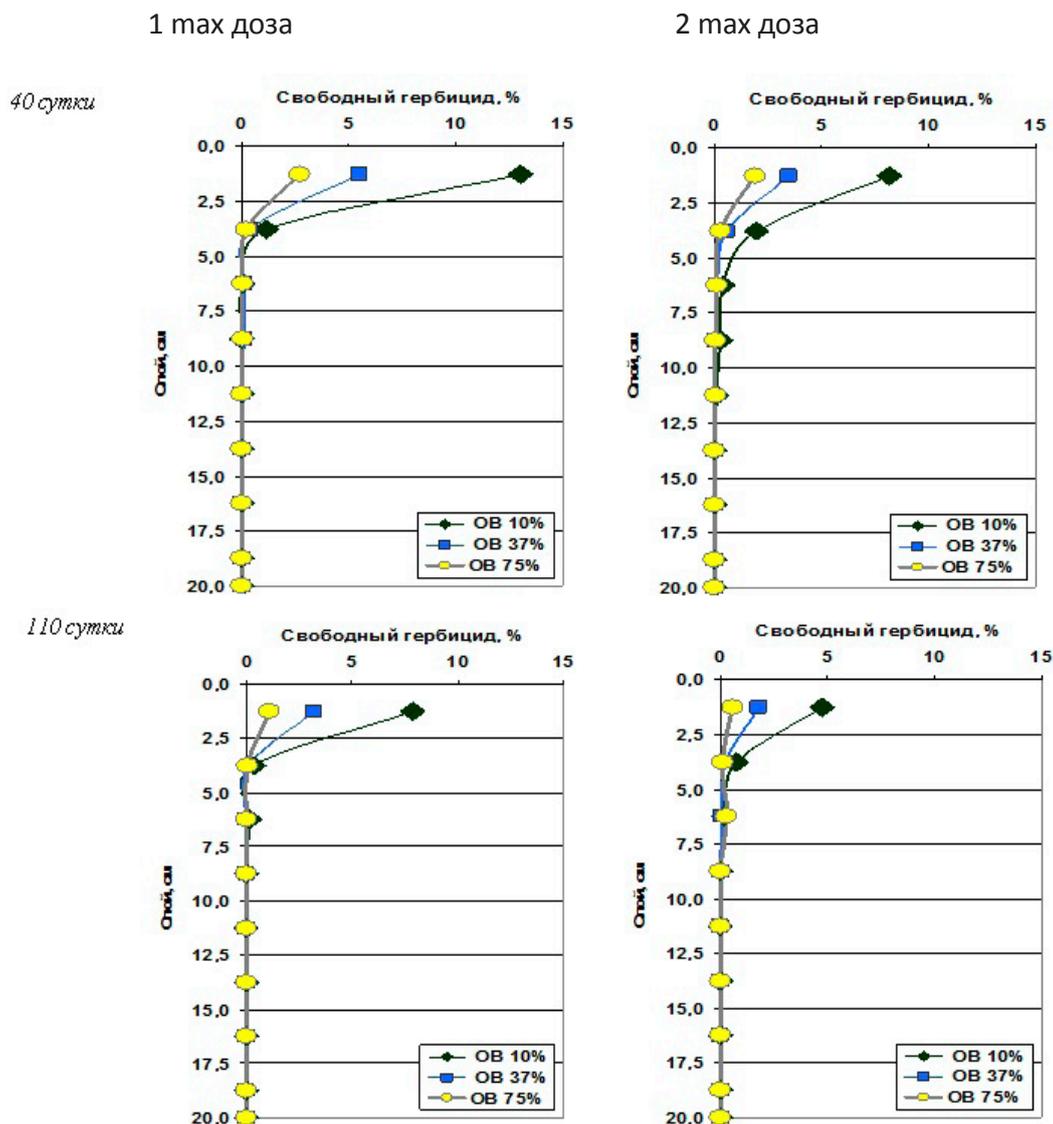


Рис. 3. Миграция д. в. С-метолахлор (препарат Дуал Голд, КЭ) по почвенному профилю через 40 и 110 суток после внесения

при 2 тах дозе – 10,9 %, 4,3 и 2,3 % (2,8–3,2 раза) от стартовой концентрации 11,204 мг/кг, 24,356 и 37,917 мг/кг почвы соответственно.

На 110 сутки концентрация С-метолахлора в почве снизилась в 1,7–4,0 раза в зависимости от содержания ОВ и глубины слоя. Установлено, что в слое 0–2,5 см при внесении 1 тах дозы с содержанием ОВ 10 % – 0,440 мг/кг, ОВ 37 % – 0,385 мг/кг, ОВ 75 % – 0,200 мг/кг и при внесении 2 тах его дозы – 0,533 мг/кг, 0,430 мг/кг, 0,214 мг/кг соответственно. На глубине 2,5–5,0 см с содержанием ОВ 10 % – 0,0182 мг/кг, ОВ 37 % – 0,0127 мг/кг, ОВ 75 % – 0,0112 мг/кг и при внесении 2 тах его дозы – 0,0856 мг/кг, 0,0622 мг/кг, 0,052 мг/кг

соответственно. На глубине 5,0–7,5 см незначительные количества д. в. определялись в почве с содержанием ОВ 10 % – 0,0101 мг/кг и при внесении 2 тах его дозы – 0,0184 мг/кг, а при ОВ 37 % и 75 % следы д. в. были обнаружены только при внесении препарата в 2 тах дозе и составили 0,0151 мг/кг и 0,0102 мг/кг.

Для кломазона характерен более высокий уровень миграции по профилю, он проникает на глубину до 10–12,5 см вне зависимости от содержания ОВ в почве. При дозе 0,2 л/га кломазон проникает в слои до 10,0 см на почвах с содержанием ОВ 37 и 75 %, на почвах с ОВ 10 % – до 12,5 см включительно. Увеличение дозы гербицида до 1,0 л/га влечет его проник-

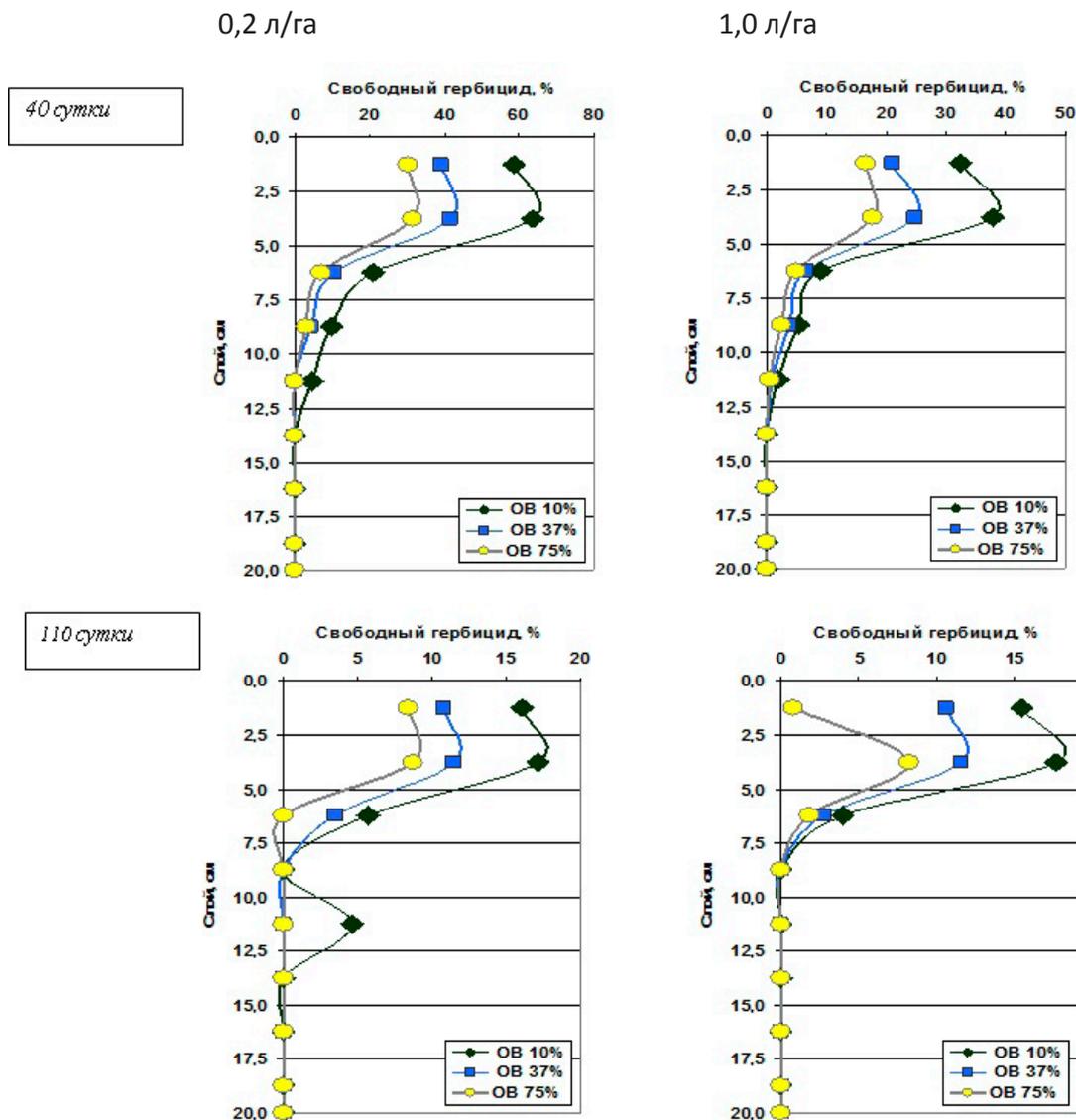


Рис. 4. Миграция д. в. кломазон (препарат Алгоритм, КЭ) по почвенному профилю через 40 и 110 суток после внесения

новение на глубину до 12,5 см вне зависимости от содержания ОВ в почве. Самая высокая концентрация кломазона отмечена в слоях 0–2,5 и 2,5–5,0 см (рис. 4).

На 40 сутки при дозе 0,2 л/га суммарно по профилю концентрация кломазона составила 0,298, 0,437 и 0,406 мг/кг для почв 10, 37 и 75 % ОВ соответственно. На 110-е сутки при этой же дозе внесения суммарное количество действующего вещества находилось в значениях 0,139, 0,117 и 0,096 мг/кг от стартовой дозы для почв с содержанием ОВ 10, 37 и 75 %.

При дозе 1,0 л/га на 40 сутки суммарно по профилю концентрация кломазона составила 1,548, 1,317 и 1,204 мг/кг от стартовой

дозы для почв 10, 37 и 75 % ОВ соответственно. На 110-е сутки, как и в случае с внесением 0,2 л/га, наблюдалось снижение содержания действующего вещества гербицида: 0,715, 0,568 и 0,308 мг/кг соответственно для почв с содержанием ОВ 10, 37 и 75 %.

Установлено, что основная концентрация свободного гербицида сосредоточена в слоях на глубине 0–5,0 см. На 40-е и 110-е сутки гербицид в этих слоях распространяется достаточно равномерно, его содержание при дозе 0,2 л/га составляет 79,9–85,8 и 85,4–100 % от суммарной остаточной дозы, а при дозе 1,0 л/га – 80–81 и 82,5–88,8 % соответственно.

Заключение

Миграция гербицида в почву перераспределяет действующее вещество по почвенному профилю, снижая гербицидную нагрузку в верхнем слое 0–2,5 см. Закономерность отмечена на всех почвенных разновидностях.

К 110-м суткам определяемые количества С-метолахлора были незначительными, остаточные количества отмечены только на сильноминерализованных почвах и при внесении гербицида в 2 тах дозах вне зависимости от содержания ОВ в слое 5,0–7,5 см.

Кломазон характеризовался более высокой миграцией как по профилю, так и по верхним слоям 0–2,5 и 2,5–5,0 см. Через 40 суток в почвах с содержанием ОВ 10 %, независимо от дозы гербицида, миграция идет на глубину до 12,5 см. Через 110 суток остаточные количества кломазона определялись в слоях

до 7,5 см вне зависимости от содержания ОВ и дозы гербицида. Только в почве с ОВ 10 % при внесении в дозе 0,2 л/га миграция была до 12,5 см. Основное количество кломазона отмечено в слое 0–5 см.

Таким образом, основное фитотоксическое действие исследуемых гербицидов будет наблюдаться в верхних слоях почвы, что позволит подавить рост и развитие сорной растительности на первоначальных этапах прорастания сельскохозяйственных культур. С течением времени концентрация вносимых гербицидов значительно снижается, что позволит при их рациональном использовании снизить риск загрязнения почв, а миграция гербицида только по верхнему профилю – избежать загрязнения грунтовых вод.

Библиографический список

1. Сорока, С. В. Эффективность баковых смесей гербицидов почвенного действия с гербицидами других групп в посевах озимых зерновых культур : автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук : 06.01.07 / С. В. Сорока. – Жодино, 2020. – 43 с.
2. Сорока, С. В. Как решить проблему метлицы и ромашки в посевах озимых зерновых культур / С. В. Сорока // Земляробства і ахова рослін. – 2005. – № 5 (42). – С. 25–28.
3. Куликова, Н. А. Гербициды и экологические аспекты их применения : учеб. пособие / Н. А. Куликова, Г. Ф. Лебедева. – М. : Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2010. – С. 152.
4. Гольдберг, В. М. Гидрогеологические основы охраны подземных вод от загрязнения / В. М. Гольдберг, С. Газда. – М. : Недра, 1984. – 262 с.
5. Галиулин, Р. В. Миграция гербицида 2,4-Д в почве под влиянием дождя / Р. В. Галиулин, Р. А. Галиулина, Р. Р. Хоробрых // Вода: химия и экология. – 2013. – № 12 (65). – С. 101–103.
6. Janaki, P. Dynamics of metolachlor in sandy clay loam soil and its residues in maize and soybean / P. Janaki, S. Meena, C. Chinnusamy // Trends in Biosciences. – 2015. – № 8 (1). – P. 133–137.
7. Горина, И. Н. Деградация гербицидов почвенного действия в посевах подсолнечника / И. Н. Горина, Л. М. Паталаха // Защита и карантин растений. – 2013. – № 6. – С. 21–22.
8. Паталаха, Л. М. Динамика остаточных количеств гербицидов в посевах подсолнечника / Л. М. Паталаха // Защита и карантин растений. – 2007. – № 12. – С. 39.
9. Сметник, А. А. Прогнозирование миграции пестицидов в почве : автореф. дис. ... д-ра биол. наук : 06.01.11 ; 03.00.27 / А. А. Сметник ; МГУ имени М. В. Ломоносова. – М., 2000. – 52 с.
10. Умбетаев, И. Остаточные количества гербицидов в светло-серозёмной почве юга Казахстана / И. Умбетаев, А. Костаков // Наука и Мир. – 2014. – Т. 1. – № 2 (6). – С. 214–216.
11. Анисимова, М. А. Детоксицирующая способность почв и выделенных из них гуминовых кислот по отношению к гербицидам : дис. ... канд. биол. наук : 03.00.27 / М. А. Анисимова. – Минск, 1997. – Л. 6–40.
12. Оцінка екологічної небезпеки гербіцидів класу хлорацетанілідів / В. Г. Бардов [та ін.] // Науч. вестн. Нац. мед. ун-та имени А. А. Богомольца. – 2012. – № 1. – С. 39–44.

13. Van Scoy-DaSilva, A. R. Environmental Fate and Toxicology of Clomazone / A .R. Van Scoy-DaSilva, R. S. Tjeerdema // *Reviews of Environmental Contamination and Toxicolog.* – 2014. – Vol. 229. – P. 35–39. DOI: 10.1007/978-3-319-03777-6_3.
14. Пестициды, окружающая среда и регулирование [Электронный ресурс] // RuPest.ru. – Режим доступа : <http://ruepest.ru/ppdb/s-metolachlor.html>. – Дата доступа : 22.01.2021.
15. Кломазон [Электронный ресурс] // RuPest.ru. – Режим доступа : <http://ruepest.ru/ppdb/clomazone.html>. – Дата доступа : 21.01.2021.
16. Привалова, А. В. Гербициды на основе С-метолахлора в посевах кукурузы / А. В. Привалова // *Идеи молодых ученых – агропромышленному комплексу: агроинженерные и сельскохозяйственные науки: материалы студен. науч. конф. ин-та агроинженерии, ин-та агроэкологии* / под ред. проф., д-ра с.-х. наук М. Ф. Юдина. – Челябинск : ФГБОУ ВО Южно-Уральский ГАУ, 2019. – С. 231–236.
17. Кислушко, П. М. Определение остаточных количеств имазамокса в растениях гороха, почве и воде методом газожидкостной хроматографии / П. М. Кислушко, С. А. Арашкович // *Защита растений : сб. науч. тр. / РУП «Ин-т защиты растений».* – Минск, 2017. – Вып. 41. – С. 287–295.
18. Кислушко, П. М. Определение остаточных количеств С-метолахлора в растительном материале, почве и воде методом газожидкостной хроматографии / П. М. Кислушко, С. А. Арашкович // *Защита растений : сб. науч. тр. / РУП «Ин-т защиты растений».* – Минск : Колорград, 2019. – Вып. 43. – С. 310–317.

Поступила 1 февраля 2021 г.

НАШИ ЮБИЛЯРЫ



ЭДУАРД ИВАНОВИЧ МИХНЕВИЧ (к 80-летию)

Эдуард Иванович Михневич – известный ученый в области водного хозяйства, гидрологии, русловых процессов и водоснабжения. Родился 21 января 1941 г. в дер. Черкесы Ивьевского р-на Гродненской обл. В 1962 г. окончил Белорусский политехнический институт (гидротехнический факультет) и получил специальность инженера-гидротехника. С 1962 г. по 1976 г. работал в БелНИИ мелиорации и водного хозяйства младшим, затем старшим научным сотрудником, в 1976–1992 гг. – заведующим лабораторией русловых процессов и регулирования водоприемников и заведующим отделом гидротехники. В 1970–1971 гг. прошел научную стажировку во Франции (университет Гренобля). С 1993 г. – профессор кафедры «Водоснабжение и водоотведение» БНТУ, с 1994 г. по 2011 г. – заведующий кафедрой, с 2011 г. – профессор этой кафедры.

Кандидат технических наук (1967), доктор технических наук (1990), профессор (1993), академик Международной инженерной академии (1995).

Помимо преподавательской работы, Эдуард Иванович активно ведет научные исследования; в 2005–2020 гг. – научный руководитель ряда заданий государственных научно-технических программ и государственных программ научных исследований, с 2021 г. – научный руководитель заданий ГПНИ «Цифровые и космические технологии, безопасность общества и государства» и «Сельскохозяйственные технологии и продовольственная безопасность».

Автор более 180 работ, опубликованных в отечественных и зарубежных изданиях, в том числе 3 монографий, более 15 пособий, рекомендаций, методических указаний по вопросам регулирования, восстановления и расчета устойчивости русел рек и каналов, конструкций и способов их креплений, разработок в области гидроэкологии, направленных на улучшение водного режима и экологического состояния рек, озер и водохранилищ.

Э. И. Михневич руководит подготовкой докторантов, аспирантов и магистрантов. Он подготовил 6 докторов, 3 кандидатов и 27 магистров технических наук.

Эдуард Иванович деятельно участвует в работе многих общественных научных организаций: член совета по защите диссертаций в БНТУ (в 1997–2000 гг. – председатель совета), член экспертного совета ГКНТ «Природопользование и экология», член редколлегий четырех научно-технических журналов: «Наука и техника», «Мелиорация», «Природопользование», «Вестник БрГТУ», член Межвузовского научно-координационного совета при МГУ имени Ломоносова. Он принимал активное участие во многих международных конференциях и форумах, в том числе руководил международными проектами по разработке концептуальных подходов к управлению и улучшению качества вод в Днепре на территории Республики Беларусь (2000–2002 гг.) и проектом PRESTO по улучшению экологического состояния бассейна Балтийского моря (2011–2014 гг.).

Награжден Знаком «Отличник Министерства образования Республики Беларусь» (2011), золотой медалью Международной инженерной академии (1997) «За заслуги в развитии науки и техники», Почетными грамотами Министерства жилищно-коммунального хозяйства (2001, 2005, 2011), Почетными грамотами Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды (2005, 2011), Почетной грамотой Высшей аттестационной комиссии Республики Беларусь (2018), Почетными грамотами БНТУ (2011, 2016, 2021), Почетной грамотой ГКНТ. Стипендиат Президента Республики Беларусь по итогам конкурса среди деятелей науки (2002).

Эдуард Иванович Михневич во все годы своей трудовой деятельности проявил себя как требовательный, принципиальный руководитель, высокопрофессиональный педагог, чуткий и отзывчивый товарищ, честный и порядочный человек. Желаем Эдуарду Ивановичу крепкого здоровья, профессиональной активности и долгих лет творческой жизни.



**ГАЛИНА ВЛАДИМИРОВНА
ХМЕЛЕВСКАЯ
(к 80-летию)**

Галина Владимировна Хмелевская родилась 12 февраля 1941 г. в Москве.

В 1962 г. с красным дипломом окончила факультет гидротехнического строительства Московского инженерно-строительного института имени В. В. Куйбышева. В годы учебы в МИСИ проявила склонность к научно-исследовательской деятельности, поэтому по окончании вуза была направлена на работу во Всесоюзный научно-исследовательский институт «Водгео» (Москва). На протяжении 1962–1976 гг. работала в лаборатории гидротехнического строительства ВНИИ «Водгео».

В 1974 г. защитила диссертацию на соискание степени кандидата технических наук на тему «Фильтрационная прочность грунтов в плотинах из местных материалов».

В 1976 г. переехала в Минск и стала работать в Белорусском НИИ мелиорации и водного хозяйства (сейчас – РУП «Институт мелиорации»). С 1976 г. по 2012 г. прошла все ступени профессионального роста: от младшего и старшего научного сотрудника до заведующей лабораторией гидротехнических сооружений. Все эти годы являлась членом ученого совета института.

Хмелевская Галина Владимировна – автор более 60 научных публикаций, в том числе одной монографии и патента на изобретение. В процессе работы выросла в крупного специалиста в области исследований и разработки новых гидротехнических сооружений и методик их расчета. До настоящего времени консультирует по этой тематике сотрудников института.

Награждена Почетной грамотой института и многими благодарностями.

Коллектив РУП «Институт мелиорации» желает Галине Владимировне крепкого здоровья и творческого долголетия.

• ЧТОБЫ ПОМНИЛИ •



ЛЮДМИЛА НИКОЛАЕВНА ЛУЧЕНОК (к 50-летию)

Людмила Николаевна Лученок – известный ученый в области сельскохозяйственного использования торфяных почв, земледелия, растениеводства, биохимии растений и почв. Она родилась в Минске 26 февраля 1971 г., в 1995 г. окончила Белорусский государственный университет по специальности «Биология».

Во время учебы в университете Людмила Николаевна проявила свои исследовательские качества, поэтому по окончании университета была направлена на работу в Институт почвоведения и агрохимии НАН Беларуси, где трудилась в лаборатории микробиологии, биохимии и детоксикации почв. Без отрыва от производства окончила аспирантуру института по специальности «Агрохимия», в 2003 г. успешно защитила диссертацию на соискание ученой степени кандидата сельскохозяйственных наук. Молодого ученого увлекла проблема повышения плодородия торфяных почв, находящихся в сельскохозяйственном пользовании, поэтому в 2004 г. в связи с формированием нового направления исследований перешла на работу в Институт мелиорации и луговодства, а в 2008 г. возглавила одно из его важнейших структурных подразделений – лабораторию использования торфяных комплексов.

Проведенные Л. Н. Лученок и под ее руководством исследования охватывают широкий спектр вопросов повышения продуктивности осушенных торфяных почв, разработки новых высокопродуктивных, ресурсосберегающих и экологически безопасных технологий и систем кормопроизводства, основанных на адаптации видового состава кормовых культур к почвенно-гидрологическим условиям полей, рациональном их сочетании и отработке режимов использования в севооборотах, современных приемах интенсификации возделывания с учетом требований адаптивного земледелия, динамики гидрологических параметров мелиоративной системы. Важное место в исследованиях Л. Н. Лученок занимают вопросы сохранения плодородия торфяных почв посредством разработки приемов агротехники возделывания сельскохозяйственных культур, прежде всего многолетних бобовых трав.

Л. Н. Лученок в многолетних опытах показала высокий потенциал продуктивности осушенных торфяных почв при их трансформации в процессе сельскохозяйственного использования, доказала возможность и эффективность возделывания ценных культур, считавшихся ранее непригодными для этих почв.

Ею опубликовано 119 научных работ в отечественных и зарубежных журналах, научных сборниках, разработаны отраслевые рекомендации и регламенты, получено 4 патента на изобретение.

В 2017 г. Людмила Николаевна поступила в докторантуру Научно-практического центра НАН Беларуси по земледелию и в течение 4 лет активно работала без отрыва от производства над подготовкой докторской диссертации на тему «Оптимизация приемов повышения производительной способности трансформированных в процессе сельскохозяйственного использования торфяных почв Беларуси». В 2021 г. она должна была закончить докторантуру и выйти на защиту докторской диссертации. К этому она была очень близка.

Л. Н. Лученок отличали высокая квалификация как научного работника, ответственность, дисциплинированность и требовательность как к себе, так и к подчиненным, способность ставить научные задачи и мотивировать сотрудников к их выполнению, что обеспечивало сплоченность коллектива и высокую научную результативность лаборатории.

Исследовательскую работу Л. Н. Лученок успешно сочетала с подготовкой научных кадров. Под ее руководством были подготовлены и успешно защищены 2 диссертации на соискание ученой степени кандидата сельскохозяйственных наук, и до последнего дня она руководила соискателями.

Коллеги высоко ценили Людмилу Николаевну за широкий кругозор, знания, деловые качества, энергию, умение добиваться поставленных целей, а также за внимательное отношение к коллегам, отзывчивость и готовность всегда прийти им на помощь.

До своего полувекового юбилея Людмила Николаевна Лученок не дожила два месяца. Память о ней навсегда останется в сердцах всех, кто знал ее и работал с ней.



ВЛАДИМИР ИВАНОВИЧ БЕЛКОВСКИЙ (к 90-летию)

Владимир Иванович Белковский родился 4 февраля 1931 г. в дер. Некрашево Сенненского р-на Витебской обл.

В 1950 г. окончил Смольянский сельскохозяйственный техникум, в 1955 г. – агрономический факультет Белорусской сельскохозяйственной академии. В 1955–1957 гг. работал старшим преподавателем Смольянского сельскохозяйственного техникума. В 1957 г. поступил в аспирантуру Белорусского НИИ земледелия, где прошел хорошую школу под руководством члена-корреспондента АН БССР П. Е. Прокопова. По окончании аспирантуры в 1960–1961 гг. – старший научный сотрудник БелНИИ земледелия. В 1964 г. защитил кандидатскую, в 1993 г. – докторскую диссертацию на тему «Повышение плодородия и основные направления сельскохозяйственного использования торфяных почв».

С 1961 г. по 1968 г. Владимир Иванович работал в Министерстве сельского хозяйства БССР, где трудился главным агрономом, начальником отдела земледелия, затем – отдела сельскохозяйственной пропаганды Главного управления науки и пропаганды.

С 1968 г. в течение 20 лет работал заместителем директора по науке Белорусского НИИ мелиорации и водного хозяйства; в 1987–2003 гг. ведущим, позднее – главным научным сотрудником. Именно здесь, во время активного мелиоративного строительства, когда в сельскохозяйственный оборот ежегодно включались обширные площади обновленных земель, в полной мере раскрылись способности В. И. Белковского как экспериментатора и организатора научных исследований.

Владимир Иванович внес большой вклад в разработку концепции антропогенной эволюции торфяных почв после их осушения; изучил эколого-экономические последствия массового нарушения болотных экосистем Белорусского Полесья; разработал технологию обогащения малозольных торфяных почв веществами минерального происхождения, технологию и средства механизации по трансформации сработанных торфяников в экологически устойчивые техногенные почвы, технологию создания и рационального использования высокопродуктивных лугов длительного пользования на торфяных почвах, технологию рационального использования торфяных почв в системе почвозащитных зерно-травяных севооборотов, технологию повышения и сельскохозяйственного использования антропогенных почв, формирующихся на месте сработанных торфяников. Тем самым Белковскому принадлежит приоритет в целом ряде направлений земледельческой науки: в частности, технологий структурной мелиорации, глубокой мелиоративной вспашки, почвозащитных севооборотов и т. д.

Под руководством В. И. Белковского были заложены фундаментальные опыты по изучению эффективности различных севооборотов, промежуточных культур, минеральных удобрений.

Он опубликовал более 230 научных работ. В их числе – целый ряд монографий (только их перечисление вызывает уважение): «Пути трансформации маломощных торфяников в почвы с минеральным пахотным слоем методом глубокой вспашки», «Структурная мелиорация мелкозалежных торфяников», «Улучшение свойств торфяных почв», «Повышение плодородия и рациональное использование торфяных почв» (в соавторстве с В. П. Зоткиным), «Плодородие и использование торфяных почв» (в соавторстве с В. М. Горошко), «Использование и охрана торфяных комплексов в Беларуси и Польше» (в соавторстве с А. П. Лихацевичем, А. С. Мееровским, С. Юрчук, Я. Островски), «Мелиорация обновляет землю» (в соавторстве с И. А. Шибек), «Структурная мелиорация почв» (в соавторстве с В. С. Казаковым), «Беречь и умножать плодородие торфяников» (в соавторстве со С. Г. Скоропановым, В. С. Брезгуновым).

Научная судьба Владимира Ивановича Белковского была счастливой: большую часть сознательной жизни он занимался любимым делом, решал важные задачи и преуспел в этом.

Награжден орденом «Знак Почета», медалями «За трудовую доблесть», «За доблестный труд. В ознаменование 100-летия со дня рождения В. И. Ленина», «Ветеран труда». В 2003 г. за цикл работ по сохранению торфяных почв удостоен Премии Национальной академии наук Беларуси (посмертно). Избран академиком Международной академии экологии.

Ученики и последователи В. И. Белковского бережно хранят память об этом талантливом ученом, простом и обаятельном человеке.



АЛЕКСАНДР НАУМОВИЧ КОРЖЕНЕВСКИЙ (к 90-летию)

А. Н. Корженевский родился 28 февраля 1931 г. в дер. Сенно Новогрудского р-на Гродненской обл. С отличием окончил в 1955 г. Белорусскую сельскохозяйственную академию (гидромелиоративный факультет) и получил специальность инженера-гидротехника. Как студент, проявивший склонность к точным наукам, высокую работоспособность и упорство в освоении новых знаний, был направлен по распределению преподавателем в Пинский гидромелиоративный техникум (1955–1956). Перспективного специалиста заметили в Министерстве мелиорации БССР, куда он был приглашен на должность инженера управления эксплуатации Министерства мелиорации БССР (1956–1957). Однако там Александр Наумович долго не задержался: руководство оценило его организаторские способности, и в 1957 г. он становится главным инженером Оресской машинно-мелиоративной станции, далее – Любанской ремонтно-технической мелиоративной станции, начальником Любанского строительно-монтажного управления Минской обл. (1957–1962).

Выдающиеся результаты практической работы Александра Наумовича были высоко оценены руководством мелиоративной отрасли республики. В 1962 г. Корженевский становится начальником Управления эксплуатации мелиоративных систем и кадастра, членом коллегии Министерства мелиорации и водного хозяйства БССР (1962–1978). Работая в Министерстве, Александр Наумович постоянно повышал свой профессиональный уровень, успешно постигал высоты практической и научно-исследовательской работы. Результатом его многолетнего производственного и исследовательского труда стала успешная защита диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук в 1973 г.

Накопив достаточный багаж производственного и творческого опыта, Александр Наумович Корженевский решил использовать его в научно-исследовательской работе. Не без труда он перешел из Министерства мелиорации и водного хозяйства БССР на работу в Белорусский научно-исследовательский институт мелиорации и водного хозяйства, в котором в течение 15 лет заведовал лабораторией эксплуатации осушительных и осушительно-увлажнительных систем (1978–1993).

А. Н. Корженевский – автор более 50 научных работ в области эксплуатации и ремонта гидромелиоративных систем, в том числе трех нормативных документов. Принимал активное участие в общественной жизни (член ученого совета института, группы народного контроля, заместитель председателя совета трудового коллектива института).

За высокие достижения в практической и научно-исследовательской работе награжден орденами Трудового Красного Знамени и «Знак Почета», медалями «За трудовое отличие» и «За доблестный труд. В ознаменование 100-летия со дня рождения В. И. Ленина», медалями и дипломами ВДНХ СССР, медалью «Ветеран труда».



НИКОЛАЙ ФРОЛОВИЧ БАШЛАКОВ (к 85-летию)

Н. Ф. Башлаков родился 11 марта 1936 г. в г. Добруше Гомельской обл. В 1963 г. он окончил Белорусскую сельскохозяйственную академию (агрономический факультет) по специализации «Селекция и семеноводство». Как студент, проявивший интерес к проведению научных исследований, по окончании вуза был направлен по распределению на Минскую сельскохозяйственную опытную станцию, где работал младшим научным сотрудником, а затем переводом – старшим научным сотрудником Центрального научно-исследовательского института механизации сельского хозяйства Нечерноземной зоны СССР (1963–1965).

Однако Николая Фроловича как агронома больше привлекала научно-исследовательская работа в поле, поэтому он по согласованию с руководством Западного отделения ВАСХНИЛ в 1965 г. переходит на работу в Белорусский научно-исследовательский институт мелиорации и водного хозяйства. Здесь он работал сначала младшим (1965–1975), затем старшим (1975–1988), а с 1988 по 1990 гг. – ведущим научным сотрудником. В 1990 г. он становится заведующим лабораторией сенокосов и пастбищ института, проработав на этой должности до 2003 г. В период 2003–2005 гг. был ведущим научным сотрудником лаборатории.

Кандидат сельскохозяйственных наук (1971). Опубликовал 80 научных работ, в том числе 4 книги и практическое руководство. Сорок лет трудовой деятельности Николая Фроловича Башлакова посвящены разработке приемов повышения продуктивности луговых угодий и внедрению их в производство. Основные направления его научных исследований – организация кормовой базы на мелиорированных землях, создание и интенсивное использование луговых травостоев, культурных пастбищ и их эксплуатация.

Под его руководством и при его непосредственном участии разработаны принципы создания пастбищного конвейера, которые изложены в практическом руководстве «Пастбища Беларуси: создание и эксплуатация». Он автор технологии переменного использования сеяных злаковых травостоев в системе сенокосооборотов на осушенных низинных лугах, позволяющей обеспечить высокую продуктивность злаковых травостоев в течение 10–12 лет; технологии создания и использования пастбищ на торфяных почвах Полесья с устойчивой урожайностью трав на протяжении 10–15 лет.

Награжден медалью «Ветеран труда», Почетными грамотами Минсельхозпрода Республики Беларусь, Минского горкома профсоюзов работников агропромышленного комплекса, Грамотой Президиума Академии аграрных наук, Почетными грамотами БелНИИМиЛ и др.



НИКОЛАЙ ВЯЧЕСЛАВОВИЧ ОКУЛИК (к 80-летию)

Николай Вячеславович родился 22 января 1941 года в дер. Гинцевичи Барановичского р-на Брестской обл.

Служил в рядах Советской Армии (1961–1964). В 1969 г. окончил факультет агрохимии и почвоведения Белорусской сельскохозяйственной академии и получил специальность агрохимика.

В 1969–1970 гг. Николай Вячеславович работал инженером, старшим инженером-почвоведом института «Союзгипромелиоводхоз» (г. Пинск), в 1971–1973 гг. учился в аспирантуре БелНИИ мелиорации и водного хозяйства. В 1973–1975 гг. работал старшим научным сотрудником, заведующим лабораторией агрохимии Полесской опытно-мелиоративной станции БелНИИМВХ. В 1976–1988 гг. – заведующим Пружанской гидролого-гидрогеологической мелиоративной лабораторией БелНИИМВХ, затем старшим научным сотрудником, заведующим лабораторией сельскохозяйственного использования и эволюции торфяных почв БелНИИМВХ (1988–1992).

За годы работы Н. В. Окулик проявил себя исключительно организованным, трудолюбивым научным работником, скрупулезно осуществлявшим агрономические и мелиоративные исследования на осушенных торфяных почвах. Результатом его многолетних исследований явилась диссертация по теме «Влияние осушения и сельскохозяйственного использования на плодородие мелкозалежных торфяников Белорусского Полесья» и получение ученой степени кандидата сельскохозяйственных наук.

Николай Вячеславович – автор 3 монографий и более 20 научных работ по изучению влияния гидротехнических мероприятий на водный режим, микроклимат и плодородие почв в условиях северо-запада Белорусского Полесья.

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 предоставления рукописей статей**, представленном на сайте РУП «Институт мелиорации». Режим доступа: <https://niimel.by>, «журнал «Мелиорация».

3. Статья должна быть написана на русском языке и включать блок информации на английском языке.

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, библиографию.

5. Представляемые материалы должны включать следующие элементы: индекс по Универсальной десятичной классификации (УДК); ключевые слова на русском и английском языках; аннотацию на русском и английском языках (500 знаков); введение; основную часть, включающую графики и рисунки; заключение, завершаемое четко сформулированными выводами; список цитированных источников, согласно Постановлению ВАК Беларуси от 28.02.2014 № 3 (гл. 5. Структура и оформление научных публикаций по теме диссертации).

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

7. Основная часть статьи должна содержать описание методики, объектов исследования и подробно освещать содержание исследований, проведенных автором (авторами). Полученные результаты должны быть обсуждены с точки зрения их научной новизны и сопоставлены с соответствующими известными данными.

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 25.06.2014 № 159, располагается в конце текста, источники нумеруются согласно порядку цитирования в тексте и заключаются в квадратные скобки (например: [1], [2]). Обязательно указывается общее количество страниц в книге или номера страниц от начала до окончания статьи. 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 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 читатели!

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

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

Адрес электронной почты: info@niimel.by.