

ISSN 2070–4828

МЕЛИОРАЦИЯ

Научный журнал

№ 1 (107)

Основан в 1951 году
Выходит 4 раза в год

Январь – март 2024



Минск
2024

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

УЧРЕДИТЕЛЬ ЖУРНАЛА:

Республиканское научное дочернее унитарное предприятие «Институт мелиорации»

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР:

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

РЕДКОЛЛЕГИЯ:

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

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

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

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

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

Редакция не несет ответственности за возможные неточности по вине авторов.

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

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

Подписные индексы: **74856** — для индивидуальных подписчиков, цена – 20,90 руб.;

748562 — для предприятий и организаций, цена – 24,50 руб.

Подписку можно оформить во всех отделениях связи.

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

Компьютерная верстка **И. В. Скуратович**

Подписано к печати 14.03.2024 г. Формат 60 x 84 1/8.
Уч.-изд. л. 7,62. Усл. печ. л. 10,23. Заказ 97. Тираж 50 экз.

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

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

Содержание

Contents

Мелиорация

Land improvement

В. М. Макоед, А. И. Митрахович

Исследование эффективности работы водопоглощающих устройств с дренажными геокомпозитами на слабоводопроницаемых почвах

5

V. M. Makoeed, A. I. Mitrakhovich

Performance study water-absorbing devices with drainage geocomposites on low-water permeable soils of reclamation systems

А. П. Лихацевич, Г. В. Латушкина, А. В. Малышко, С. В. Набздоров

Требования к математической модели урожайности сельскохозяйственных культур

16

A. P. Likhatshevich, G. V. Latushkina, A. V. Malyshko, S. V. Nabzdorov

Limitations in mathematical modeling of agricultural crops yield

А. В. Вавилов, А. А. Малиновский, В. В. Голубев, Г. В. Домаш, А. Е. Кабанов, С. М. Костюк

Одноковшовый экскаватор для мелиоративного строительства

27

A. V. Vavilau, A. A. Malinovsky, V. V. Golubev, G. V. Domash, A. E. Kabanau, S. M. Kostsiuk

Single bucket excavator for reclamation construction

Э. И. Михневич, Ли Цзэмин

Режим наносов в р. Хуанхэ и их аккумуляция в водохранилищах

34

E. I. Mikhnevich, Li Zemin

Sediment regime in the Yellow River and its accumulation in reservoirs

М. Г. Мустафаев, С. А. Кочарли, Ч. Г. Гюлалыев, Ф. М. Мустафаев, Ф. Н. Алиева

Агрофизическая характеристика почв Карабахской равнины Азербайджана

43

M. G. Mustafayev, S. A. Kocharli, Ch. G. Gyulalyev, F. M. Mustafayev, F. N. Alieva

Agrophysical characteristics of soils of the Karabakh plain of Azerbaijan

Кормопроизводство

Forage production

Э. Н. Шкутов, Р. Т. Пастушок, А. Л. Бирюкович

Подбор травосмесей при разной длительности затопления поймы

50

E. N. Shkutov, R. T. Pastushok, A. L. Biryukovich

Selection of grass mixtures for different durations of floodplain floodingn

<i>Н. Н. Цыбулько, В. Б. Цырибко, И. А. Логачёв</i> Влияние севооборотов и систем удобрения на водоустойчивость структуры дерново-подзолистых почв, подверженных эрозии	56
<i>N. N. Tsybulka, V. B. Tsyribka, I. A. Logachov</i> Influence of cropping rotations and fertilizer systems on water stability structures of soddy-podzol soils subject to erosion	

<i>Л. В. Кирейчева, Т. Н. Ткачёва</i> Влияние длительного орошения свиноводческими стоками на загрязнение почвы медью, цинком, свинцом и кадмием	65
<i>L. V. Kireicheva, T. N. Tkacheva</i> Influence of long-term irrigation with pig wastewater on soil contamination with Copper, Zinc, Lead and Cadmium	

Наука – производству	●	From science to production
-----------------------------	---	-----------------------------------

РЫХЛИТЕЛЬ-КРОТОВАТЕЛЬ ПОЧВЫ РКП-0,7	74
--	-----------

Наши юбиляры	●	Our Jubilees
---------------------	---	---------------------

Иван Эдвардович Леуто (к 90-летию)	76
---	-----------

Николай Николаевич Семененко (к 85-летию)	77
--	-----------

Николай Николаевич Дубенок (к 75-летию)	79
--	-----------

Владимир Иосифович Желязко (к 75-летию)	81
--	-----------

Чтобы помнили	●	To be remembered
----------------------	---	-------------------------

Евгения Владимировна Руденко (к 95-летию)	83
--	-----------

Валерий Павлович Трибис (к 85-летию)	84
---	-----------

МЕЛИОРАЦИЯ

УДК 626.86:631.44

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ВОДОПОГЛОЩАЮЩИХ УСТРОЙСТВ С ДРЕНАЖНЫМИ ГЕОКОМПОЗИТАМИ НА СЛАБОВОДOPPониЦАЕМЫХ ПОЧВАХ

В. М. Макоед, ведущий научный сотрудник
А. И. Митрахович, кандидат технических наук

РУП «Институт мелиорации», г. Минск, Беларусь

Аннотация

Представлены результаты исследований эффективности работы экспериментальных колонок-поглотителей с применением полимерных дренажных геоконпозитов для удаления поверхностных вод из замкнутых переувлажняемых понижений мелиоративных объектов со слабОВОДOPPониЦАЕМЫМИ почвами. Приводятся конструктивные решения водопоглощающих устройств, результаты лабораторных исследований их пропускной способности. Отмечается влияние геоконпозитов на увеличение пропускной способности колонок-поглотителей. Изложена технология строительства колонок-поглотителей на мелиоративном объекте «Ельня-Агро» в Шарковщинском р-не Витебской обл. Показана эффективность их работы по удалению избытков воды в весенний период, особенно напряженный в связи с подготовкой сельхозугодий к проведению полевых работ.

Ключевые слова: дренажные полимерные геоконпозиты, водопоглощающие устройства, горизонтальный дренаж, замкнутые понижения рельефа, пропускная способность конструкций, поверхностный сток, грунтовый лоток.

Abstract

V. M. Makoed, A. I. Mitrakhovich
**PERFORMANCE STUDY WATER-ABSORBING
DEVICES WITH DRAINAGE GEOCOMPOSITES ON
LOW-WATER PERMEABLE SOILS OF RECLAMATION
SYSTEMS**

The results of studies of the effectiveness of experimental absorbing columns with the use of polymer drainage geocomposites for the removal of surface water from closed waterlogged depressions of reclamation objects with poorly water-permeable soils are presented. Design solutions of water-absorbing devices, results of laboratory tests of throughput capacity are given. The influence of geocomposites on the increase in the throughput capacity of the absorber columns is noted. The technology of building absorbent columns at the «Yelnya-Agro» reclamation facility in the Sharkovshchinsky district of the Vitebsk region is described. The effectiveness of their work on the removal of excess water is shown, especially in the spring, which is the most intense in preparing farmland for field work.

Keywords: drainage polymer geocomposites, water-absorbing devices, horizontal drainage, closed relief drops, throughput capacity of structures, surface runoff, soil tray.

Введение

Минеральные земли характеризуются большой изрезанностью рельефа в виде хаотически расположенных повышений и понижений местности, что приводит к неравномерному распределению поверхностного стока по площади и значительно снижает эффективность осушения земель горизонтальным дренажем, затрудняет работу сельскохозяйственной техники, создает мелкоконтурность

сельхозугодий, уменьшает производительную способность почв.

Устранить эти негативные явления можно путем организации поверхностного стока с ликвидацией застоя воды из замкнутых понижений рельефа, чтобы создать равномерный водный режим на полях, улучшить условия работы сельскохозяйственной техники и повысить коэффициент земельного использования.

В перечень мероприятий по организации поверхностного стока на осушаемых землях, как правило, входят: устройство нагорно-ловчей сети, колонок и колодцев-поглотителей, искусственных ложбин и воронок стока; планировка и выравнивание поверхности; фильтрующие засыпки дренажных траншей; глубокое рыхление и др. В отдельных случаях для отвода поверхностных вод рекомендуется предусматривать раскрытие и засыпку понижений.

Результаты исследований ряда научных институтов на опытно-производственных участках показали, что эффективность колонок-поглотителей существенно зависит от их конструктивных параметров, частоты их размещения на дренах, ширины дренажной траншеи и степени окультуренности почв [1].

В Республике Беларусь при проектировании отвода поверхностных вод из замкнутых понижений в дренажную сеть на слабОВОДПРОНИЦАЕМЫХ почвах широко применялись ко-

Основная часть

Принципиальное отличие новых колонок-поглотителей от аналогов заключается в уширенном верхнем водоприемном элементе в виде ниши глубиной 30–40 см с уклоном к дренажной траншее и площадью 10–12 м², заполненной фильтрующим материалом. В данной конструкции поверхностная вода из уширенного верхнего элемента поступает в дренажную траншею не только в пределах контура проекции ширины дренажной траншеи, но и с прилегающей к ней зоны ниши, то есть рабочая зона фильтрации становится значительно больше площади проекции нижнего элемента конструкции шириной 0,5 м.

Производственное применение новой конструкции колонки-поглотителя КПФ-1 с фильтрующей засыпкой (коэффициент фильтрации – 10 м/сут, пропускная способность – 0,2 л/с) показало, что возникают сложности в приобретении в карьерах песчано-гравийной смеси с таким коэффициентом фильтрации. Поэтому были проведены исследования конструкций колонок-поглотителей с коэффициентом фильтрации засыпки 3 м/сут и применением новых полимерных материалов дренажных геокомпози-

лонки-поглотители [2, 3], конструкция которых базируется на устройстве засыпок дренажной траншеи определенной длины хорошо фильтрующим материалом. Фильтрующая засыпка присыпается сверху слоем растительного грунта. В таких конструкциях колонок поступление поверхностной воды в дренаж происходит только в полосе траншеи шириной 0,5 м. Исходя из этого коэффициент фильтрации засыпки (далее – K_f) будет определяться коэффициентом фильтрации пахотного слоя, который не превышает на тяжелых почвах 0,2–0,4 м/сут. Следовательно, и пропускная способность конструкций будет незначительной.

С учетом выявленных недостатков в конструкциях колонок-поглотителей в РУП «Институт мелиорации» разработаны колонки-поглотители новой конструкции типа КПФ и типовые проектные решения ТПР Б.820-01-3.05 «Колонки-поглотители на мелиоративных системах» [4, 5].

Увеличение быстродействия пропускной способности конструкции с помощью дренажных геокомпозиатов основывается на повышении скорости потока воды к дренажу. На тяжелых почвах поверхностная вода поступает в дренажную траншею преимущественно по границе пахотного и подпахотного горизонтов. Перехватив воду на границе этих слоев, можно существенно увеличить интенсивность перевода поверхностных вод в дренажный сток. Эту цель могут выполнять дренажные полимерные геокомпозиаты, поэтому были разработаны новые конструкции экспериментальных колонок-поглотителей с применением полимерных дренажных геокомпозиатов (рис. 1–3).

Конструкции колонок-поглотителей включают дренаж, расположенную на дне дренажной траншеи, к которой вертикально подсоединяются разные варианты дренажных модулей из геокомпозиатных материалов. После этого дренажная траншея в месте устройства колонки-поглотителя засыпается фильтрующим материалом, а сверху конструкции выполняется водоприемная ниша глубиной 30–40 см и площадью 10 м², которая также засыпается

фильтрующим материалом. Верхние элементы дренажного модуля, расположенные в верхнем элементе конструкции, перехватывают поверхностную воду, поступающую в нишу, и переводят ее по вертикальным элементам модуля к дрене. Вертикальные элементы модуля также принимают и отводят воду, поступающую в фильтрующую засыпку траншеи, что существенно увеличивает осушительную эффективность колонки-поглотителя.

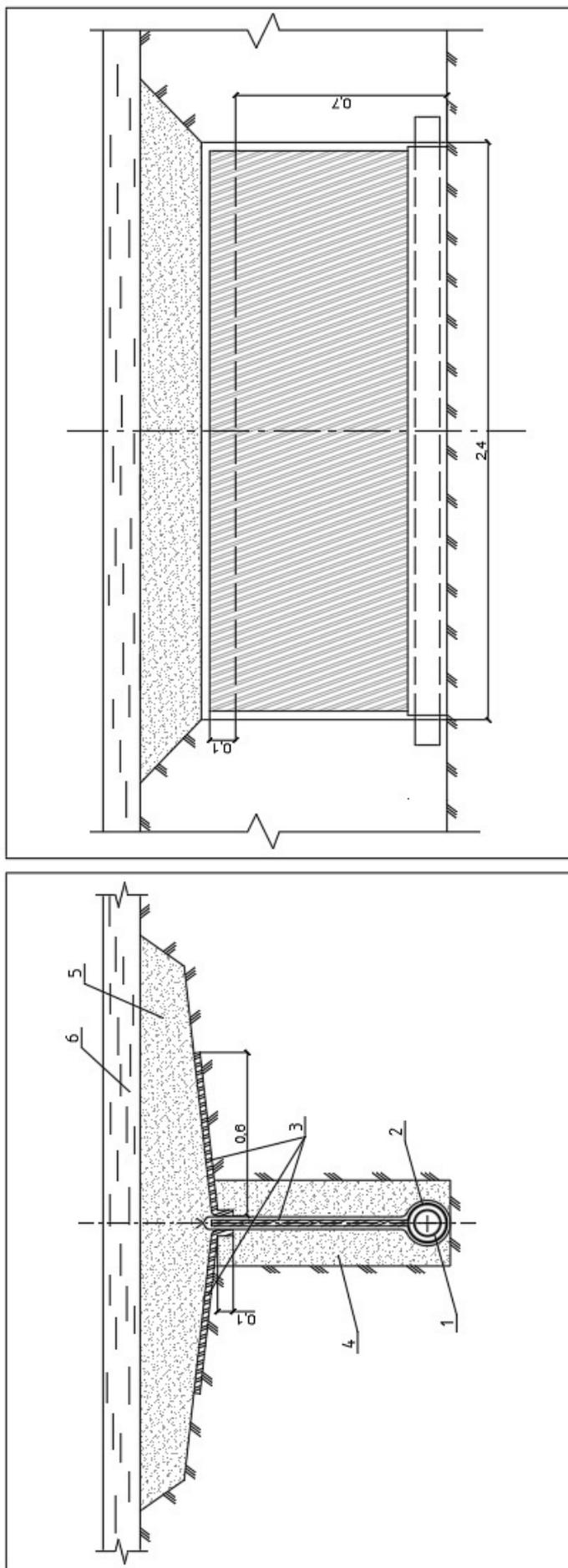
В лабораторных условиях была исследована пропускная способность моделей конструк-

ций колонок-поглотителей с дренажными геокомпозитами. Описание данных экспериментальных конструкций колонок-поглотителей с применением фильтрующей засыпки, имеющей низкий коэффициент фильтрации, приведено в табл. 1

Лабораторные исследования пропускной способности моделей колонок-поглотителей с фильтрующей засыпкой, имеющей низкий коэффициент фильтрации, проводились в грунтовой лотке, схема которого представлена на рис. 4.

Таблица 1. Экспериментальные конструкции колонок-поглотителей с применением полимерных дренажных геокомпозитов

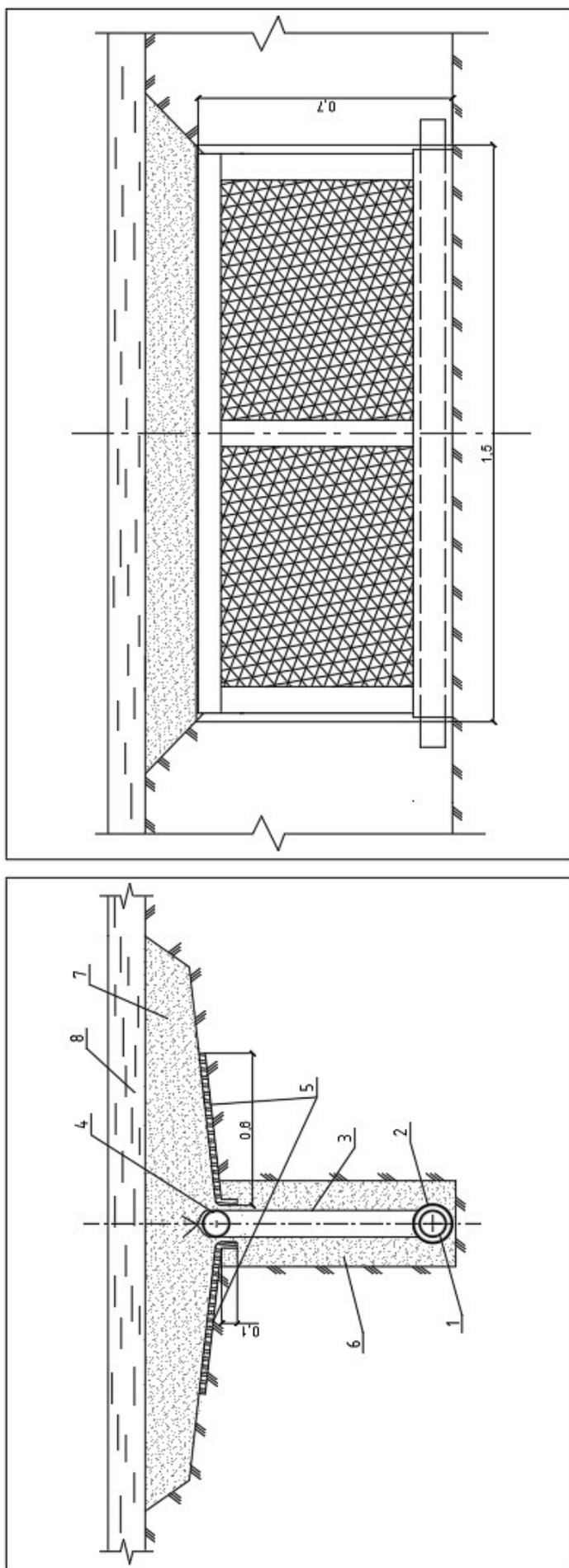
№ варианта	Описание конструкций
1	<p>Использован дренажный модуль, состоящий из трех элементов – одного вертикального и двух горизонтальных.</p> <p>Элементы состоят из ядра, выполненного из объемной полимерной решетки и помещенного в фильтрующую оболочку из ЗФМ «Тайпар SF27». Вертикальный элемент в нижней части имеет карман в фильтрующей оболочке для подключения к дрене диаметром 63 мм. Два горизонтальных элемента подсоединены к верхней части вертикального элемента с увеличенной площадью контакта. Фильтрующая засыпка выполнена из песка с коэффициентом фильтрации 3 м/сут.</p> <p>Пропускная способность колонки-поглотителя составляет в среднем 0,5 литров в секунду при напоре 30 см</p>
2	<p>Применен дренажный модуль, состоящий из трех элементов. Вертикальный элемент состоит из ядра, выполненного из сварного каркаса, состоящего из двух горизонтальных труб (диаметр верхней – 63 мм и нижней – 90 мм), соединенных тремя вертикальными трубами диаметром 63 мм; каркас помещен в оболочку из ЗФМ «Тайпар SF27». Два горизонтальных элемента состоят из ядра, выполненного из объемной решетки, помещенного в оболочку из ЗФМ «Тайпар SF27». Два горизонтальных элемента подсоединены к верхней части вертикального элемента с увеличенной площадью контакта. Фильтрующая засыпка выполнена из песка с коэффициентом фильтрации 3 м/сут.</p> <p>Пропускная способность колонки-поглотителя составляет в среднем 0,4 литра в секунду при напоре 30 см</p>
3	<p>Применен дренажный модуль из одного вертикального элемента, который состоит из ядра, выполненного из объемной полимерной решетки; ядро помещено в фильтрующую оболочку из ЗФМ «Тайпар SF27». В верхней части вертикальный элемент имеет гребенку, а в нижней части – карман в фильтрующей оболочке для подключения к дренажной трубе диаметром 63 мм. Фильтрующая засыпка выполнена из песка с коэффициентом фильтрации 3 м/сут.</p> <p>Пропускная способность колонки-поглотителя составляет в среднем 0,1 литра в секунду при напоре 30 см</p>



а

б

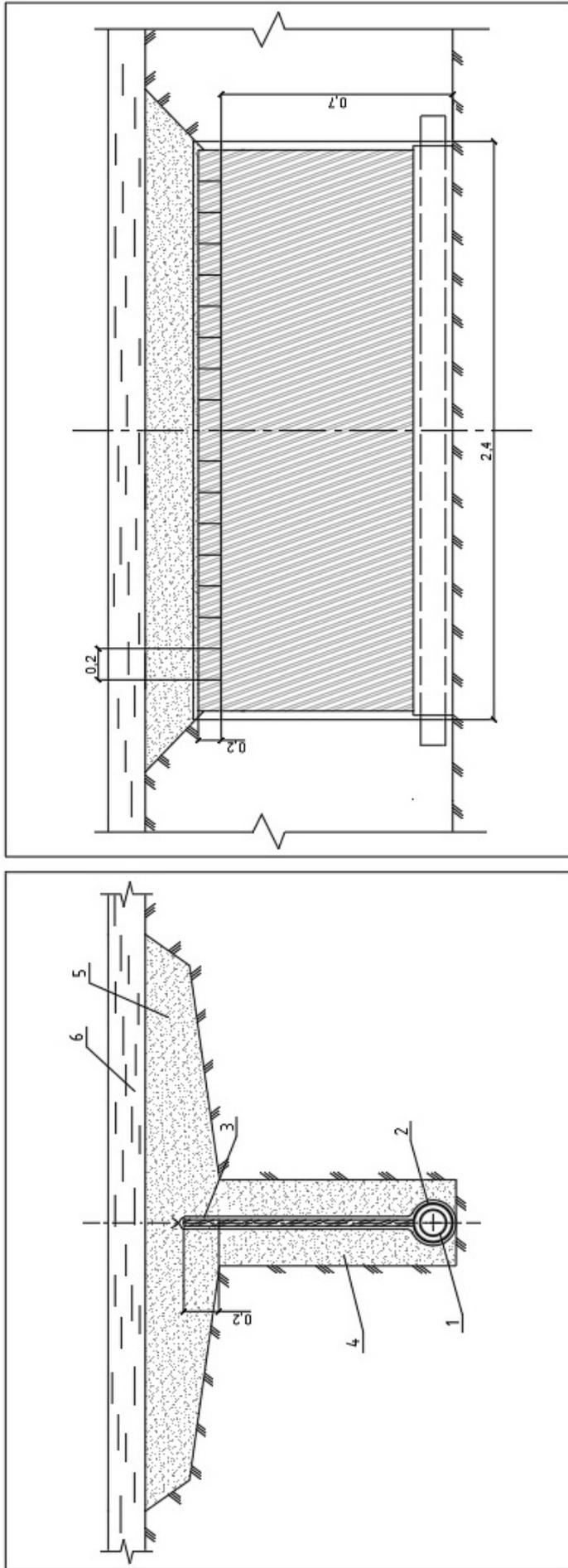
Рис. 1. Первый вариант конструкции колонки-поглотителя в (а) поперечном и (б) продольном разрезах с дренажным геокмполитом (расход – 0,6 л/с):
 1 – гофрированная дренажная труба диаметром 63 мм; 2 – гофрированная дренажная труба диаметром 90 мм;
 3 – модуль из трех элементов, выполненных из объемной полимерной решетки в фильтрующей оболочке;
 4, 5 – фильтрующая засыпка из песка ($K_{\phi} = 3 \text{ м/сут}$); 6 – слой воды



а

б

Рис. 2. Второй вариант конструкции колонки-поглотителя в (а) поперечном и (б) продольном разрезах с дренажным геотекстилем (расход – 0,8 л/с):
 1 – гофрированная дренажная труба диаметром 63 мм; 2 – гофрированная дренажная труба диаметром 90 мм;
 3 – модуль из гофрированной дренажной трубы; 4 – дренажная гофрированная труба диаметром 63 мм;
 5 – модуль из 2 элементов; 6, 7 – фильтрующая засыпка из песка ($K_{\phi} = 3 \text{ м/сут}$); 8 – слой воды



а

б

Рис. 3. Третий вариант конструкции колонки-поглотителя в (а) поперечном и (б) продольном разрезах с дренажным геотекстилем (расход – 0,3 л/с):
1 – гофрированная дренажная труба диаметром 63 мм; 2 – гофрированная дренажная труба диаметром 90 мм;
3 – модуль с гребенкой; 4, 5 – фильтрующая засыпка из песка ($K_{\phi} = 3 \text{ м/сут}$); 6 – слой воды

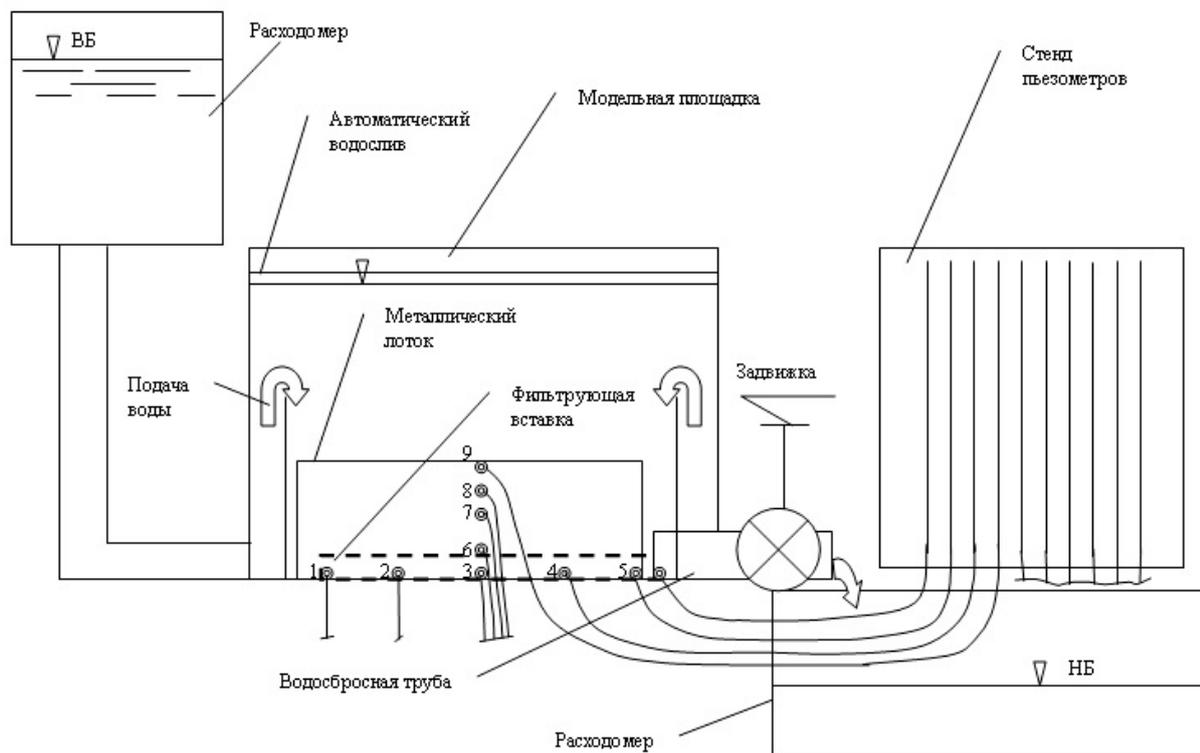


Рис. 4. Схема грунтового лотка

Грунтовый лоток имеет размеры 3,5 м × 4,5 м и высоту 1,5 м, что позволяет имитировать работу экспериментальных моделей колонок-поглотителей практически в натуральную величину.

По середине лотка смоделирована водонепроницаемая со всех сторон траншея (ширина 0,5 м, глубина 0,7 м), а сверху – ниша размером 3,3 × 3,3 м и глубиной 0,3–0,4 м. К лотку подводилась вода, расход подачи которой регулировался задвижкой. Сброс воды осуществлялся по заложенной по дну траншеи дренажной трубе диаметром 63 мм; расход воды замерялся объемным способом. Фильтрующая засыпка конструкций применялась из песка (коэффициент фильтрации – 3 м/сут); перед его засыпкой в лоток устанавливались дренажные геоконпозиты различных видов, воду подавали в таком количестве, чтобы над песком поддерживался постоянный слой воды 15, 20 и 30 см.

В ходе опытов замерялись время и объем воды, вытекаемой из конструкции. По полученным данным вычислялась пропускная способность колонки. На рис. 5 показан фрагмент устройства модели колонки-поглотителя в грунтовом лотке.

Чтобы исследовать работу экспериментальных конструкций колонок-поглотителей с применением дренажных геоконпозитов в полевых условиях, на опытно-производственном участке мелиоративного объекта «Ельня-Агро» в Шарковщинском р-не Витебской обл. были построены три варианта конструкций (см. рис. 1–3, а их характеристики – в табл. 1).

Схема опытно-производственного участка с местами расположения вариантов экспериментальных колонок-поглотителей с дренажными геоконпозитами показана на рис. 6.

Фрагменты отдельных этапов технологии строительства экспериментальных колонок-поглотителей с дренажными геоконпозитами на опытно-производственном участке приведены на рис. 7.

Колонки-поглотители строились в замкнутых понижениях рельефа, где в период паводков и ливневых дождей наблюдался застой поверхностных вод. На рис. 8 показаны замкнутые понижения в весенний период (фото от 19.03.2023 г.), до строительства экспериментальных колонок-поглотителей.



Рис. 5. Устройство модели колонки-поглотителя в грунтовой лотке

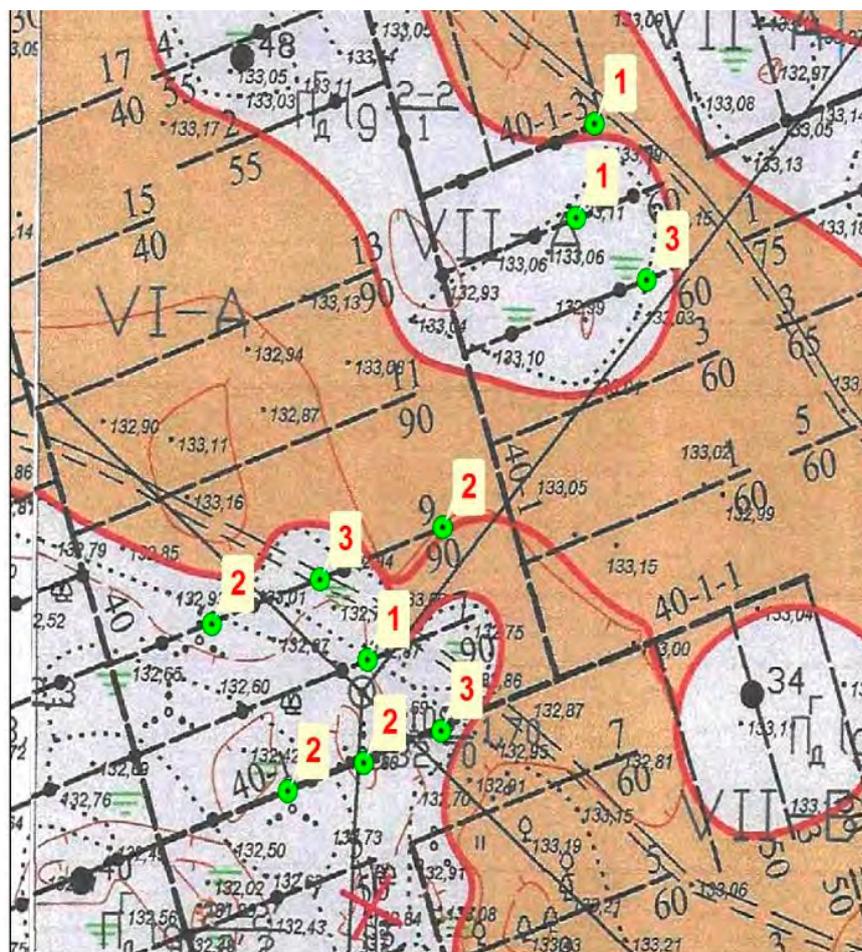


Рис. 6. Опытно-производственный участок с экспериментальными конструкциями колонок-поглотителей с дренажными геотекстилями:
1, 2, 3 – варианты конструкций колонок-поглотителей



Рис. 7. Этапы технологии строительства экспериментальных колонок-поглотителей с дренажными геокompозитами на опытно-производственном участке



а б
Рис. 8. Замкнутые понижения рельефа с экспериментальными колонками-поглотителями до отвода поверхностного стока:
а – 2-й вариант; б – 3-й вариант

Эффективность работы колонок-поглотителей обуславливается временем удаления поверхностных вод из переувлажняемых понижений рельефа, что позволяет своевременно проводить на полях сельскохозяйственные работы. Для определения степени осушения проводились наблюдения за состоянием водного режима понижений путем замеров пло-

щади зеркала воды, ее глубины для расчета объемов скапливающейся воды в понижениях и времени ее сработки. При дождливой погоде замерялись динамика появления луж и через 2–3 дня – их сработка; после исчезновения луж – влажность почвы в понижении.

Данные об объемах поверхностных вод, скопившихся в понижениях рельефа после сне-

готаяния (по состоянию на 19.03.2023 г.), когда в них были установлены экспериментальные колонки-поглотители, представлены в табл. 2.

Полевые наблюдения за работой трех вариантов экспериментальных колонок-поглотителей с дренажными модулями из геоком-позитов показали, что они до 14 апреля отвели избытки воды с переувлажняемых понижений рельефа. Лучше всего в условиях весны 2023 г.

работали конструкции колонок-поглотителей 3-го варианта, несколько хуже – 1-го варианта.

Вид замкнутых понижений после отвода поверхностных вод весной (фото сделано 24.05.2023 г.) представлен на рис. 9.

Вид замкнутых понижений рельефа с экспериментальной колонкой-поглотителем осенью, после отвода поверхностных вод, представлен на рис. 10 (фото сделано 16.11.2023 г.).

Таблица 2. Объемы воды в понижениях рельефа после снеготаяния

Варианты конструкций	Повторность	Площадь зеркала воды, м ²	Глубина, м	Объем воды, м ³
1	1-я	100	0,11	11
	2-я	384	0,22	85
	3-я	377	0,31	117
	4-я	210	0,26	55
2	1-я	300	0,17	51
	2-я	288	0,24	69
	3-я	252	0,18	45
	4-я	200	0,3	60
	5-я	180	0,32	58
3	1-я	396	0,16	63
	2-я	384	0,35	134
	3-я	522	0,24	125



а



б

Рис. 9. Замкнутые понижения рельефа весной после отвода поверхностных вод экспериментальными колонками-поглотителями: а – 1-й вариант конструкций, б – 2-й вариант конструкций



а б
Рис. 10. Замкнутое понижение рельефа с экспериментальной колонкой-поглотителем 3-го варианта:
а – многолетние травы; б – озимые

Выводы

1. В ходе лабораторных опытов по определению пропускной способности конструкций различных вариантов дренажных геокомпозигов установлены наиболее эффективные из них.

2. Разработаны конструкции экспериментальных колонок-поглотителей с применением полимерных дренажных геокомпозигов с фильтрующей засыпкой, имеющей низкий коэффициент фильтрации – 3 м/сут.

3. В грунтовом лотке определена пропускная способность моделей колонок-поглотителей, выполненных в натуральную величину, с различными вариантами дренажных геокомпозигов с фильтрующей засыпкой из песка (коэффициент фильтрации – 3 м/сут); для 1-го варианта она составила 0,6 л/с, для 2-го – 0,8 л/с, для 3-го – 0,3 л/с.

4. На опытно-производственном участке мелиоративного объекта «Ельня-Агро» Шарковщинского р-на Витебской обл. построено 12 экспериментальных колонок-поглотителей с применением полимерных дренажных геокомпозигов трех вариантов с фильтрующей засыпкой из песка с коэффициентом фильтрации 3 м/сут.

5. Установлена эффективность экспериментальных колонок-поглотителей с дренажными геокомпозидами по удалению избытков поверхностных и почвенно-грунтовых вод из замкнутых понижений рельефа.

6. Результаты исследований конструкций колонок-поглотителей с полимерными дренажными геокомпозидами позволяют констатировать возможность их применения в производственных условиях.

Библиографический список

1. Кирейчева, А. В. Повышение эффективности дренажа на тяжелых почвах / А. В. Кирейчева, И. А. Шишова // Мелиорация и вод. хоз-во. – 1989. – № 4. – С. 27–30.
2. Смирнов, А. М. Расчет поглотительных колонок на дренах / А. М. Смирнов // Мелиорация и вод. хоз-во. – 1990. – № 10. – С. 31–34.
3. Богданович, А. И. Работоспособность дренажной засыпки при периодическом действии гончарного дренажа / А. И. Богданович // Гидротехника и мелиорация : сб. науч. тр. / Белорус. с.-х. акад. – Горки, 1967. – Т. 50. – С. 86–94.
4. Колонки-поглотители на мелиоративных системах : Типовые проектные решения Б.820-01-3.05. Альбом 1. – Минск : СтройМедиаПроект, 2020. – 29 с.
5. Колонки-поглотители на мелиоративных системах : Типовые проектные решения Б.820-01-3.05. Сметы. Альбом 2. – Минск : СтройМедиаПроект, 2020. – 157 с.

Поступила 30 января 2024 г.

ТРЕБОВАНИЯ К МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ УРОЖАЙНОСТИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР

А. П. Лихацевич¹, доктор технических наук

Г. В. Латушкина¹, кандидат технических наук

А. В. Малышко², заведующий отделом минерального питания

С. В. Набздоров³, кандидат сельскохозяйственных наук

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

²РУП «Опытная научная станция по сахарной свекле», г. Несвиж, Беларусь

³УО «Белорусская государственная сельскохозяйственная академия», г. Горки, Беларусь

Аннотация

Сформулированы требования, которые необходимо выдерживать при моделировании урожайности сельскохозяйственных культур. Они определяют структуру математической модели, условия ее верификации и продолжительность рядов многолетних наблюдений. Установлено, что 3-летних данных недостаточно для построения достоверной математической модели урожайности.

Ключевые слова: урожайность, питание растений, атмосферные осадки, температуры воздуха, опорные показатели математической модели урожайности.

Abstract

A. P. Likhachevich, G. V. Latushkina, A. V. Malyshko, S. V. Nabzdorov

LIMITATIONS IN MATHEMATICAL MODELING OF AGRICULTURAL CROPS YIELD

The requirements that must be observed when modeling crop yields are formulated. They determine the structure of the mathematical model, the conditions for its verification and the duration of a series of long-term observations. It has been established that 3-year data is not enough to build a reliable mathematical model of yield.

Keywords: productivity, plant nutrition, atmospheric precipitation, air temperature, reference indicators of the mathematical model of productivity.

Введение

Эффективность решения практических задач прогнозирования и оптимального управления в сельском хозяйстве может быть повышена с использованием математического моделирования технологических процессов. Вместе с тем практический опыт показывает, что математические модели как средство, облегчающее выработку лучших плановых технико-агрономических решений в растениеводстве, будут применяться на практике только в том случае, если их внедрение не связано с необходимостью введения трудоемких операций и не вызывает дополнительных трудностей в работе специалистов сельского хозяйства [1]. Вероятно, именно поэтому до настоящего времени не получили практического завершения предложения по созданию информационной системы поддержки принятия решений, предназначенные для планирования и оптимизации управления системами

земледелия на основе учета влияния факторов внешней среды на урожайность сельскохозяйственных культур.

Теоретической основой представления результатов исследований в сельскохозяйственной науке являются математическая статистика и теория вероятности с применением в основном эмпирических форм обобщения опытных данных. Весьма редко используется математический аппарат теории планирования эксперимента, и это вполне объяснимо, поскольку основные положения данной теории справедливы при проведении активного опыта, в котором могут присутствовать только управляемые переменные [2]. В аграрной науке, связанной с изучением воздействия на сельскохозяйственные культуры не только техногенных управляемых, но и природных неуправляемых факторов с непредсказуемой динамикой, использование математической

теории планирования эксперимента весьма ограничено, а в области численного описания взаимодействий в системе «факторы среды – урожайность» вообще неприменимо.

Методики, используемые при моделировании системы «факторы среды (аргументы) – урожайность (функция)»

Формулы, предлагаемые разными авторами и предназначенные для цифрового описания результатов воздействия условий окружающей среды на урожайность сельскохозяйственных культур, можно сгруппировать в отдельные не связанные между собой ниже следующие блоки, различающиеся методическим подходом к построению расчетных зависимостей.

1. *Эмпирические уравнения произвольной структуры, зависящей от субъективных предпочтений их авторов* [3, 4]. Например, в 2005–2008 гг. в Волгоградской обл. выполнены полевые исследования, целью которых заключалась в совершенствовании агротехники выращивания баклажан на среднесуглинистых светло-каштановых почвах при капельном орошении. Авторы установили, что изменение урожайности подчиняется нелинейному закону и наиболее достоверно описывается уравнением регрессии следующей формы [3]:

$$Y_{\text{баклаж.}} = -294,6 + 0,65N + \frac{48894,9}{W_{\text{пп}}} - 0,0007N^2 - \frac{1929690}{W_{\text{пп}}^2} - \frac{21,1N}{W_{\text{пп}}}, \quad (1)$$

где $Y_{\text{баклаж.}}$ – урожайность баклажан при возделывании в ранней культуре с использованием тоннельных укрытий, т/га; N – доза внесения азота, кг д. в./га; $W_{\text{пп}}$ – уровень предполивной влажности почвы, % от наименьшей влагоемкости (далее – НВ).

Коэффициент детерминации зависимости (1) равен 0,91, что, как утверждает исследователь, позволяет использовать ее в оптимизационных расчетах.

С помощью регрессионного анализа данных полевого опыта, проведенного в 2008–2010 гг. в тех же условиях, получена эмпирическая зависимость для рассадного лука [4]:

$$Y_{\text{лука}} = \frac{8,4 + 0,036N - 0,00016N^2 - 0,055W_{\text{пп}}}{1 - 0,0004N - 0,019W_{\text{пп}} + 0,0001W_{\text{пп}}^2}, \quad (2)$$

где $Y_{\text{лука}}$ – урожайность рассадного лука, т/га; N – доза внесения минерального азота как элемента, лимитирующего урожайность на малоплодородных светло-каштановых почвах Нижнего Поволжья, кг д. в./га; $W_{\text{пп}}$ – уровень предполивной влажности почвы, % от НВ.

Коэффициент детерминации (2) составляет 0,89.

Отсутствие какой-либо методической основы в обосновании структуры расчетных зависимостей вида (1) и (2) препятствует дальнейшему тиражированию подобного рода зависимостей.

2. *Эмпирические уравнения в виде полиномов 2-й степени*, полученные с использованием метода множественной нелинейной регрессии с включением в анализ различных нелинейных преобразований аргументов [5–7]. Например, по данным полевых исследований агротехники сладкого перца, возделываемого на орошаемых светло-каштановых почвах Российской Федерации (Волгоградская обл.), предложена эмпирическая зависимость его урожайности от уровня предполивной влажности и суммарной дозы вносимых удобрений [5]:

$$Y_{\text{перца}} = 211,5 + 5,89W_{\text{пп}} - 0,04W_{\text{пп}}^2 + 0,03F - 0,0000387F^2 + 0,000465W_{\text{пп}}F, \quad (3)$$

где $Y_{\text{перца}}$ – урожайность сладкого перца, т/га; $W_{\text{пп}}$ – уровень предполивной влажности почвы, % от НВ; F – суммарная доза удобрений (НРК), кг д. в./га.

Коэффициент детерминации (3) составляет 0,81.

По результатам другого полевого опыта, проведенного в 2005–2007 гг. в тех же условиях, предложены подобные зависимости для огурца [6]:

$$Y_{\text{огурца}_1} = -312,8 + 7,767W_{\text{пп}} + 0,011W_{\text{пп}}N - 0,050W_{\text{пп}}^2 - 0,003N^2, \quad (4)$$

$$Y_{\text{огурца}_2} = -328,4 + 8,138W_{\text{пп}} + 0,012W_{\text{пп}}N - 0,052W_{\text{пп}}^2 - 0,003N^2, \quad (5)$$

где $Y_{\text{огурца}_1}$ – урожайность стандартных плодов огурца при обычной агротехнике возделывания, т/га; $Y_{\text{огурца}_2}$ – урожайность стандартных плодов огурца при полосовом внесении соломы в увлажняемую зону, т/га; $W_{\text{пп}}$ – уровень предполивной влажности почвы, % от наименьшей влагоемкости; N – доза внесения элемента (азота), содержание кото-

рого в почве лимитирует повышение урожайности, кг д. в./га.

Коэффициенты детерминации (4) и (5) колеблются в пределах 0,93–0,95.

Для расчета урожайности моркови при капельном поливе рекомендовано использовать уравнение общего вида [7]:

$$Y = a + b \cdot h + c \cdot N + d \cdot h^2 + e \cdot N^2 + f \cdot h \cdot N, \quad (6)$$

где Y – урожайность моркови в зависимости от способа посева, т/га; a, b, c, d, e, f – коэффициенты, численные значения которых зависят от способа посева моркови; h – глубина промачивания почвы по вариантам опыта, м; N – доза внесения минерального азота как лимитирующего элемента плодородия почвы, кг д. в./га.

При этом отмечается, что в результате расчета по (6) получены коэффициенты детерминации 0,94–0,95, что характеризует хорошую согласованность теоретической поверхности отклика с опытными данными.

Авторы [3–7] называют предложенные ими эмпирические уравнения математическими моделями урожайности, указывая на высокие численные значения коэффициентов детерминации, подтверждающие высокую тесноту связи между аргументами функции и урожайностью. Вместе с тем существуют объективные причины, ограничивающие использование подобных эмпирических формул в земледельческой науке. Неоднократно было показано, **что эмпирические формулы в виде N-мерных полиномов при любом коэффициенте детерминации не являются действительными моделями исследуемых процессов, поскольку не имеют физического смысла, а представляют собой лишь формальное математическое сглаживание данных конкретных экспериментов** [8, 9].

Подобные эмпирико-статистические методики обработки данных полевого опыта [3–7] всегда приводят к частным решениям, результаты которых весьма сложно распространить даже на подобные исследования, но выполненные в других условиях. Единственным решением этой методологической проблемы, на наш взгляд, является уход от метода множественной нелинейной регрессии и переход к математическому моделированию, учитывающему определенные ограничения. Тем более, что в этом направлении научная работа ведет-

ся уже давно. Ниже представлены варианты подобного математического моделирования.

3. *Динамические модели урожайности*, опирающиеся на поэтапно рассчитываемый прирост урожайности культуры в процессе вегетации [10–13]. Например, еще в 1973 г. для построения зависимости урожайности от любого фактора жизни растений известными советскими учеными предлагалось использовать следующее дифференциальное уравнение [10]:

$$\frac{dU}{d\phi} = f[U(\phi_{\text{opt}} - \phi)], \quad (7)$$

где U – показатель жизнедеятельности растений; ϕ – значение рассматриваемого фактора влияния; ϕ_{opt} – его оптимальное значение, при котором показатель жизнедеятельности растения максимален.

Уравнение (7) записано для ограниченного временного отрезка. Конечный урожай, по мнению авторов, можно получить, суммируя показатели жизнедеятельности растений за весь период вегетации.

В 1976 г. было опубликовано методическое пособие [11], в котором совместное влияние температуры воздуха и осадков на формирование урожая основных зерновых культур предложено оценивать за весь вегетационный период с помощью формулы

$$S(T, R) = \frac{Y}{Y_{\text{max}}} = \frac{\sum_{j=1}^N \eta_j(T, R) \alpha_j}{\sum_{j=1}^N \alpha_j}, \quad (8)$$

где $S(T, R)$ – суммарный совместный коэффициент продуктивности за N периодов (фаз развития, месяцев) вегетационного цикла; Y – фактический урожай культуры; Y_{max} – максимальный урожай культуры, достижимый при оптимальном сочетании осадков и температуры воздуха; $\eta_j(T, R)$ – коэффициент продуктивности за j -й период; T – средняя за период температура воздуха; R – суммарное за период количество осадков; α_j – весовой коэффициент, учитывающий вклад j -го периода вегетационного цикла в урожайность.

Совместное влияние температуры воздуха и осадков на формирование урожайности в любой период вегетационного цикла оценивается как произведение соответствующих коэффициентов продуктивности [11]:

$$\eta(T, R) = \exp \left[-b \left(\frac{T - T_{\text{opt}}}{10} \right)^2 \right] \times \left(1 + \frac{R - R_{\text{opt}}}{R_{\text{opt}} - R_{\text{min}}} \right)^{b_1} \left(1 - \frac{R - R_{\text{opt}}}{R_{\text{max}} - R_{\text{opt}}} \right)^{b_2}, \quad (9)$$

где T_{opt} – оптимальная в данном периоде температура воздуха; R_{opt} – оптимальная в данном периоде сумма осадков; R_{min} – биологический минимум осадков; R_{max} – максимум осадков; b, b_1, b_2 – эмпирические коэффициенты.

В методическом пособии [11] В. П. Дмитренко приводит таблицы и номограммы, позволяющие определять значения параметров расчетных формул (8), (9) и коэффициенты продуктивности для озимой пшеницы, ярового ячменя, кукурузы раннеспелой, среднеспелой и позднеспелой, возделываемых в условиях Украины, а также рассматривает конкретные примеры использования предложенной методики на практике. Но за последующие годы об использовании в производственных условиях рекомендаций названного автора нам ничего неизвестно. Сложность состоит в очевидной трудоемкости практической реализации предложений (8)–(9).

В 1977 г. опубликована модель формирования урожая, построенная на базе теории энерго- и массообмена растительного сообщества с окружающей средой. В ее основу положено известное соотношение между поглощением растением углекислого газа из воздуха в процессе фотосинтеза и приростом общей биомассы [12]:

$$dy = k \cdot q \cdot dt, \quad (10)$$

где dy – приращение биомассы; k – отношение вновь образованного в растении сухого вещества к поглощенному углекислому газу; q – интенсивность поглощения углекислого газа; dt – приращение времени.

Решение дифференциального уравнения (10) выполнено автором с применением многочисленных упрощений, эмпирических интерпретаций и допущений. В конце статьи указывается, что для использования предложенной модели в целях оперативного управления комплексом факторов жизни растений необходимо измерять температуру и влажность воздуха на высоте 0,5 и 2,0 м над растительным покровом, радиационный баланс,

суммарную солнечную радиацию, поток тепла в почву, испарение с поверхности почвы, температуру и влажность почвы, содержание элементов питания в листьях [12]. Ясно, что проведение таких измерений в течение вегетации в производственных условиях неисполнимо.

Подобные трудности возникают и при реализации других подобных рекомендаций [13, 14]. Например, в 2007 г. в качестве модели урожайности предлагалась упрощенная зависимость, в которой развитие растения задавалось через индекс листовой поверхности, высоту растения и глубину корнеобитаемого слоя как линейные по времени функции фазы развития растений [14]. Расчет урожайности рекомендовалось производить по обобщающей формуле:

$$\frac{Y}{Y_{\text{max}}} = \prod_{j=1}^N \left[1 - k_{yj} \left(1 - \frac{E_j}{E_{\text{max}j}} \right) \right], \quad (11)$$

где j – фаза развития растения; N – число фаз развития; k_{yj} – коэффициент, названный фактором урожайности в j -ю фазу развития; E_j – фактическое суммарное водопотребление в j -ю фазу развития; $E_{\text{max}j}$ – максимальное суммарное водопотребление в j -ю фазу развития.

В качестве основной причины упрощения структуры теоретической модели до формулы (11) указано, что более сложные и точные модели роста и развития растений требуют большего количества труднополучаемой исходной информации и иногда могут давать физически невозможные результаты [14]. Этот вывод получен после детального анализа в 2000-е гг. теоретических моделей продукционного процесса, разработанных как российскими, так и зарубежными учеными.

Как видим, варианты модели урожайности (7)–(11), учитывающие динамику условий внешней среды, эффективны в научных исследованиях, но для практического использования непригодны.

Известны также варианты математической модели урожайности, которые не требуют учета динамичности условий внешней среды. Они дополняют вышепредставленный перечень.

4. *Обобщенные модели урожайности, основанные на учете только лимитирующего урожаяформирующего фактора.* К их числу

можно отнести формулу, опубликованную в 1997 г. [15]:

$$Y = Y_{\max} \exp \left[-4,5 \left(1 - \frac{f_i}{f_{\text{opt}}} \right)^2 \right], \quad (12)$$

где $\frac{f_i}{f_{\text{opt}}}$ – относительная величина лимитирующего фактора (отношение фактической его величины к оптимальной), оцениваемого в целом за вегетацию.

По утверждению автора приведенной формулы, результаты расчета по (12) дают ошибку, не превышающую в среднем 3,6 %. Однако и этот уникальный результат не получил дальнейшего практического применения.

5. *Обобщенные модели урожайности, основанные на учете неограниченного числа урожаяформирующих факторов.*

В 1990 г. была предложена обобщающая формула, предназначенная для учета влияния факторов жизни растений на урожай [16]:

$$Y = Y_{\max} \prod_{i=1}^n \left[1 - \left(1 - \frac{f_i}{f_{\text{opt}}} \right)^2 \right], \quad (13)$$

где n – число факторов, влияющих на урожай; $\frac{f_i}{f_{\text{opt}}}$ – относительная величина i -го фактора (отношение фактической его величины к оптимальной).

Применение уравнения (13) в практических расчетах не требует учета динамичности условий внешней среды. В вычислениях используются только значения урожаяформирующих факторов за вегетационный период (в формуле отсутствует фактор времени), что существенно упрощает прогноз ожидаемой урожайности по планируемым ресурсам: например, по вносимым удобрениям и почвенным влаготпасам, поддерживаемым с помощью орошения на заданном уровне. Вместе с тем формула (13) требует уточнения и, вероятно, поэтому до настоящего времени не используется при статистической обработке опытных данных по урожайности. Об этом свидетельствуют более поздние работы исследователей, прокомментированные выше [3–7].

Единственным верным решением этой методологической проблемы, на наш взгляд, является использование математического мо-

делирования, учитывающего определенные ограничения.

Ограничения математической модели урожайности. Основная особенность экспериментальных математических (статистических) моделей любого процесса заключается в том, что они описывают поведение объекта в среднем, характеризуя его неслучайные свойства. С помощью подобной модели нельзя абсолютно точно предсказать конечный результат в каждом опыте, но с ее помощью можно со свойственной данной модели погрешностью указать, вокруг какого центра будут группироваться значения функции при заданном сочетании показателей факторов (аргументов), если для этого сочетания опыты повторять многократно [1].

В целом *математическая модель объекта исследований – это математическое выражение, построенное с соблюдением баланса размерностей, содержательно отражающее свойства изучаемого объекта и количественные связи, его характеризующие. Каждый элемент математической модели, включая численные коэффициенты, должен иметь объяснимое физическое содержание.*

Исходя из данного определения при математическом моделировании урожайности сельскохозяйственных культур необходимо учитывать несколько ограничений (правил).

Первое правило. При построении модели урожайности в системе «факторы среды (аргументы) – урожайность (функция)» должны учитываться известные законы земледелия и установленные опытным путем закономерности:

1) растения – это система с памятью, то есть прирост урожая зависит от условий его формирования, определяемых факторами среды;

2) если условия среды (влаги, пищи, тепла и др.) находятся в оптимуме, то растения образуют максимум урожая;

3) при отклонении фактора от оптимального значения в любую сторону (к минимуму или к максимуму) растения испытывают стресс, который снижает урожай;

4) величина отклонения фактических значений факторов среды (доз вносимых удобрений, влагообеспеченности культуры, температуры воздуха и др.) от их оптимума определяет величину стресса, испытываемого растениями при формировании урожая;

5) с приближением условий среды к оптимальному прирост урожая замедляется;

6) урожайформирующие факторы равноценны по влиянию на растения и не могут заменить друг друга;

7) наибольшее влияние на снижение урожая оказывает фактор, находящийся в минимуме.

Второе правило. Математическая модель урожайности не должна иметь ограничений по числу урожайформирующих факторов, учитываемых в ней.

Третье правило. Продолжительность рядов, составляющих базу данных, используемых для верификации математической модели урожайности, должна не только обеспечить высокие показатели тесноты установленной при моделировании связи урожайности с урожайформирующими факторами, но и гарантировать достоверность в определении опорных показателей модели.

Таким образом, при разработке математической модели урожайности необходимо обеспечить соблюдение следующих требований:

- структура модели должна соответствовать известным законам земледелия и закономерностям, установленным опытным путем и определяющим зависимость урожайности культуры от урожайформирующих факторов;
- математическая модель урожайности не должна иметь ограничений по числу учитываемых в ней урожайформирующих факторов;
- при верификации модели обязательным является наличие многолетних рядов урожайности и численных значений контролируемых факторов (не менее двух), влияющих на нее с продолжительностью, превышающей минимально необходимую.

Приведенным правилам не отвечают эмпирические формулы (1)–(6), хотя результаты расчета по ним могут иметь весьма высокие коэффициенты детерминации, подтверждающие тесную связь между аргументами и функцией.

Динамические модели урожайности (7)–(12) хотя и соответствуют указанным правилам, но на практике не применяются, что обусловлено необходимостью соблюдения трудоемких методик и затратных операций при их реализации.

В отличие от динамических в статистических моделях урожайности вида (13) рассматривается зависимость конечного урожая от суммарного влияния урожайформирующих факторов не в процессе роста культуры, а сразу в целом за вегетацию. Безусловно, разработка статистической математической модели урожайности проще, чем динамическое моделирование. Но до настоящего времени продвижение научных исследований даже в этом направлении идет весьма медленно. Сложность состоит в недостатке квалификации и опыта математического моделирования у ученых-аграриев.

Ранее было отмечено, что наиболее обоснованным при построении математической модели любого объекта исследований является использование физического закона (принципа). Например, зависимость урожайности любой сельскохозяйственной культуры от урожайформирующих факторов можно представить аналитически, выбрав в качестве методологической основы физический принцип баланса причинно-следственных взаимодействий (*causal interaction*) в замкнутой физической системе [17]. При анализе влияния факторов среды на урожайность культур исходные положения, на которых базируется математическое моделирование урожайности, не связываются с особенностями культур и природных условий, поэтому варианты модели универсальны по применению и действительны для любой сельскохозяйственной культуры независимо от региона возделывания. В качестве показателя влагообеспеченности культуры при отсутствии ее орошения используются атмосферные осадки [17, 18].

Установлено, что в условиях Беларуси урожайформирующие факторы по результату своего воздействия на урожайность располагаются в следующей убывающей последовательности: суммарная доза содержащихся в почве и вносимых питательных веществ → сумма выпавших атмосферных осадков за активные фазы вегетации → температуры воздуха за тот же период. Расчеты показали, что уменьшение числа урожайформирующих факторов, учитываемых в математической модели, с трех (пища, влага, тепло) до двух (пища, влага) снижает точность расчета урожайности несущественно [19].

Методика исследований

Формальным выражением физического принципа баланса причинно-следственных взаимодействий в замкнутой физической системе является уравнение в частных производных:

$$\frac{\partial Y}{\partial R_i} = \alpha_i f_i \left(\frac{Y}{R_i} \right) \frac{g_i(R_i)}{h_i(R_{iextr})}, \quad (14)$$

где $\partial Y/\partial R_i$ – частная производная урожайности (Y) по i -му урожаеформирующему фактору (R_i), соответствующая интенсивности изменения Y при изменении R_i , при условии, что другие факторы (аргументы функции) не изменяются; R_i – обобщенное представление i -го фактора; α_i – безразмерная константа, характеризующая восприимчивость урожая к действию i -го фактора (может изменяться от нуля – при полном отсутствии реакции урожайности – на i -й фактор и до единицы при полной зависимости от данного урожаеформирующего фактора); $f_i(Y/R_i)$ – функция, характеризующая интенсивность реакции урожайности на влияние i -го фактора в пределах рассматриваемого диапазона его воздействия; $g_i(R_i)$ – функция, характеризующая величину стресса растений в виде отклонения i -го фактора (R_i) от оптимального уровня; $h_i(R_{iextr})$ – функция, характеризующая экстремальный стресс от воздействия i -го фактора, приводящий к потере урожая.

В системе «факторы среды – урожайность» форму математической модели урожайности в зависимости от граничных условий, принимаемых при решении исходного уравнения (14), можно трансформировать от экспоненциальной до параболической [17, 19]. Наиболее простая параболическая форма имеет вид:

$$\frac{Y}{Y_{n(\max)}} = \prod_{i=1}^n \left[1 - a_i \left(\frac{R_{i(\text{opt})} - R_i}{R_{i(\text{opt})} - R_{i(\text{min,max})}} \right)^2 \right]. \quad (15)$$

Заметим, что благодаря мультипликативной форме зависимости (15) в ней, во-первых, априори соблюдается упомянутый выше закон минимума. Во-вторых, в отличие от использования известной методики планирования эксперимента [2], цель которой – построение регрессионных зависимостей в виде многочленных полиномов с ограниченным числом переменных, мультипликативная функция (15) не только является математической мо-

делью урожая, в которой каждая составляющая имеет конкретную физическую природу, но и может включать неограниченное число переменных.

Модель урожайности, учитывающая влияние на растения только двух урожаеформирующих факторов (питание и атмосферные осадки), согласно (15), трансформируется в уравнение

$$\frac{Y}{Y_{\max(\text{NPK}, S)}} = \left[1 - a_{\text{NPK}} \left(\frac{\text{NPK}_{\text{opt}} - \text{NPK}}{\text{NPK}_{\text{opt}} - \text{NPK}_{\text{min}}} \right)^2 \right] \times \left[1 - a_S \left(\frac{S_{\text{opt}} - S}{S_{\text{opt}} - S_{\text{min}}} \right)^2 \right], \quad (16)$$

где Y – расчетная урожайность сельскохозяйственной культуры; $Y_{\max(\text{NPK}, S)}$ – максимум (потенциал) урожайности, полученный при оптимальном сочетании питания и влагообеспеченности растений с учетом ее снижения при неоптимальности других, не учтенных в (14), урожаеформирующих факторов; a_{NPK} – константа, характеризующая степень влияния NPK на урожайность; NPK_{opt} – оптимальное количество питательных веществ (сумма действующего вещества азота, фосфора, калия), содержащихся в почве ($\text{N}_0\text{P}_0\text{K}_0$) и вносимых (NPK), при которых достигается максимум урожайности; NPK_{min} – минимальный граничный показатель суммы NPK, при которой урожай не формируется; a_S – константа, характеризующая степень влияния на урожайность выпадающих за активные фазы вегетации атмосферных осадков; S_{opt} – оптимальное количество (сумма) атмосферных осадков, при которой достигается максимум урожайности; S_{min} – минимальный граничный показатель суммы атмосферных осадков, при которой урожай не формируется.

Можно последовательно добавлять в модель (14) другие урожаеформирующие факторы, не нарушая ее структуру, которая справедлива для любой сельскохозяйственной культуры.

Для верификации математической модели урожайности должна использоваться база данных, содержащая объективную многолетнюю информацию с численными значениями учитываемых факторов, контроль за которыми

желательно сосредоточить в границах одного опытного участка при тщательном соблюдении методик исследований.

Опорные (постоянные) показатели математической модели урожайности (14), численные значения которых определяют положение поверхности отклика функции урожайности в многомерном пространстве, устанавливаются в процессе анализа опытных данных. К ним относятся показатели $Y_{\max(NPK,S)}$, a_{NPK} , NPK_{opt} , NPK_{min} , a_S , S_{opt} , S_{min} . Переменными показателями математической модели урожайности (14), которые формируют базу данных и получены в поле на сортоиспытательных станциях (участках) или в стационарных опытах, являются Y , NPK , S . Аналитическая работа с переменными показателями математической модели урожайности с целью установления численных значений опорных (постоянных) показателей выполняется методом подбора и в процессе изучения объективной информации, полученной в полевых условиях, требует детального знания предмета исследования,

Результаты исследования и его обсуждение

Справедливость формулы (16) проверена и подтверждена по данным урожайности сахарной свеклы (гибрид NZ-тип), возделываемой в Беларуси на сортоиспытательных станциях (Кобрин, Молодечно, Несвиж) и участке (Щучин) [20], а также в наших стационарных полевых опытах (Несвиж, Горки). Анализ полученных результатов показал, что коэффициент, характеризующий влияние уровня питания растений на урожайность, для всех сортоиспытательных станций близок к единице ($a_{NPK} \approx 1$). В то же время выявлена зависимость показателя, характеризующего степень влияния на урожайность атмосферных осадков, от расстояния между опытным участком и метеостанцией (метеопунктом), где велись измерения, причем значения этого коэффициента различаются для разных периодов.

В таблице приведены опорные показатели математической модели урожайности (16) для сахарной свеклы, установленные по данным ГСХУ «Несвижская СС» (продолжительность опыта 12 лет) и для опытных участков «Несвиж» и «Горки» (продолжительность опыта 3 года). Эти параметры, определяющие положение параболической поверхности отклика

то есть высокой квалификации исследователя, точного соблюдения методик полевого опыта.

Метод подбора опорных показателей математической модели (16) соответствует методу наименьших квадратов и ориентируется на минимизацию среднеквадратических (стандартных) отклонений урожаев, вычисленных по (16), от урожаев, измеренных в поле:

$$\delta = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{i=n} (\Delta Y_i)^2}{n-1}} \rightarrow \min, \quad (17)$$

$$\Delta Y_i = Y_{\text{выч. } i} - Y_i, \quad (18)$$

где δ – среднеквадратическое отклонение урожаев, вычисленных по формуле (16), от урожаев, замеренных в поле за n -летие; ΔY_i – отклонение урожая, вычисленного по формуле (16) в условиях i -го года, от урожая, измеренного в поле в i -м году; $Y_{\text{выч. } i}$ – урожай, вычисленный по формуле (14) для условий i -го года; Y_i – фактический урожай, полученный в поле в условиях i -го года; i – порядковый номер года в многолетии; n – количество лет в ряду.

функции урожайности на питание и влагообеспеченность (в трехмерном пространстве), устанавливаются в процессе анализа опытных данных методом подбора (с использованием метода наименьших квадратов). Для наглядности опорные показатели модели (16) (строки 20–26 таблицы) выделены полужирным шрифтом.

Данные таблицы демонстрируют тесную зависимость потенциала урожайности сахарной свеклы ($Y_{\max(NPK,S)}$) от исходного плодородия почвы ($N_0P_0K_0$). Но при этом нет уверенности, что потенциал урожайности и другие опорные показатели математической модели (16) действительно соответствуют условиям опыта – в данном случае с сахарной свеклой. Поэтому закономерен вопрос: можно ли построить математическую модель урожайности сельскохозяйственной культуры с достоверными опорными показателями по данным 3-летних исследований? Данный вопрос является ключевым, поскольку в подавляющем большинстве диссертационных исследований на соискание ученой степени кандидата наук используются результаты именно 3-летних опытов.

Таблица. Показатели математической модели урожайности сахарной свеклы (16)

№ п/п	Наименование	Размерность	СС «Несвиж»	ОУ «Несвиж»		ОУ «Горки»
			Аргументы модели			
			$N_0P_0K_0 + NPK, S$	$N_0P_0K_0 + NPK, S$	NPK, S	NPK, S
1	Годы наблюдений	годы	2011–2023	2021–2023		2017–2019
2	Пределы колебания Y	т/га	46,8–88,0	24,4–60,4		54,7–85,6
3	Y среднемноголетнее	т/га	68,5	44,8		69,2
4	Гумус	%	2,0–2,3	1,3–2,9	Данные не учитываются	Данные не учитываются
5	Гумус (среднее)	%	2,18	2,13		
6	P_2O_5	мг/кг	300–345	96–226		
7	P_2O_5 (среднее)	мг/кг	309	159		
8	K_2O	мг/кг	380–420	123–234		
9	K_2O (среднее)	мг/кг	403	178		
10	N_0	кг д. в./га	3000–3600	1950–4350		
11	N_0 (среднее)	кг д. в./га	3272	3200		
12	P_0	кг д. в./га	900–1035	288–678		
13	P_0 (среднее)	кг д. в./га	978	476		
14	K_0	кг д. в./га	1140–1260	369–702		
15	K_0 (среднее)	кг д. в./га	1210	533		
16	$N_0P_0K_0$	кг д. в./га	5040–5895	2607–5730		
17	$N_0P_0K_0$ (среднее)	кг д. в./га	5460	3209		
18	NPK	кг д. в./га	390–410	0–540	0–540	310–560
19	NPK (среднее)	кг д. в./га	397	280	280	448
20	$Y_{max}(NPK, S)$	т/га	95	70	70	89
21	a_{NPK}	б/р	1,0	0,76	1,00	1,00
22	NPK_{opt}	кг д. в./га	7000	9000	1000	700
23	NPK_{min}	кг д. в./га	4700	0	–650	0
24	a_S	б/р	0,32	0,97	0,93	1,00
25	$S_{opt}(V-IX)$	мм	400	460	460	300
26	$S_{min}(V-IX)$	мм	0	0	0	20
27	Стандартн. отклон. δ	т/га	3,15	3,59	3,64	3,19
28	Коэф. детермин. R^2	б/р	0,94	0,93	0,92	0,90

П р и м е ч а н и е. $N_0P_0K_0$ – суммы действующего вещества азота (N_0), фосфора (P_0), калия (K_0), содержащихся в почве, кг д. в./га; NPK – суммы действующего вещества азота (N), фосфора (P), калия (K), внесенного с удобрениями, кг д. в./га; S – сумма атмосферных осадков за май – сентябрь включительно, мм.

Установленные по исходным данным значения опорных показателей математической модели урожайности, приведенные в таблице, заставляют ответить на поставленный вопрос отрицательно. Несмотря на достаточно высокие коэффициенты детерминации, подтверждающие наличие тесной связи между полученной урожайностью сахарной свеклы и основными урожаеформирующими факторами (обеспеченностью питательными веществами и влагой), отчетливо видны искажения в численных значениях опорных показателей математической модели урожайности, уста-

Заключение

Анализ опорных показателей математической модели урожайности сахарной свеклы, полученных с использованием 12-летних результатов сортоиспытаний и данных 3-летних полевых исследований, показал, что существует зависимость потенциала урожайности сахарной свеклы от исходного плодородия почвы конкретного участка. Причем 3-летних данных, полученных на опытных участках, оказалось недостаточно для определения

новленных методом подбора по (16)–(18). По 3-летним данным ОУ «Несвиж» имеем явно завышенные значения оптимального количества питательных веществ (суммы действующего вещества азота, фосфора, калия, содержащихся в почве и вносимых), при которых достигается максимум урожая. По 3-летним данным опытного участка «Горки» получено резко заниженное количество оптимальных атмосферных осадков (сумма за май – сентябрь), при которых достигается максимум урожайности.

достоверных численных значений опорных показателей математической модели урожайности (16). Несмотря на весьма высокие коэффициенты детерминации, подтверждающие наличие тесной связи между полученной урожайностью сахарной свеклы, ее питанием и влагообеспеченностью, отчетливо видны искажения в значениях опорных показателей, установленных по 3-летним данным.

Библиографический список

1. Образцов, А. С. Системный подход: применение в земледелии / А. С. Образцов. – Москва : Агропромиздат, 1990. – 303 с.
2. Красовский, Г. И. Планирование эксперимента / Г. И. Красовский, Г. Ф. Филаретов. – Минск : Изд-во БГУ, 1982. – 303 с.
3. Шенцева, Е. В. Совершенствование агротехники выращивания баклажан при капельном орошении с использованием тоннельных укрытий для получения ранней продукции : автореф. ... дис. канд. с.-х. наук : 06.01.01, 06.01.02 / Е. В. Шенцева ; Саратов. гос. аграр. ун-т им. Н. И. Вавилова. – Саратов, 2012. – 23 с.
4. Богданенко, М. П. Технология возделывания рассадного лука при капельном орошении в Нижнем Поволжье : автореф. дис. ... канд. с.-х. наук : 06.01.01, 06.01.02 / М. П. Богданенко ; Саратов. гос. аграр. ун-т им. Н. И. Вавилова. – Саратов, 2012. – 24 с.
5. Овчинников, А. С. Урожайность сладкого перца при капельном орошении / А. С. Овчинников, О. В. Бочарникова, Т. В. Пантюшина // Мелиорация и вод. хоз-во. – 2007. – № 2. – С. 45–47.
6. Акулинина, М. А. Капельное орошение огурца в сухостепной зоне светло-каштановых почв Нижнего Поволжья : автореф. дис. ... канд. с.-х. наук : 06.01.02 / М. А. Акулинина ; Волгогр. гос. с.-х. акад. – Волгоград, 2010. – 23 с.
7. Пенькова, Р. И. Ресурсосберегающие технологии возделывания моркови при капельном орошении в условиях Нижнего Поволжья : автореф. дис. ... канд. с.-х. наук : 4.1.5 / Р. И. Пенькова ; Волгогр. гос. с.-х. акад. – Волгоград, 2023. – 20 с.
8. Вахонин, Н. К. Концептуальные основы моделирования урожайности в системе принятия решений по регулированию водного режима / Н. К. Вахонин // Мелиорация. – 2014. – № 2 (72). – С. 7–15.
9. Вахонин, Н. К. Моделирование урожаев в системе точного земледелия / Н. К. Вахонин // Мелиорация. – 2015. – № 1 (73). – С. 131–136.

10. Аверьянов, С. Ф. Некоторые математические модели системы «растение – среда» / С. Ф. Аверьянов, В. В. Шабанов // Физическое и математическое моделирование в мелиорации. – Москва : Колос, 1973. – С. 293–295.
11. Дмитренко, В. П. Оценка влияния температуры воздуха и осадков на формирование урожая основных зерновых культур : метод. пособие / В. П. Дмитренко. – Ленинград : Гидрометеиздат, 1976. – 49 с.
12. Афанасик, Г. И. Моделирование процесса формирования урожая сельскохозяйственных культур / Г. И. Афанасик // Мелиорация торфяников и их сельскохозяйственное использование. – Минск : БелНИИМивХ, 1977. – Вып. 3. – С. 122–127.
13. Закржевский, П. И. Модель урожая и динамика факторов внешней среды / П. И. Закржевский // Мелиорация переувлажненных земель : сб. науч. тр. – Минск, 1977. – Т. XXV. – С. 95–105.
14. Ромко, А. В. Обоснование водного и питательного режима мелиорируемых земель гумидной зоны с использованием интегрированной модели агрогеосистемы : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 06.01.02 / А. В. Ромко ; Всеросс. науч.-исслед. ин-т гидротехники и мелиорации им. А. Н. Костякова. – Москва, 2007. – 26 с.
15. Попов, В. А. Математическое выражение закона лимитирующего фактора и его приложение к задачам мелиоративного земледелия / В. А. Попов // Мелиорация и вод. хоз-во. – 1997. – № 2. – С. 30–34.
16. Механизация полива : справочник / Б. Г. Штепа [и др.]. – Москва : Агропромиздат, 1990. – 336 с.
17. Лихацевич, А. П. Использование математического моделирования для повышения достоверности оценки результатов полевого агрономического опыта / А. П. Лихацевич // Вес. Нац. акад. навук Беларусі. Сер. аграр. навук. – 2018. – Т. 56, № 3. – С. 321–334.
18. Выбор показателя водного режима в математической модели урожайности сахарной свеклы / А. П. Лихацевич, Г. В. Латушкина, А. А. Левкевич, А. В. Малышко, М. Н. Титова // Мелиорация. – 2022. – № 4 (102). – С. 45–54.
19. Лихацевич, А. П. Математическая модель урожая сельскохозяйственных культур / А. П. Лихацевич // Вес. Нац. акад. навук Беларусі. Сер. аграр. навук. – 2021. – Т. 59, № 3. – С. 304–318.
20. Лихацевич, А. П. Оценка комплексного влияния водно-пищевого режима на урожайность сахарной свеклы / А. П. Лихацевич, Г. В. Латушкина, А. В. Малышко // Мелиорация. – 2023. – № 3 (105). – С. 22–35.

Поступила 12 марта 2024 г.

ОДНОКОВШОВЫЙ ЭКСКАВАТОР ДЛЯ МЕЛИОРАТИВНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА

А. В. Вавилов¹, доктор технических наук
А. А. Малиновский², директор НТЦ – генеральный конструктор
В. В. Голубев², главный конструктор строительных машин
Г. В. Домаш², главный конструктор компонентов машин
А. Е. Кабанов², начальник отдела
 экскаваторов и экскаваторов-погрузчиков
С. М. Костюк², заместитель начальника
 Исследовательского центра испытаний и доводки машин

¹Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Беларусь

²ОАО «"АМКОДОР" — управляющая компания холдинга», г. Минск, Беларусь

Аннотация

Создан отечественный одноковшовый экскаватор для мелиоративного строительства, а именно для выполнения эксплуатационных работ на заросших кустарником магистральных каналах и восстановления мелиоративных систем, требующих ремонта. Модификация созданного экскаватора имеет удлиненное рабочее оборудование, что позволяет увеличить охват рабочей зоны с одной стоянки экскаватора.

Ключевые слова: экскаватор, мелиорация, осушение, рабочие органы, ходовая система, широкая гусеница, стрела, рукоять, ковш, удлинение рабочего оборудования.

Abstract

A. V. Vavilau, A. A. Malinovsky, V. V. Golubev, G. V. Domash, A. E. Kabanau, S. M. Kostsiuk
SINGLE BUCKET EXCAVATOR FOR RECLAMATION CONSTRUCTION

A domestic single-bucket excavator has been created for reclamation construction, namely for performing operational work on main canals overgrown with bushes and restoring reclamation systems that require repair. The modification of the created excavator has extended working equipment, which allows increasing the coverage of the working area from one excavator parking lot.

Keywords: excavator, reclamation, drainage, working parts, chassis system, wide caterpillar, boom, handle, bucket, extension of working equipment.

Введение

В мелиоративном строительстве Беларуси используются одноковшовые гидравлические экскаваторы, чаще всего импортного производства или отечественные, с истекшим сроком службы. В связи с задачей, поставленной руководством страны, по увеличению объемов выполнения работ в мелиорации и обеспечению импортозамещения создан отечественный одноковшовый гидравлический экскаватор, учитывающий требования как технологий мелиоративного строительства, так и проходимости на объектах мелиорации. Модификация созданного экскаватора имеет удлиненное рабочее оборудование, что по-

зволяет увеличить охват рабочей зоны с одной стоянки экскаватора.

Для Беларуси актуально увеличение объемов работ по мелиоративному строительству – в частности, по эксплуатационным работам на мелиорированных землях. Речь идет об окашивании откосов существующих каналов и удалении при этом древесно-кустарниковой растительности, восстановлении дренажных систем и т. д.

Для выполнения этих работ [1–5] необходимы прежде всего одноковшовые экскаваторы, при этом проходимые на грунтах с низкой несущей способностью.

Результаты исследований и их обсуждение

На ОАО «"АМКОДОР" — управляющая компания холдинга» создан экскаватор АМКОДОР ХС231LC и его модификация с удлиненным рабочим оборудованием АМКОДОР ХС231LR.

На рис. 1 представлен экскаватор гусеничный АМКОДОР ХС231LC одноковшовый универсальный 4-й размерной группы с жесткой подвеской рабочего оборудования. Его основные части: гусеничная тележка, поворотная платформа, рабочее оборудование, гидросистема, электросистема.

Гусеничная тележка имеет раму сварной конструкции, нижняя часть которой представляет собой две продольные балки, сваренные между собой центральной Х-образной металлоконструкцией с расточкой в верхней части для установки опорно-поворотного устройства. На продольных балках размещены два бортовых двухскоростных редуктора планетарного типа с гидромоторами (гидрообъемный привод обеспечивает функцию рабочего и стояночного тормозов), ведущих звездочек, направляющих колес с устройствами натяжения гусениц, опорных и поддерживающих роликов, гусеничных лент.

Платформа поворотная представляет собой сварную металлоконструкцию с кронштейнами и местами для размещения и крепления силовой установки с ее системами, рабочего оборудования, гидросистем, электросистемы, кабины оператора с органами управления, противовеса. Платформа поворотная крепится болтовыми соединениями

к опорно-поворотному устройству, которое устанавливается на гусеничную тележку. Рабочее оборудование экскаватора устанавливается в проушинах поворотной платформы и крепится с помощью пальцев.

Конструкция экскаватора предусматривает возможность использования различных видов сменного рабочего оборудования и рабочих органов. Привод всех рабочих движений, а также управление исполнительными органами экскаватора — гидравлические. На экскаваторе используются электрические системы освещения, вентиляции, сигнализации и пуска дизельного двигателя, создающие возможность работы в любое время суток и нормальный микроклимат в кабине.

Кабина экскаватора обеспечивает комфортные условия труда, тепло- и шумоизоляцию, обзорность. Балочный каркас соответствует требованиям безопасности. Кабина имеет каркасно-панельную конструкцию; одноместная, герметичная, с системами безопасности. Она устанавливается на платформе поворотной через амортизаторы; оборудована кондиционером-отопителем, стеклоочистителем и стеклоомывателем лобового стекла. В кабине расположены сиденье оператора, органы управления и контроля систем экскаватора. Ее конструкция обеспечивает возможность размещения дополнительных органов управления сменным (дополнительным), в том числе активным оборудованием.



Рис. 1. Одноковшовый гидравлический экскаватор АМКОДОР ХС231LC

Экскаватор предназначен для мелиоративного строительства, а также для всего строительного комплекса, а именно для разработки котлованов, траншей, карьеров в грунтах I–IV-й категорий, погрузки и разгрузки сыпучих материалов, разрыхленных пород и мерзлых грунтов (величина кусков 200 мм максимально), для выполнения работ в макроклиматических районах с умеренным климатом в диапазоне температур окружающего воздуха от +40 °С до –40 °С.

В табл. 1 приведены основные параметры и размеры экскаватора AMKODOR XC231LC и его модификации AMKODOR XC231LR.

Из табл. 1 следует, что модифицированный вариант экскаватора имеет большую глубину копания, большой радиус копания, высоту выгрузки, что немаловажно для применения в мелиоративном строительстве (рис. 2, 3).

Экскаватор AMKODOR XC231LC и его модифицированный вариант имеют одинаковые показатели надежности (табл. 2).

Таблица 1. Технические характеристики гидравлических экскаваторов

Параметры		Значение	
		XC231LC	XC231LR
1	Масса эксплуатационная, т	240±1,5	
2	Исполнение рабочего оборудования	С жесткой подвеской	
3	Модель двигателя	Д-260.9S2	
4	Номинальная мощность двигателя, кВт	132	
5	Номинальная частота вращения коленчатого вала двигателя, об/мин	2100	
6	Максимальное тяговое усилие, кН, не менее	245	
7	Максимальная скорость движения, км/ч, не менее: - транспортная - технологическая	5,8 3,2	
8	Колея гусеничного хода, мм	2390±50	
9	База гусеничного хода, мм	3640±50	
10	Клиренс, мм	470±10	
11	Среднее давление на грунт, кПа, не более: - при ширине гусениц 600 мм - при ширине гусениц 800 мм	50 47	
12	Максимальный преодолеваемый уклон твердого сухого пути	33°±2°	
13	Отклонение от прямолинейности движения на длине 20 м, мм, не более	800	
14	Максимальная частота вращения поворотного платформы, об/мин	11,3±0,3	
15	Максимальное давление в гидросистеме, МПа: - в приводе рабочего оборудования - в приводе хода - в приводе поворота платформы	35±2 35±2 27±1	
16	Продолжительность рабочего цикла, с	20	21
17	Техническая производительность, м ³ /ч, не менее	180	120
18	Удельный расход топлива при экскавации грунта, г/кВт ч, не более	245	

Окончание табл. 1

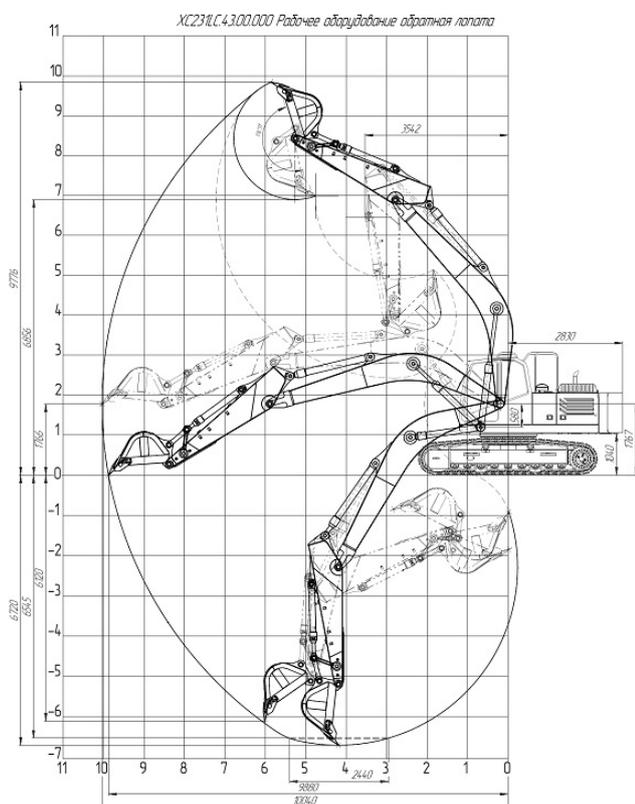
19	Номинальная грузоподъемность, т, не более	3,3	0,9
20	Опрокидывающая нагрузка, кН, не менее	43	20
21	Максимальная кинематическая глубина (высота) копания, мм	6720 ± 80(9780 ± 80)	9700 ± 80(11 400 ± 80)
22	Максимальный радиус копания на уровне стоянки, мм	9880 ± 100	13 010 ± 100
23	Максимальная высота выгрузки, мм, не менее	6800	9620
24	Вместимость ковша, м, не менее: - геометрическая - номинальная	0,8 1,0	0,5 0,7
25	Габаритные размеры ковша, мм: - длина - ширина, не более - высота	1435 ± 20 1335 1320 ± 20	860 ± 20 1960 900 ± 20
26	Масса ковша, кг	900 ± 30	430 ± 30
27	Габаритные размеры в транспортном положении, мм: - длина - ширина (при ширине гусениц 600/800 мм) - высота по кабине	9660 ± 100 2990/3190 3065 ± 50	11 600 ± 100 2990/3190 3065 ± 50
28	Масса комплекта сменного рабочего оборудования: - ХС231LC.43.48.000 - ХС231LR.43.48.000/ХС231LC.84.09.000-01Б	– 4747 ± 50	4740 ± 50 –

Таблица 2. Показатели надежности

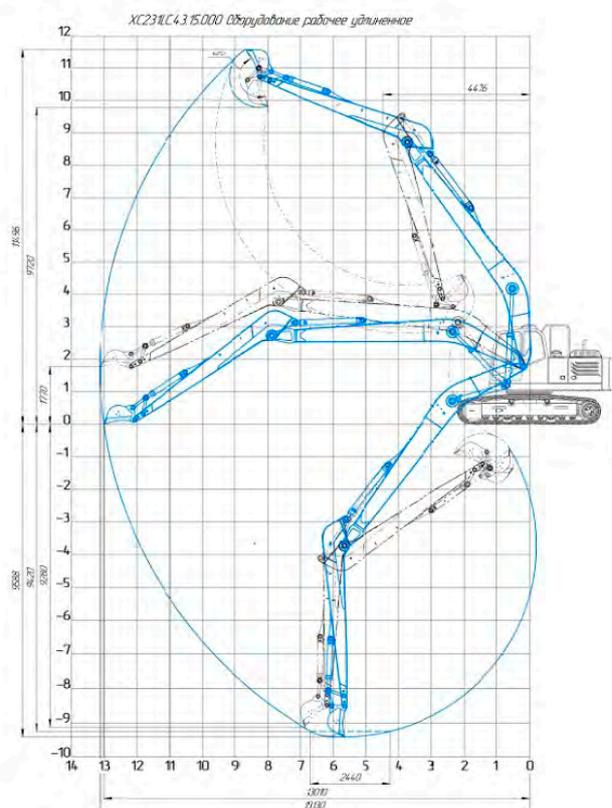
Параметры		Значение
1	Средняя оперативная трудоемкость ежесменного технического обслуживания, чел-ч, не более	0,54
2	Средняя наработка на отказ II-й и III-й групп сложности, ч, не менее	300
3.	Коэффициент технического использования, не менее	0,85
4	Коэффициент готовности по оперативному времени, не менее	0,99
5	Удельная суммарная оперативная трудоемкость технических обслуживаний, чел-ч/ч, не более	0,04
6	80%-й ресурс до первого капитального ремонта, ч, не менее	8000
7	Ресурс до списания, ч, не менее	15 000
8	Срок службы, лет, не менее	10



Рис. 2. Экскаватор AMKODOR XC231LR с удлиненным рабочим оборудованием



Экскаватор AMKODOR XC231LC



Экскаватор AMKODOR XC231LR

Рис. 3. Сравнение зон охвата экскаватором AMKODOR XC231LC и его модифицированным вариантом

Конструкция экскаватора и его модификации (в соответствии с ГОСТ 30067) обеспечивает:

- возможность использования не менее 3 видов рабочего оборудования с различными сменными рабочими органами;
- продолжительность замены рабочих органов (без учета продолжительности заме-

ны или регулировки других элементов рабочего оборудования) не более 30 минут при численности персонала не более 2 человек;

- совмещение двух или более движений в любой момент рабочего цикла с возможностью регулирования скорости не менее одного из них;

- устойчивость при работе с наклоном в любом направлении на угол не менее 5° к горизонту с основным рабочим оборудованием;
- устойчивость при передвижении, в том числе при передвижении по твердой сухой поверхности косогора, до 8° включительно;
- стопорение поворотной части относительно неповоротной в транспортном положении.

Научные экспериментальные исследования проводились на предмет модификации экскаватора ХС231LR с удлиненным рабочим оборудованием для использования его в мелиоративном строительстве.

В частности, изучалась нагруженность несущих и силовых конструкций экскаватора на основных рабочих режимах. На экскаваторное оборудование устанавливались датчики давления в гидроцилиндры (далее – ГЦ) и тензорезисторы, затем они подключались к регистрирующей аппаратуре (рис. 4).

Полученные результаты исследований представлены в табл. 3.

Анализ полученных данных показал, что для надежности экскаватора без ущерба возможно удлинение его стрелы на 1,95 м, а рукояти – на 2,02 м.

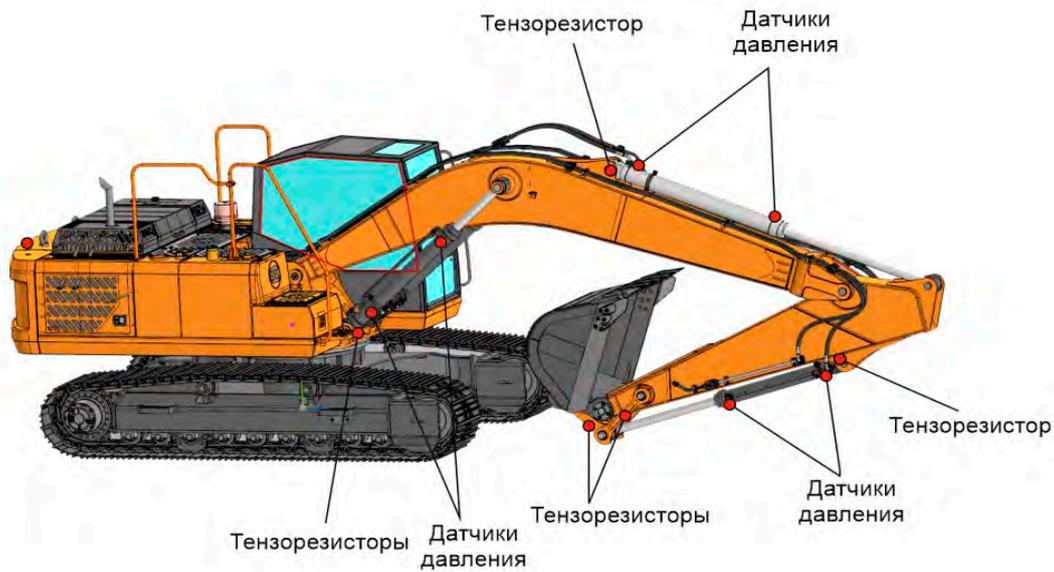


Рис. 4. Общая схема установки датчиков на экскаваторе

Таблица 3. Сводная таблица полученных результатов тензометрирования экскаватора

Измеряемые параметры	Единица измерения	Описание опыта / Максимальное значение измеряемого параметра								
		Копание гидроцилиндром (ГЦ) ковша	Копание ГЦ ковша (при максимально сжатом ГЦ рукояти)	Копание ГЦ рукояти (при максимально сжатом ГЦ ковша)	Копание ГЦ рукояти	Копание ГЦ рукояти (при максимально выдвинутом ГЦ ковша)	Опираание на ковш (при максимально выдвинутом ГЦ рукояти)	Поворот платформы при опирании на ковш (при максимально сжатом ГЦ рукояти)	Поворот платформы при опирании на ковш (при среднем положении ГЦ рукояти)	Поворот платформы при опирании на ковш (при максимально выдвинутом ГЦ рукояти)
Усилие в тяге ковша – 1	кН	24	18	3	62	132	174	40	41	105
Усилие в тяге ковша – 2	кН	21	14	4	59	120	151	38	38	94
Усилие в рычаге ковша – 1	кН	1	2	5	5	39	15	3	3	37
Усилие в рычаге ковша – 2	кН	57	10	7	8	50	2	19	19	42

Окончание табл. 3

Усилие в проушине кронштейна ГЦ ковша	кН	2	17	4	26	6	39	47	47	64
Усилие в проушине кронштейна ГЦ рукояти	кН	1	11	21	22	13	47	1	1	13
Усилие в левой щеке поворотной платформы	кН	19	33	32	46	44	89	97	97	95
Давление в ПП ГЦ ковша	бар	57	58	86	24	196	165	92	92	40
Давление в ШП ГЦ ковша	бар	84	93	222	26	15	22	89	89	132
Давление в ПП ГЦ рукояти	бар	7	9	12	67	21	30	24	24	6
Давление в ШП ГЦ рукояти	бар	34	66	80	200	117	60	96	96	276
Давление в ПП ГЦ стрелы	бар	107	119	130	93	85	2	141	141	14
Давление в ШП ГЦ стрелы	бар	10	13	21	10	36	21	6	6	93

Выводы

Новизна созданного отечественного гидравлического экскаватора заключается в обосновании удлиненных параметров стрелы и рукояти. Это позволяет увеличить охват

рабочей зоны с одной стоянки экскаватора, что немаловажно при его использовании в мелиоративном строительстве.

Библиографический список

1. Вавилов, А. В. Сменный корчующий рабочий орган к гидравлическому экскаватору 4-й размерной группы / А. В. Вавилов, В. Е. Быков // НТИ. Мелиорация и вод. хоз-во. – 1993. – № 5–7. – С. 38–39.
2. Мирсачатов, А. Н. Технология засыпки и уплотнения грунта в траншеях закрытых дрен / А. Н. Мирсачатов, С. Т. Вафаев // Мелиорация и вод. хоз-во. – 1991. – № 9. – С. 38–39.
3. Рябов, Г. А. Механизация гидротехнических работ : учеб. пособие / Г. А. Рябов, В. Б. Гантман, В. В. Суриков. – Москва : Колос, 1973. – 343 с.
4. Довгяло, В. А. Машины для земляных работ / В. А. Довгяло, А. М. Щемелев, Ю. А. Шебзухов. – Гомель : Белорус. гос. ун-т транспорта, 2016. – 390 с.
5. Купченко, А. И. Механизация водохозяйственных и мелиоративных работ : учеб. пособие / А. И. Купченко, А. В. Вавилов. – Мозырь : Белый ветер, 2000. – 288 с.

Поступила 8 января 2024 г.

РЕЖИМ НАНОСОВ В Р. ХУАНХЭ И ИХ АККУМУЛЯЦИЯ В ВОДОХРАНИЛИЩАХ

Э. И. Михневич¹, доктор технических наук
Ли Цзэмин^{1,2}, аспирант

¹Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Беларусь

²Шэньянский технологический институт, г. Фушунь, Китай

Аннотация

Река Хуанхэ – важнейший источник воды, подаваемой на орошение. Однако в ней отмечается очень высокая концентрация взвешенных наносов, среднемноголетнее значение которой составляет порядка 30 кг/м³. Для обеспечения гарантированной подачи воды на ирригационные системы, нормальной работы магистральных каналов требуется снижение мутности потока в реке. Для определения необходимой степени ее снижения изучен режим наносов в реке, предложена методика расчета транспортирующей способности взвесенасыщенного потока, установлены корреляционные связи между годовым стоком, содержанием наносов в речном потоке, проходящем через створы реки, в которых расположены гидрологические станции. Транспорт наносов в нижнем створе реки тесно связан с годовым стоком воды, содержанием наносов в потоке, проходящем через верхнюю станцию. Дана оценка аккумулирующей способности водохранилища Сяоланди, методика определения объемов и сроков его заиления.

Ключевые слова: режим наносов, русловые процессы, транспортирующая способность потока, незаиляющая скорость, аккумуляция наносов, заиление водохранилища.

Abstract

E. I. Mikhnevich, Li Zemin

SEDIMENT REGIME IN THE YELLOW RIVER AND ITS ACCUMULATION IN RESERVOIRS

The Yellow Rive (Huang He) is the most important source of water supplied for irrigation. However, it has a very high concentration of suspended sediment, the long-term average value of which is about 30 kg/m³. To ensure a guaranteed supply of water to irrigation systems and normal operation of main canals, a reduction in the turbidity of the flow in the river is required. To determine the required degree of its reduction, the sediment regime in the river was studied, a methodology was proposed for calculating the transport capacity of a suspended saturated flow, and correlations were established between the annual runoff and sediment content in the river flow passing through the river sections in which hydrological stations are located. Sediment transport in the lower section of the river is closely related to the annual water flow and sediment content in the flow passing through the upper station. An assessment of the storage capacity of the Xiaolandi reservoir and a method for determining the volume and timing of its siltation are given.

Keywords: sediment regime, channel processes, transporting capacity of the flow, non-silting speed; sediment accumulation, siltation of the reservoir.

Введение

Река Хуанхэ – важнейший поверхностный водный ресурс Китая, который широко используется для гидроэнергетики, водоснабжения, подачи воды на ирригационные системы, расположенные, главным образом, в среднем и нижнем течениях реки. Развитие экономики Китая неотделимо от водного источника этой реки. Тем не менее Хуанхэ признана одной из самых сложных рек в мире по управлению водным потоком и борьбе с наводнениями. Одна из отличительных особенностей р. Хуанхэ заключается в том, что среди больших рек мира она имеет самую высокую концентрацию взвешенных наносов, среднемноголетнее значение которой составляет порядка

30 кг/м³, а в период высоких паводков может достигать на отдельных участках 300 кг/м³ [1, 2]. Все это оказывает существенное влияние на развитие русловых процессов, вызывающих активное меандрирование речного русла и его интенсивное заиление, особенно в нижнем течении реки, где скорости течения воды снижаются до 0,4–0,5 м/с.

Общая длина Хуанхэ составляет 5464 км. В верхнем течении русло пролегает по крутым скалистым склонам, где скорости достигают 5 м/с и более. В среднем течении, с выходом реки на равнину Хэтао, река образует большую излучину, протекая сначала в северном направлении, затем в восточном и, наконец,

поворачивает на юг, где со скоростью порядка 1,5–2,0 м/с пересекает лессовое плато Шен-си, интенсивно его эродировывает и насыщается огромным количеством лессовидных наносов. При выходе реки на Великую Китайскую равнину скорости течения уменьшаются до 0,4–0,5 м/с, транспортирующая способность потока резко снижается и наносы отлагаются в русле в огромном количестве. Дно русла повышается и на участке реки большой протяженности (примерно 800 км) располагается на 3–10 м выше прилегающей низменности («висячая река»). Это вызывает угрозу опасных наводнений, для защиты от которых русла Хуанхэ и ее притоков ограждены дамбами высотой 5–12 м общей протяженностью около 5000 км, в том числе 1324 км дамб и 1498 км набережных по обоим берегам реки.

В течение длительного времени Китай упорно работал над управлением русловым процессом на р. Хуанхэ и контролем баланса воды и наносов в ней. Объем транспортируемых по реке наносов сократился с 1,6 млрд тонн в 2001 г. до 300 млн тонн в 2017 г., но это по-прежнему самый высокий показатель в мире [3]. На протяжении многих лет ученые из разных стран проводили исследования процессов эрозии и заиления русла в нижнем течении Хуанхэ. Эти исследования в основном

представляли теоретический анализ, создание математической модели речной эрозии и заиления, установление соответствующих взаимосвязей, что стало несомненным вкладом в теорию транспорта наносов [1, 3]. Однако практически основным мероприятием по снижению содержания наносов в речном потоке остается аккумуляция их в водохранилищах и прудах-отстойниках. В последние годы, в связи с вводом в эксплуатацию многих центров охраны водных ресурсов в среднем и верхнем течении р. Хуанхэ и водохранилища Сяоланди, процессы, связанные с воздействием водных потоков на прилегающие территории и транспортом наносов в реке, несколько стабилизировались [4].

Воды Хуанхэ широко используются для орошения (на равнине Хэтао и Большой Китайской равнине). Для обеспечения гарантированной подачи воды на ирригационные системы, нормальной работы магистральных каналов очень важно изучить наносный режим реки, оценить аккумуляционную способность водохранилищ, созданных на реке, предложить методику расчета транспортирующей способности взвесенасыщенного потока, определения объемов и сроков заиления водохранилища, меры по улучшению водного режима реки и реконструкции водохранилищ.

Режим стока воды и наносов в нижнем течении р. Хуанхэ

Наиболее интенсивному заилению подвержен участок русла в нижнем течении Хуанхэ, который начинается от водохранилища Сяоланди на западе до устья моря на востоке и имеет длину 865 км. Здесь расположен ряд гидрологических станций: Сяоланди, Хуаюанькоу, Цзяхэтан, Гаоцунь, Сункоу, Айшан, Луокоу, Лиджин (рис. 1).

Река Хуанхэ в среднем течении имеет ширину 300–500 м и становится более просторной в нижнем течении, где достигает 1500 м. Уклон дна реки более крутой в верхнем течении и более пологий в нижнем. Перепад на нижнем участке длиной 865 км составляет 94 м, соответственно, среднее значение уклона $i = 0,00011$; площадь водосборного бассейна на этом участке – около 23 000 км².

В течение длительного времени большое количество наносов переносилось с верхнего и среднего участков реки в ее нижнее течение, что привело к практически полному

заилению русла, в результате чего образовалась так называемая надземная висячая река (рис. 2), дно русла которой стало выше уровня прибрежной территории [5].

На основе данных, опубликованных в Бюллетене речных наносов Китая в течение ряда лет после завершения строительства водохранилища Сяоланди, проведен анализ режима воды и наносов в низовье р. Хуанхэ, установлены корреляционные связи между стоком воды и расходом наносов.

Участки между гидрологическими станциями Сяоланди – Хуаюанькоу и Хуаюанькоу – Гаоцунь являются типичными участками меандрирующих рек, между станциями Гаоцунь – Айшан – переходными участками, а между Айшан – Лиджин – извилистыми участками рек. Створы пяти контрольных гидрологических станций – это узлы, разделяющие реку на характерные участки (табл. 1) [6].



Рис. 1. Характерные участки реки и гидрологические станции в нижнем течении р. Хуанхэ



Рис. 2. Надземная висячая река в нижнем течении р. Хуанхэ

Таблица 1. Характерные участки р. Хуанхэ и типы руслового процесса в ее нижнем течении

Участок реки	Длина участка, км	Ширина поймы реки, км	Ширина русла по верху, км	Средняя ширина русла, км	Средний продольный уклон	Тип руслового процесса
Сяоланди – Хуаюанькоу	125,8	4–9	1–3	1,4	0,00023	Меандрирующий
Хуаюанькоу – Гаоцунь	177,9	5–20	1,6–3,5	1,37	0,00018	Меандрирующий
Гаоцунь – Айшан	182,1	1–8,5	0,5–1,6	0,73	0,000115	Переходный
Айшан – Лиджин	269,6	0,4–5	0,4–1,2	0,65	0,0001	Извилистый
Ниже Лиджина	110	–	–	–	–	Эстуарий

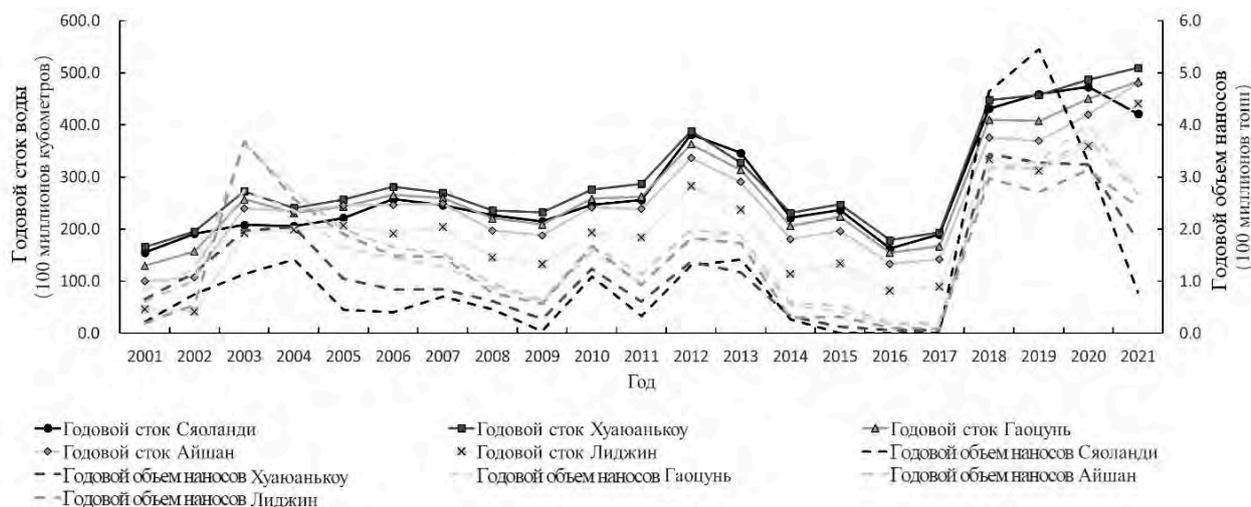


Рис. 3. Изменения стока воды и наносов в нижнем течении р. Хуанхэ в 2001–2021 гг.

Ежегодные изменения годового стока воды и наносов в период 2001–2021 гг. на пяти контрольных гидрологических станциях (Сяоланди, Хуаюанькоу, Гаоцунь, Айтшан и Лиджин) в нижнем течении р. Хуанхэ показаны на рис. 3.

Как видно из рис. 3, после строительства водохранилища Сяоланди (2001 г.) количество транспортируемых наносов через створы гидрологических станций, расположенных ниже по течению, значительно снизилось, достигнув самого низкого значения в 2015 г. и 2016 г., в соответствии с тенденцией изменения стока. Однако после 2017 г. количество наносов, транспортируемых через створы всех станций, резко увеличилось. Это отражает то, что аккумулирующая способность водохранилища Сяоланди достигла критического значения и оно стало не в состоянии задерживать наносы. Для восстановления аккумулирующей способности водохранилища требуется его очистка или интенсивная промывка со сбросом наносов в нижний бьеф.

Ситуация с переносом наносов на определенном участке р. Хуанхэ связана не только с годовым стоком воды, но и с содержанием наносов в верхнем течении. Эта зависимость может быть выражена следующей формулой [7]:

$$Q_s = K S_{\text{вверх}}^\alpha Q^\beta, \quad (1)$$

где Q_s – расход транспортируемых наносов в створе исследуемой станции; K – коэффициент пропорциональности; $S_{\text{вверх}}$ – количество наносов, поступающих из верхней станции;

Q – среднегодовой расход воды в створе исследуемой станции; α, β – индексы степени.

Из формулы (1) видно, что объем транспортируемых наносов тесно связан с измеренным годовым стоком воды на исследуемой гидрологической станции, который соответственно тесно связан с годовым стоком воды в створе верхней станции. Произведение годового стока воды и концентрации наносов в поступающем потоке представляет собой объем транспортируемых наносов через данное поперечное сечение, поэтому формулу (1) можно представить в виде следующей зависимости:

$$Q_s = f(Q_{\text{вверх}}, S_{\text{вверх}}, Q_{s, \text{вверх}}), \quad (2)$$

где $Q_{\text{вверх}}$ – среднегодовой расход воды в створе вышерасположенной гидрологической станции; $Q_{s, \text{вверх}}$ – расход наносов, транспортируемых через створ данной гидрологической станции. В этой формуле Q_s относится к расходу наносов, транспортируемых через створ станции, расположенной ниже на данном участке реки.

Из вышеприведенного соотношения можно вывести характерные зависимости переноса воды и наносов на четырех участках р. Хуанхэ. Годовой сток воды от Сяоланди до станции Лиджин выражается в терминах от Q_1 до Q_5 ; перенос наносов – в терминах от Q_{s1} до Q_{s5} ; содержание наносов в потоке – обозначениями от S_1 до S_5 . Когда известен годовое количество Q_1 , содержание речных наносов S_1 или ежегодный

перенос песка Q_{S1} из водохранилища Сяоланди, то можно рассчитать пропускную способность станции, расположенной ниже, для транспортировки наносов по соответствующей формуле. Корреляционные связи между объемом транспортируемых наносов через створ нижней стан-

ции и годовым стоком воды, содержанием наносов в потоке и расходом транспортируемых наносов на станции, расположенной выше, устанавливаются отдельно для каждого рассматриваемого участка. Эти связи систематизированы и представлены в табл. 2–4.

Таблица 2. Корреляционные связи между расходом наносов через нижнюю гидрологическую станцию и среднегодовым расходом воды в створе вышерасположенной станции

Участок реки	Адекватная формула	Коэффициент корреляции r
Сяоланди – Хуаюанькоу	$Q_{S2} = 0,00004Q_1^2 - 0,015Q_1 + 2,28$	0,820
Хуаюанькоу – Гаоцунь	$Q_{S3} = -0,000002Q_2^2 + 0,0102Q_2 - 1,191$	0,827
Гаоцунь – Айшан	$Q_{S4} = -0,00002Q_3^2 + 0,0185Q_3 - 1,987$	0,790
Айшан – Лиджин	$Q_{S5} = -0,00002Q_4^2 + 0,0201Q_4 - 1,995$	0,796

Таблица 3. Взаимосвязь между расходом наносов через нижнюю гидрологическую станцию и содержанием наносов в потоке на выше расположенной станции

Участок реки	Адекватная формула	Коэффициент корреляции r
Сяоланди – Хуаюанькоу	$Q_{S2} = -0,0076S_1^2 + 0,3735S_1 + 0,1345$	0,940
Хуаюанькоу – Гаоцунь	$Q_{S3} = -0,0162S_2^2 + 0,5012S_2 + 0,0108$	0,848
Гаоцунь – Айшан	$Q_{S4} = -0,00009S_3^2 + 0,3398S_3 - 0,1823$	0,836
Айшан – Лиджин	$Q_{S5} = -0,0066S_4^2 + 0,3686S_4 - 0,5429$	0,808

Таблица 4. Взаимосвязь между расходом наносов через нижнюю и верхнюю станции

Участок реки	Адекватная формула	Коэффициент корреляции r
Сяоланди – Хуаюанькоу	$Q_{S2} = -0,144Q_{S1}^2 + 1,364Q_{S1} + 0,1755$	0,964
Хуаюанькоу – Гаоцунь	$Q_{S3} = -0,1529Q_{S2}^2 + 1,5292Q_{S2} + 0,0899$	0,976
Гаоцунь – Айшан	$Q_{S4} = -0,1005Q_{S3}^2 + 1,3946Q_{S3} - 0,1617$	0,981
Айшан – Лиджин	$Q_{S5} = -0,0322Q_{S4}^2 + 1,1034Q_{S4} - 0,2457$	0,990

Как видно из табл. 2, после завершения строительства водохранилища Сяоланди объем переноса наносов через станцию рассматриваемого речного участка, расположенную ниже, имеет определенную взаимосвязь с годовым объемом стока воды верхней станции, но распределение точек относительно разбросано и коэффициент корреляции соответствующей формулы для каждого речного участка составляет порядка 0,8.

Как показывают данные табл. 3, для нижнего течения р. Хуанхэ существует определенная корреляционная связь между расходом

наносов, транспортируемых через нижнюю гидрологическую станцию, и содержанием наносов в потоке в створе вышерасположенной станции. Наиболее тесная корреляционная связь имеет место для участка Сяоланди – Хуаюанькоу, где коэффициент корреляции в соответствующей формуле достигает 0,94. По мере удаления гидрологических станций от водохранилища Сяоланди значения коэффициента корреляции несколько уменьшаются.

Как следует из данных табл. 4, расход наносов, транспортируемых через нижнюю гидрологическую станцию, тесно связано с рас-

ходом наносов, транспортируемых в створе вышерасположенной станции. Коэффициент корреляции между этими значениями на каждом участке р. Хуанхэ превышает 0,95, причем корреляция постепенно увеличивается вниз по течению, а на участке Айшан – Лиджин коэффициент корреляции достигает 0,99.

Для определения транспортирующей способности потока S , кг/м³ может быть использована разработанная ранее нами [8, 9] формула:

$$S = \frac{v^3 (\rho_s - \rho_b) \cdot 10^{-3}}{\alpha \eta R g u} \quad (3)$$

Соответственно, величину незаилающей скорости $v_{нез}$, м/с, при которой не будет происходить осаждение взвешенных наносов, можно определять по формуле

$$v_{нез} = \sqrt[3]{\frac{\alpha \eta S R g u}{(\rho_s - \rho_b) \cdot 10^{-3}}}, \quad (4)$$

где S – средневзвешенная мутность потока, кг/м³;

η – коэффициент неоднородности взвешенных наносов, $\eta = d_{90} / d_{50}$ (d_{90} – диаметр частиц крупной фракции, которых содержится в составе наносов менее 90 % по массе, m ; d_{50} – средний диаметр частиц наносов, m);

R – гидравлический радиус живого сечения, m ;

u – гидравлическая крупность частиц средневзвешенного диаметра, m/c ;

ρ_s, ρ_b – плотность соответственно частиц наносов и воды, кг/м³;

g – ускорение свободного падения, m/c^2 ;

α – коэффициент, зависящий от характера осаждения наносов; принимается $\alpha = 4,0$ при $d = 0,1-2,5$ мм; $\alpha = 4,5$ при $d > 2,5$ мм и $\alpha = 3,5$ при $d < 0,1$ мм.

Если окажется, что $v < v_{нез}$, то будет происходить осаждение наносов и заиливание русла.

Аккумуляция наносов в водохранилище Сяоланди

Для обеспечения гарантированной подачи воды из р. Хуанхэ на орошение и осветления взвесенесущего потока, поступающего в магистральные каналы, создают водохранилища, чаще всего многофункционального назначения [10], в том числе для аккумуляции наносов. На Хуанхэ функционирует самое крупное водохранилище – Сяоланди. Оно имеет многоцелевое назначение: для целей гидроэнергетики (мощность ГЭС – 1836 МВт), промышлен-

В потоках, сильно насыщенных наносами, что характерно для р. Хуанхэ, плотность смеси воды с наносами $\rho_{см}$ несколько выше плотности чистой воды ρ_b , поэтому в формулах (3) и (4) более правильно принимать плотность двухфазного потока $\rho_{см}$, которая может быть определена следующим равенством:

$$\rho_{см} = v_n \rho_n + (1 - v_n) \rho_b, \quad (5)$$

$$\text{или} \quad \rho_{см} = \rho_b + v_n (\rho_n - \rho_b), \quad (6)$$

где v_n – объем наносов (в плотном теле), содержащихся в 1 м³ двухфазного потока;

$(1 - v_n)$ – объем чистой воды в 1 м³ двухфазного потока;

ρ_n – плотность частиц наносов, кг/м³ (для песчаных грунтов среднее значение $\rho_n = 2650$ кг/м³).

Значение v_n может быть представлено в виде соотношения

$$v_n = S / \rho_n. \quad (7)$$

Подставляя это значение v_n в уравнение (6), получим:

$$\rho_{см} = \rho_b + S \left(1 - \frac{\rho_b}{\rho_n} \right). \quad (8)$$

Расчеты, выполненные по формуле (3), показали, что в среднем течении воды (скорость $v = 2$ м/с; наносы средней крупности частиц $d = 0,05$ мм; гидравлическая крупность $u = 0,00195$ м/с; коэффициент неоднородности взвешенных наносов $\eta = 2$; $\rho_{см} = 1018,4$ кг/м³; гидравлический радиус $R = 3$ м) транспортирующая способность потока составила $S = 31$ кг/м³, что соответствует фактическому содержанию наносов в потоке на данном участке. В нижнем течении реки, где средняя скорость $v = 0,5$ м/с; $R = 4$ м, транспортирующая способность потока резко снижается и составляет только $S = 0,37$ кг/м³. Поэтому на этом участке происходит интенсивное осаждение наносов, заиливание русла и повышение отметки дна, образуя так называемую висячую реку [5].

ного и сельскохозяйственного водоснабжения, защиты от наводнений, аккумуляции наносов и подачи осветленной воды на ирригационные системы. Высота плотины – 154 м, длина – 1317 м. Площадь водной поверхности водохранилища – 272 км², общая емкость – 12,65 млрд м³, мертвый объем $V_{мо}$ составляет 7,55 млрд м³.

После завершения строительства водохранилища Сяоланди оно активно использо-

валось для аккумуляции наносов и проблема заиления русла в нижнем течении реки была в определенной степени решена: заиление значительно уменьшилось, русло реки в низовьях Хуанхэ сузилось, уровень воды понизился [4], ситуация с «нависающей рекой» улучшилась [5]. Однако эта проблема стала актуальной после того, как емкость водохранилища Сяоланди, предназначенная для аккумуляции наносов, заполнилась.

Для определения объема и срока заиления мертвого объема водохранилища можно использовать полученную нами ранее формулу, предназначенную для расчета объема наносов [10]:

$$V_H = 31,54 t_{cl} \left(S \bar{Q}_{год} \frac{1-\delta}{\rho_{взв}} + \frac{q_{вл} B}{\rho_{вл}} \right) \varphi, \text{ млн м}^3, \quad (9)$$

где 31,54 – продолжительность года, млн с; t_{cl} – срок службы водохранилища, лет; S – среднесуточная мутность воды, кг/м³; $\bar{Q}_{год}$ – среднесуточный расход воды, м³/с; δ – транзитная часть взвешенных наносов, выносимых в нижний бьеф, принимается в среднем $\delta = 0,20-0,30$, соответственно $(1 - \delta)$ – та часть наносов, которая отложится в водохранилище; $\rho_{взв}$ – плотность взвешенных наносов: в среднем 1100–1500 кг/м³; $q_{вл}$ – расход влекомых (донных) наносов на единицу ширины русла, кг/(с · м); B – ширина русла по дну, соответствующая среднесуточному годовому расходу $\bar{Q}_{год}$, м; расход влекомых наносов для всего русла будет $q_{вл} B$; $\rho_{вл}$ – плотность донных наносов (в среднем 1400–1600 кг/м³); φ – коэффициент, учитывающий дополнительное поступление наносов за счет разрушения берегов, а также склоновой и ветровой эрозии.

Для рек, несущих большое количество мелкозернистых и пылеватых взвешенных наносов, расход влекомых (донных) наносов небольшой (порядка 1–3 % от взвешенных). Для р. Хуанхэ этот расход составляет менее 1 % [2]. Такое же небольшое количество донных наносов в реке получено в результате расчета по формуле, приведенной в нашей статье [10]:

$$q_{вл} = 0,011 h_r \frac{v^{3,9}}{(gh)^{1,45}}, \quad (10)$$

где h_r – высота гряд, которую Б. Ф. Снищенко [2] рекомендует принимать $h_r = 0,25h$ при глубине потока $h < 1$ м и $h_r = 0,20 + 0,1 h$ при

$h \geq 1$ м; v – скорость потока, м/с; g – ускорение силы тяжести, равное 9,81 м/с².

Из формулы (9) можно рассчитать срок заиления мертвого объема водохранилища:

$$t_{cl} = V_H / [31,54 \left(S \bar{Q}_{год} \frac{1-\delta}{\rho_{взв}} + \frac{q_{вл} B}{\rho_{вл}} \right) \varphi]. \quad (11)$$

Исходя из объема заиления, равного мертвому объему водохранилища, $V_H = V_{мо} = 7,55$ млрд м³, при годовой среднесуточной концентрации (мутности) наносов в р. Хуанхэ $S = 30$ кг/м³, срок заиления мертвого объема водохранилища Сяоланди, рассчитанный по формуле (11), составил 16 лет, что близко к фактическому сроку аккумуляции наносов в мертвом объеме водоема. Для восстановления аккумуляционной способности водохранилища требуется его очистка или интенсивная промывка на первом этапе.

Учитывая, что не все поступающие в водохранилище взвешенные наносы аккумулируются, а часть их – порядка одной четверти ($\delta = 0,25$) – выносятся в нижний бьеф, в речном потоке ниже водохранилища Сяоланди могут содержаться наносы в количестве 7,5 кг/м³. Чтобы не допустить заиление магистральных каналов и обеспечить гарантированную подачу воды на ирригационные системы, скорость течения воды v в каналах должна быть выше незаиляющей скорости $v_{нез}$, которую можно определять по формуле (4). В нашем случае при среднем диаметре частиц наносов $d = 0,05$ мм и, соответственно, их гидравлической крупности частиц $u = 0,00195$ м/с значение незаиляющей скорости $v_{нез}$ составляет 0,8 м/с. Значит, скорость течения воды в канале должна быть $v \geq 0,8$ м/с. Если не представится возможным обеспечить скорость воды в магистральном канале выше незаиляющей, то потребуется осветление воды, подаваемой в канал, путем строительства водоемов-отстойников.

В 2001 г. измеренная емкость водохранилища Сяоланди на отметке 275 м составляла 12,04 млрд м³, а к 2021 г. она снизилась до 9,411 млрд м³, что является общим снижением на 21,8 %. Эрозия и последующее заиление ложа водохранилища непосредственно влияют на среднегодовое содержание наносов в низовье р. Хуанхэ (рис. 4).

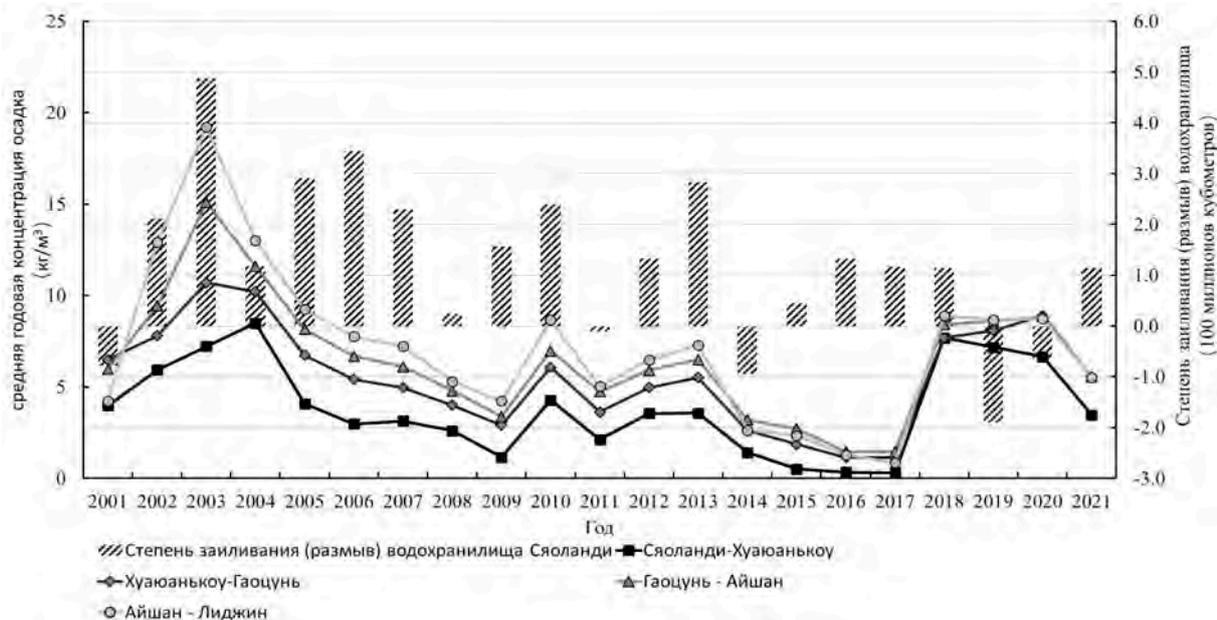


Рис. 4. Изменения эрозии наносов и заиления в зоне влияния водохранилища Сяоланди и их среднегодового содержания на каждом участке р. Хуанхэ

Как видно из рис. 4, отложения в створе водохранилища Сяоланди в 2001 г. находились в состоянии эрозии, после 2002 г. отложения в районе водохранилища – в основном в состоянии заиления. В 2014 г. была проведена частичная очистка водохранилища, а затем оно заиливалось вплоть до 2017 г., когда наступило полное насыщение мертвого объема наносами. Благодаря промывкам в 2019 г. и 2020 г. аккумулярующая способность водохранилища Сяоланди была частично восстановлена.

Выводы

1. Установлены корреляционные связи между годовым стоком воды, содержанием наносов в речном потоке, проходящем через створы реки, в которых расположены гидрологические станции. Корреляционные зависимости показали, что расход наносов в створе нижней гидрологической станции тесно связан с годовым стоком, содержанием наносов в потоке и его расходом через верхнюю станцию.

2. Транспортирующую способность потока рекомендуется определять по формуле (3), а незаиляющую скорость – по зависимости (4). В потоках, сильно насыщенных наносами, что характерно для р. Хуанхэ, плотность смеси воды с наносами $\rho_{см}$ несколько выше плотности чистой воды ρ_v , поэтому в формулах (3) и (4) более правильно принимать плотность двухфазного потока $\rho_{см}$, которая может быть определена равенством (8). По указанным

Согласно рис. 4, среднегодовое содержание наносов в реке на каждом участке в основном соответствует тенденции изменения годового стока и ежегодного переноса наносов в районе гидрологической станции. Их среднегодовое содержание на участке от Сяоланди до Лиджин постепенно увеличивалось, вплоть до 2017 г. После 2017 г. заиление каждого участка реки достигло более высокого уровня, и этот период формирования реки характеризуется интенсивным русловым процессом.

формулам дана оценка транспортирующей способности потока в р. Хуанхэ и незаиляющей скорости в магистральных каналах, подающих воду на орошение.

3. Для определения аккумулярующей способности водохранилища и, соответственно, срока заполнения мертвого объема наносами предлагается использовать разработанные ранее нами формулы (9) и (11).

С 2002 г. водохранилище Сяоланди активно использовалось для аккумуляции наносов, но к 2017 г. емкость для хранения наносов в основном достигла насыщения и способность улавливать наносы резко уменьшилась. Для достижения цели непрерывного и эффективного контроля за наносами и их блокирования проведены мероприятия по интенсивной промывке водохранилища и намечено применение инженерно-технических средств для его очистки.

Библиографический список

1. Study on the characteristics of sediment erosion and siltation in flooded areas with high sediment content in the lower reaches of the Yellow River / Qian Sheng [et al.] // People's Yellow River. – 2021. – 43 (S2). – P. 20–22. [https:// doi: 10.3969/j.issn.1000-1379.2021.S2.008](https://doi.org/10.3969/j.issn.1000-1379.2021.S2.008)
2. Чалов, Р. С. Русловедение: теория, география, практика : в 3 т. / Р. С. Чалов. – Москва : Изд. ЛКИ, 2008. – Т. 1. – 608 с.
3. Transformation of bottom sediments in the Yellow River: Reservoir dredging and research on the use of bottom sediment resources / Wang Yuanjiang [et al.] // Water Resources Conservation of China. – 2023. – № 9. – P. 4–11. [https:// doi: 10.3969/j.issn.1000-1123.2023.09.002](https://doi.org/10.3969/j.issn.1000-1123.2023.09.002)
4. Hailong, Tsi. Discussion of factors influencing siltation of river channels in the lower reaches of the Yellow River, and measures to counter them / Tsi Hailong // Scientific and Technical Communication. – 2011. – № 23. – P. 71–72.
5. Shuotsian, Vang. A study of the influence of the Ciaolandi Dam on the river-groundwater system and a typical «suspended river» in the lower reaches of the Yellow River : Master's degree in ecology / Vang Shuotsian ; Henang University. – Nanking, 2021. – 56 p. [https:// doi: 10.27114/d.cnki.ghnau.2021.000345](https://doi.org/10.27114/d.cnki.ghnau.2021.000345)
6. Vengven, Yao. Research on key technologies to maintain basic functions of flood control and sand transport in the Lower Yellow River / Yao Vengven. – Peking : Scientific Press, 2007. – 271 p. [https:// doi: 10.3969/j.issn.1000-1123.2007.01.013](https://doi.org/10.3969/j.issn.1000-1123.2007.01.013)
7. Preliminary discussion of the mechanism of automatic adjustment of sand holding capacity in the lower reaches of the Yellow River / Qian Ning [et al.] // Journ. of Geography. – 1981. – № 2. – P. 143–156. [https:// doi: 10.11821/xb198102003](https://doi.org/10.11821/xb198102003)
8. Михневич, Э. И. Открытые водотоки: пропускная способность и устойчивость / Э. И. Михневич. – Минск : БНТУ, 2021. – 311 с.
9. Михневич, Э. И. Гидрология : пособие / Э. И. Михневич. – Минск : БНТУ, 2021. – 151 с.
10. Михневич, Э. И. Методика расчета подачи воды на орошение из водохранилищ многофункционального назначения (на примере Китая и Беларуси) / Э. И. Михневич, Ли Цзэмин // Наука и техника. – 2022. – Т. 21, № 6. – С. 480–489.

Поступила 11 марта 2024 г.

АГРОФИЗИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПОЧВ КАРАБАХСКОЙ РАВНИНЫ АЗЕРБАЙДЖАНА

М. Г. Мустафаев, доктор аграрных наук

С. А. Кочарли, PhD по аграрным наукам

Ч. Г. Гюлалыев, доктор аграрных наук

Ф. М. Мустафаев, научный сотрудник

Ф. Н. Алиева, научный сотрудник

*Институт почвоведения и агрохимии Министерства науки и образования
Азербайджанской Республики, г. Баку, Азербайджан*

Аннотация

Представлены некоторые агрофизические свойства почв Карабахской равнины, изучение которых позволяет получить определенное представление об агрофизических функциях почв данной территории. По результатам исследований выявлено, что каждый изученный тип почвы отличается от других.

Ключевые слова: агрофизика, гумус, гранулометрический состав, карбонаты, порозность.

Abstract

*M. G. Mustafayev, S. A. Kocharli, Ch. G. Gyulalyev,
F. M. Mustafayev, F. N. Alieva*

AGROPHYSICAL CHARACTERISTICS OF SOILS OF THE KARABAKH PLAIN OF AZERBAIJAN

Some agrophysical properties of the soils of the Karabakh plain is presented, the study of these properties allows us to gain a certain understanding of the agrophysical functions of soils in a given area. The researched data on which each studied soil type differs from each other.

Keywords: agrophysics, humus, particle size distribution, carbonates, porosity.

Введение

Каждая почва имеет свойственные ей определенные агрофизические свойства, которые оказывают большое влияние на развитие процесса почвообразования, формирование плодородия той или иной почвы и жизнедеятельность растений. В то же время многие процессы, происходящие в почвах, зависят от физических и химических свойств, и их изучение имеет большое научно-практическое значение. Почвы Карабахской равнины в разное время изучали многие видные ученые [1–5].

Карабах – это географический и исторический регион в Закавказье, который находится на юго-востоке Азербайджана. Карабахская

равнина – это наклонная аллювиально-пролювиальная подгорная местность с общим уклоном 1–5° с запада на восток. Здесь большой склон находится на юге, а к северу он значительно уменьшается – там местность постепенно переходит в равнину. Юго-западная часть местности (предгорья) состоит из невысоких холмов и оврагов. Почвы здесь развиваются в аридных субтропических условиях, поэтому учеными проводится сравнительный анализ почвообразования серо-коричневых, серо-бурых, лугово-сероземных и сероземных почв под специфическими растительными формациями.

Объект и методика исследования

Объект исследований – некоторые основные типы почв Карабахской равнины. Иссле-

дования проводились по общепринятым методикам [6, 7].

Результаты исследований и их обсуждение

Исследуемая территория расположена между предгорьями Кавказа и р. Курой. Площадь объекта исследований составляет 301 тыс. га.

Одна из основных геоморфологических особенностей объекта исследований – террасообразные ступени, образованные в четвертичном периоде в результате трансгрессии Каспийского моря и последующей денудации аллювиально-пролювиальных наносов. Карабахская равнина, особенно ее низменная зона, занята переотложенными делювиально-пролювиальными валуно-галечниковыми наносами, карбонатными суглинками, а также аллювиальными, часто засоленными глинисто-суглинистыми отложениями.

Гидрогеологические условия описываемой территории характеризуются наличием нескольких горизонтов напорных артезианских подземных вод; глубина грунтовых вод составляет 2,0–2,5 м. Почвообразовательный процесс исследуемого региона отличается сложным гидрогеохимическим состоянием, что вызвано такой своеобразной региональной закономерностью, как распределение грунтовых вод с различной глубиной залегания и разным химизмом солей. Так, в шлейфовой и делювиальной зонах грунтовые воды залегают глубоко и характеризуются низкой минерализацией. Развитие различного химизма грунтовых вод привело к распространению сульфатного, хлоридно-сульфатного и садового типов засоления почв [8, 9].

Климат как фактор почвообразования воздействует на агрофизические процессы, тепловой и водный режимы, а также на энергетику почв. Среднегодовая температура воздуха на равнине составляет 13,3–15,8 °С. Минимальная температура наблюдается в январе (2,1–5,1 °С), максимальная – в июле (25,7–28,0 °С). Более 70 % осадков выпадает весной и осенью, их среднегодовое количество составляет 299–440 мм. Минимум осадков приходится на летний вегетационный период, что обуславливает высокую потребность в орошении [10].

Естественная растительность занимает небольшие площади, так как объект исследова-

ний интенсивно осваивается под различные сельскохозяйственные орошаемые культуры.

Различные факторы почвообразования на Карабахской равнине привели к формированию здесь следующих основных типов почв: серо-коричневые, сероземные, лугово-сероземные, сероземно-луговые, солончаковые, солонцеватые, солончаки-солонцы [1, 2, 5].

В таблице приведены некоторые физические и химические характеристики каждого из исследованных типов почв Карабахской равнины.

Серо-коричневые почвы в верхнем горизонте содержат 3,63 % гумуса, в нижних горизонтах он уменьшается и в 67–86 см слое составляет 0,98 %. Указанные почвы слабокарбонатные и по профилю изменяются в пределах 4,50–9,5 %. Результаты анализа показали, что в соответствии с морфологическими признаками содержание гумуса в серо-коричневых почвах по профилю закономерно и плавно убывает. Содержание поглощенных оснований составляет в верхнем горизонте 25,02 мг-экв, в нижних горизонтах – 22,13 мг-экв, из них на долю поглощенного кальция приходится 66,77–75,30 %, магния 17,90–30,86 %, а поглощенный натрий составляет 6,28–8,14 % от суммы поглощенных катионов. Общее количество солей по профилю серо-коричневых почв колеблется в метровом слое от 0,090 до 0,112 % – то есть почва считается практически незасоленной.

Характерная особенность гранулометрического состава серо-коричневых почв этих регионов заключается в неравномерном распределении этих элементов по профилю почв. Соотношение отдельных компонентов гранулометрического состава в различных горизонтах различно. Базовым компонентом гранулометрического состава является физическая глина, содержание которой колеблется в пределах от 61,48 до 69,96 %. Содержание физической глины свидетельствует, что эти почвы можно отнести к легкоголинистым. Количество водостойких агрегатов серо-коричневых почв (> 0,25 мм) – 83,4–94,2 %.

Таблица. Физические и химические свойства некоторых типов почв

Глубина, см		0–20	20–38	38–67	67–86
<i>Серо-коричневые почвы</i>					
Гумус, %		3,63	2,71	1,05	0,98
CaCO ₃ , %		5,20	4,50	9,50	7,00
Сумма поглощенных катионов, мг-экв		25,02	23,89	24,48	22,13
В % от суммы	Ca	75,30	71,08	66,77	61,00
	Mg	17,90	22,64	26,69	30,86
	Na	6,80	6,28	6,54	8,14
Плотный остаток, %		0,090	0,092	0,110	0,113
Водопрочность агрегатов почвы, < 0,25 мм, %		94,2	83,4	91,9	92,7
– «» – < 0,01 мм, %		61,48	61,74	69,96	67,92
Плотность сложения почвы, г/см ³		1,17	1,24	1,29	1,30
Плотность твердой фазы почвы, г/см ³		2,73	2,76	2,76	2,76
Порозность, %		57,14	55,07	53,26	52,90
Гигроскопическая влага, %		4,95	4,20	5,87	4,95
Максимальная гигроскопическая влага, %		8,56	8,21	9,35	8,76
Максимальная молекулярная влага, %		15,83	15,42	17,85	15,81
<i>Сероземные почвы</i>					
Глубина, см		0–28	28–50	50–70	70–100
Гумус, %		3,23	2,37	1,04	0,41
CaCO ₃ , %		8,40	8,20	13,20	15,08
Сумма поглощенных катионов, мг-экв		27,48	28,15	29,12	29,00
В % от суммы	Ca	67,18	65,75	66,70	63,83
	Mg	24,82	25,72	26,45	28,24
	Na	8,00	8,53	6,85	7,93
Плотный остаток, %		0,167	0,137	0,170	0,176
Водопрочность агрегатов почвы, < 0,25 мм, %		81,9	88,2	92,0	67,2
– «» – < 0,01 мм, %		60,56	62,00	68,56	69,00
Плотность сложения почвы, г/см ³		1,27	1,43	1,51	1,55
Плотность твердой фазы почвы, г/см ³		2,75	2,76	2,74	2,75
Порозность, %		63,82	42,19	44,89	43,63
Гигроскопическая влага, %		5,57	6,36	6,59	3,02
Максимальная гигроскопическая влага, %		7,53	19,80	14,26	5,23
Максимальная молекулярная влага, %		17,14	18,17	21,22	13,76

<i>Сероземно-луговые почвы</i>					
Глубина, см		0–24	24–52	52–76	76–110
Гумус, %		2,34	1,80	1,92	0,63
CaCO ₃ , %		7,96	14,09	23,64	33,18
Сумма поглощенных катионов, мг-экв		23,75	25,83	28,22	29,11
В % от суммы	Ca	64,44	61,50	65,24	60,44
	Mg	29,24	30,45	25,90	29,95
	Na	6,32	8,05	8,86	9,61
Плотный остаток, %		0,130	0,128	0,192	0,196
Водопрочность агрегатов почвы, < 0,25 мм, %		92,80	86,2	88,5	85,7
– «» –	< 0,01 мм, %	41,04	37,60	46,36	37,24
Плотность сложения почвы, г/см ³		1,05	1,19	1,31	1,31
Плотность твердой фазы почвы, г/см ³		2,68	2,71	2,73	2,78
Порозность, %		60,82	56,09	52,01	52,88
Гигроскопическая влага, %		3,71	2,99	3,73	4,34
Максимальная гигроскопическая влага, %		7,73	6,80	6,89	7,89
Максимальная молекулярная влага, %		15,88	14,62	14,75	15,32
<i>Лугово-болотные почвы</i>					
Глубина, см		0–27	27–63	63–98	–
Гумус, %		3,90	1,60	0,90	–
CaCO ₃ , %		5,80	13,90	15,80	–
Сумма поглощенных катионов, мг-экв		37,20	35,92	25,03	–
В % от суммы	Ca	50,78	59,12	66,71	–
	Mg	36,03	28,92	19,71	–
	Na	7,24	11,97	13,58	–
Плотный остаток, %		0,790	0,617	0,580	–
Водопрочность агрегатов почвы, < 0,25 мм, %		73,5	73,1	73,3	–
– «» –	< 0,01 мм, %	76,44	76,16	27,24	–
Плотность сложения почвы, г/см ³		1,15	1,47	1,30	–
Плотность твердой фазы почвы, г/см ³		2,74	2,70	2,67	–
Порозность, %		58,03	45,55	51,31	–
Гигроскопическая влага, %		8,40	8,10	6,60	–
Максимальная гигроскопическая влага, %		17,16	16,08	11,95	–
Максимальная молекулярная влага, %		28,50	24,63	18,99	–

На основании исследований выявлено, что в *сероземных почвах* содержание органических веществ в верхнем (0–28 см) горизонте составляет 3,23 % и резко снижается вниз по профилю до 0,41 %. Содержание карбонатов (CaCO_3) по профилю колеблется от 8,20 до 15,08 %.

Сумма поглощенных катионов по профилю изменяется в пределах 27,48–29,12 мг-экв. Содержание поглощенного кальция колеблется от 63,83 до 67,18 %, магния – от 24,82–28,24 %, натрия – 6,85–8,53 % от суммы поглощенных катионов. Это указывает на то, что в соответствии с классификацией Р. Г. Мамедова эти разрезы можно отнести к слабосолонцеватым почвам [7]. Исследуемые почвы в основном слабозасоленные, величина плотного остатка изменяется по профилю в пределах 0,137–0,176 %.

По гранулометрическому составу эти почвы среднеглинистые.

Содержание физической глины колеблется в пределах от 60,56 до 69,00 %. Эти почвы можно отнести к легкоглинистым. Количество водостойких агрегатов сероземных почв ($> 0,25$ мм) – 67,2–92,0 % [3, 4].

Величина гумуса в *сероземно-луговых почвах* постепенно уменьшается по мере глубины. Как видно из таблицы, в верхнем горизонте (0–24 см) содержание гумуса составило 2,34 %, а в глубине содержание гумуса снижается до 0,63 %. Сероземно-луговые почвы слабокарбонатные. Содержание карбонатов по профилю почв колеблется в пределах от 7,96 до 33,18 %.

Емкость поглощения по профилю отмечается в пределах от 23,75 до 29,11 мг-экв, из них на долю поглощенного кальция приходится 60,44–65,24 % от суммы. В 52–76-сантиметровом слое величина поглощенного кальция высокая – 65,24 %; вниз по профилю она постепенно уменьшается и составляет 60,44 % от суммы. Распределение поглощенного магния по профилю почвы неравномерное: 25,90–30,45 %, поглощенного натрия – 6,32–9,61 %.

По градации солонцеватости Р. Г. Мамедова [7] эти почвы можно отнести к слабосолонцеватым и слабозасоленным. Величина плотного остатка в метровом слое изменяется от 0,128 до 0,196 %, величина физической глины

по профилю – от 37,24 до 46,36 %. По гранулометрическому составу рассматриваемые почвы суглинистые. Количество водопрочных агрегатов колеблется от 85,7 до 92,80 %.

Лугово-болотные почвы Карабахской степи распространены в самых низких местах побережья Куры, в зоне луговых почв, и их образование здесь обусловлено избыточным увлажнением и развитой влаголюбивой растительностью. Грунтовые воды, находящиеся близко к поверхности почв, играют существенную роль в почвообразовательном процессе. Поэтому гидрологические условия в зоне распространения лугово-болотных почв – один из важнейших локальных факторов, предопределяющих как эволюцию растительного покрова, так и развитие почв.

Лугово-болотные почвы характеризуются сравнительно высоким содержанием гумуса. Его количество в верхних горизонтах данных почв составляет 3,90 %, а чем глубже, тем содержание гумуса сильнее снижается – до 0,9 %. Это следует объяснить тем, что в верхних горизонтах этих почв сосредоточена основная масса корней и корневищ. Величина карбонатов (CaCO_3) колеблется в пределах 5,80–15,80 %.

Сумма поглощенных оснований по профилю составляет 25,03–35,92 %. Содержание поглощенного кальция колеблется от 50,78–66,71 %, магния – от 19,71–36,03 %, натрия – 7,24–13,58 %. Эти почвы средnezасоленные. Величина плотного остатка в метровом слое варьируется в пределах 0,580–0,790 %.

По гранулометрическому составу названные почвы относятся к тяжелоглинистым. Содержание физической глины в почвенном профиле колеблется в пределах от 27,24 до 76,16 %. Количество водопрочных агрегатов лугово-болотных почв ($> 0,25$ мм) – 73,1–73,5 %.

Плотность сложения почвы зависит от природы входящих в ее состав минералов, количества органического вещества, пористости и т. д. Плотность сложения исследованных нами почв имеет разные показатели в зависимости от ее типа и профиля. По профилю почв ее количество составляет в серо-коричневых почвах 1,24–1,77 г/см³, в сероземных – 1,27–1,55 г/см³, в сероземно-луговых – 1,05–1,31 г/см³, в лугово-болотных почвах 1,15–

1,47 г/см³. В некоторых случаях наблюдается определенная закономерность, то есть плотность сложения почвы повышается по мере глубины.

Одним из физических свойств почвы является плотность твердой фазы почвы, которая зависит от минералогического состава почв, количества органического вещества. На исследуемой территории в зависимости от типа почвы этот показатель составляет от 2,67 до 2,78.

Порозность почв – одно из важнейших свойств, изменяющаяся в зависимости от их гранулометрического состава, структуры и т. д. Ее количество меняется в зависимости от объема массы, составляя 43,70–60,10 %.

Так, в исследованных типах почв гигроскопическая влага по профилю составляет в серо-коричневых почвах 4,20–5,87 %, в сероземных почвах – 3,02–6,59, в сероземно-лу-

говых – 2,99–4,34, в лугово-болотных почвах 6,60–8,40 %. Максимальная гигроскопическая влажность в серо-коричневых почвах – 8,21–9,35 %, в сероземных почвах – 5,23–19,80, в сероземно-луговых 6,80–7,89, лугово-болотных – 11,95–17,16 %. Максимальная молекулярная влажность в серо-коричневых почвах отмечена на уровне 15,42–17,85 %, в сероземных – 13,76–21,22, сероземно-луговых почвах – 14,62–15,88, лугово-болотных почвах – 18,99–28,50 %.

Еще одно агрофизическое свойство почвы – это ее водопроницаемость. Так, за шестичасовой период наблюдений общее количество проникаемой воды на участке составило в серо-коричневых почвах 508 мм, в сероземных – 257 мм, в сероземно-луговых – 281 мм, в лугово-болотных – 406 мм.

Выводы

Таким образом, каждый рассмотренный нами тип почвы Карабахской степи имеет свои определенные показатели, что позволяет получить информацию о физико-химических свой-

ствах почв, а значит, и о различных физических явлениях, происходящих в них. Полученные данные помогают максимально полно и точно характеризовать эти почвы.

Библиографический список

1. Ахадов, Д. Р. Почвенные исследования Карабахского региона Азербайджанской Республики / Д. Р. Ахадов // Бюллетень науки и практики. – 2021. – Т. 7, № 8. – С. 65–72. <https://doi.org/10.33619/2414-2948/69/08>
2. Бабаев, М. П. Современная классификация почв Азербайджана / М. П. Бабаев, Ч. М. Джафарова, В. Г. Гасанов. – Баку : Элм, 2006. – 359 с. (на азерб.)
3. Вадюнина, А. Ф. Методы исследования физических свойств почв и грунтов : учебник / А. Ф. Вадюнина, З. А. Корчагина. – Изд. 3-е, перераб. и доп. – Москва : Агропромиздат, 1986. – 416 с.
4. Гаджиев, Г. А. Климатическая характеристика административных районов Азербайджана / Г. А. Гаджиев. – Баку : Элм, 1987. – 269 с. (на азерб.)
5. Некоторые физические показатели основных типов почв Малого Кавказа / С. А. Кочарли [и др.] // Общество почвоведов Азербайджана : сб. ст. – Баку : Элм, 2016. – Т. 14. – С. 383–385. (на азерб.)
6. Кочарли, С. А. Агрофизическая характеристика почв Муганской степи Азербайджана / С. А. Кочарли, Ф. М. Мустафаев // Экологическое состояние природной среды и научно-практические аспекты современных мелиоративных технологий : сб. науч. тр. по материалам заоч. Междунар. науч. конф. / Рос. академия наук, ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт гидротехники и мелиорации имени А. Н. Костякова», Белорус. гос. с.-х. академия, Об-во почвоведов им. В. В. Докучаева ; ред.: Ю. А. Мажайский, В. И. Желязко. – Рязань : Сам Полиграфист, 2020. – Вып. 8. – С. 151–153.
7. Мамедов, Р. Г. Агрофизические свойства почв Азербайджанской ССР / Р. Г. Мамедов. – Баку : Элм, 1989. – 244 с.

8. Мустафаев, М. Г. Мелиоративное состояние орошаемых засоленных почв Мугано-Сальянского массива Кура-Араксинской низменности / М. Г. Мустафаев // Вестн. Белорус. гос. с.-х. академии. – 2014. – № 1. – С. 127–131.

9. Мустафаев, М. Г. Прогноз водно-солевого режима почв на мелиорированных землях Мугано-Сальянского массива Азербайджана / М. Г. Мустафаев // Инновационные технологии производства, хранения и переработки продукции растениеводства : материалы Междунар. юбил. науч.-практ. конф., Рязань, 30–31 янв. 2014 г. / Рязан. гос. агротехнолог. ун-т им. П. А. Костычева. – Рязань, 2014. – С. 60–64.

10. Салаев, М. Е. Диагностика и классификация почв Азербайджана / М. Э. Салаев. – Баку : Элм, 1991. – 238 с.

Поступила 28 февраля 2024 г.

• Кормопроизводство •

УДК 633.2/.3:631.445

ПОДБОР ТРАВосМЕСЕЙ ПРИ РАЗНОЙ ДЛИТЕЛЬНОСТИ ЗАТОПЛЕНИЯ ПОЙМЫ

Э. Н. Шкутов, кандидат технических наук
Р. Т. Пастушок, кандидат сельскохозяйственных наук
А. Л. Бирюкович, кандидат сельскохозяйственных наук

РУП «Институт мелиорации», г. Минск, Беларусь

Аннотация

Увеличение суммы эффективных температур воздуха за вегетационный период до 2600 °С привело к появлению в пойме р. Припять более засушливой агроклиматической зоны. В таких условиях возрастает необходимость повышения продуктивности сенокосных травостоев для заготовки грубых кормов. Приведены составы бобово-злаковых травосмесей и дозы внесения удобрений для организации сенокосного конвейера при разных уровнях осушения торфяной поймы. Травосмеси разработаны с учетом отношения злаковых трав к длительности затопления.

Ключевые слова: многолетние травы, нормы посева, удобрения, пойма, сенокос, урожайность, количество семян в почве.

Abstract

E. N. Shkutov, R. T. Pastushok, A. L. Biryukovich
SELECTION OF GRASS MIXTURES FOR DIFFERENT DURATIONS OF FLOODPLAIN FLOODING

An increase in the sum of effective air temperatures during the growing season to 2600 °C led to the emergence of a drier agroclimatic zone in the floodplain of the Pripyat River. In such conditions, the need to increase the productivity of hay grass stands for the preparation of roughage increases. The compositions of legume-cereal grass mixtures and doses of fertilizers for organizing a hay conveyor at different levels of drainage of a peat floodplain are given. Grass mixtures are developed taking into account the relationship of cereal grasses to the duration of flooding.

Keywords: perennial grasses, seeding rates, fertilizers, floodplain, meadow, productivity, number of seeds in soil.

Введение

По данным инвентаризации Министерства сельского хозяйства и продовольствия Республики Беларусь, прошедшей в 2023 г., естественные луга занимают 551,5 тыс. га, из них 121,4 тыс. га приходится на пойменные луга, из которых используется 83,5 тыс. га, или 69 %.

По различным оценкам до 24 % поймы р. Припять занято пашней и улучшенными лугами. Бассейн реки относится к зонам проведения интенсивной гидротехнической мелиорации земель, здесь осушено около 1115 тыс. га, или 22 % территории (при 16,4 % в среднем по Беларуси). Осушенные земли распаханы на 38 % территории и в большей части используются как сенокосно-пастбищные угодья. В отдельных административных районах

площади осушенных земель занимают более половины от общей площади сельхозземель; в Ганцевичском и Лунинецком районах – 70 %, Ельском – 61, Пинском – 56 %. В сельскохозяйственных организациях в среднем более половины этих площадей мелиорированы, а в некоторых хозяйствах – 95 % и более [1, с. 47].

К концу 2020-х гг. в результате потепления среднегодовая температура воздуха превысила климатическую норму на 1,3 °С и достигла 7,1 °С. Была выделена Новая (IV-я) агроклиматическая зона, «в которой сумма температур за вегетационный период выше 10 градусов превысила 2600 °С», а к 2030-му г. «возможно появление зоны с суммой эффективных температур 2800 °С» [2, с. 24]. В то же время в Бре-

стской обл. суммарное количество осадков уменьшилось на 18 мм, а в Гомельской увеличилось на 33 мм [3, с. 44]. В связи с аридизацией климата возникает потребность использования поймы для кормозаготовки.

Исследования по использованию поймы р. Припять проведены в рамках Государственной программы социально-экономического развития и комплексного использования природных ресурсов Припятского Полесья на 2009–2015 годы [4]. После проведения мелиоративных и противопаводковых мероприятий пойма Припяти была разделена на защищенную и незащищенную от затоплений зоны. Незащищенная от наводнений часть поймы – это практически ее водоохранная зона шириной 2–4 км между ограждающими дамбами противопаводковой защиты и полейдерных мелиоративных систем.

По данным РУП «Институт мелиорации», при весеннем затоплении поймы до 45 суток за два укоса можно получить до 3,5 т/га сена, а урожайность зеленой массы травостоев меняется в пределах 6–16 т/га [5].

Для земель с продолжительностью затопления до 7 суток можно использовать травосмеси, рекомендованные для посева на суходолах.

Для залужения среднепоемных земель с продолжительностью затопления 7–15 суток подходит травосмесь из костреца безостого, овсяницы луговой, тимофеевки луговой, клевера лугового и гибридного. Наиболее продуктивна на среднепойменных землях кострецово-тимофеечная травосмесь.

Для залужения долгопоемных земель с продолжительностью затопления 15–30 суток

и более пригоден двукисточник тростниковый. Его ценность заключается в высокой потенциальной продуктивности и устойчивости к подтоплению и затоплению в годы затяжных паводков, а также к недостатку влаги в засушливые годы. С учетом того, что ценотически активный двукисточник быстро вытесняет другие компоненты из травостоя, его лучше сеять в чистом виде.

Различные виды трав ведут себя при затоплении по-разному: одни находятся в состоянии покоя до окончания паводка, другие к концу паводка трогаются в рост, третьи развивают плавающие листья, которые отмирают после схода воды (табл. 1).

Для залужения пойменных торфяников травы подбирают соответственно поемности и степени осушения. На нормально осушенных среднепоемных торфяниках используют тимофеевку луговую и кострец безостый, а также кострецово-тимофеечную травосмесь, на слабоосушенных – тимофеевку и лисохвост луговой, на долгопоемных – двукисточник тростниковый. Бобовые виды на поемных торфяниках выпадают из травосмесей на 2–3-й год жизни. Поскольку колебания поемности по годам, как правило, значительны, травы подбирают таким образом, чтобы они хорошо переносили максимальные по продолжительности паводки.

Посев трав можно проводить с весны до середины августа. На краткопоемных сухих лугах рекомендуется ранневесенний срок посева – сразу после схода полых вод, а на средне- и долгопоемных лугах – летний или позднелетний.

Таблица 1. Отношение злаковых трав к длительности затопления [6, с. 54]

Виды трав	Среднесуточная сумма температур воды, °С		Длительность затопления, сутки	
	оптимальная	допустимая	оптимальная	допустимая
Бекмания обыкновенная	380–450	900	45–50	80
Двукисточник тростниковый	320–380	900	40–45	80
Кострец безостый	120–380	380	20–45	45
Лисохвост луговой	50–100	320	10–15	40
Тимофеевка луговая	120–260	380	20–35	45
Полевица белая	50–100	320	10–15	40
Мятлик луговой	120–180	320	10–25	40

Весной положительные результаты гарантирует лишь посев трав сразу после схода полых вод – в период сева ранних яровых. При поздневесенних сроках посева появление всходов совпадает с иссушением верхних слоев почвы, в связи с чем не удастся получить полноценные всходы, особенно мелкосемянных видов злаковых трав. При ранневесеннем сроке посева травы можно сеять как беспокровно, так и под покров ранних яровых (овес, ячмень) или вико-овсяной смеси. Овес убирают в фазу начала колошения – выхода в трубку.

Летний срок посева трав без покрова проводят в III-й декаде июня – I-й декаде июля. На участках, подверженных эрозии, сев проводят в III-й декаде июля, чтобы корни всходов успели закрепить поверхность почвы. В притеррасной части со слабым течением допустим посев трав до II-й декады августа.

Если не удалось провести летний посев, его целесообразно перенести на подзимний срок. Подзимние посевы проводят перед промерзанием верхнего слоя почвы с III-й декады октября до III-й декады ноября беспокровно или с райграсом однолетним, 5–7 кг/га. Всходы при подзимнем посеве появляются ранней весной сразу после схода полых вод (примерно на месяц раньше, чем при ранневесеннем сроке посева). Особенно эффективны подзимние посевы на долгопоемных лугах, где ранневесенние посевы практически невозможны. Подзимний посев нельзя проводить на участках, подверженных смыву во время паводка.

Для создания незаливных лугов высокого уровня сеют следующие травосмеси:

- ежа сборная 14–16 кг/га;
- тимофеевка луговая 6 кг/га, овсяница луговая 8, кострец безостый 8 кг/га;
- тимофеевка луговая 8 кг/га, клевер луговой 5 кг/га.

Для создания высокопродуктивных сенокосов на пойменных торфяных почвах периодического затопления эффективны **следующие составы травосмесей**.

1. При создании краткосрочных сенокосов на пойменных торфяных почвах со средней влагоемкостью рекомендуются:

- раннеспелая – клевер луговой, 8 кг/га + овсяница луговая, 8 кг/га;

- среднеспелая – клевер луговой, 7 кг/га + клевер гибридный, 3 + овсяница луговая, 6 кг/га;

- позднеспелая – клевер луговой, 9 кг/га + тимофеевка луговая, 3 кг/га.

Ранние и среднеспелые травосмеси скашивают в фазе бутонизации, а позднеспелую – в начале цветения клевера.

2. Краткосрочные сенокосы на торфяных почвах с близким залеганием грунтовых вод закладывают травосмесями следующего состава:

- раннеспелая – клевер гибридный, 10 кг/га + кострец безостый, 12 кг/га;
- среднеспелая – клевер гибридный, 9 кг/га + тимофеевка луговая, 3 кг/га;
- позднеспелая – клевер гибридный, 10 кг/га + овсяница тростниковая, 8 + двукисточник тростниковый, 4 кг/га.

Раннеспелый травостой скашивают в фазе бутонизации клевера, а среднеспелый и позднеспелый – в начале его цветения.

3. Долголетние сенокосы на пойменных торфяных почвах с оптимальным водным режимом:

3 а) клевер луговой – 8 кг/га, ежа сборная – 6 кг/га, кострец безостый – 10 кг/га;

3 б) клевер луговой – 10 кг/га, овсяница луговая – 8, кострец безостый – 12 кг/га;

3 в) клевер луговой – 10 кг/га, тимофеевка луговая – 5, кострец безостый – 10 кг/га;

3 г) клевер луговой – 6 кг/га, клевер гибридный – 4, кострец безостый – 12, тимофеевка луговая – 4 кг/га.

Травосмеси 3 а и 3 б скашивают в фазу бутонизации клевера, 3 в и 3 г – в начале его цветения.

4. Долголетние сенокосы на переувлажненных и периодически подтопленных торфяных почвах (уровень грунтовых вод в течение вегетационного периода – 0,6 м):

4 а) клевер гибридный – 10 кг/га, кострец безостый – 15;

4 б) клевер гибридный – 10 кг/га, кострец безостый – 10, тимофеевка луговая – 4 кг/га;

4 в) клевер гибридный – 10 кг/га, овсяница тростниковая – 8, тимофеевка луговая – 6 кг/га;

4 г) клевер гибридный – 10 кг/га, овсяница тростниковая – 8, двукисточник тростниковый – 6 кг/га.

Травосмеси 4 а, б скашивают в фазу бутонизации клевера, 4 в, г – в начале цветения клевера.

В состав долголетних травостоев на участках с близким залеганием грунтовых вод можно включать лисохвост луговой с нормой посева 6 кг/га. Однако при создании травостоев его использование часто сдерживается отсутствием семян этой культуры.

Бобово-злаковые травостои подкармливают: K_{120} – дробно перед каждым укосом, P_{45} вносят весной, а после выпадения клевера – N_{75} в два приема.

В системе зеленого конвейера ранние и среднеспелые травосмеси следует скашивать три раза, поздние – два. Такое использование предполагает скашивание травостоев не позднее начала колошения костреца безостого и бутонизации – начала цветения клевера.

Основным фактором обеспечения высокой продуктивности травостоев на пойменных землях является удобрение. Расчет потребности в минеральных удобрениях под планируемые урожаи многолетних трав до 100 ц/га сухого вещества рекомендуется проводить по уровню азотного питания. На формирование 1 ц сухой массы трав сенокосной спелости требуется в среднем 2,0–2,5 кг азота; 0,6–0,7 P_2O_5 ; 1,5–2,0 кг K_2O . Степень использования азота удобрений – 80 %. Бобово-злаковые травостои можно подкармливать азотными удобрениями в дозе не более 60 кг д. в. на 1 га.

На почвах средней обеспеченности фосфором и калием удобрения надо вносить в нормах, покрывающих вынос их с урожаем. При низкой обеспеченности фосфором и калием норму внесения удобрений следует увеличивать на 20–30 %, а при высокой – снижать на столько же. На лугах, регулярно затапливаемых водами, азотные удобрения наиболее эффективны при внесении их в фазу кущения трав. Фосфорные удобрения следует вносить перед первым укосом, калийные – совместно с азотными удобрениями.

Изучение сукцессии травостоев под влиянием удобрений показало, что на состав травостоя наиболее сильно влияют азотные удобрения. Так, внесение N_{60} на луга с преобладанием верховых злаков (овсяницы луговой, ежи сборной, костреца безостого, пырея ползучего, тимopheевки луговой и т. д.) удваивало урожай трав, но в течение трех лет число видов в луговом сообществе сократилось с 40 до 20, так как произошло вытеснение бобовых видов и разнотравья. При внесении же только

PK-удобрений количество видов сокращается незначительно. Удобрения вызывали и более глубокие изменения в луговых сообществах: в условиях дефицита влаги они становились более мезофильными. Это объясняется не только физиологически (азот повышает засухоустойчивость трав), но и экологически, поскольку более сомкнутые травостои меньше транспирируют и испарение воды с поверхности почвы исключается. Внесение удобрений уменьшает колебания урожайности и ботанического состава сообщества по годам, и урожай становится гарантированным, даже в засуху [7]. Однако это снижает видовое биоразнообразие, поэтому часть лугов целесообразно использовать в естественном состоянии. Подсчет семян в слое почвы 0–10 см показал, что на 1 гектаре их около 280–478 млн штук.

Таким образом, почва поймы р. Припять обладает значительным потенциалом для возобновления естественного растительного покрова. Необходимо отметить, что в почвенном слое глубже 15–20 см семена растений практически отсутствуют. Поэтому при перепашке (например, при перезалужении) слоя почвы 0–20 см аборигенный травостой, по сути, не возобновляется, и следует рассчитывать только на высеваемые семена.

В естественных фитоценозах содержатся виды злаковых трав, введенные в культуру: двукисточник тростниковый, лисохвост луговой, мятлик луговой, полевица гигантская. Их содержание может составлять 54,8–86,6 % естественного травостоя, поэтому они обладают хорошей кормовой ценностью.

Результаты многолетних опытов РУП «Институт мелиорации» по использованию травостоев (СПК «Ласицк» Пинского р-на) при разном водном режиме и минеральном питании показали, что на пойменных землях можно получать 4000–5000 к. ед./га. Так, при продолжительности весеннего затопления поймы до 45 суток обеспечивается продуктивность естественных пойменных лугов (до 5500–6500 к. ед./га) только за счет минеральных удобрений.

Внесение азота в дозе N_{75} без затопления увеличило продуктивность травостоя на 20,8 %, при затоплении на 5 суток – на 8,3 %, при подтоплении на 5 суток – на 14,5 %. В табл. 2 приведены средние данные по урожайности за 12 лет.

Таблица 2. Урожайность трав естественного пойменного луга, ц/га сухой массы

Удобрение	Урожайность, ц/га	Прибавка от удобрений, ц/га (\pm)	Окупаемость 1 кг NPK урожая, кг
$N_0P_0K_0$	24,2	–	–
N_{120}	33,6	9,4	7,8
$N_{120}P_{40}$	44,1	19,9	12,4
$N_{120}K_{80}$	44,6	20,4	10,2
$P_{40}K_{80}$	41,6	17,4	14,5
$N_{120}P_{40}K_{80}$	71,2	47,0	19,6
$N_{240}P_{40}K_{80}$	91,7	67,5	18,5

Окупаемость 1 кг д. в. NPK прибавкой урожая составила при внесении $P_{40}K_{80}$ – 14,5 кг; $N_{120}P_{40}K_{80}$ – 19,6 кг сухой массы. Однако применение азотных удобрений повышает затраты на производство кормов: так, себестоимость 1 тонны кормовых единиц увеличивалась соответственно на 3,9, 10,2 и 7,6 % [8].

Для поверхностного улучшения лугов с изреженным травостоем применяют подсев трав половинными нормами от их посева в чистом виде, а там, где в травостое имеется не менее 30 % ценных в кормовом отношении злаковых трав, проводят систематическое внесение минеральных удобрений в дозах $N_{60-90}P_{45-70}K_{120}$.

Выполнение рекомендуемых мероприятий обеспечивает получение устойчивой урожайности сенокосных травостоев на аллювиальных дерново-глеевых слаборазвитых почвах на уровне 50–55 ц/га сухой массы, на аллювиальных дерново-глееватых – 60–70, аллювиальных дерново-глеевых – 80–90, аллювиальных болотных – 90–100 и более при значительном улучшении качества травяных кормов. Продуктивность травостоев на пойменных землях увеличивается в 4–5 раз, а продуктивность скота – в 3–3,5 раза.

Библиографический список

1. План управления бассейном реки Припять [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://naturegomel.by/sites/default/files/inline/files/purb.pdf>. – Дата доступа: 23.09.2023.
2. Шашко, Ю. К. Анализ низких температур как фактора, определяющего зимо- и морозостойкость озимых сельскохозяйственных культур / Ю. К. Шашко, Д. Ф. Привалов // Земледелие и растениеводство. – 2023. – № 5 (150). – С. 23–29.
3. Камышенко, Г. Погодные условия Беларуси и урожайность сельскохозяйственных культур: математико-статистический анализ / Г. Камышенко. – Saarbrücken : Lambert Academic Publishing, 2013. – 158 с.
4. О Государственной программе социально-экономического развития и комплексного использования природных ресурсов Припятского Полесья на 2009–2015 годы»: Указ Президента Респ. Беларусь, 29 марта 2010 г., № 161 // Эталон. Законодательство Республики Беларусь / Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2011.
5. Мееровский, А. С. Агробиологический потенциал сенокосов и пастбищ Беларуси / А. С. Мееровский // Мелиорация. – 2011. – № 2 (66). – С. 117–124.
6. Технологический регламент, техническое обеспечение и технологические карты выращивания и заготовки кормов из трав / В. К. Павловский [и др.] // М-во с. х. и продовольствия Респ. Беларусь, РУП «НПЦ НАН Беларуси по земледелию», РУП «НПЦ НАН Беларуси по животноводству», РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства», РУП «Институт мелиорации». – Минск, 2011. – 74 с.

7. Эффективное сельскохозяйственное использование пойменных земель Припятского Полесья : метод. рекомендации / Э. Н. Шкутов [и др.] // РУП «Институт мелиорации». – Минск, 2015. – 48 с.

8. Мееровский, А. С. Продуктивность пойменных лугов Белорусского Полесья / А. С. Мееровский, А. Л. Бирюкович, А. Ф. Веренич // Пойменные луговые системы как объекты с высоким биоразнообразием, их изучение и картирование : материалы Междунар. науч.-практ. семинар, Гомель, 11–12 июня 2009 г. / ГГУ им. Ф. Скорины, редкол.: Л. М. Сапегин (отв. ред.). – Гомель, 2009. – С. 32–40.

Поступила 6 февраля 2024 г.

ВЛИЯНИЕ СЕВООБОРОТОВ И СИСТЕМ УДОБРЕНИЯ НА ВОДОУСТОЙЧИВОСТЬ СТРУКТУРЫ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТЫХ ПОЧВ, ПОДВЕРЖЕННЫХ ЭРОЗИИ

Н. Н. Цыбулько¹, доктор сельскохозяйственных наук

В. Б. Цырибко², кандидат сельскохозяйственных наук

И. А. Логачёв², младший научный сотрудник

¹Международный государственный экологический институт им. А. Д. Сахарова
Белорусского государственного университета, г. Минск, Беларусь

²РУП «Институт почвоведения и агрохимии», г. Минск, Беларусь

Аннотация

Изучено влияние севооборотов и систем удобрения на водоустойчивость структуры почв. Дерново-подзолистые почвы на моренных суглинках отличались лучшей водоустойчивостью по сравнению с почвами на лессовидных суглинках. Неэродированные, слабо- и среднеэродированные почвы в травяно-зерновом севообороте имели хорошую водоустойчивость (40,7–48,9 %); среднеэродированные почвы в зернотравяном севообороте и сильноэродированные почвы в травяно-зерновом севообороте – удовлетворительную (34,8–38,4 %). Дерново-подзолистые почвы на лессовидных суглинках характеризовались неудовлетворительной водоустойчивостью. Органоминеральная система удобрения совместно с известкованием улучшала водоустойчивость почв. По сравнению с минеральной системой удобрения водоустойчивость неэродированной почвы повысилась с 19,9 до 24,8 %, среднеэродированной – с 12,5 до 18,5, сильноэродированной почвы – с 12,5 до 16,0 %. Средневзвешенный диаметр водопрочных агрегатов дерново-подзолистых неэродированных почв на лессовидных суглинках составил в среднем 0,4 мм, средне- и сильноэродированных почв – 0,3 мм. Почвы, сформированные на моренных суглинках, имели более высокие значения этого показателя, особенно в травяно-зерновом севообороте.

Ключевые слова: водоустойчивость, коэффициент водопрочности, водопрочные агрегаты, эродированные почвы, севообороты, система удобрения.

Abstract

N. N. Tsybulka, V. B. Tsyribka, I. A. Logachov

INFLUENCE OF CROPPING ROTATIONS AND FERTILIZER SYSTEMS ON WATER STABILITY STRUCTURES OF SODDY-PODZOL SOILS SUBJECT TO EROSION

The influence of crop rotations and fertilization systems on the water resistance of soil structure was studied. Soddy-podzolic soils on moraine loams were characterized by better water resistance compared to soils on loess-like loams. Non-eroded, weakly and moderately eroded soils in the grass-grain crop rotation had good water resistance (40.7–48.9 %), moderately eroded soils in the grain-grass crop rotation and highly eroded soils in the grass-grain crop rotation – satisfactory (34.8–38.4 %). Soddy-podzolic soils on loess-like loams were characterized by unsatisfactory water resistance. The organomineral fertilizer system, together with liming, improved the water resistance of soils. Compared to the mineral fertilizer system, the water resistance of non-eroded soil increased from 19.9 to 24.8 %, moderately eroded soil – from 12.5 to 18.5, highly eroded soil – from 12.5 to 16.0 %. The weighted average diameter of water-resistant aggregates of soddy-podzolic non-eroded soils on loess-like loams averaged 0.4 mm, and of moderately and highly eroded soils – 0.3 mm. Soils formed on moraine loams had higher values of this indicator, especially in grass-grain crop rotation.

Keywords: water resistance, water resistance coefficient, water-resistant aggregates, eroded soils, crop rotation, fertilizer system.

Введение

Способность почвы противостоять воздействию дождевых капель, водному потоку, совместному действию потока воды и капель дождя – сложная комплексная характеристика почвы. Противоэрозионная стойкость количественно выражается в величине размывающей скорости потока, которая непо-

средственно определяется двумя показателями почвы: размером водопрочных агрегатов и сцеплением их друг с другом. Остальные свойства почв влияют на противоэрозионную стойкость косвенно, через эти показатели. Следовательно, противоэрозионная стойкость почвы в целом обусловлена водопрочностью

ее структуры [1, 2]. Наличие водопрочной структуры – результат формирования органоминеральных соединений при обязательном участии новообразованного гумуса, высокодисперсных глинистых минералов и обменных оснований [3].

В структурообразовании важнейшая роль принадлежит почвенному органическому веществу как основной субстанции, «склеивающей» гранулометрические элементы в микро- и макроагрегаты и образующей гуматы кальция и магния, которые выпадают в осадок и служат центрами образования агрегатов [4, 5]. Способность гумуса склеивать, цементировать частицы почвы в водопрочные агрегаты должна непосредственно сказываться и на противоэрозионной стойкости почв. Низкое содержание гумуса в почве приводит к тому, что водопрочные агрегаты диаметром $> 0,25$ мм практически отсутствуют – значит, ухудшается физическое состояние почвы (высокая плотность, низкая пористость и водопроницаемость) [6].

Водоустойчивость почв зависит от свойств коллоидно-дисперсных минералов, составляющих илистую фракцию. Почвы, содержащие значительное количество каолинита, имеют низкую водопрочность. Это объясняется тем, что такой минерал, как каолинит, мало набухает и не обеспечивает прочного сцепления между частицами. Почвы, в которых преобладают гидрофильные минералы (монтмориллонит, вермикулит и др.), характеризуются сравнительно высоким сцеплением и водоустойчивостью [7]. Наиболее водопрочная структура образуется при взаимодействии гуминовых кислот с минералами монтморил-

лонитовой группы и гидрослюдами, менее водопрочная – при взаимодействии с кварцем, аморфной кремнекислотой и каолинитом [8].

Обменные катионы определяют поверхностные свойства почвенных частиц, поэтому их состав также влияет на водоустойчивость агрегатов [9]. Установлено, что почвы, богатые коллоидами, имеют более высокую водопрочность структуры, если они насыщены обменным кальцием [10].

Воздействие смывости почвы на ее водоустойчивость выражается в ухудшении гумусного состояния и агрофизических свойств. Рыхлые пахотные горизонты смытых почв имеют в среднем в 1,2 раза меньшую размывающую скорость, чем несмытые почвы, за счет ухудшения водопрочности структуры. На более плотных почвах влияние смывости может не проявиться, так как уменьшение водопрочности структуры смытых почв компенсируется увеличением их сцепления в результате уплотнения [8, 11, 12].

Следует отметить, что водопрочность макроструктуры дерново-подзолистых почв, сформированных на разных почвообразующих породах, подверженных эрозионным процессам, а также влияние на нее агротехнологий, включая системы удобрения, исследованы недостаточно.

Цель исследований – изучить влияние севооборотов с сельскохозяйственными культурами, имеющими разную почвозащитную способность, а также воздействие систем удобрения на водоустойчивость макроструктуры в разной степени эродированных дерново-подзолистых почв, сформированных на лессовидных и моренных суглинках.

Материалы и методы исследований

Исследования проводились в 2018–2021 гг. в условиях центральной и северной почвенно-экологических провинций Беларуси на полевых опытных стационарах Института почвоведения и агрохимии НАН Беларуси – «Стоковые площадки» (Минский р-н) и «Браслав» (Браславский р-н).

Гидротермические условия вегетационных периодов в годы исследований различались. На стационаре «Браслав» (северная почвенно-экологическая провинция) среднее много-

летнее значение ГТК – 1,52; в 2018 г. он составил 1,11 (в условиях, близких к засушливым), в 2019 г. – 1,30 (хорошее увлажнение), в 2020 г. – 1,55 (хорошее увлажнение) и в 2021 г. – 2,14 (избыточное увлажнение). На стационаре «Стоковые площадки» (центральная почвенно-экологическая провинция) вегетационные периоды 2018–2020 гг. характеризовались хорошим увлажнением (ГТК 1,42–1,49), а 2021 г. наблюдалось избыточное увлажнение (ГТК – 1,85).

Объектами исследований послужили:

дерново-подзолистая почва, сформированная на легких лессовидных суглинках, расположенная на склоне южной экспозиции крутизной 6–7°. На водораздельной равнине находятся незэродированные почвы, в верхней части склона – среднеэродированные, в средней – сильноэродированные почвы (стационар «Стоковые площадки»);

дерново-подзолистая почва, сформированная на моренных суглинках, расположенная на склоне северо-восточной экспозиции крутизной 5–7°. На водораздельной равнине находятся незэродированная почва, в верхней части склона – слабо- и среднеэродированная, в средней – сильноэродированная почва (стационар «Браслав»).

На стационаре «Стоковые площадки», на склоне южной экспозиции крутизной 6–7°, изучались:

а) *зерновой севооборот* (овес – яровой рапс – яровая пшеница – озимая рожь) с показателем почвозащитной способности 0,55;

б) *травяно-зерновой севооборот* (однолетние травы с подсевом люцерны – люцерна трехлетнего пользования) с показателем почвозащитной способности 0,81.

На стационаре «Браслав», на склоне северо-восточной экспозиции крутизной 5–7°, изучались:

а) *зернотравяной севооборот* (горох с овсом на зеленую массу – озимая тритикале – горох с овсом на зеленую массу – озимая пшеница) с показателем почвозащитной способности 0,54;

б) *травяно-зерновой севооборот* (яровая пшеница с подсевом люцерны – люцерна трехлетнего пользования) с показателем почвозащитной способности 0,72.

Почвозащитную способность севооборотов определяли на основе коэффициентов противоэрозионной способности отдельных сельскохозяйственных культур и насыщения ими севооборотов. Коэффициенты противоэрозионной способности культур таковы: люцерна двух- и трехлетнего пользования – 0,98; люцерна однолетнего пользования – 0,92; озимая пшеница, озимая тритикале, озимая рожь – 0,84; яровая пшеница, овес, яровой рапс – 0,35; однолетние травы – 0,34 [13].

В полевым опыте на дерново-подзолистых незэродированных, средне- и сильноэроди-

рованных почвах, сформированных на лессовидных суглинках, изучено влияние систем удобрения на показатели водоустойчивости структуры почв. Агрохимические показатели почв следующие (A_n): незэродированная почва: pH_{KCl} – 5,74, гумус – 2,24 %, содержание P_2O_5 и K_2O соответственно 282 и 230 мг/кг почвы; среднеэродированная почва: pH_{KCl} – 5,66, гумус – 1,73 %, содержание P_2O_5 и K_2O соответственно 270 и 212 мг/кг почвы; сильноэродированная почва: pH_{KCl} – 5,41, гумус – 1,33 %, содержание P_2O_5 и K_2O соответственно 270 и 139 мг/кг почвы.

В зерновом севообороте *озимая пшеница – овес – яровой рапс – яровая пшеница – озимая рожь* схема опыта включала следующие варианты систем удобрения и известкования почв:

1) минеральная система удобрения – применяли только минеральные (NPK) удобрения под возделываемые культуры; 2) минеральная система удобрения + известкование, то есть минеральные (NPK) удобрения и доломитовая мука после озимой пшеницы в дозе 6,5 т/га; 3) органоминеральная система удобрения – минеральные (NPK) удобрения и органические удобрения в дозах 40 т/га после озимой пшеницы и ярового рапса; 4) органоминеральная система удобрения + известкование, то есть минеральные (NPK) удобрения, органические удобрения в дозах 40 т/га после озимой пшеницы и ярового рапса, доломитовая мука после озимой пшеницы в дозе 6,5 т/га. Дозы минеральных удобрений под культуры севооборота: овес – $N_{90}P_{60}K_{80}$; яровой рапс – $N_{130}P_{60}K_{90}$; яровая пшеница – $N_{120}P_{60}K_{90}$; озимая рожь – $N_{130}P_{60}K_{90}$.

Структурно-агрегатный анализ почв выполняли по методу Н. И. Саввинова. Водоустойчивость определяли по соотношению агрегатов диаметром $\geq 0,25$ мм при водном и сухом просеивании. Коэффициент водопрочности (далее – $K_{вп}$) рассчитывали как соотношение содержания водопрочных агрегатов $\geq 0,5$ мм при водном просеивании и агрегатов такого же диаметра при сухом просеивании. Показатель средневзвешенного диаметра водопрочных агрегатов (d_w) используется в уравнении М. С. Кузнецова для расчета донной размывающей скорости потока при определении противоэрозионной стойкости почв [1].

Результаты исследований и их обсуждение

Водоустойчивость почвенной структуры – комплексная характеристика почвы, которая отражает прочность связей между структурными элементами внутри почвенного агрегата. Наиболее значимыми факторами, определяющими водоустойчивость почвы, являются микроагрегированность, гидрофобность твердой фазы и пространственное расположение твердых частиц и пустот [14, 15]. Водопрочные агрегаты – наиболее устойчивые компоненты почвы благодаря различным факторам и механизмам их образования [16, 17].

Неустойчивость сложения дерново-подзолистых почв связана с невысоким содержанием в них водопрочных агрегатов. Дерново-подзолистые суглинистые почвы с содержанием водопрочных агрегатов менее

20 % могут уплотняться до 1,5–1,6 г/см³. Устойчивое сложение дерново-подзолистых почв достигается при содержании водопрочных агрегатов (> 0,25 мм) более 40 %.

Установлено, что дерново-подзолистые почвы, сформированные на лессовидных суглинках, характеризуются неудовлетворительной водоустойчивостью (далее – ВУ), которая была ниже 30 %. Увеличение эродированности почвы снижало водоустойчивость почвенных агрегатов. В зерновом севообороте водоустойчивость неэродированной почвы изменялась по годам от 11,6 до 29,6 %, среднеэродированной почвы – от 9,6 до 18,7 и сильноэродированной почвы – от 8,3 до 15,5 %, составив в среднем соответственно 19,6 %, 13,3 и 11,7 % (табл. 1).

Таблица 1. Показатели водоустойчивости структуры дерново-подзолистых почв разной эродированности, сформированных на лессовидных суглинках

Культуры севооборота	Эродированность почвы	d_w , мм	ВУ, %	$K_{вп}$
<i>Зерновой севооборот</i>				
Овес	Неэродированная	0,4	18,2	0,1
	Среднеэродированная	0,2	9,7	< 0,1
	Сильноэродированная	0,2	8,3	< 0,1
Яровой рапс	Неэродированная	0,3	11,6	0,1
	Среднеэродированная	0,2	9,6	0,1
	Сильноэродированная	0,2	9,7	< 0,1
Яровая пшеница	Неэродированная	0,4	19,0	0,1
	Среднеэродированная	0,3	15,1	0,1
	Сильноэродированная	0,3	13,4	0,1
Озимая рожь	Неэродированная	0,5	29,6	0,2
	Среднеэродированная	0,5	18,7	0,1
	Сильноэродированная	0,2	15,5	0,1
Среднее	Неэродированная	0,4	19,6	0,1
	за севооборот	0,3	13,3	0,1
	Сильноэродированная	0,2	11,7	< 0,1
<i>Травяно-зерновой севооборот</i>				
Однолетние травы с подсевом люцерны	Неэродированная	0,4	17,0	0,1
	Среднеэродированная	0,2	14,8	0,1
	Сильноэродированная	0,2	13,5	<0,1
Люцерна 1-го года пользования	Неэродированная	0,4	17,3	0,1
	Среднеэродированная	0,3	16,4	0,1
	Сильноэродированная	0,2	15,8	<0,1
Люцерна 2-го года пользования	Неэродированная	0,4	18,3	0,1
	Среднеэродированная	0,3	16,4	0,1
	Сильноэродированная	0,2	8,3	<0,1

Окончание табл. 1

Люцерна 3-го года пользования	Неэродированная	0,6	31,7	0,2
	Среднеэродированная	0,4	18,6	0,1
	Сильноэродированная	0,3	17,2	0,1
Среднее за севооборот	Неэродированная	0,4	21,0	0,1
	Среднеэродированная	0,3	16,5	0,1
	Сильноэродированная	0,2	13,7	0,1

В травяно-зерновом севообороте при трехлетнем возделывании люцерны посевной наблюдалось некоторое увеличение водоустойчивости почвенных агрегатов. Так, под люцерной 3-го года пользования водоустойчивость структуры неэродированной почвы была 31,7 % (удовлетворительная), среднеэродированной почвы – 18,6, сильноэродированной почвы – 17,2 %.

Средний размер водоустойчивых агрегатов более точно отражает состояние водопропрочной структуры. Отмечается, что водопропрочность почвенного агрегата возрастает при увеличении его диаметра [18].

Средневзвешенный диаметр водопропрочных агрегатов изменялся по годам в зависимости от степени эродированности почв – от 0,2 до 0,6 мм. Наблюдалось его снижение с увеличением степени эродированности почвы. Возделываемые сельскохозяйственные культуры не оказали существенного влияния на величину d_w . Отмечена лишь тенденция его повышения под люцерной 3-го года пользования в травяно-зерновом севообороте. В среднем в обоих севооборотах данный показатель составил на неэродированных почвах 0,4 мм, на среднеэродированных почвах – 0,3 мм, на сильноэродированных почвах – 0,2 мм.

Коэффициент водопропрочности ($K_{вп}$), определяемый по соотношению содержания водопропрочных агрегатов $\geq 0,5$ мм при водном просеивании и агрегатов такого же диаметра при сухом просеивании, свидетельствует о низкой генетической устойчивости дерново-подзолистых почв на лессовидных суглинках к смыву и размыву. Величина этого показателя не превышала 0,1 как для неэродированных почв, так и для средне- и сильноэродированных почв.

Дерново-подзолистые почвы, сформированные на моренных суглинках, отличались более высокой водоустойчивостью по сравнению с почвами на лессовидных суглинках. В зернотравяном севообороте при возделывании зерновых культур и однолетних бобово-злаковых трав водоустойчивость неэродированной почвы изменялась по годам от 42,5 до 51,4 %, слабоэродированной почвы – от 38,0 до 42,0, среднеэродированной почвы – от 34,7 до 39,2, сильноэродированной почвы – от 31,9 до 37,1 %, а в среднем составила соответственно 47,0; 40,7; 38,4; 34,8 %. Следовательно, водоустойчивость неэродированной и слабоэродированной почв была хорошей, средне- и сильноэродированной почв – удовлетворительной (табл. 2).

Таблица 2. Показатели водоустойчивости структуры дерново-подзолистых почв разной эродированности, сформированных на моренных суглинках

Культуры севооборота	Эродированность почвы	d_w , мм	ВУ, %	$K_{вп}$
<i>Зернотравяной севооборот</i>				
Однолетние травы	Неэродированная	0,5	51,3	0,2
	Слабоэродированная	0,4	42,0	0,2
	Среднеэродированная	0,4	39,2	0,2
	Сильноэродированная	0,4	36,4	0,2
Озимая тритикале	Неэродированная	0,5	51,4	0,2
	Слабоэродированная	0,4	38,0	0,2
	Среднеэродированная	0,4	34,7	0,1
	Сильноэродированная	0,3	31,9	0,1

Окончание табл. 2

Однолетние травы	Неэродированная	0,6	42,9	0,3
	Слабоэродированная	0,5	40,9	0,3
	Среднеэродированная	0,5	38,0	0,2
	Сильноэродированная	0,4	34,0	0,2
Озимая пшеница	Неэродированная	0,6	42,5	0,3
	Слабоэродированная	0,5	41,9	0,3
	Среднеэродированная	0,5	41,7	0,3
	Сильноэродированная	0,4	37,1	0,2
Среднее за севооборот	Неэродированная	0,5	47,0	0,3
	Слабоэродированная	0,4	40,7	0,2
	Среднеэродированная	0,4	38,4	0,2
	Сильноэродированная	0,4	34,8	0,2
<i>Травяно-зерновой севооборот</i>				
Яровая пшеница с подсевом люцерны	Неэродированная	0,7	48,7	0,3
	Слабоэродированная	0,6	43,1	0,2
	Среднеэродированная	0,5	42,2	0,2
	Сильноэродированная	0,4	35,1	0,2
Люцерна 1-го года пользования	Неэродированная	0,5	41,2	0,2
	Слабоэродированная	0,5	40,8	0,2
	Среднеэродированная	0,5	39,7	0,2
	Сильноэродированная	0,4	37,7	0,2
Люцерна 2-го года пользования	Неэродированная	1,0	51,8	0,4
	Слабоэродированная	0,9	43,5	0,3
	Среднеэродированная	0,8	42,6	0,3
	Сильноэродированная	0,5	40,9	0,2
Люцерна 3-го года пользования	Неэродированная	1,0	53,9	0,4
	Слабоэродированная	0,8	49,0	0,4
	Среднеэродированная	0,7	43,9	0,3
	Сильноэродированная	0,6	38,9	0,3
Среднее за севооборот	Неэродированная	0,8	48,9	0,3
	Слабоэродированная	0,7	44,1	0,3
	Среднеэродированная	0,6	42,1	0,3
	Сильноэродированная	0,5	38,2	0,2

В травяно-зерновом севообороте при трехлетнем возделывании люцерны посевной наблюдалось увеличение водоустойчивости почвенных агрегатов. В среднем она составила на неэродированной, слабо-, средне- и сильноэродированной почвах соответственно 48,9, 44,1, 42,1 и 38,2 %, то есть была на уровне хорошей, за исключением сильноэродированной почвы.

Средневзвешенный диаметр водопрочных агрегатов изменялся по годам в зависимости от эродированности почв под культурами зернотравяного севооборота от 0,3 до 0,6 мм, под

культурами травяно-зернового севооборота – от 0,4 до 1,0 мм. Наблюдалось повышение d_w под люцерной 3-го года пользования в травяно-зерновом севообороте. В среднем за годы исследований в зернотравяном севообороте средневзвешенный диаметр водопрочных агрегатов составил в неэродированной почве 0,5 мм, в слабо-, средне- и сильноэродированной почвах 0,4 мм. В травяно-зерновом севообороте он был выше: в неэродированной почве – 0,8 мм, слабоэродированной почве – 0,7 мм, среднеэродированной почве – 0,6 мм, сильноэродированной почве – 0,5 мм.

Коэффициенты водопрочности почвенных агрегатов дерново-подзолистых почв на моренных суглинках изменялись в зависимости от степени их эродированности и севооборота от 0,1 до 0,4. Под культурами зернотравяного севооборота коэффициент водопрочности в среднем за 4 года исследований составил на неэродированной почве 0,3, на эродированных почвах – 0,2, а под культурами травяно-зернового севооборота – на неэродированной, слабо- и среднеэродированной почвах – 0,3, на сильноэродированной почве – 0,2.

Изучено влияние минеральной и органоминеральной систем удобрения без известкования и с внесением известковых мелиорантов в зерновом севообороте на водоустойчивость

структуры дерново-подзолистых почв на лесовидных суглинках, в разной степени подверженных водной эрозии. В среднем за севооборот при минеральной системе удобрения водоустойчивость структуры неэродированной почвы составила 19,9 %, средне- и сильноэродированной почв – 12,5 %. В течение лет этот показатель колебался на неэродированной и эродированных почвах от 8,3 до 28,2 %. Во всех случаях водоустойчивость была неудовлетворительной (< 30 %). Известкование почв на фоне минеральной системы удобрения способствовало незначительному повышению водоустойчивости неэродированной и среднеэродированной почв (табл. 3).

Таблица 3. Влияние систем удобрения на показатели водоустойчивости структуры дерново-подзолистых почв разной эродированности

Система удобрения	Неэродированная почва	Среднеэродированная почва	Сильноэродированная почва
<i>Водоустойчивость, %</i>			
Минеральная	<u>*11,6–28,2</u> 19,9	<u>9,61–5,5</u> 12,5	<u>8,3–18,7</u> 12,5
Минеральная + + известкование почвы	<u>15,9–28,1</u> 22,7	<u>6,2–18,8</u> 13,1	<u>8,2–15,5</u> 11,2
Органоминеральная	<u>17,5–25,8</u> 20,7	<u>13,6–18,2</u> 15,6	<u>7,7–22,3</u> 15,5
Органоминеральная + + известкование почвы	<u>18,2–28,6</u> 24,8	<u>15,0–22,6</u> 18,5	<u>8,2–24,4</u> 16,0
<i>Средневзвешенный диаметр водопрочных агрегатов, мм</i>			
Минеральная	<u>0,2–0,5</u> 0,4	<u>0,2–0,4</u> 0,3	<u>0,2–0,5</u> 0,3
Минеральная + + известкование почвы	<u>0,3–0,4</u> 0,3	<u>0,2–0,4</u> 0,3	<u>0,2–0,3</u> 0,3
Органоминеральная	<u>0,3–0,5</u> 0,4	<u>0,3–0,4</u> 0,3	<u>0,2–0,3</u> 0,3
Органоминеральная + + известкование почвы	<u>0,3–0,5</u> 0,4	<u>0,2–0,3</u> 0,3	<u>0,2–0,3</u> 0,3
<i>Коэффициент водопрочности</i>			
Минеральная	<u>0,1–0,2</u> 0,2	<u><0,1–0,1</u> 0,1	<u><0,1–0,1</u> 0,1
Минеральная + + известкование почвы	<u>0,1–0,2</u> 0,2	<u><0,1–0,1</u> 0,1	<u><0,1–0,1</u> 0,1
Органоминеральная	<u>0,1–0,2</u> 0,2	<u>0,1–0,2</u> 0,1	<u><0,1–0,2</u> 0,1
Органоминеральная + + известкование почвы	<u>0,1–0,4</u> 0,2	0,1	<u><0,1–0,1</u> 0,1
П р и м е ч а н и е. *Над чертой – колебания по годам, под чертой – среднее значение за годы исследований.			

На фоне органоминеральной системы удобрения наблюдалось некоторое улучшение водоустойчивости эродированных почв, которая составила в среднем за севооборот 15,5–15,6 %; колебания по годам составили соответственно 13,6–18,2 и 7,7–22,3 %. Применение известковых мелиорантов на фоне органоминеральной системы удобрения также повышало водоустойчивость структуры как неэродированной, так и эродированных почв, но в то же время она была неудовлетворительной.

На слабую водоустойчивость дерново-подзолистых почв, сформированных на лессовид-

ных суглинках, указывают и полученные коэффициенты водопрочности. На всех изучаемых системах удобрений сельскохозяйственных культур на неэродированной почве они фактически не превышали 0,2, а на эродированных почвах 0,1.

Не установлено достоверного влияния систем удобрения на средневзвешенный диаметр водопрочных агрегатов. В среднем за севооборот как на неэродированной, так и на эродированных почвах он составил 0,3–0,4 мм, в отдельных случаях 0,5 мм.

Выводы

1. Дерново-подзолистые почвы на моренных суглинках отличались лучшей водоустойчивостью по сравнению с почвами на лессовидных суглинках. Неэродированные, слабо- и среднеэродированные почвы в травяно-зерновом севообороте имели хорошую водоустойчивость (40,7–48,9 %), среднеэродированные почвы в зернотравяном севообороте и сильноэродированные почвы в травяно-зерновом севообороте – удовлетворительную (34,8–38,4 %). Дерново-подзолистые неэродированные и эродированные почвы на лессовидных суглинках характеризовались неудовлетворительной водоустойчивостью структуры.

2. Органоминеральная система удобрений совместно с известкованием улучшала водо-

стойчивость почв. По сравнению с минеральной системой удобрений водоустойчивость неэродированной почвы повысилась с 19,9 до 24,8 %, среднеэродированной – с 12,5 до 18,5, сильноэродированной почвы – с 12,5 до 16,0 %.

3. Средневзвешенный диаметр водопрочных агрегатов дерново-подзолистых неэродированных почв на лессовидных суглинках составил в среднем 0,4 мм, средне- и сильноэродированных почв – 0,3 мм. Дерново-подзолистые почвы, сформированные на моренных суглинках, отличались более высокими значениями d_w , особенно в травяно-зерновом севообороте: для неэродированных почв – 0,8 мм, для эродированных – 0,5–0,7 мм.

Библиографический список

1. Кузнецов, М. С. Противоэрозионная стойкость почв / М. С. Кузнецов. – Москва : Изд-во МГУ, 1981. – 135 с.
2. Булыгин, С. Ю. Параметры эрозионной стойкости почв лесостепной зоны Украины / С. Ю. Булыгин, Г. А. Можейко // Почвоведение. – 1995. – № 6. – С. 768–774.
3. Хан, Д. В. Органоминеральные соединения и структура почв / Д. В. Хан. – Москва : Наука, 1989. – 140 с.
4. Орлов, Д. С. Гумусовые кислоты почв / Д. С. Орлов. – Москва : Изд-во МГУ, 1974. – 331 с.
5. Воронин, А. Д. Структурно-функциональная гидрофизика почв / А. Д. Воронин. – Москва : Изд-во МГУ, 1984. – 204 с.
6. Кузнецов, М. С. Структурное состояние почвы и ее противоэрозионная стойкость / М. С. Кузнецов // Почвоведение. – 1994. – № 11. – С. 31–35.
7. Дюшофур, Ф. Основы почвоведения: эволюция почв (опыт изучения динамики почвообразования) / Ф. Дюшофур ; пер. с франц. М. И. Герасимова ; ред. И. П. Герасимов. – Москва : Прогресс, 1970. – 587 с.
8. Кузнецов, М. С. Эрозия и охрана почв / М. С. Кузнецов, Г. П. Глазунов. – Москва : Изд-во МГУ, 2004. – 350 с.

9. Орлов, Д. С. Изменение гумусового состояния дерново-подзолистых почв под влиянием различных факторов / Д. С. Орлов, М. Ф. Овчинникова, Я. М. Аммосова // Комплексная химическая характеристика почв Нечерноземья ; под ред. Д. С. Орлова. – Москва : Изд-во МГУ, 1987. – С. 43–58.
10. Soil degradation studies / D. A. Zaskowski [et al.] // Residue Review. – 1983. – Vol. 85. – P. 139–147.
11. Гусаров, В. Т. Смыв и потери питательных веществ дерново-подзолистыми почвами юга Московской области / В. Е. Гусаров // Эродированные почвы и эффективность почвозащитных мероприятий : науч. тр. / Почвенный ин-т им. В. В. Докучаева. – Москва : Колос, 1987. – С. 28–33.
12. Проценко, Е. П. Изменение свойств темно-серых лесных почв под действием антропогенных факторов / Е. П. Проценко, Н. И. Оксененко // Прогноз развития эрозионных процессов и устойчивость агроландшафтов к воздействию естественных и антропогенных факторов. – Курск : КГУ, 1990. – 149 с.
13. Проектирование противоэрозионных комплексов и использование эрозионно-опасных земель в разных ландшафтных зонах Беларуси : рекомендации / РУП «Институт почвоведения и агрохимии НАН Беларуси»; под общ. ред. А. Ф. Черныша. – Минск, 2005. – 52 с.
14. Amezketá, E. Soil aggregate stability: a review / E. Amezketá // Journ. of Sustainable Agriculture. – 1999. – Vol. 14, iss. 2–3. – С. 83–151. https://doi.org/10.1300/J064v14n02_08
15. Doerr, S. H. Soil water repellency: its causes, characteristics and hydro-geomorphological significance / S. H. Doerr, R. A. Shakesby, R. P. D. Walsh // Earth-Science Reviews. – 2000. – Vol. 51, iss. 1–4. – P. 33–65. [https://doi.org/10.1016/S0012-8252\(00\)00011-8](https://doi.org/10.1016/S0012-8252(00)00011-8)
16. Tisdall, J. M. Organic matter and waterstable aggregates in soils / J. M. Tisdall, J. M. Oades // European Journ. of Soil Science. – 1982. – Vol. 33, iss. 2. – P. 141–163. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2389.1982.tb01755.x>
17. Microaggregates in soils / K. U. Totsche [et al.] // Journ. of Plant Nutrition and Soil Science. – 2018. – Vol. 181, iss. 1. – P. 104–136. <https://doi.org/10.1002/jpln.201600451>
18. Теория и методы физики почв : коллект. монография / Е. В. Шеин ; под общ. ред. Е. В. Шеина и Л. О. Карпачевского. – Москва : Гриф и К, 2007. – 616 с.

Поступила 12 января 2024 г.

ВЛИЯНИЕ ДЛИТЕЛЬНОГО ОРОШЕНИЯ СВИНОВОДЧЕСКИМИ СТОКАМИ НА ЗАГРЯЗНЕНИЕ ПОЧВЫ МЕДЬЮ, ЦИНКОМ, СВИНЦОМ И КАДМИЕМ

*Л. В. Кирейчева*¹, доктор технических наук

*Т. Н. Ткачёва*², старший преподаватель

¹ФГБНУ «ФНЦ ВНИИГиМ имени А. Н. Костякова», г. Москва, Россия

²Белорусская государственная сельскохозяйственная академия, г. Горки, Беларусь

Аннотация

Приведены результаты исследования влияния длительного орошения свиноводческими стоками на загрязнение почв тяжелыми металлами (медь, цинк, кадмий, свинец) на базе селекционно-гибридного центра «Заднепровский» Оршанского р-на Витебской обл. На основании исследований на опытных делянках (2002–2004 гг. и 2017 г.) составлен баланс приоритетных загрязнителей, характерных для Республики Беларусь. В процессе длительного орошения стоками свиноводческого комплекса в объеме 300 кг/га (по азоту) на опытном участке наблюдалось снижение значений подвижных форм указанных тяжелых металлов в дерново-подзолистой суглинистой почве, что подтверждает правомерность обоснования удобрительно-увлажнительного режима орошения.

Ключевые слова: тяжелые металлы, микроэлементы, источники загрязнения, свиноводческие стоки, почва, баланс.

Abstract

L. V. Kireicheva, T. N. Tkacheva

INFLUENCE OF LONG-TERM IRRIGATION WITH PIG WASTEWATER ON SOIL CONTAMINATION WITH COPPER, ZINC, LEAD AND CADMIUM

The article presents the results of the study of the impact of long-term irrigation with pig wastewater on soil pollution by heavy metals (Copper, Zinc, Cadmium, Lead) of the breeding and hybrid center «Zadneprovsky» of Orsha district of Vitebsk region. On their basis of studies were conducted on experimental plots in the period 2002–2004 and in 2017; the balance of priority pollutants characteristic of the Republic of Belarus was drawn up. In the process of long-term irrigation with effluents of the pig-breeding complex in the amount of 300 kg/ha (on Nitrogen) of the experimental plot has been observed a decrease in the values of mobile forms of the considered heavy metals in sod-podzolic loamy soil, which confirms the validity of the justification of fertilizer-wetting irrigation regime.

Keywords: heavy metals, trace elements, sources of pollution, pig wastewater, soil, balance.

Введение

Тяжелые металлы – лидеры по степени опасности для существования человечества, они занимают более высокие позиции среди других химических загрязнителей. Наибольшую угрозу из них представляют медь, цинк, свинец и кадмий, так как наблюдается их быстрое распространение в окружающей среде.

В современной специальной и научной литературе нет четко сформулированного понятия «тяжелые металлы» (далее – ТМ). Ими считаются те химических элементы, атомная масса которых больше 50 [1], однако некоторые из них являются биофильными элементами, выполняющими биологические функции и при оптимальных концентрациях способствующими росту и развитию растений. При повышенном содержании в почве они выступают

как загрязнители, поскольку нарушают биологические процессы, сдерживают развитие и рост растений [2]. К таким металлам относятся медь и цинк.

Протокол по тяжелым металлам, составленный Европейской экономической комиссией ООН, выделяет такие наиболее опасные для жизнедеятельности металлы, как свинец (Pb), ртуть (Hg), кадмий (Cd), цинк (Zn), относящиеся к I-му классу опасности, и медь (Cu) – ко II-му классу опасности. Поэтому очень важно разработать превентивные меры по снижению их поступления в почву, а также мероприятия, блокирующие их действия.

В разных странах мира предельно допустимые концентрации ТМ в почве различны [3, 4]. В России и Беларуси ПДК в почвах по меди, цин-

ку, свинцу и кадмию гораздо строже, чем стандарты ряда зарубежных стран [5], – в силу более высоких требований к качеству сельскохозяйственной продукции. Кроме того, для Республики Беларусь большую опасность представляет взаимодействие ТМ с радионуклидами.

Источники поступления тяжелых металлов в почву хорошо известны: газоздушные выбросы промышленных и горнодобывающих предприятий, аварийные выбросы, свалки и полигоны твердых бытовых отходов, а также различные сточные воды, диффузный сток с сельскохозяйственных полей, промышленных и селитебных территорий, минеральные и ор-

Объект и методы исследований

Выбор объекта обусловлен широким развитием свиноводческих комплексов в Беларуси, стоки из которых утилизируются для орошения кормовых культур. Исследования проводились на оросительной системе крупного свиноводческого комплекса селекционно-гибридного центра «Заднепровский» (Оршанский р-н Витебской обл.).

Орошаемые почвы относятся к дерново-подзолисто-му типу среднесуглинистого состава. Орошение стоками свиноводческого комплекса началось в 1985 г. После 17 лет орошения, в 2002–2004 гг., начались исследования по влиянию стоков на окружающую среду (в том числе на почвы) на опытных делянках, на которых выращивалась горохо-овсяная смесь в качестве кормовой культуры

ганические удобрения, средства защиты растений [6, 7] и проч.

Для Беларуси характерны медь, цинк, свинец и кадмий как приоритетные загрязнители почв сельскохозяйственных угодий, поэтому внимание исследователей направлено на изучение источников загрязнения указанными химическими элементами.

Цель данной статьи – выявить и оценить воздействие длительного орошения свиноводческими стоками на накопление приоритетных загрязнителей в дерново-подзолистой суглинистой почве при выращивании горохо-овсяной смеси в качестве кормов.

размером 60 кв. м в четырехкратной повторности. В 2017 г. исследования продолжились на тех же опытных делянках. В период исследований почвы поливалась стоками свиноводческого комплекса из расчета внесения 200, 300 и 400 кг азота на гектар за вегетационный период по вариантам опыта, а при недостатке увлажнения дефицит восполнялся природной водой.

Исходное содержание изучаемых тяжелых металлов (Cu, Zn, Pb, Cd) в почве опытного участка представлено в табл. 1. Содержание химических элементов в почве, растениях и животноводческих стоках определялось атомно-абсорбционным методом в химико-экологической лаборатории Белорусской сельхозакадемии.

Таблица 1. Исходное содержание подвижных форм химических элементов по профилю почвы опытного участка (2002 г.), мг/кг

Глубина отбора, см	Медь	Цинк	Свинец	Кадмий
0–20	4,57	14,33	5,53	0,183
20–40	2,46	6,78	6,35	0,187
40–60	1,12	5,22	5,62	0,193
60–80	1,14	4,06	3,99	0,124
80–100	1,38	3,08	2,87	0,144
ПДК почвы [8]	3,00	23,00	6,00	–

Содержание изучаемых химических загрязнителей в свиноводческих стоках, подготовленных для орошения, приведено в табл. 2 по годам исследований. Согласно полученным данным, значения меди и цинка не превышали допустимых норм за исследуемый период. Что касается кадмия, то его показатели в 2002–2004 гг. были в 8–9 раз выше допустимых значений. Содержание свинца в 2002 г. было больше ПДК на 63 %, в 2003-м – на 33 %, а в 2004 г. достигло максимума – 80 % (по сравнению с нормативными значениями), однако

уже в 2017 г. концентрация содержания подвижных форм свинца незначительно превышала норматив, составив 23 %.

Помимо стоков, в почву вносились и минеральные удобрения: карбамидно-аммиачная смесь в количестве 150 кг/га (32 % действующего вещества), суперфосфат перед посевом – 120 кг/га (33 % д. в.) и хлористый калий нормой 200 кг/га (60 % д. в.). Содержание исследуемых химических элементов в минеральных удобрениях представлено в табл. 3.

Таблица 2. Содержание химических элементов в свиноводческих стоках по годам исследования (по данным химико-экологической лаборатории БГСХА)

Годы	Cu	Zn	Cd	Pb
	Содержание, мг/дм ³			
2002	0,04	0,09	0,008	0,05
2003	0,03	0,10	0,009	0,04
2004	0,05	0,07	0,009	0,05
2017	0,25	0,80	0,0006	0,04
Допустимые максимальные концентрации для поливной воды, мг/дм ³ [9]	1,00	1,00	0,001	0,03

Таблица 3. Содержание тяжелых металлов в минеральных удобрениях, применяемых на опытном участке, мг/кг

Удобрения	Cd	Pb	Cu	Zn
Карбамидно-аммиачная смесь	–	0,8	1,8	9,3
Суперфосфат	0,2	4,5	20,4	27,5
Хлористый калий	0,2	2,1	7,6	14,6

Результаты исследований и их обсуждение

По результатам исследований 2002–2004 гг. и 2017 г. составлен баланс подвижных форм меди, цинка, свинца и кадмия в пахотном слое 0–20 см. Приходные статьи: содержание металлов в почве, их поступление с минеральными удобрениями и животноводческими стоками; расходные – остаток в почве, вынос растениями и за пределы опытного участка.

Поступление химических загрязнителей с минеральными удобрениями и стоками опре-

делялось по объему их внесения в почву. Объем стоков при проведении поливов как по вариантам опытов, так и по годам исследований приведен в табл. 4.

Вынос за пределы пахотного слоя определялся как разница между приходными и расходными статьями баланса и подтверждается результатами накопления ТМ в слое 0–100 см (рис. 1).

Таблица 4. Объемы внесения стоков при реализации режимов орошения горохо-овсяной смеси по годам исследований

Годы исследований	Варианты опытов внесения азота, кг/га	Объем стоков, м ³ /га
2002	200	500
	300	750
	400	990
2003	200	500
	300	760
	400	1010
2004	200	490
	300	730
	400	980
2017	200	340
	300	500
	400	670

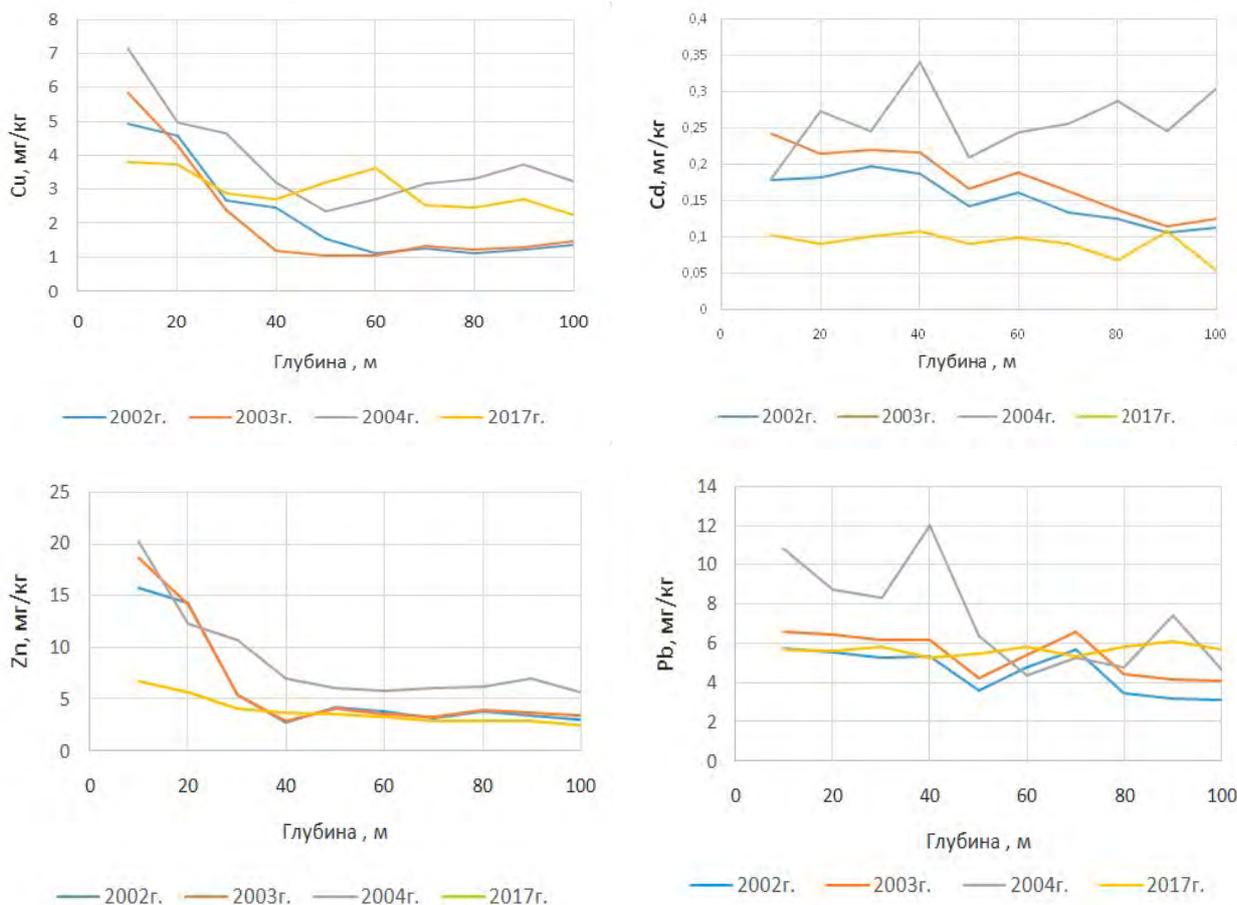


Рис. 1. Динамика содержания химических элементов в почве опытного участка в метровом слое

С целью определения содержания рассматриваемых тяжелых металлов в горохо-овсяной смеси проведены специальные исследования на вегетационных сосудах.

Сосуды емкостью 5 л набивались почвой с опытного участка массой 7 кг до получения объемной массы, близкой к естественному сложению. Далее загрязнялись от 1 до 4 ОДК (ориентировочно допустимая концентрация) солями ТМ: свинец – $Pb(CH_3COO)_2 \cdot 3H_2O$; медь – $CuSO_4 \cdot 5H_2O$; цинк – $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$, кадмий – $Cd(NO_3)_2 \cdot 4H_2O$ и засеивались горохо-овсяной смесью. На всех вариантах поддерживался оптимальный водно-воздушный режим путем поливов животноводческими стоками и поливной водой, что соответствовало режиму орошения на опытных делянках.

В опытах изучалось влияние уровня загрязнения на накопление тяжелых металлов в растительной продукции (рис. 2).

В табл. 5 приведен баланс тяжелых металлов по вариантам опытов за рассматриваемый период.

Составленный многолетний баланс ТМ позволил выявить некоторые закономерности. Так, основная доля тяжелых металлов поступает с минеральными удобрениями, особенно с суперфосфатом, который вносится непосредственно перед посевом и определяет исходное содержание ТМ в пахотном слое. При орошении сточными водами и принятой агротехнике во всех вариантах опытов тяжелые металлы как накапливаются в растениях, так и выносятся за пределы почвенного слоя. В течение вегетационного периода наблюдается снижение остаточного запаса ТМ в почве, что можно объяснить их выносом за пределы пахотного слоя инфильтрационными водами в нижележащие слои среднесуглинистой почвы. Увеличение объема сточных вод приводит к увеличению всех составляющих баланса.

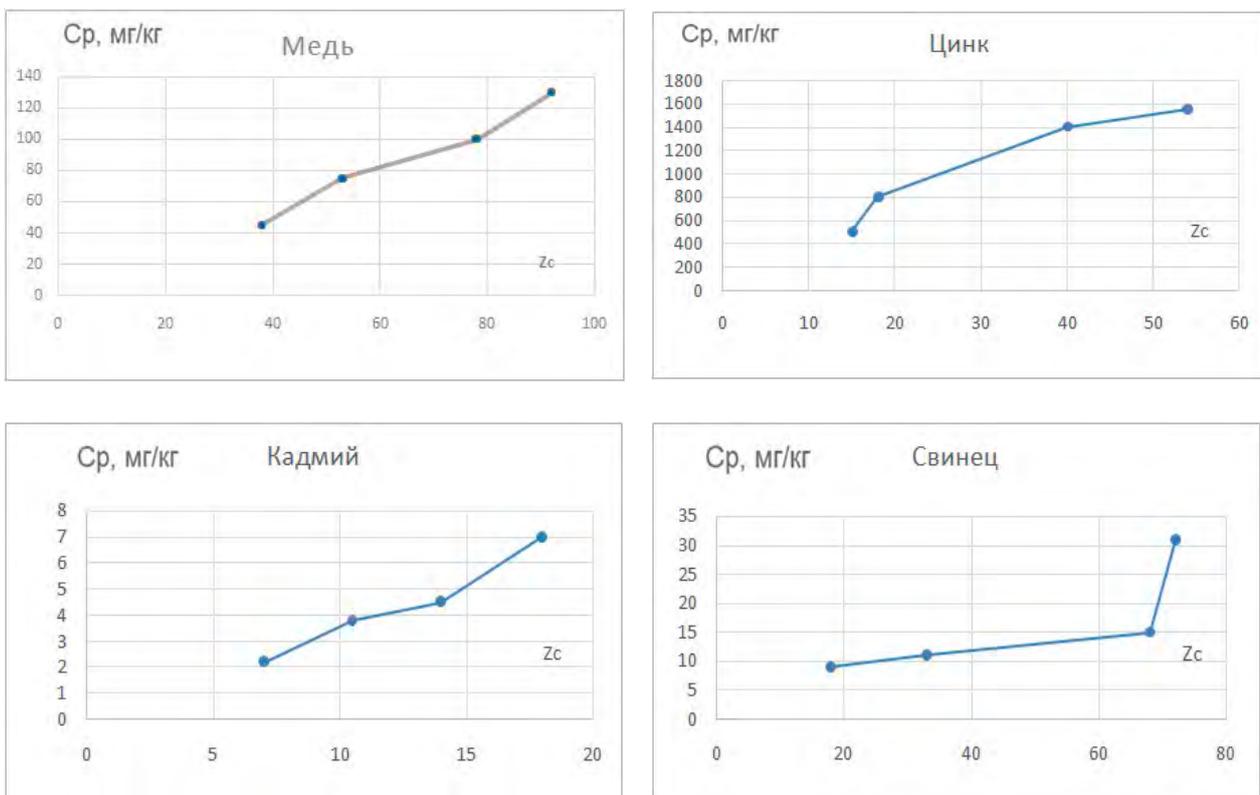


Рис. 2. Накопления меди, цинка, кадмия и свинца в растениях горохо-овсяной смеси в зависимости от суммарного индекса загрязнения почвы тяжелыми металлами

Таблица 5. Баланс тяжелых металлов по вариантам опытов (по данным химико-экологической лаборатории)

Годы	Содержание тяжелых металлов, мг/кг	Варианты орошения											
		200 кг/га азота				300 кг/га азота				400 кг/га азота			
		Cu	Zn	Cd	Pb	Cu	Zn	Cd	Pb	Cu	Zn	Cd	Pb
2002	Сточные воды	1,30	2,90	0,28	0,99	1,95	4,35	0,42	1,49	2,60	5,80	0,56	1,98
	Минеральные удобрения	27,60	36,60	0,27	5,10	27,6	36,60	0,27	5,10	27,60	36,60	0,27	5,10
	Почва	4,95	15,78	0,18	5,74	4,95	15,78	0,18	5,74	4,95	15,78	0,18	5,74
	Вынос растениями	11,80	34,92	0,46	3,14	7,80	29,60	0,33	2,04	8,15	42,60	0,42	2,12
	Остаток в почве	3,94	9,11	0,147	5,74	3,49	8,21	0,17	5,04	4,05	9,30	0,144	5,42
2003	Вынос за пределы	18,11	11,25	0,12	2,95	23,21	18,92	0,37	5,25	22,95	6,28	0,446	5,28
	Сточные воды	1,00	3,37	0,30	1,33	1,50	5,10	0,45	2,00	2,00	6,73	0,60	2,70
	Минеральные удобрения	28,70	51,40	0,43	7,40	28,70	51,40	0,43	7,40	28,70	51,40	0,43	7,40
	Почва	4,29	14,16	0,22	6,46	4,29	14,16	0,22	6,46	4,29	14,16	0,215	6,46
	Вынос растениями	12,20	46,80	0,69	6,00	7,70	39,70	0,38	2,40	6,40	55,40	0,53	2,00
2004	Остаток в почве	2,75	7,11	0,226	6,17	4,08	10,76	0,21	6,34	4,58	15,82	0,216	6,42
	Вынос за пределы	19,04	15,02	0,03	3,02	22,71	20,20	0,51	7,12	24,01	1,07	0,499	8,14
	Сточные воды	1,67	2,40	0,30	0,77	2,50	3,60	0,45	1,15	3,33	4,80	0,60	1,50
	Минеральные удобрения	28,75	32,35	0,27	6,40	28,75	32,35	0,27	6,40	28,75	32,35	0,27	6,40
	Почва	4,97	12,33	0,27	8,73	4,97	12,33	0,27	8,73	4,97	12,33	0,273	8,73
2017	Вынос растениями	13,80	18,2	0,17	2,01	7,80	20,30	0,35	4,20	5,60	18,8	0,19	1,73
	Остаток в почве	5,18	13,19	0,32	7,63	4,78	10,44	0,28	6,85	3,47	7,74	0,267	6,27
	Вынос за пределы	16,41	15,69	0,36	6,26	23,64	17,54	0,36	5,23	27,98	22,94	0,686	8,63
	Сточные воды	8,30	26,90	0,02	1,23	12,45	40,35	0,03	1,85	16,60	53,79	0,034	2,47
	Минеральные удобрения	29,74	30,22	0,29	5,60	29,74	30,22	0,29	5,60	29,74	30,22	0,29	5,60
2017	Почва	3,73	5,64	0,09	5,64	3,73	5,64	0,09	5,64	3,73	5,64	0,092	5,64
	Вынос растениями	3,93	27,20	0,00	0,00	5,10	32,80	0,14	0,19	4,80	31,30	0,00	0,00
	Остаток в почве	3,94	6,16	0,07	5,42	3,72	5,18	0,06	5,69	4,52	6,72	0,11	5,05
	Вынос за пределы	33,90	29,40	0,33	7,05	37,10	38,23	0,21	7,21	40,75	51,63	0,306	8,66

Рассмотрим более подробно период 2002–2004 г. В 2002 г., до посева горохо-овсяной смеси на всех трех вариантах, в почве находилось одинаковое количество тяжелых металлов: Cu – 4,95 мг/кг; Zn – 15,78 мг/кг; Cd – 0,18 мг/кг; Pb – 5,74 мг/кг. С минеральными удобрениями поступило: Cu – 27,6 мг/кг; Zn – 36,6 мг/кг; Cd – 0,27 мг/кг; Pb – 5,1 мг/кг. В первом варианте при внесении азота 200 кг/га со сточными водами поступило: Cu – 1,3 мг/кг; Zn – 2,9 мг/кг; Cd – 0,28 мг/кг; Pb – 0,99 мг/кг. По окончании вегетационного периода растения вынесли: Cu – 11,8 мг/кг; Zn – 34,92 мг/кг; Cd – 0,46 мг/кг; Pb – 3,14 мг/кг. В почве осталось: Cu – 3,94 мг/кг; Zn – 9,11 мг/кг; Cd – 0,147 мг/кг; Pb – 5,74 мг/кг, а остальная часть мигрировала за пределы пахотного слоя (Cu – 18,11 мг/кг, Zn – 11,25 мг/кг, Cd – 0,12 мг/кг, Pb – 2,95 мг/кг).

Проанализируем динамику наиболее опасного элемента – кадмия. При орошении 200 кг/га азота его остаток в почве составил незначительную часть: 0,147 мг/кг – это 20,5 % от общего количества его поступления; вынос за пределы пахотного слоя – 16,44 %; поглощение растениями горохо-овсяной смеси – 63 %. При внесении азота 300 кг/га поступление с минеральными удобрениями было одинаковое, как и в первом варианте, – 0,27 мг/кг; в почве находилось такое же количество металла – 0,18 мг/кг; со стоками поступило 0,42 мг/кг. В итоге в почве осталось 0,166 мг/кг, за пределы пахотного слоя вынесено 0,374 мг/кг, растения накопили 0,33 мг/кг (соответственно 19,1 %, 43 и 37,9 %).

В 2002 г., в варианте с внесением азота 400 кг/га, динамика кадмия в почве и поступление его с минеральными удобрениями были такими же, как и в предыдущих вариантах (соответственно 0,18 и 0,27 мг/кг), содержание в почве – 0,18 мг/кг. Со сточными водами поступило 0,56 мг/кг. В результате остаток в почве составил 0,144 мг/кг, растения вынесли 0,42 мг/кг, а за пределы почвы мигрировало 0,446 мг/кг. В 2002 г. наименьший вынос растениями был в варианте с орошением 300 кг/га азота, а наименьший остаток в почве – при орошении 400 кг/га.

Что касается 2003 г., то до посева горохо-овсяной смеси на всех трех вариантах в почве находилось 0,215 мг/кг кадмия, с минеральными удобрениями его было внесено 0,43 мг/кг,

со сточными водами поступило 0,3 мг/кг, 0,45 и 0,6 мг/кг согласно вариантам. Наименьший вынос растениями и остаток в почве зафиксированы в варианте с орошением 300 кг/га азота.

В 2004 г. наименьшее поглощение кадмия горохо-овсяной смесью установлено на варианте внесения в почву 200 кг/га азота – 0,17 мг/кг, а минимальный остаток в почве отмечен при орошении 400 кг/га и составил 0,267 мг/кг.

Рассмотрим второй по опасности тяжелый металл – свинец. В 2002 г. исходное содержание свинца составляло 5,74 мг/кг, что, вероятно, связано с влиянием крупной автомобильной магистрали, проходящей на расстоянии 300 м от опытных участков. В указанном году с минеральными удобрениями внесено 5,1 мг/кг, со сточными водами – 0,99 мг/кг, 49 и 1,98 мг/кг свинца по вариантам опыта соответственно. Наибольший вынос за пределы пахотного слоя наблюдался в варианте 400 кг/га азота; наименьший остаток в почве – 5,04 мг/кг при орошении 300 кг/га азота; минимальный вынос растениями зафиксирован также на этом варианте – 2,04 мг/кг.

В 2003 г. перед посевом горохо-овсяной смеси в почве находилось 6,46 мг/кг свинца, с минеральными удобрениями внесено 7,4 мг/кг, со сточными водами – согласно вариантам орошения – поступило 1,33 мг/кг, 2,0 и 2,7 мг/кг этого элемента. Минимальный вынос растениями отмечен при орошении 400 мг/кг и составил 2,0 мг/кг, а вынос за пределы пахотного слоя – 8,14 мг/га.

В 2004 г. на всех трех вариантах находилось 8,73 мг/кг свинца. С минеральными удобрениями внесено 6,4 мг/кг, со сточными водами, согласно вариантам орошения, поступило 0,77 мг/кг, 1,15 и 1,5 мг/кг этого элемента. Минимальный вынос растениями составил 1,73 мг/кг при орошении 400 мг/кг, при этом за пределы пахотного слоя вынесено 8,63 мг/кг. Таким образом, с увеличением объема подачи сточных вод на орошение пропорционально увеличивается и вынос за пределы пахотного слоя, а это свидетельствует о возможном загрязнении почвы и нижележащих грунтов, что отражено на рис. 1.

В 2017 г., после 15 лет орошения сточными водами горохо-овсяной смеси в слое 0–20 см, при орошении сточными водами из расчета

300 кг/га по азоту, содержание меди и свинца увеличилось незначительно – на 6,6 и 12,9 %, что указывает на постоянный источник загрязнения и низкую миграционную способность свинца (табл. 6). Значительное снижение про-

изошло по цинку и кадмию – 36,9 и 62 % соответственно, что подтверждает правомерность верификации удобрительно-увлажнительного режима орошения научно обоснованной нормой 300 кг/га.

Таблица 6. **Содержание подвижных форм ТМ в дерново-подзолистой среднесуглинистой почве**

Годы исследований	Содержание в почве, мг/кг			
	Медь	Цинк	Кадмий	Свинец
2002 г.	3,49	8,21	0,17	5,04
2017 г.	3,72	5,18	0,06	5,69

Заключение

Анализ научной литературы показал, что в настоящее время активизируются процессы накопления в почве тяжелых металлов. Наряду с промышленными источниками загрязнения почв в Беларуси, существенная роль в накоплении тяжелых металлов на сельскохозяйственных землях принадлежит побочным продуктам животноводства, включающим сточные воды и компосты. В республике приоритетными загрязнителями сельскохозяйственных земель являются медь, цинк, свинец и кадмий, повышенное содержание которых в почве оказывает негативное влияние на урожайность и качество кормов и опосредованно – на продукцию животноводства. Наиболее опасными считаются стоки свиноводческих комплексов при бесподстильном содержании животных.

Результаты исследования влияния орошения свиноводческими стоками на среднесуглинистых дерново-подзолистых почвах и составленный на их основе баланс тяжелых металлов свидетельствуют о следующем:

- значительная доля загрязнителей поступает в почву с минеральными удобрениями, особенно с суперфосфатом, который вносится непосредственно перед посевом и определяет исходное содержание ТМ в пахотном слое;

- поступление ТМ со сточными водами, подготовленными для орошения, пропорционально объему сточных вод: с увеличением их объема металлы накапливаются в почве и растениях и выносятся за пределы пахотного слоя;

- в течение вегетационного периода наблюдается снижение остаточного запаса ТМ в почве;

- наиболее благоприятный баланс складывается при орошении стоками 300 кг/га, что подтверждается урожайностью горохо-овсяной смеси и качеством продукции;

- применение режима орошения с внесением со стоками 300 кг/га азота в течение 15 лет показало существенное снижение тяжелых металлов в орошаемой почве: цинка на 36,9 %, кадмия на 62 %.

Для улучшения экологической ситуации рекомендуется использовать более экологически чистые минеральные удобрения. С целью предупреждения загрязнения нижележащих слоев почвы, грунтовых вод тяжелыми металлами рекомендуется вносить в почву сорбционные вещества (например, сапропель) для их депонирования или включать в состав севооборота культуры-ремедианты.

Библиографический список

1. Тиво, П. Ф. Загрязнение окружающей среды тяжелыми металлами, содержащимися в животноводческих стоках / П. Ф. Тиво // Мелиорация. – 2019. – № 1 (87). – С. 63–72.
2. Желязко, В. И. Эколого-мелиоративные основы орошения земель стоками свиноводческих комплексов / В. И. Желязко ; Белорус. гос. с.-х. акад. – Горки : [б. и.], 2003. – 168 с.

3. Impacts of European livestock production: nitrogen, sulphur, phosphorus and greenhouse gas emissions, land-use, water eutrophication and biodiversity / A. Leip [at al.] // Environmental Research Letters. – 2015. – Vol. 10, № 11. – P. 115004. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/10/11/115004>

4. Singh, R. K. Impact of livestock farming on the environment & strategies to mitigate the threats // R. K. Singh, J. Jharkhand // Pashudhan praharee. – 2020. – June 4. – Mode of access: <https://www.pashudhanpraharee.com/impact-of-livestock-farming-on-the-environment-strategies-to-mitigate-the-threats/>. – Data of access: 25.08.2023.

5. Cao, S. T. Impacts of effluent from different livestock farm types (pig, cow, and poultry) on surrounding water quality: a comprehensive assessment using individual parameter evaluation method and water quality indices // Environmental science and pollution research international. – 2021. – Vol. 28 (36). – P. 50302–50315. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-14284-9>

6. Водяницкий, Ю. Н. Загрязнение почв тяжелыми металлами / Ю. Н. Водяницкий, Д. В. Ладонин, А. Т. Савичев. – Москва : Изд-во Почв. ин-та им. В. В. Докучаева РАСХН, 2012. – 304 с.

7. Позняк, С. С. Экологическое состояние сельскохозяйственных земель в зоне действия крупных промышленных центров : монография / С. С. Позняк. – Минск : МГЭУ им. А. Д. Сахарова, 2010. – 211 с.

8. Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания [Электронный ресурс] : СанПиН 1.2.3685–21, утв. постановлением № 2 Гл. гос. санитар. врача РФ от 29.01.2021. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/573500115>. – Дата доступа: 25.08.22.

9. Утилизация сточных вод и животноводческих стоков / В. И. Желязко [и др.]. – Москва : Изд-во ООО «Эдель-М», 2001. – 183 с.

Поступила 5 января 2024 г

РЫХЛИТЕЛЬ-КРОТОВАТЕЛЬ ПОЧВЫ РКП-0,7



В РУП «Институт мелиорации» разработан рыхлитель-кратователь почвы с ограничителем глубины рыхления РКП-0,7 для полосового глубокого рыхления-кратования почвы на глубину до 70 см.

Рыхлитель-кратователь почвы РКП-07 предназначен для улучшения водного режима почвы на мелиорированных землях путем перевода поверхностных вод в дренажный сток на переувлажняемых слабопроницаемых минеральных и торфяных почвах с наличием оглеенного слоя с коэффициентом фильтрации менее 0,2 м/сут.



РКП-0,7 производит полосовое глубокое рыхление-кратование почвы. Для отвода избытков воды в РКП-0,7 имеется съемный на цепи дренир диаметром 90 мм. Ограничение глубины рыхления почвы до 70 см в РКП-0,7 осуществляется с помощью ограничителя, который к нему подсоединяется.

Рыхление почвы выполняется тракторными рыхлителями в соответствии с типовой технологической картой на глубокое рыхление мелиорированных земель (ТТК-101024243. 296-2022).

Полосовое рыхление-кратование выполняется на тяжелых и средних суглинках с шагом от 3 до 5 м, на легких суглинках – от 5 до 8 м.

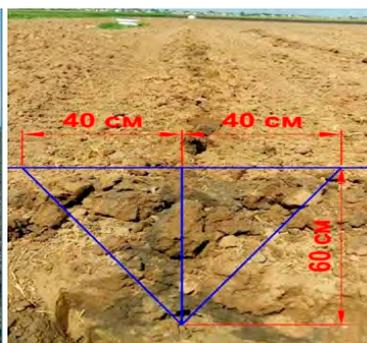
Рыхление-кратование выполняется при влажности почвы в пределах от 60 до 80 % от наименьшей влагоемкости; возобновляется через каждые 3–4 года.

РКП-0,7 агрегируется с тракторами класса 2,0 по ГОСТ 27021 («БЕЛАРУС-1221»). Вид климатического исполнения У1 по ГОСТ 15150.

Применение РКП-0,7 обеспечивает создание глубокого разрыхленного слоя почвы и перераспределение избытков влаги по почвенному профилю, что в свою очередь способствует улучшению водно-воздушного режима почвы, создает нормальные условия для повышения урожайности сельскохозяйственных культур.

Учетные данные урожая на тяжелых почвах показывают, что глубокое рыхление увеличивает урожайность озимой пшеницы в первый год в среднем на 23,8 %, ячменя во второй год – на 13,2 %, картофеля в третий год – на 13,4 %.

Рыхлитель-кратователь почвы РКП-0,7 прошел испытания в разных почвенно-мелиоративных условиях в Витебской и Минской областях.



Изготовитель – РУП «Институт мелиорации», ТУ ВУ 100363825.003-2023, сертификат соответствия Евразийского экономического союза № ЕАЭС KG417/033.BY.02.01531.



РУП «Институт мелиорации»:
220040, г. Минск,
ул. Некрасова, 39-2.

Приемная:
Тел.: +375 17 318-19-41
Факс: +375 17 392-64-96
e-mail: niimel@mail.ru
www: info@niimel.by

Контактное лицо:
Тел.: +375 29 570-23-28
Ведущий науч. сотрудник
Владимир Михайлович Макоед

НАШИ ЮБИЛЯРЫ



ИВАН ЭДВАРДОВИЧ ЛЕУТО (к 90-летию)

Иван Эдвардович Леуто родился 4 января 1934 г. в д. Новый Двор Щучинского р-на Гродненской обл.

Окончил в 1957 г. агрономический факультет Гродненского сельскохозяйственного института, получил специальность ученого агронома.

В течение пяти последующих лет работал агрономом в сельскохозяйственных организациях Гродненщины, при этом систематически изучал научную литературу, посвященную агротехнике возделывания сельскохозяйственных культур, особенно на мелиорированных землях. Это и привело его в аспирантуру нашего института (в ту пору называвшегося Институтом мелиорации и водного хозяйства), которую он окончил в 1964 г.

После защиты в 1966 г. кандидатской диссертации продолжал работать в институте, пройдя путь от младшего до старшего научного сотрудника (1964–1972), заведующего лабораторией мелиорации и использования осушенных минеральных земель (1972–2001), ведущего научного сотрудника (с 2001 г. до ухода на пенсию в 2010 г.).

Иван Эдвардович опубликовал свыше 180 научных работ, в том числе 4 монографии, ряд учебников и обзоров. Его научная деятельность связана, главным образом, с разработкой приемов окультуривания и эффективного использования торфяных месторождений и минеральных осушаемых почв, рекомендаций по формированию высокопродуктивных травостоев на землях со сложным почвенным покровом и неоднородным водным режимом в Поозерье. Много внимания ученый уделял адаптивному возделыванию сельскохозяйственных культур на связных почвах Витебщины, активно исследовал эффективность органических удобрений, включая сапрпель и компосты на его основе.

Кроме научных исследований, И. Э. Леуто активно занимался общественной деятельностью: на протяжении многих лет был председателем профкома, возглавлял группу народного контроля, являлся неизменным членом ученого совета института. Независимо от занимаемой должности, всегда был корректен с сотрудниками, пользовался у коллег непререкаемым, заслуженным авторитетом.

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

Коллектив института поздравляет уважаемого Ивана Эдвардовича с замечательным юбилеем и высказывает искреннюю благодарность за бесценный профессиональный опыт, желает всяческих сил, здоровья и благополучия.



НИКОЛАЙ НИКОЛАЕВИЧ СЕМЕНЕНКО (к 85-летию)

Николай Николаевич Семенов родился 4 января 1939 г. в д. Ходоров Славгородского р-на Могилевской обл.

После окончания в 1957 г. Славгородской средней школы, а в 1960 г. Жиличского сельскохозяйственного техникума стал трудиться агрономом колхоза имени А. А. Жданова Славгородского р-на. В 1961–1963 гг. служил в армии в составе Группы советских войск в Германии.

В 1968 г. окончил факультет агрохимии и почвоведения Белорусской сельскохозяйственной академии, около двух лет работал старшим инженером-почвоведом в Почвенной экспедиции БСХА, накапливая опыт полевых исследований. С 1970-го по 1993 г. прошел путь становления ученого-агрохимика: вначале – аспирант БелНИИ почвоведения и агрохимии, затем – младший, старший научный сотрудник и заведующий лабораторией этого же института.

В 1973 г. Николай Николаевич успешно защитил диссертацию на соискание ученой степени кандидата сельскохозяйственных наук на тему «Фосфатный режим торфяно-болотных почв и фосфорное питание картофеля», а в 1992 г. стал доктором сельскохозяйственных наук по специальности «агрохимия» (тема диссертации – «Азотный режим дерново-подзолистых почв и рациональное применение азотных удобрений»).

В 1976 г. проходил научную стажировку в ГДР – университете имени М. Лютера (г. Галле) и Институте минеральных удобрений (г. Лейпциг).

В 1993–2000 гг. Николай Николаевич трудился в должности ученого секретаря отделения земледелия и растениеводства Академии аграрных наук Республики Беларусь, затем продолжил исследовательскую работу в качестве главного научного сотрудника в Институте мелиорации (2001–2015) и в Институте почвоведения и агрохимии (2016–2019).

Основные направления научной деятельности Н. Н. Семенова – агропочвоведение, агрохимия, земледелие. Используя в своих исследованиях изотопный индикатор азота ^{15}N , он впервые установил функциональную связь между азотным режимом почв разного уровня плодородия и удобрений и питанием растений, урожайностью, качеством продукции; разработал теоретико-методические решения по диагностике минерального питания и управлению процессом формирования продуктивности сельскохозяйственных культур, всячески содействовал их практическому воплощению.

Большую научно-практическую значимость имеют разработки ученого по исследованию влияния мелиорации и длительного сельскохозяйственного использования на трансформацию свойств торфяных почв. Применяя оригинальные методы, Николай Николаевич установил закономерности трансформации химического и фракционного составов азота, фосфора и калия, биологической активности, энергетических и генетических свойств этих почв под влиянием антропогенного воздействия; разработал модели прогноза их изменений

и диагностические признаки при оценке торфяных почв разных стадий эволюции. Особого внимания заслуживает разработанная Н. Н. Семененко высокоэффективная почвозащитная система земледелия на антропогенно-преобразованных торфяных почвах, основанная на использовании кулисной культуры, энергосберегающей системы обработки почвы и новых методических решений по применению макро- и микроудобрений и регуляторов роста.

Н. Н. Семененко – автор более 320 научных работ, в том числе 6 монографий. Имеет 8 патентов на изобретения, им разработаны 7 отраслевых регламентов и более 40 методических рекомендаций. Широко известны такие его труды, как «Азот в земледелии Беларуси» (1997); «Адаптивные системы применения азотных удобрений» (2003); «Торфяно-болотные почвы Полесья: их трансформация и пути эффективного использования» (2015); «Инновационные технологии применения азотных удобрений: теория, методология, практика» (2020).

Подготовил 7 кандидатов наук.

Награжден двумя медалями ВДНХ СССР, Почетными грамотами Министерства сельского хозяйства и продовольствия Республики Беларусь, Национальной академии наук Беларуси, Академии аграрных наук Беларуси, Высшей аттестационной Комиссии Республики Беларусь. Лауреат премии Национальной академии наук Беларуси.

Коллектив Института мелиорации желает уважаемому Николаю Николаевичу крепкого здоровья и личного счастья, бодрости духа и энергии на долгие годы.



НИКОЛАЙ НИКОЛАЕВИЧ ДУБЕНОК (к 75-летию)

Николай Николаевич Дубенок родился 5 февраля 1949 г. в с. Вербовичи Наровлянского р-на Гомельской обл.

После окончания Вербовичской средней школы получил образование в гидромелиоративном техникуме и прошел срочную службу в рядах Советской армии.

В 1976 г. окончил Московский гидромелиоративный институт и стал работать ассистентом на кафедре мелиорации и геодезии Московской ордена Ленина и ордена Трудового Красного Знамени сельскохозяйственной Академии имени К. А. Тимирязева. В 1980–1984 гг. Николай Николаевич работает там же в должности старшего преподавателя, а в 1985–1989 гг. – доцента; занимается изучением масштабов миграции химических элементов с поверхностным и внутрпочвенным стоками.

В 1984 г. Николай Николаевич успешно защитил диссертацию на соискание ученой степени кандидата сельскохозяйственных наук на тему «Режим орошения сеяных многолетних трав, выращиваемых на склоновых участках в условиях Центрального района Нечерноземной зоны РСФСР»; в 1994 г. стал доктором сельскохозяйственных наук.

С 1989 г. Николай Николаевич заведует кафедрой мелиорации и геодезии, сохраняя и развивая научную школу своих учителей – профессора П. А. Волковского и академика РАСХН Б. Б. Шумакова. В 1996 г. он получает звание профессора. С 2001 г. по настоящее время под руководством Н. Н. Дубенка осуществляются исследования по теме «Повышение эффективности использования водных ресурсов при возделывании овощных и плодовых культур». В 2005 г. за научные достижения в области использования мелиорированных земель Николая Николаевича избирают членом-корреспондентом РАСХН, в 2007 г. – академиком РАСХН, а в 2013 г. – академиком РАН.

По результатам теоретических и экспериментальных исследований Н. Н. Дубенка разработаны и внедрены ресурсосберегающие технологии возделывания при капельном орошении томатов, огурца, баклажана, моркови, сои, саженцев плодовых культур, а также технология капельного орошения риса в условиях юга России, позволяющая сократить расход оросительной воды в 4–5 раз – по сравнению с традиционными технологиями выращивания риса при урожайности 5–6 тонн с гектара.

С 2004-го по 2009 г. Николай Николаевич успешно совмещает административную работу (в должностях завкафедрой и декана факультета почвоведения, агрохимии и экологии) с научно-исследовательской и педагогической, преподает курсы «Сельскохозяйственная мелиорация» и «Агроэкология техногенно загрязненных агроландшафтов» и на своем факультете, и на факультетах садоводства и ландшафтной архитектуры, агрономии и биотехнологии. Им разработан ряд математико-статистических моделей, позволяющих получить зависимость величины поверхностного стока от скорости стекания и интенсивности дождя, уклона поверхности почвы, размера

поливных норм и площади листовой поверхности, а также прогностические модели уплотнения и разуплотнения почвы.

Н. Н. Дубенок активно участвовал в подготовке федеральной целевой программы «Сохранение и восстановление плодородия почв земель сельскохозяйственного назначения и агроландшафтов как национального достояния России на 2006–2010 годы и на период до 2013 года», а также он один из разработчиков программы «Развитие мелиорации земель сельскохозяйственного назначения России на 2014–2020 годы».

Академик РАН, академик-секретарь отделения мелиорации, водного и лесного хозяйства Россельхозакадемии, президент Национального комитета Российской Федерации по ирригации и дренажу, член Президиума ВАК, профессор Николай Николаевич Дубенок награжден медалями «За воинскую доблесть», золотой медалью имени А. Н. Костякова, золотой медалью «За вклад в развитие АПК РФ», медалью ордена «За заслуги перед Отечеством» II степени, 6 золотыми, 1 серебряной медалью ВДНХ и ВВЦ, Почетными грамотами РАН, Министерства сельского хозяйства, Совета Федерации Российской Федерации. Ему присвоено звание «Почетный работник агропромышленного комплекса России».

Под руководством ученого эффективно функционирует научная школа, известная как в нашей стране, так и за рубежом; он подготовил 23 кандидата наук и 4 доктора наук. Н. Н. Дубенком опубликовано более 580 научных и методических работ, в том числе 25 книг и монографий, ряд нормативных документов для проектных водохозяйственных организаций, сельскохозяйственных предприятий разных форм собственности; получено 73 патента.

Коллектив РУП «Институт мелиорации» сердечно поздравляет Николая Николаевича и желает крепкого здоровья, талантливых учеников, неиссякаемого оптимизма и новых побед.



**ВЛАДИМИР ИОСИФОВИЧ
ЖЕЛЯЗКО
(к 75-летию)**

Владимир Иосифович родился 1 марта 1949 г. в г. п. Красная Слобода Солигорского р-на Минской обл.

В 1971 г. окончил гидромелиоративный факультет Белорусской сельскохозяйственной академии с присвоением квалификации «инженер-гидротехник». В 1971–1972 гг. работал по распределению прорабом, затем начальником участка Речицкого СМУ мелиорации. В 1972–1973 гг. служил в рядах Советской Армии, службу закончил в звании сержанта.

С 1973 г. и по настоящее время плодотворно трудится в Белорусской государственной сельскохозяйственной академии, где за весь период работы прошел все этапы профессионального становления. Вначале работал на кафедре организации и технологии гидромелиоративных работ в должности ассистента, в 1974–1977 гг. обучался в очной аспирантуре. После защиты кандидатской диссертации был переведен на должность старшего преподавателя кафедры сельскохозяйственных мелиораций, в 1993 г. Владимиру Иосифовичу было присвоено ученое звание доцента, а в 1998 г. он был избран по конкурсу заведующим кафедрой гидравлики и строительной механики и до 2006 г. проработал в этой должности.

В 2005 г. защитил диссертацию на соискание ученой степени доктора сельскохозяйственных наук по теме «Эколого-мелиоративные основы орошения земель стоками свиноводческих комплексов в условиях техногенного загрязнения агроландшафтов». В 2006 г. был назначен заведующим кафедрой мелиорации и водного хозяйства, с 2007 г. по июнь 2018 г. работал деканом мелиоративно-строительного факультета, затем избран по конкурсу заведующим кафедрой мелиорации и водного хозяйства.

Автор и соавтор более 250 научных и учебно-методических работ, среди которых 1 учебное пособие с грифом Министерства образования Республики Беларусь, 10 учебных пособий, рекомендованных УМО вузов Беларуси по образованию в области сельского хозяйства, 8 монографий, 30 авторских свидетельств и патентов на изобретения, 7 рекомендаций для производства.

В научных кругах В. И. Желязко известен как специалист в области разработки экологически безопасных и ресурсосберегающих технологий мелиорации земель. Он регулярно сотрудничает с РУП «Институт мелиорации», являясь руководителем и исполнителем НИР в рамках Государственных заданий и программ, успешно сочетает педагогическую работу с научной деятельностью, активно участвует в общественной жизни не только в академии, но и за ее пределами.

Владимир Иосифович – председатель научно-методического совета по специальностям природообустройства УМО вузов по образованию в области сельского хозяйства, член специализированного совета по защите диссертаций Д 01.53.01, член редколлегии журналов

«Мелиорация» (г. Минск) и «Вестник БГСХА» (г. Горки), член ученого совета академии. Дважды избирался делегатом I-го и II-го съездов ученых Республики Беларусь.

Награжден Почетными грамотами Министерства образования, Министерства сельского хозяйства и продовольствия, Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь, нагрудным знаком «Отличник образования Республики Беларусь» (2005 г.). В 2010 г. за большой вклад в подготовку специалистов для мелиоративного комплекса нашей страны и достигнутые успехи в выполнении заданий и программ научных исследований награжден нагрудным знаком «Почетный мелиоратор» Департамента по мелиорации и водному хозяйству Министерства сельского хозяйства и продовольствия Беларуси.

Сотрудники Института мелиорации от всей души поздравляют Владимира Иосифовича с юбилеем, желают крепкого здоровья, новых научных и творческих успехов, неиссякаемой энергии в их достижении.

• ЧТОБЫ ПОМНИЛИ •



ЕВГЕНИЯ ВЛАДИМИРОВНА РУДЕНКО (к 95-летию)

Евгения Владимировна Руденко родилась 16 января 1929 г. в г. Ставрополе Ставропольского края.

В 1946 г. окончила с золотой медалью среднюю школу и поступила на химический факультет Ленинградского государственного университета. Однако вскоре по семейным обстоятельствам ей пришлось его покинуть, и она стала студенткой Ставропольского сельскохозяйственного института. Окончив его в 1950 г. и получив специальность ученого агронома, Евгения Ивановна поступила в аспирантуру этого института.

В 1953–1957 гг. работала ассистентом кафедры растениеводства своей альма-матер. В 1957 г. избрана по конкурсу на должность старшего научного сотрудника Белорусского НИИ земледелия, и с этого времени судьба ее была связана с Беларусью. Евгения Ивановна с головой окунулась в работу отдела луговодства, и уже через три года директор института академик В. И. Шемпель сказал: «Наше самое ценное приобретение – ставропольская казачка Евгения Руденко».

В 1962 г. все исследования по луговодству были переданы в Белорусский НИИ мелиорации и водного хозяйства, где Евгения Владимировна работала до 1988 г. старшим научным сотрудником и заведующим отдела луговодства.

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

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

Научное наследие Е. В. Руденко включает более 130 опубликованных работ, она автор 3 монографий, посвященных вопросам создания и повышения продуктивности культурных пастбищ, организации лугового кормопроизводства для обеспечения животноводческих комплексов.

Плодотворно работала по подготовке научных кадров, под руководством Е. В. Руденко защищено 10 кандидатских диссертаций.

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

В 1988 г. Е. В. Руденко была отправлена на пенсию в возрасте 59 лет, хотя она могла еще многое сделать. Евгения Владимировна Руденко ушла из жизни 17 февраля 2010 г., всю трудовую жизнь посвятив изучению зеленых трав. У всех, кто работал с этой замечательной женщиной – выдающимся ученым, образ зеленой травы ассоциируется с возрождением и обновлением жизни.



**ВАЛЕРИЙ ПАВЛОВИЧ
ТРИБИС
(к 85-летию)**

Валерий Павлович Трибис родился 1 января 1939 г. в д. Полоница Кричевского р-на Могилевской обл. Он принадлежал к поколению, которое называют «дети войны». Великая Отечественная война настигла его в родной деревне, где он отдыхал вместе с матерью. Пришлось бежать и с трудом добираться на место постоянного жительства – в Предуралье, г. Чкалов (ныне – Оренбург). В связи со службой отца семью в годы войны бросало то в Архангельскую область, то в освобожденный от немцев Киев, то в подмосковное Монино.

Когда пришло время выбрать профессию, Валерия потянуло к земле и он поступил на агрономический факультет Белорусской сельскохозяйственной академии, которую окончил в 1961 г.

Вся последующая жизнь В. П. Трибиса связана с Институтом мелиорации и водного хозяйства, преобразованным позднее в Институт мелиорации и луговодства (ныне – Институт мелиорации). Валерию Павловичу повезло: его профессиональное становление совпало с апогеем развития мелиорации в Беларуси. Он учился в аспирантуре под научным руководством академика С. Г. Скоропанова, в то время министра сельского хозяйства Беларуси. Несмотря на все трудности и проблемы, в том числе методические, в 1968 г. Валерий Павлович успешно защитил диссертацию на тему «Влияние водно-воздушного режима торфяно-болотных почв на рост и развитие гороха и люпина», и ему была присуждена ученая степень кандидата сельскохозяйственных наук. И сегодня культуры для органогенных почв, изученные аспирантом Трибисом, являются проблемными и, по сути, не возделываются.

Валерий Павлович активно работал над освоением новых современных методов изучения торфяных почв, необходимых для объективной оценки происходящих в них

процессов. При этом его идеи и подходы не всегда разделялись руководством лаборатории и института.

С уходом на заслуженный отдых творческая натура В. П. Трибиса находит новую точку приложения: он увлекается работой с учащимися средних школ, организует в стенах института – без какой-либо материальной поддержки – лабораторию космической биологии. Руководство института в лице директора В. Ф. Карловского не препятствовало этому и дало возможность проводить занятия в холлах нескольких этажей. Сегодня трудно сосчитать, скольких мальчишек и девчонок Валерий Павлович спас от многочисленных соблазнов, в том числе от влияния улицы. Его воспитанники стали участвовать в различных конкурсах и олимпиадах и завоевывать престижные награды во многих странах. Посвятив не один десяток лет развитию и образованию детей, Валерий Павлович совершил подлинный гражданский подвиг. Его воспитанники будут долго помнить своего наставника. Подвижничество В. П. Трибиса высоко оценено – он дважды лауреат специального фонда при Президенте Республики Беларусь по социальной поддержке одаренных учащихся и студентов.

Общее наследие В. П. Трибиса включает около 100 научных работ (некоторые из них опубликованы за рубежом), в том числе две монографии. Его книга «Торфяные почвы: состояние и прогноз» еще долго будет служить ориентиром для специалистов.

Сотрудники «Института мелиорации» с уважением хранят память о широте и глубине мышления этого талантливой, неординарного ученого-эрудита, ответственном и добром воспитателе молодежи.

ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ

1. В журнале печатаются оригинальные материалы, не опубликованные ранее в других печатных изданиях.
2. Статья должна быть направлена в редакцию журнала «Мелиорация» в соответствии с **Порядком представления рукописей статей** (см.: <https://niimel.by>, сайт РУП «Институт мелиорации», Журнал «Мелиорация»).
3. Статья должна быть написана на русском языке, а аннотация – на русском и английском языках.
4. Объем статьи должен составлять не менее 0,35 авторского листа (14 тыс. печатных знаков, включая пробелы между словами, знаки препинания, цифры и др.), но не более 0,5 авторского листа (20 тыс. печатных знаков), включая текст, иллюстрации, таблицы, библиографический список.
5. Представляемые материалы должны иметь следующую структуру:
 - индекс по Универсальной десятичной классификации (УДК);
 - аннотацию на указанных языках (500 знаков);
 - ключевые слова на русском и английском языках;
 - введение;
 - основную часть, где излагается методика исследования, обсуждаются полученные результаты, представляются графики и рисунки;
 - заключение, завершаемое четко сформулированными выводами;
 - библиографический список.
6. В разделе «Введение» должен быть дан краткий обзор литературы по исследуемой проблеме, указаны не решенные ранее вопросы, сформулирована и обоснована цель работы.
7. В Основной части статьи должны содержаться: описание объекта/-ов и метода/-ов исследования, подробное освещение содержания исследований, проведенных автором/-ами. Полученные результаты должны быть обсуждены с точки зрения их научной новизны и сопоставлены с соответствующими известными данными.
8. В разделе «Заключение» должны быть в сжатом виде сформулированы основные полученные результаты с указанием их новизны, преимуществ и возможностей применения.
9. Библиографический список оформляется в соответствии с приказом ВАК Республики Беларусь от 08.09.2016 №206, располагается в конце статьи, источники нумеруются согласно порядку цитирования и заключаются в квадратные скобки (например: [1], [2]). Обязательно указывается общее количество страниц в книге или номера страниц в статье от ее начала до окончания. Ссылки на неопубликованные работы не допускаются.
10. Иллюстрации, формулы, уравнения и сноски, встречающиеся в статье, должны быть пронумерованы в соответствии с порядком цитирования в тексте.
11. Тексты статей набираются кеглем 11, шрифт – Arial Narrow, междустрочный интервал – 1,2, отступ – 1. Обязательно прилагаются распечатанные на бумажных листах 2 экземпляра статьи, подписанные авторами.
12. Электронный вариант следует набирать в *Microsoft Word*, формулы – в формульном редакторе *Office*. Вставку символов выполнять через меню «Вставка\Символ». Выключку вверх и вниз (H2, H1) выполнять через меню «Формат\Шрифт\Верхний индекс», «Формат\Шрифт\Нижний индекс». Латинские буквы набираются курсивом. Греческие буквы и другие математические знаки следует брать из гарнитуры *Symbol*. Математические формулы (lim, sum, ln, sin, Re, Im и т. д.) и цифры набираются прямым начертанием.
13. Рисунки представляются в виде отдельных файлов в формате TIFF или JPEG 300—600 точек на дюйм. Текст на рисунках должен быть набран гарнитурой *Arial*, курсив. Размер кегля соизмерим с размером рисунка (желательно кегль 8). Площадь простых рисунков не должна превышать 100–150 см², размер сложных – не более 130–160 см².
14. Размерность всех величин, используемых в статьях, должна соответствовать Международной системе единиц измерения (СИ).
15. Редакция оставляет за собой право сокращать текст и вносить в него редакционные правки.

