

ISSN 0130-8475

Институт почвоведения и агрохимии

ПОЧВОВЕДЕНИЕ И АГРОХИМИЯ

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ

Основан в 1961 г.

**№ 2(71)
Июль – декабрь 2023 г.**

Минск
2023

УДК 631.4+631.8(476)
ББК 40.4+40.3(Бел)

Учредитель: Республиканское научное дочернее унитарное предприятие
«Институт почвоведения и агрохимии»

Свидетельство № 721 от 6 октября 2009 г.
Министерства информации Республики Беларусь

Главный редактор *Ю. К. ШАШКО*

Редакционная коллегия: В. В. ЛАПА (зам. главного редактора)
Т. М. СЕРАЯ (зам. главного редактора)
Н. Ю. ЖАБРОВСКАЯ (ответственный секретарь)

Т. Н. АЗАРЕНОК, И. Г. АСЫЛБАЕВ, И. М. БОГДЕВИЧ, И. Р. ВИЛЬДФЛУШ,
Д. Р. ИСЛАМГУЛОВ, С. А. КАСЬЯНЧИК, Н. В. КЛЕБАНОВИЧ, Е. Г. МЕЗЕНЦЕВА,
Н. А. МИХАЙЛОВСКАЯ, Г. В. ПИРОГОВСКАЯ,
Ю. В. ПУТЯТИН, М. В. РАК, В. Г. СЫЧЕВ

ПОЧВОВЕДЕНИЕ И АГРОХИМИЯ

2(71)

Июль – декабрь 2023 г.

Основан в 1961 г. как сборник научных трудов «Почвоведение и агрохимия»,
с 2004 г. преобразован в периодическое издание – научный журнал
«Почвоведение и агрохимия»

Адрес редакции: 220108, г. Минск, ул. Казинца, 90
Тел. (017) 351-08-21, факс (017) 374-04-02
E-mail: brissainform@mail.ru

Ответственная за выпуск *Н. Ю. Жабровская*

Редакторы *Т. Н. Самосюк, А. С. Атлас*
Компьютерная верстка *А. С. Атлас*

Подписано в печать 22.12.2023. Формат 70x100 1/16. Бумага офсетная.
Усл. печ. л. 11,86. Уч.-изд. л. 11,07. Тираж 50 экз. Заказ 576.

Республиканское унитарное предприятие «Информационно-вычислительный центр
Министерства финансов Республики Беларусь»
ЛП № 02330/89 от 3.03.2014. Ул. Кальварийская, 17, 220004, г. Минск.

© Республиканское научное дочернее унитарное
предприятие «Институт почвоведения и агрохимии», 2023

СОДЕРЖАНИЕ

1. ПОЧВЕННЫЕ РЕСУРСЫ И ИХ РАЦИОНАЛЬНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ

Лапа В. В., Матыченков Д. В., Азаренок Т. Н., Матыченкова О. В., Дыдышко С. В. Специализированные информационные системы в сельскохозяйственном производстве Республики Беларусь 7

Устинова А. М., Цырибко В. Б., Логачев И. А., Юхновец А. В., Касьянчик С. А., Митькова А. А., Карабец Н. А. Потенциальные риски ведения растениеводства в Республике Беларусь при проявлении засух и засушливых явлений 14

Устинова А. М., Цырибко В. Б., Логачев И. А., Юхновец А. В., Касьянчик С. А., Митькова А. А. Оценка и прогноз эколого-экономического ущерба в результате эрозии почв (на примере Мстиславского района) 24

Цырыбка В. Б., Лагачоў І. А., Падаляк А. Г., Усцінава Г. М. Уплыў дэфляцыйных працэсаў на перапамеркаванне ¹³⁷Cs на ворных землях 34

2. ПЛОДОРОДИЕ ПОЧВ И ПРИМЕНЕНИЕ УДОБРЕНИЙ

Богатырева Е. Н., Серая Т. М., Кирдун Т. М., Симанкова Ю. А., Торчило М. М. Содержание и запасы элементов питания в мортмассе в зависимости от систем удобрения и приемов обработки высоко- и среднеокультуренных дерново-подзолистых почв 44

Седукова Г. В., Крестова Н. В., Исаченко С. А. Изменение урожайности зеленой массы суданской травы в зависимости от агрохимических показателей дерново-подзолистой супесчаной почвы 60

Михайловская Н. А., Барашенко Т. Б., Юхновец А. В., Погирницкая Т. В., Дюсова С. В. Влияние глифосат-утилизирующих бактерий *Azospirillum* sp. и *Rhizobium* sp. на физиологический статус растений при разном содержании глифосата в почве 67

Михайловская Н. А., Касьянчик С. А., Барашенко Т. Б., Погирницкая Т. В., Дюсова С. В. Влияние ризобактерий р. *Pseudomonas* на фотосинтетический потенциал кукурузы в присутствии глифосата в почве 80

3. РЕКОМЕНДАЦИИ ПРОИЗВОДСТВУ

Мезенцева Е. Г., Кулеш О. Г., Симанков О. В., Грачева А. А., Зенькова С. М. Регламент применения удобрений под яровую пшеницу на дерново-подзолистых высокоокультуренных суглинистых почвах 91

Мезенцева Е. Г., Кулеш О. Г., Симанков О. В., Грачева А. А., Зенькова С. М. Регламент применения удобрений под кукурузу на дерново-подзолистых высокоокультуренных суглинистых и супесчаных почвах.....	99
Серая Т. М., Богатырева Е. Н., Кирдун Т. М., Мачок Т. В., Симанкова Ю. А., Торчило М. М. Усовершенствованная система удобрения озимой пшеницы при традиционной и поверхностной обработке почвы, обеспечивающая экономически обоснованное повышение урожайности и качества зерна на высоко- и среднеокультуренных дерново-подзолистых почвах	107
Рак М. В., Пукалова Е. Н., Гузова Н. С., Гук Л. Н., Корсакова В. В. Регламент применения микроудобрений в технологии возделывания озимого рапса и ярового ячменя.....	119
Организация семинаров для специалистов сельскохозяйственных организаций по ведению производства в условиях радиоактивного загрязнения территорий	127
Персикова Т. Ф., Курганская С. Д., Мурзова О. В., Валейша Е. Ф., Царева М. В., Поддубный О. А. Выдающийся ученый и педагог (к 95-летию со дня рождения А. И. Горбылевой).....	137
Рефераты	140
Правила для авторов	145

CONTENTS

1. SOIL RESOURCES AND THEIR RATIONAL USE

Lapa V. V., Matychenkov D. V., Azaronak T. N., Matychenkova O. V., Dydyshka S. V. Specialized information systems in agricultural production of the Republic of Belarus 7

Ustinava H. M., Tsyrybka V. B., Lahachou I. A., Yukhnovets A. V., Kas'yanchyk S. A., Mits'kova A. A., Karabets N. A. Potential risks of crop production in the Republic of Belarus In the event of droughts and arid phenomena 14

Ustinava H. M., Tsyrybka V. B., Lahachou I. A., Yukhnovets A. V., Kas'yanchyk S. A., Mits'kova A. A. Assessment and forecast of ecological and economic damage as a result of soil erosion (using the example of the Mstislavsky district) 24

Tsyrybka V. B., Lahachou I. A., Padalyak A. G., Ustinava H. M. Influence of deflationary processes on the redistribution of ¹³⁷Cs on arable land 34

2. SOIL FERTILITY AND FERTILIZATION

Bahatyrova E. N., Seraya T. M., Kirdun T. M., Simankova Y. A., Torchilo M. M. The content and stocks of nutrients in mortmass, depending on fertilizer systems and processing techniques of high- and medium-cultivated sod-podzolic soils 44

Sedukova G. V. , Kristova N. V., Isachenko S. A. Changes in the yield of green mass of sudangrass depending on agrochemical parameters of sod-podzolic sandy loamy soil 60

Mikhailouskaya N. A., Barashenko T. B., Yukhnavets A. V., Pogirnitskaya T. V., Dyusova S. V. Effect of glyphosate-utilizing bacteria *Azospirillum* sp. and *Rhizobium* sp. on physiological status of plants under different glyphosate content in soil 67

Mikhailouskaya N. A., Kasyuntchyk S. A., Barashenko T. B., Pogirnitskaya T. V., Dyusova S. V. Effect of rhyzobacteria *Pseudomonas* spp. on photosynthetic potential of mais under different glyphosate content in soil80

2. RECOMMENDATIONS FOR PRODUCTION

Mezentseva E. G., Kulesh O. G., Simankov O. V., Gracheva A. A., Zenkova S. M. Regulations for the use of fertilizers for spring wheat on sod-podzolic highly cultivated loamy soils 91

Mezentseva E. G., Kulesh O. G., Simankov O. V., Gracheva A. A., Zenkova S. M. Regulations for the use of fertilizers for corn on sod-podzolic highly cultivated loamy and sandy loam soils	99
Seraya T. M., Bogatyreva E. N., Kirdun T. M., Machok T. V., Simankova Y. A., Torchilo M. M. An improved system of fertilizing winter wheat during traditional and surface tillage, providing economically justified increasing the yield and quality of grain on highly and moderately cultivated soddy-podzolic soilsl	107
Rak M. V., Pukalova E. N., Guzova N. S., Guk L. N., Korsakova V. V. Regulations for the use of microfertilizers in the technology of cultivating winter rapeseed and spring barley	119
Organization of seminars for specialists of agricultural organizations on conducting production in conditions of radioactive contamination of territories	127
Persikova T. F., Kurganskaya S. D., Murzova O. V., Valeisha E. F., Tsareva M. V., Poddubny O. A. Outstanding scientist and teacher (on the 95th anniversary of the birth of A. I. Gorbyleva)	137
Summaries	140
Instructions for authors	145

1. ПОЧВЕННЫЕ РЕСУРСЫ И ИХ РАЦИОНАЛЬНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ

УДК 631.44.001.53:631.47

СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ В СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОМ ПРОИЗВОДСТВЕ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

**В. В. Лапа, Д. В. Матыченков, Т. Н. Азаренок,
О. В. Матыченкова, С. В. Дыдышко**

*Институт почвоведения и агрохимии,
г. Минск, Беларусь,*

ВВЕДЕНИЕ

В Институте почвоведения и агрохимии уже на протяжении многих лет активно ведется разработка специализированных систем, включающих базы данных количественных и качественных параметров агроэкологического состояния компонентного состава почвенного покрова с учетом региональной специфики их антропогенной трансформации, обеспечивающих ресурсосберегающее, экологически безопасное повышение плодородия почв, урожайности сельскохозяйственных культур [1, 2, 4]. Отличительной особенностью создаваемых систем от существующих исследований по оптимизации аграрного землепользования с применением ГИС-технологий является практическая ориентированность и современная административно-территориальная основа разрабатываемой системы.

Современный подход к управлению продуктивностью сельскохозяйственных культур имеет комплексный характер и должен формироваться согласно принципам, которые учитывают особенности фотосинтеза, морфогенеза, минерального питания сельскохозяйственных культур и обеспечивают управление ими. Первоочередной задачей такого подхода является максимальное нивелирование факторов, препятствующих сближению биологического потенциала культуры (сорта) с фактическим. Этому способствует использование систем применения удобрений (минеральных и органических), химических мелиорантов. Специализированная информационная система (СИС) агротехнологических мероприятий для максимально возможного уровня урожайности сельскохозяйственных культур, основанная на применении ГИС технологий – это комплексное решение с применением целого ряда технологических приемов, объединенных в одну информационно-управляющую систему и представляющую собой взаимосвязанные данные о почвенных ресурсах, требованиях возделываемых культур, нормативных документах, современных системах применения удобрений и имеющихся в распоряжении сельхозпроизводителей ресурсов.

Цель исследования состояла в создании специализированной информационной системы помощи принятия решений (СППР) для разработки агротехнологических

мероприятий по достижению максимально возможного уровня урожайности сельскохозяйственных культур, практическое применение которой позволяет решать следующие задачи:

- расчет необходимых доз минеральных удобрений при существующих материальных ресурсах для достижения максимальной отдачи от почвенных ресурсов;
- расчет прогнозных показателей динамики агрохимических свойств почвенного покрова, рассчитанные на основе нормативно-справочных материалов;
- создание картографической, табличной и описательной выходной информации для практического использования в удобном и понятном для широкого круга пользователей виде.

МЕТОДЫ И ОБЪЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Объектом исследования явились почвы ОАО «Большевик-Агро» Солигорского района Минской области в Почвенной Информационной Системе Беларуси (ПИСБ) [2, 4] различные по типовой принадлежности, степени гидроморфизма, гранулометрическому составу почвообразующих и подстилающих пород, характеру строения генетического профиля и их современному агроэкологическому состоянию. Предметом исследований являются дозы удобрений, а также взаимосвязь производительной способности почв элементарных участков и доз внесенных удобрений. Специализированные информационные системы для сельскохозяйственного производства соединяют в себе базы данных характеристик почв республики и базы знаний [1]. База знаний информационной системы состоит из переведенных в цифровую табличную форму данных источников [3, 5, 6, 7]. Учтены и произведены расчеты по основным питательным элементам: азоту, фосфору и калию – рассчитано 140 значений норм внесения элементов питания по каждому элементарному участку исследуемого хозяйства. Для создания информационных банков данных об отдельных свойствах компонентов почвенного покрова за различные периоды наблюдения и при разработке наиболее оптимальных наборов данных и сроков их обновления использовались следующие основные методы: картографический, аналитический, статистический, экспертных оценок, системного анализа.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Важнейшей составной частью функционирования СИС для максимально возможного уровня урожайности сельскохозяйственных культур является разработка алгоритмов получения информации по дозам минеральных удобрений для почвенного полигона и элементарного участка с использованием данных по нормативным материалам, методикам применения минеральных удобрений и отраслевым регламентам как при установлении необходимого уровня урожайности, так и при всех возможных уровнях урожайности.

Рассмотрим этапы разработки алгоритма расчета затрат фосфорных удобрений сверх выноса с урожаем для увеличения содержания подвижного фосфора на 10 мг/кг почвы, кг/га P_2O_5 (табл. 1) согласно «Справочнику нормативных материалов для агрохимического окультуривания почв и эффективного использования удобрений» для почв различного гранулометрического состава [7].

Таблица 1

Нормативы затрат фосфорных удобрений сверх выноса с урожаем для увеличения содержания подвижного фосфора на 10 мг/кг почвы, кг/га P₂O₅ (фрагмент)

Гранулометрический состав почвы	рН _{KCl}	Исходное содержание P ₂ O ₅ , мг/кг почвы			
		< 60	61–100	101–150	151–250
Суглинистые	4,5–5,0	75	69	65	69
	5,1–5,5	70	63	57	58
	5,6–6,0	65	56	49	47
Супесчаные	4,5–5,0	70	64	60	64
	5,1–5,5	65	58	52	52
	5,6–6,0	60	51	44	42

Этапы алгоритма:

1. Установление гранулометрического состава почвенного полигона и элементарного участка (порядковый номер 2 согласно «Номенклатурному списку почв Беларуси»).

2. Установление содержания элементов питания в почвенном покрове элементарного участка.

3. Установление планируемой урожайности. Данная опция является переменной и может быть задана. Иначе система может рассчитать дозы удобрений на каждую из запланированных урожайностей.

4. Расчет дозы минеральных удобрений соответственно планируемой урожайности зерновых культур по выносу элементов питания с урожаем согласно отраслевым регламентам и «Нормативам возмещения выноса элементов питания для расчета доз минеральных удобрений под сельскохозяйственные культуры».

5. Увеличение дозы минеральных удобрений сверх выноса с урожаем для повышения содержания подвижных элементов согласно «Справочнику нормативных материалов для агрохимического окультуривания почв и эффективного использования удобрений».

6. Запись полученной информации по дозам минеральных удобрений (отдельно по каждому элементу питания) и запланированной урожайности в атрибутивные данные почвенного полигона и элементарного участка.

В качестве примера приведен алгоритм работы базы знаний СИС применительно для доз минеральных удобрений, рассчитанных балансовым методом с учетом планируемого урожая и содержания элементов питания в почве элементарного участка согласно «Технологическому регламенту по возделыванию озимого рапса»:

1. Установление классификационной принадлежности почвенного полигона и элементарного участка (порядковый номер 1 согласно «Номенклатурному списку почв Беларуси»).

2. Установление гранулометрического состава почвенного полигона и элементарного участка (порядковый номер 2 согласно «Номенклатурному списку почв Беларуси»).

3. Установление содержания элементов питания в почвенном покрове элементарного участка.

4. Установление коэффициента использования растениями питательных элементов из почвы и удобрений согласно установленной классификационной принадлежности почвы, ее гранулометрическому составу и содержанию в ней элементов

питания (отдельно по каждому элементу питания) согласно «Справочнику нормативных материалов для агрохимического окультуривания почв и эффективного использования удобрений»).

5. Установление необходимой урожайности семян. Данная опция является вариабельной и может быть задана. Иначе система может рассчитать дозы удобрений на каждую из запланированных урожайностей.

6. Расчет дозы минеральных удобрений балансовым методом согласно формуле, представленной в «Технологическом регламенте по возделыванию озимого рапса».

7. Запись полученной информации по дозам минеральных удобрений (отдельно по каждому элементу питания) и запланированной урожайности в атрибутивные данные почвенного полигона и элементарного участка.

При расчете также учитывалось содержание фосфора и калия в почвах объектов исследований по данным агрохимического обследования, гранулометрический (суглинистые и супесчаные почвы на суглинках, супесчаные и песчаные почвы на рыхлых отложениях) и типовой состав почвенного покрова (дерново-подзолистые и дерновые почвы, торфяные и деградированные почвы) элементарных участков. Для расчета использовались ранее разработанные алгоритмы работы базы знаний интеллектуальной информационной системы для доз минеральных удобрений. Для их использования были сформированы запросы для баз данных языка программирования общего назначения Python с использованием операторов if, else, then и т. д. В результате были рассчитаны нормативные дозы внесения азота, фосфора и калия для озимой пшеницы, озимого тритикале, яровой пшеницы, ячменя, льна, сахарной свеклы и рапса по каждому уровню планируемой урожайности для каждого элементарного участка объекта исследования (табл. 2). Рассчитаны как нормы внесения азота, фосфора и калия для каждого планируемого уровня урожайности на гектар площади, так и абсолютные нормы внесения в килограммах действующего вещества на элементарный участок.

Таблица 2

**Нормативы внесения азота, фосфора и калия для озимой пшеницы по уровням запланированной урожайности для элементарного участка № 126*
ОАО «Большевик-агро» (фрагмент)**

Планируемая урожайность, ц/га	Озимая пшеница						Яровая пшеница					
	N		P		K		N		P		K	
	кг д. в./га	кг на участок	кг д. в./га	кг на участок	кг д. в./га	кг на участок	кг д. в./га	кг на участок	кг д. в./га	кг на участок	кг д. в./га	кг на участок
30–40	80	325,7	35	142,5	45	183,2	65	264,6	35	142,5	50	203,6
40–50	110	447,9	45	183,2	60	244,3	75	305,4	45	183,2	70	285
50–60	140	570	55	223,9	80	325,7	85	346,1	55	223,9	90	366,4
60–70	165	671,8	70	285	100	407,2	95	386,8	65	264,6	110	447,9
Более 70	185	753,2	80	325,7	120	488,6	105	427,5	75	305,4	130	529,3

* рН – 6,3, гумус – 1,4 %, фосфор – 253 мг/кг почвы, калий – 316 мг/кг почв, площадь – 4,68 га, 30–40 т/га органических удобрений.

Доза азотных, фосфорных и калийных удобрений были также рассчитаны *балансным методом* с учетом коэффициентов возмещения выноса питательных элементов, нормативных выносов элементов с урожаем, доз внесения органических удобрений как под данную культуру, так и под предшественник. Данным методом были рассчитаны нормы внесения азота, фосфора и калия для озимой пшеницы, озимого тритикале, яровой пшеницы, ячменя, льна, сахарной свеклы и рапса для 5 уровней урожайности для каждой из культур. Уровни планируемой урожайности использовались аналогичные расчетам по нормативному внесению удобрений. Данным способом рассчитаны нормы внесения основных питательных веществ при следующих уровнях внесения органических удобрений: без внесения, 20 т/га и 40 т/га.

Далее на основе проведенной геостатистической оценки использования удобрений при различных уровнях планирования урожайности сельскохозяйственных культур с учетом нормативов возмещения выноса элементов питания по элементарным участкам сельскохозяйственных организаций, созданы картограммы внесения минеральных удобрений согласно разработанным комплексам мероприятий по их использованию для различных культур (озимой пшеницы, озимого тритикале, яровой пшеницы, ячменя, льна, сахарной свеклы, озимого рапса) по каждому объекту исследования для всех элементарных участков. Это позволяет выявить элементарные участки с большим потенциалом агрономической эффективности и с наибольшим риском потери своей производительной способности, вследствие значительного выноса питательных веществ с урожаем (рис. 1, 2).

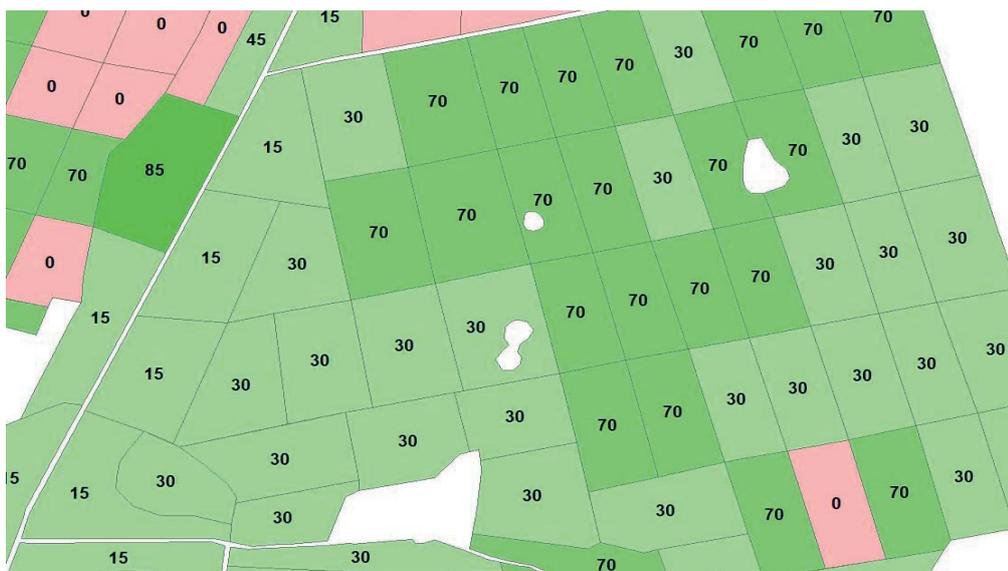


Рис. 1. Фрагмент картограммы норм внесения фосфора (нормативный способ расчета кг д. в./га)

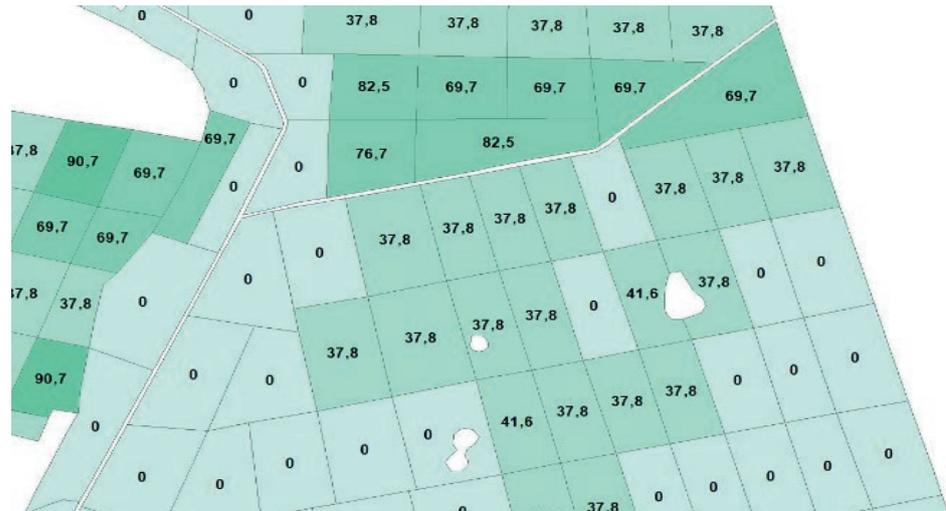


Рис. 2. Фрагмент картограммы норм внесения фосфора (балансовый способ расчета кг д. в./га)

ВЫВОДЫ

Разработанная СИС является научно-методическим обеспечением сельскохозяйственного производства. Ее практическое применение позволяет с наименьшими материальными затратами существенно повысить экономическую эффективность получения растениеводческой продукции за счет объективного планирования производства с учетом требований к агроэкологическим свойствам почвенного покрова, определить количественную необходимость внесения органических и минеральных удобрений, целесообразность проведения мероприятий по повышению плодородия почв, что обеспечит дифференцированный подход в использовании почвенных ресурсов и удобрений на планируемую урожайность применительно для каждого поля.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Методика создания информационной системы учета динамики и прогноза свойств отдельных компонентов почвенного покрова землепользований для наиболее экономически эффективного использования почвенных ресурсов / В. В. Лапа [и др.]; Нац. акад. наук Беларуси, Институт почвоведения и агрохимии. – Минск: Ин-т системных исследований в АПК НАН Беларуси, 2022. – 42 с.
2. Методические указания по созданию Почвенной Информационной Системы / Г. С. Цытрон [и др.]. – Минск: Ин-т почвоведения и агрохимии, 2011. – 49 с.
3. Организационно-технологические нормативы возделывания зерновых, зернобобовых, крупяных, кормовых и технических растений: сборник отраслевых регламентов / Научно-практический центр НАН Беларуси по земледелию; рук. работы: Ф. И. Привалов [и др.]; под общ. ред. В. Г. Гусакова, Ф. И. Привалова. – Минск: ИВЦ Минфина, 2022. – 530 с.

4. Почвенно-информационные системы в агропочвоведении / В. В. Лапа [и др.] // Земледелие и защита растений. – 2018. – № 2(117). – С. 9–12.
5. Рекомендации по экономически обоснованным приемам управления продуктивностью посевов зерновых культур в агротехнологиях различной интенсивности на дерново-подзолистых почвах / В. В. Лапа [и др.]. – Минск: Ин-т почвоведения и агрохимии, 2014. – 24 с.
6. Справочник агрохимика / В. В. Лапа [и др.]; Ин-т почвоведения и агрохимии; под ред. акад. В. В. Лапа. – Минск: ИВЦ Минфина, 2021. – 260 с.
7. Справочник нормативных материалов для агрохимического окультуривания почв и эффективного использования удобрений / В. В. Лапа [и др.]. – Минск: Ин-т почвоведения и агрохимии, 2017. – 60 с.

SPECIALIZED INFORMATION SYSTEMS IN AGRICULTURAL PRODUCTION OF THE REPUBLIC OF BELARUS

**V. V. Lapa, D. V. Matychenkov, T. N. Azaronak,
O. V. Matychenkova, S. V. Dydyska**

Summary

The results of research on the development of a specialized information system based on a computerized system for collecting, storing, processing information using geostatistical assessments are presented. The practical application of a specialized information system allows, with the least material costs, to significantly increase the economic efficiency of obtaining crop products through objective production planning, taking into account the requirements for agro-ecological properties of the soil cover, determine the quantitative need for applying organic and mineral fertilizers, the feasibility of carrying out measures to increase soil fertility, which will provide a differentiated approach to the use of soil resources and fertilizers for the planned yield for each field of an agricultural enterprise.

Поступила 27.11.23

ПОТЕНЦИАЛЬНЫЕ РИСКИ ВЕДЕНИЯ РАСТЕНИЕВОДСТВА В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ ПРИ ПРОЯВЛЕНИИ ЗАСУХ И ЗАСУШЛИВЫХ ЯВЛЕНИЙ

**А. М. Устинова¹, В. Б. Цырибко¹, И. А. Логачев¹,
А. В. Юхновец¹, С. А. Касьянчик², А. А. Митькова¹, Н. А. Карабец¹**

¹*Институт почвоведения и агрохимии, г. Минск, Беларусь*

²*Национальная академия наук Беларуси, г. Минск, Беларусь*

ВВЕДЕНИЕ

Климат оказывает существенное влияние на деятельность человека. Особенно подвержены воздействию климата такие отрасли экономики, как сельское, лесное и водное хозяйство [1].

Территория Беларуси расположена в зоне достаточного увлажнения, однако за последние десятилетия вероятность возникновения засух и их продолжительность увеличились как за счет глобального изменения (потепления) климата, так и за счет антропогенного воздействия на природную среду (мелиорация земель, нарушение естественного растительного покрова, водоотведение и др.).

Экспертные оценки показывают, что погодные и климатические условия приводят к изменению валового продукта сельского хозяйства в Беларуси, как минимум на 15–20 %, производства мяса и молока – на 10–15 %, затрат на производство крупного рогатого скота и свиней – на 5–15 % [2, 3].

Усиливающиеся последствия изменения климата, в том числе возрастание количества и продолжительности интенсивности засух и засушливых явлений, ассоциируются с потерями и снижением эффективности сельскохозяйственного производства, непосредственной нехваткой водных ресурсов для питьевых, хозяйственных и бытовых целей, нарушением функционирования и снижением продуктивности природных экосистем, усилением процессов деградации земель и другими неблагоприятными ситуациями [4].

Формирование засух разной интенсивности и продолжительности обусловлено множеством факторов, при которых происходит переход от метеорологической засухи к почвенной, в результате которой растения погибают или уменьшается их урожай. Начало почвенной засухи по времени может значительно отличаться от начала метеорологической в зависимости от имеющихся влагозапасов. Возникновению засух способствует влияние дополнительных факторов, препятствующих накоплению запасов влаги в почве – недостаток снега зимой, неблагоприятные условия впитывания талых вод (бурное снеготаяние, промерзшая или бесструктурная почва, наличие ледяных корок) ранней весной.

Проявление засух и засушливых явлений отрицательно отражается на изменении биохимических, физических, химических свойств, в первую очередь, обрабатываемых почв, а также усиливает тенденцию аридизации территории и ухудшение водного режима сельскохозяйственных земель путем резкого увеличения испарения из пахотного горизонта, истощает запасы гумуса, разрушает микроагрегатный

состав почв и др. Все это ведет к резкому падению производительной способности почв, уменьшению и даже гибели сельскохозяйственных культур [5].

Засухи имеют атмосферно-почвенную природу, при проявлении которых почвы наиболее подвержены климатообусловленным рискам, минимизация которых должна рассматриваться как важнейшая цель адаптации аграрного производства к изменяющемуся климату.

Существенное изменение условий произрастания сельскохозяйственных культур в результате потепления и увеличения числа засух требует корректировок в практике ведения сельского хозяйства и учета при разработке стратегии развития сельскохозяйственного производства и его адаптации к изменениям климата [5].

Цель исследований – установление потенциальных рисков ведения растениеводства при проявлении засух и засушливых явлений в административных районах Республики Беларусь.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Объектами исследований является почвенный покров республики в разрезе административно-территориальных единиц и климатические условия территории.

Почвы административных районов разделены на четыре группы по степени устойчивости к засухам и засушливым явлениям в зависимости от почвенно-гидрологических констант, гранулометрического состава почв и подстилающей породы (параметров устойчивости):

- наименее устойчивые – дерново-подзолистые автоморфные песчаные и рыхлосупесчаные, подстилаемые песками; дегроторфяные остаточные торфяные и постторфяные песчаные и супесчаные;

- слабоустойчивые – дерново-подзолистые автоморфные песчаные и рыхлосупесчаные, подстилаемые связными породами; дерново-подзолистые слабogleеватые песчаные и рыхлосупесчаные, подстилаемые песками;

- среднеустойчивые – дерново-подзолистые автоморфные легко- и среднесуглинистые; дерново-подзолистые слабogleеватые легко- и среднесуглинистые, песчаные и рыхлосупесчаные, подстилаемые связными породами; дерновые глееватые и глеевые песчаные и супесчаные, дерново-подзолистые глееватые и глеевые песчаные и супесчаные, дегроторфяные торфяно-минеральные, подстилаемые песком; дегроторфяные остаточные торфяные и постторфяные суглинистые; аллювиальные дерновые и дерновые заболоченные на песчаном и супесчаном аллювии;

- наиболее устойчивые – дерновые глееватые и глеевые суглинистые; дерново-подзолистые глееватые и глеевые суглинистые; торфяные; дегроторфяные торфяно-минеральные, подстилаемые суглинком; аллювиальные дерновые и дерновые заболоченные на суглинистом аллювии; аллювиальные иловато-торфяные [6].

На устойчивость почвенного покрова к климатическим изменениям влияют не только собственно генетические свойства и режимы почв, но и климатические условия территории, такие как сумма температур выше 10 °С и годовая сумма осадков.

На основе данных площадей почв, уязвимых к засухам и засушливым явлениям, картограмм суммы температур выше 10 °С и годовой суммы осадков [7] проведена бальная оценка почвенных и климатических условий на территории республики по административно-территориальным единицам (районам), определяющих

потенциальные риски ведения растениеводческой отрасли сельского хозяйства. Оценка выполнялась по следующим шкалам (табл. 1).

Таблица 1

Оценка почвенно-климатических условий для установления риска ведения растениеводческой отрасли при проявлении засух и засушливых явлений

Показатель	Значение	Балл	Степень риска
1. Удельный вес наименее устойчивых и слабоустойчивых почв, %	< 15,0	1	слабая
	15,0–30,0	2	средняя
	30,1–45,0	3	высокая
	> 45,0	4	очень высокая
2. Годовая сумма осадков, мм	> 700,0	1	слабая
	650–700	2	средняя
	600–650	3	высокая
	< 600	4	очень высокая
3. Сумма температур >10 °С	< 2400	1	слабая
	2400–2600	2	средняя
	2600–2800	3	высокая
	> 2800,0	4	очень высокая

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

На основе материалов почвенных обследований [8] и шкалы группировки почв по степени устойчивости к засухам и засушливым явлениям определена доля почв разных групп устойчивости в почвенном покрове всех административных районов Беларуси.

Для установления риска ведения растениеводческой отрасли определена доля почв, наименее устойчивых и слабоустойчивых к засухам и засушливым явлениям в составе сельскохозяйственных земель (пахотных и луговых). Данная категория объединила следующие почвенные разновидности:

- дерново-подзолистые автоморфные, оглеенные внизу и на контакте песчаные и рыхлосупесчаные почвы, подстилаемые песками;
- дерново-подзолистые автоморфные, оглеенные внизу и на контакте песчаные и супесчаные, подстилаемые мореной;
- дерново-подзолистые автоморфные, оглеенные внизу и на контакте связно-супесчаные, подстилаемые песками;
- дерново-подзолистые слабogleеватые песчаные и супесчаные, подстилаемые песками;
- минеральные остаточные торфяные песчаные и супесчаные с содержанием органического вещества 5–20 %;
- минеральные постторфяные песчаные и супесчаные с содержанием органического вещества менее 5 %.

Для большей наглядности подготовлены картограммы удельного веса почв наименее устойчивых и слабоустойчивых к засухам и засушливым явлениям в составе сельскохозяйственных земель в разрезе административных районов республики (рис. 1–6).

В Брестской области самый высокий удельный вес в составе сельскохозяйственных земель наименее устойчивых и слабоустойчивых к засухам почв выявлен в Камянецком (41,0 %) и Барановичском (40,2 %) районах. Следовательно, риск ведения растениеводства на данной территории высокий. Несколько меньше – в Ляховичском (24,6 %), Пружанском (23,9 %), Брестском (21,8 %) и Ивацевичском (17,9 %) районах (рис. 1).

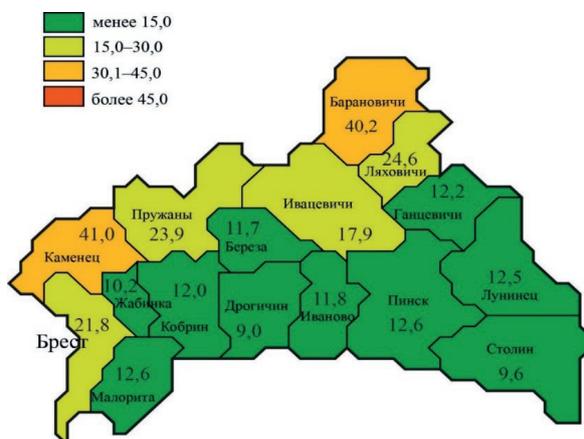


Рис. 1. Удельный вес почв наименее устойчивых и слабоустойчивых к засухам и засушливым явлениям в составе сельскохозяйственных земель Брестской области, %

По районам Витебской области удельный вес наименее устойчивых и слабоустойчивых к засухам почв не превышает 10 %. Только в Глубокском и Докшицком районах они занимают 11,6 и 12,1 %, соответственно (рис. 2). По всей области риск ведения растениеводческой отрасли по данному показателю слабый.



Рис. 2. Удельный вес почв наименее устойчивых и слабоустойчивых к засухам и засушливым явлениям в составе сельскохозяйственных земель Витебской области, %

В большинстве районов Гомельской области доля почв сельскохозяйственных земель наименее и слабоустойчивых к засухам превышает 15 %. Исключение составляют Житковичский, Лельчицкий, Ельский, Лоевский и Гомельский районы,

в которых от 11 до 14 % почв данной категории. Наибольшие площади их сосредоточены в Кормянском (53,5 %), Чечерском (38,6 %), Рогачевском (37,8 %), Добрушском (33,0 %), Ветковском (31,0 %) и Жлобинском (30,8 %) районах, а риск ведения растениеводства в них высокий и очень высокий (рис. 3).

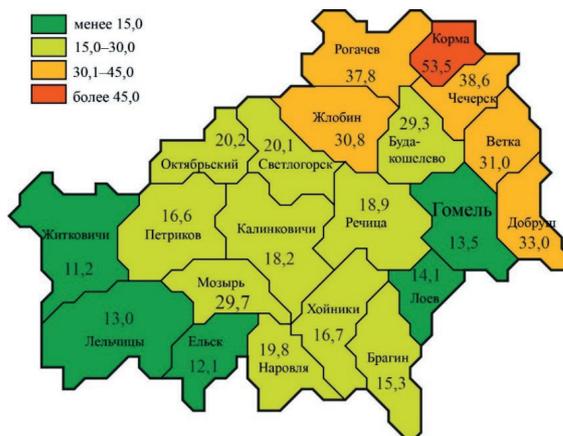


Рис. 3. Удельный вес почв наименее устойчивых и слабоустойчивых к засухам и засушливым явлениям в составе сельскохозяйственных земель Гомельской области, %

Максимальные площади почв, уязвимых к засухам и засушливым явлениям, сосредоточены в Гродненской области. В семи районах (Берестовицком, Волковысском, Вороновском, Дятловском, Ивьевском, Свислочском, Слонимском) их удельный вес составляет 46,8–53,5 %, в восьми районах (Гродненском, Зельвенском, Лидском, Мостовском, Островецком, Сморгонском, Щучинском) – 30,7–41,9 %, в двух районах (Кореличском, Ошмянском) – 21,6–25,4 % (рис. 4). Следовательно, риски ведения агрономической отрасли от средних до очень высоких.

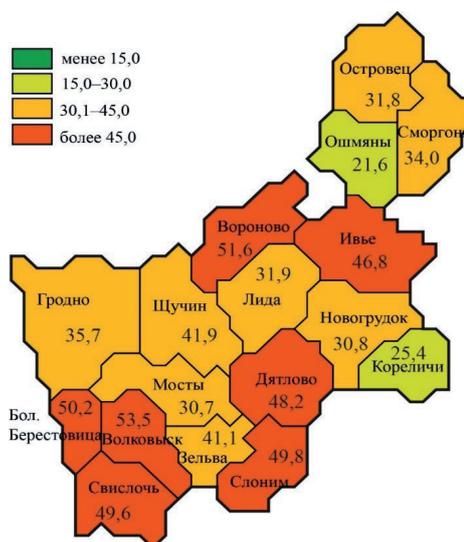


Рис. 4. Удельный вес почв наименее устойчивых и слабоустойчивых к засухам и засушливым явлениям в составе сельскохозяйственных земель Гродненской области, %

В Минской области самая высокая доля наименее устойчивых и слабоустойчивых к засухам почв в составе сельскохозяйственных земель в Столбцовском (46,9 %), Вилейском (40,0 %), Борисовском (38,9%), Логойском (36,4 %), Мядельском (35,3 %), Березинском (34,6 %) и Узденском (32,3 %) районах (рис. 5). В этих районах риски для растениеводческой отрасли высокие и очень высокие.

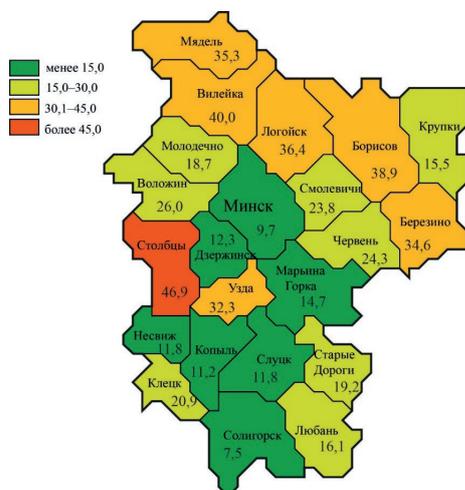


Рис. 5. Удельный вес почв наименее устойчивых и слабоустойчивых к засухам и засушливым явлениям в составе сельскохозяйственных земель Минской области, %

В большинстве районов Могилевской области удельный вес почв наименее и слабоустойчивых к засухам в составе сельскохозяйственных земель превышает 30 %. Наибольшие площади их в Климовичском (53,6 %), Быховском (51,6 %), Осиповичском (49,8 %) и Славгородском (46,3 %) районах, что свидетельствует об очень высоких рисках от засух и засушливых явлений для сельского хозяйства (рис. 6).

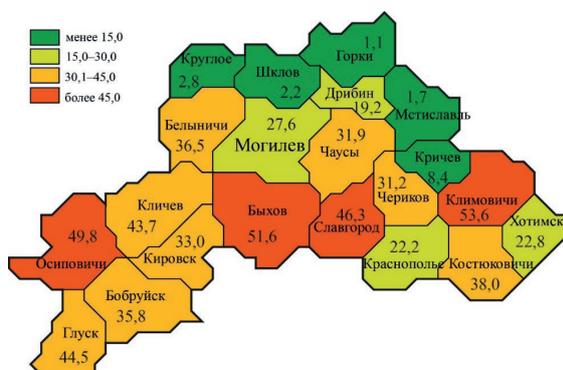


Рис. 6. Удельный вес почв наименее устойчивых и слабоустойчивых к засухам и засушливым явлениям в составе сельскохозяйственных земель Могилевской области, %

В таблице 3 приведены площади почв наименее устойчивых и слабоустойчивых к засухам и засушливым явлениям в составе пахотных и улучшенных луговых земель по областям. В целом по республике общая площадь таких почв составляет более 1,5 млн га, или 18,6 %.

Таблица 3

Площади почв наименее устойчивых и слабоустойчивых к засухам и засушливым явлениям в составе сельскохозяйственных земель

Область	Наименее устойчивые почвы		Слабоустойчивые почвы		Итого	
	га	%	га	%	га	%
Брестская	116798	10,3	94003	8,1	210801	18,4
Витебская	18252	1,5	48935	4,0	67187	5,5
Гомельская	96989	8,9	162512	15,0	259501	23,9
Гродненская	107759	10,4	304364	29,4	412123	39,8
Минская	166494	11,1	166466	11,0	332960	22,1
Могилевская	95103	10,0	163300	17,1	258403	27,1
Беларусь	601395	7,3	939580	11,3	1540975	18,6

В дальнейшем выполнена бальная оценка всех административных районов по таким показателям, как годовая сумма осадков и сумма температур > 10 °С. В итоге получена сумма баллов по комплексу почвенных и климатических факторов, что и легло в основу шкалы для определения потенциальных рисков ведения растениеводства при проявлении засух и засушливых явлений (табл. 4).

Таблица 4

Шкала для определения потенциальных рисков

Сумма баллов по комплексу факторов	Степень риска
≤ 5	слабый
6–7	средний
8–9	высокий
≥10	очень высокий

На рисунке 7 и в таблице 5 приведены результаты оценки потенциальных рисков ведения растениеводства при проявлении засух и засушливых явлений на уровне административных районов.

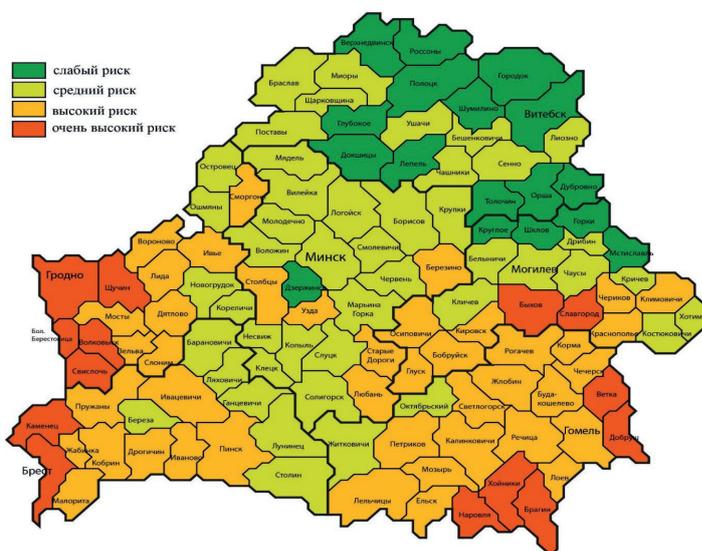


Рис. 7. Картограмма потенциальных рисков ведения растениеводства при проявлении засух и засушливых явлений на уровне административных районов

Таблица 5

Ранжирование районов по потенциальным рискам ведения растениеводства при проявлении засух и засушливых явлений

Потенциальный риск					
очень высокий	высокий		средний		слабый
Щучинский	Мозырский	Климовичский	Островецкий	Миорский	Дзержинский
Каменецкий	Ивьевский	Буда-Кошелевский	Кореличский	Поставский	Докшицкий
Берестовицкий	Кировский	Калинковичский	Новогрудский	Сенненский	Горецкий
Волковысский	Кормянский	Рогачевский	Ошмянский	Ушачский	Витебский
Гродненский	Вороновский	Краснопольский	Борисовский	Чашникский	Глубокский
Свислочский	Дятловский	Осиповичский	Вилейский	Чаусский	Городокский
Быховский	Зельвенский	Дрогичинский	Логойский	Воложинский	Дубровенский
Славгородский	Мостовский	Жабинковский	Мядельский	Крупский	Лепельский
Брестский	Слонимский	Ивановский	Белыничский	Кличевский	Оршанский
Добрушский	Столбцовский	Кобринский	Молодечненский	Смолевичский	Полоцкий
Хойникский	Бобруйский	Лельчицкий	Костюковичский	Дрибинский	Россонский
Наровлянский	Глусский	Ивацевичский	Шарковщинский	Кричевский	Толочинский
Брагинский	Малоритский	Петриковский	Барановичский	Могилевский	Шумилинский
Ветковский	Лоевский	Березинский	Лунинецкий	Хотимский	Круглянский
	Гомельский	Стародорожский	Ляховичский	Березовский	Мстиславский
	Речицкий	Чериковский	Столинский	Ганцевичский	Шкловский
	Сморгонский	Лидский	Житковичский	Минский	Верхнедвинский
	Светлогорский	Узденский	Октябрьский	Пуховичский	
	Пружанский	Пинский	Солигорский	Несвижский	
	Жлобинский	Ельский	Червенский	Слуцкий	
	Чечерский	Любанский	Бешенковичский	Клецкий	
			Браславский	Копыльский	
			Лиозненский		

Очень высоким потенциальным риском негативного влияния засух и засушливых явлений на ведение растениеводства отличаются 2 района Брестской области (Брестский, Каменецкий), 5 районов Гомельской области (Брагинский, Ветковский, Добрушский, Ветковский, Наровлянский, Хойникский), 5 районов Гродненской области (Берестовицкий, Волковысский, Гродненский, Свислочский, Щучинский) и 2 района Могилевской области (Быховский, Славгородский).

В 42 районах, расположенных в основном в Гомельской, Брестской и Гродненской областях потенциальный риск высокий. Средний потенциальный риск выявлен у 45 районов в разных областях республики. Из 17 районов со слабым риском большинство находятся в Витебской и северной части Могилевской областей (рис. 8).



Рис. 8. Распределение административных районов по потенциальным рискам ведения растениеводства при проявлении засух и засушливых явлений на уровне

ВЫВОДЫ

Общая площадь почв наименее устойчивых и слабоустойчивых к засухам и засушливым явлениям в составе пахотных и улучшенных луговых земель в целом по республике составляет около 1,5 млн га, или 18,6 %. Самый высокий удельный вес таких почв (более 30 %) выявлен в 41 районе Беларуси. Причем большинство из них (26 районов) находятся в Гродненской и Могилевской областях.

На устойчивость почвенного покрова к климатическим изменениям влияют не только собственно генетические свойства и режимы почв, но и климатические условия территории – суммы температур выше 10 °С и годовые суммы осадков. В результате проведенного анализа и балльной оценки все административные районы ранжированы по потенциальным рискам ведения растениеводства при проявлении засух и засушливых явлений: слабый – ≤ 5 баллов; средний – 6–7 баллов; высокий – 8–9 баллов; очень высокий – ≥ 10 баллов. Очень высоким потенциальным риском негативного влияния засух и засушливых явлений на ведение растениеводства отличаются Брестский, Каменецкий, Брагинский, Ветковский, Добрушский, Наровлянский, Хойникский, Берестовицкий, Волковысский, Гродненский, Свислочский, Щучинский, Быховский, Славгородский районы. В 42 районах, расположенных в основном в Гомельской, Брестской и Гродненской областях потенциальный риск высокий, в 45 – средний, в 17 районах – слабый.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Стратегия и Национальный план действий по деградации земель (включая почвы) на 2016–2020 гг. – Минск, 2015. – 56 с.
2. VI Национальное сообщение Республики Беларусь в соответствии с обязательствами по Рамочной Конвенции ООН об изменении климата. – Минск, 2015. – 306 с.
3. Яцухно В. М. О месте и роли почв в осуществлении Республики Беларусь международных природоохранных конвенций / В. М. Яцухно // Воспроизводство плодородия почв и их охрана в условиях современного земледелия: материалы Междунар. науч.- практ. конф. и V съезда почвоведов и агрохимиков, Минск, 22–26 июля 2015 г. в 2 ч. Ч. 1 / редкол.: В. В. Лапа (гл. ред.) [и др.]. – Минск: ИВЦ Минфина, 2015. – 352 с. – С. 340–343.

4. Оценка влагозапасов и повторяемости почвенных засух на территории Белорусского Полесья в период современного потепления климата / В. И. Мельник [и др.] // *Природные ресурсы*. – 2020. – № 2. – С. 104–114.

5. Агроклиматическое зонирование территории Беларуси с учетом изменения климата [Электронный ресурс] / В. Мельник [и др.]. – Минск-Женева, 2017. – 54 с. – Режим доступа : <https://minpriroda.gov.by/uploads/files/Agroklimaticheskoe-zonirovanie-Respubliki-Belarus.pdf>. – Дата доступа: 21.03.2023.

6. Установление параметров устойчивости почв сельскохозяйственных земель к засухам и составление цифровых карт пространственного распределения выявленных факторов (на примере Каменецкого района) / В. Б. Цырибко [и др.] // *Почвоведение и агрохимия*. – 2023. – № 1(70). – С. 38–45.

7. Национальный атлас Беларуси. – Минск: Белкартография, 2002. – 292 с.

8. Почвы сельскохозяйственных земель Республики Беларусь: практ. пособие. – Минск: Оргстрой, 2001. – 432с.

POTENTIAL RISKS OF CROP PRODUCTION IN THE REPUBLIC OF BELARUS IN THE EVENT OF DROUGHTS AND ARID PHENOMENA

**H. M. Ustinava, V. B. Tsyrybka, I. A. Lahachou, A. V. Yukhnovets,
S. A. Kas'yanchyk, A. A. Mits'kova, N. A. Karabets**

Summary

A scale of potential risks of crop production in the event of droughts and arid phenomena, developed on the basis of a score assessment of soil (area of soils, least resistant and low resistant to droughts and arid phenomena) and climatic (cartograms of the sum of temperatures above 10 °C and annual precipitation) conditions, by administrative-territorial units (districts) presents at the article.

It is proposed that the risk of crop production in the event of droughts and arid phenomena is considered weak with a total score of ≤ 5 , average – 6–7, high – 8–9, very high – ≥ 10 points. The results of the assessment and a cartogram of the potential risks of crop production in the event of droughts and arid phenomena are presented. It has been established that Brest, Kamenetsky, Braginsky, Vetkovsky, Dobrushsky, Vetkovsky, Narovlyansky, Khoyniksky, Berestovitsky, Volkovysk, Grodno, Svislochsky, Shchuchinsky, Bykhovskiy, Slavgorodskiy districts have a very high potential risk of negative impact of droughts and arid phenomena on crop production. In 42 districts, located mainly in Gomel, Brest and Grodno regions, the potential risk is high, in 45 – medium, in 17 districts – low.

Поступила 01.12.23

ОЦЕНКА И ПРОГНОЗ ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКОГО УЩЕРБА В РЕЗУЛЬТАТЕ ЭРОЗИИ ПОЧВ (на примере Мстиславского района)

**А. М. Устинова¹, В. Б. Цырибко¹, И. А. Логачев¹, А. В. Юхновец¹,
С. А. Касьянчик², А. А. Митькова¹**

¹*Институт почвоведения и агрохимии, г. Минск, Беларусь*

²*Национальная академия наук Беларуси, г. Минск, Беларусь*

ВВЕДЕНИЕ

Наиболее масштабным видом деградации почв в Беларуси, приводящим к снижению производительной способности сельскохозяйственных земель, является эрозия. Вклад водной эрозии в разрушение почв составляет 56 %, дефляции – 28 %. Химической и физической деградации подвержено 12 и 4 % почв, соответственно [1].

Эрозия почв, обуславливаемая чрезвычайно сложным комплексом геоморфологических, климатических, почвенных условий и хозяйственным использованием земель, обнаруживается на территории Беларуси во всех видах и осадками, проявляется на склонах в виде смыва верхней части почвенного покрова (плоскостная и струйчатая эрозия) или в виде размыва в глубину (линейная эрозия). Уже на склонах 1–2° может быть выявлена плоскостная эрозия. С возрастанием крутизны она усиливается, увеличивает ложбинность полей, перерастает в линейную эрозию.

Одним из главных факторов, лимитирующих использование противоэрозионных мер, является экономическая целесообразность их применения. Землепользователи должны быть заинтересованы в проведении противоэрозионных мероприятий. Следовательно, экономический эффект от их применения не может быть меньше их стоимости. Экономическое обоснование противоэрозионных мер является обязательным условием их внедрения, и оно позволяет установить количественные критерии, по которым устанавливается целесообразность применения тех или иных противоэрозионных мер и их подбор для определенной территории.

Стоимостная оценка ущерба от эрозионных процессов является нетривиальной задачей, поскольку значительная часть ущерба, наносимого эрозией окружающей среде, не подлежит корректному исчислению. Несмотря на сложность и значительную неопределенность расчетов экономического и экологического ущерба от эрозионных процессов, они являются необходимым условием выбора стратегии противоэрозионной защиты территории и экономического стимулирования деятельности по охране почв [2].

Цель исследований – на примере Мстиславского района оценить эколого-экономический ущерб в результате эрозии почв и выполнить прогноз интенсивности процессов эрозионной деградации при различных вариантах структуры посевных площадей.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Объект исследований – эродированные почвы пахотных земель Мстиславского района Могилевской области.

Площадь пахотных земель в Мстиславском районе составляет 55439,0 га [3], при этом площадь эродированных почв – 29846,0 га, в том числе слабоэродированных – 17901,1 га, среднеэродированных – 11340,3 га, сильноэродированных – 604,6 га.

Оценка эколого-экономических потерь в результате эрозии почв пахотных земель проводится на основании данных агрохимического и почвенного обследований, разработанных нормативов, а также статистических данных о структуре посевных площадей и урожайности сельскохозяйственных культур (табл. 1).

Таблица 1

**Посевные площади и урожайность сельскохозяйственных культур
в сельскохозяйственных организациях Мстиславского района [4, 5]**

Наименование культуры	Площадь, га	Урожайность, ц/га
Озимая рожь	1804	23,7
Озимая пшеница	9037	29,8
Озимая тритикале	3111	28,9
Озимая ячмень	356	20,1
Озимый рапс	2306	3,6
Сурепица	170	8,4
Яровая пшеница	2791	22,7
Яровой ячмень	4948	19,7
Яровой рапс	1298	9,8
Овес	2704	23,1
Гречиха	200	8,4
Горох	95	29,3
Зернобобовые на фураж	2146	21,5
Просо	415	8,3
Кукуруза	6868	252
Однолетние травы	2962	115
Многолетние травы	11559	198
Лен долгунец	1226	12,8

Прямой ущерб ($ПУ_1$) вследствие снижения урожайности сельскохозяйственных культур определяется по формуле 1:

$$ПУ_1 = U \cdot H_c \cdot Ц \cdot S, \quad (1)$$

где U – средняя урожайность сельскохозяйственной культуры на неэродированной почве, ц/га; H_c – норматив снижения урожайности сельскохозяйственной культуры в зависимости от степени эродированности; $Ц$ – закупочная цена в действующих или сопоставимых ценах вида сельскохозяйственной продукции, руб./ц; S – площадь земель с определенной степенью эродированности, занятой культурой, га.

Общий недобор продукции (ПУ) определяется как сумма недобора по каждой сельскохозяйственной культуре (в тыс. руб.) по формуле 2:

$$ПУ = ПУ_1 + ПУ_2 + ПУ_3 + \dots + ПУ_n, \quad (2)$$

Косвенный ущерб (КУ) от эрозии определяется с помощью формулы 3:

$$КУ = Y_{1п} \cdot S, \quad (3)$$

где $Y_{1п}$ – размер удельного эколого-экономического ущерба от снижения почвенного плодородия, тыс. руб./га; S – площадь одного вида земель с пониженным плодородием вследствие развития процессов эрозионной деградации, га.

Размер удельного ущерба от утраченного плодородия почвы ($Y_{1п}$) определяется суммой затрат, необходимых для его восстановления по формуле:

$$Y_{1п} = C_{гумус} + C_{калий} + C_{фосфор}, \quad (4)$$

где $C_{гумус}$ – затраты на возмещение потерь гумуса, тыс. руб.; $C_{калий}$ – затраты на возмещение потерь калия, тыс. руб.; $C_{фосфор}$ – затраты на возмещение потерь фосфора, тыс. руб.

Сумма затрат, необходимых для восстановления потерянному почвенному плодородию, рассчитывается на основе стоимостной оценки расходов, необходимых для ликвидации ущерба в результате потери гумуса и элементов питания.

В затраты на восстановление почвенного плодородия ($C_{общ}$) включается стоимость удобрения и мелиорантов с учетом их доставки, расходы на их приобретение, погрузку, транспортировку и внесение:

$$C_{общ} = C_{уд} + C_{внес} + C_{транс}, \quad (5)$$

где $C_{уд}$ – стоимость удобрений и мелиорантов, необходимых для восстановления утраченного плодородия, тыс. руб.; $C_{транс}$ – стоимость транспортировки мелиорантов и удобрений, тыс. руб.; $C_{внес}$ – стоимость внесения удобрений и мелиорантов, тыс. руб.

Затраты на приобретение удобрений и мелиорантов определяются на основе расчетов, исходя из фактической величины снижения плодородия почвы (потери гумуса, калия и др. питательных веществ). Пересчет питательных веществ на 1 га производится с помощью формулы:

$$C_{уд} = D \cdot Ц \cdot S, \quad (6)$$

где D – доза внесения удобрения, т/га; $Ц$ – закупочная цена в действующих или сопоставимых, руб./т, S – площадь земель с определенной степенью эродированности, занятой культурой, га.

Общий эколого-экономический ущерб (ОЭЭУ) – это сумма прямого и косвенного ущербов:

$$ОЭЭУ = ПУ + КУ, \quad (7)$$

Стоимость одной тонны сельскохозяйственных культур представлена в постановлении Минсельхозпрода № 22 от 21.03.2022 г. Для расчета экономических потерь культур, не включенных в постановление (фуражные зерновые и зернобобовые, зеленая масса кукурузы, однолетних и многолетних трав), урожайность переводится в кормовые единицы. Стоимость 1 т к. ед. составляет 320,04 руб.

В качестве значения величины потерь рекомендуется использовать среднее значения из диапазона нормативов [6]. Например, для зерновых на слабозеродированных почвах, сформированных на лессовидных суглинках, норматив составляет 5–10 %. В расчетах будет использоваться среднее значение – 7,5 %.

Дозы органических и минеральных удобрений, необходимые для компенсации потерь плодородия от эрозии в зависимости от группы сельскохозяйственных культур, определяются согласно нормативам снижения содержания элементов питания растений на почвах разной степени эродированности (табл. 2) и от нормативов затрат на удобрения, необходимых для увеличения содержания этих элементов в почве [7].

Таблица 2

Потенциально возможный смыв почвы и потери гумуса и элементов питания растений под группами различных сельскохозяйственных культур

Группа сельскохозяйственных культур	Эродированность почвы	Смыв почвы, т/га в год	Потери, кг/га в год			
			гумус	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Пропашные (картофель, свекла сахарная, столовая и кормовая, кукуруза, овощные, подсолнечник)	Слабая	4,5	100	6,0	4,0	4,0
	Средняя	9,0	170	11,0	7,0	7,0
	Сильная	18,0	240	22,0	10,0	10,0
Яровые зерновые и зернобобовые (пшеница, ячмень, тритикале, овес, горох, пелюшка, люпин), яровой рапс	Слабая	3,2	75	4,5	3,0	3,0
	Средняя	6,5	120	8,0	5,0	5,0
	Сильная	13,0	180	16,0	7,5	7,5
Озимые зерновые (рожь, пшеница, тритикале, ячмень), озимый рапс	Слабая	0,8	20	1,0	1,0	1,0
	Средняя	1,6	30	3,0	1,5	1,5
	Сильная	3,2	40	4,0	2,0	2,0
Однолетние травы (горохо-, пелюшко-, вико-овсяные смеси)	Слабая	3,3	80	4,5	3,0	3,0
	Средняя	6,6	125	8,0	5,0	5,0
	Сильная	13,2	165	16,0	7,5	7,5
Многолетние бобовые (клевер, люцерна, галега), бобово-злаковые и злаковые травы	Слабая	0,1	< 3	< 0,5	0,1	0,1
	Средняя	0,2	< 5	< 0,5	0,2	0,2
	Сильная	0,4	5	0,5	0,3	0,3

Стоимость органических удобрений, их внесения и доставки составляет 5 USD/т. Цена суперфосфата аммонизированного 1148,0 руб./т, калия хлористого – 120,5 руб./т. Стоимость доставки и внесения минеральных удобрений – 28,9 долл. USD/т. Курс USD (доллара США) по состоянию на 01.05.2023 г. – 2,95 руб.

При прогнозировании эколого-экономических потерь следует использовать соответствующие значения из диапазонов разработанных нормативов, а также изменять структуру посевных площадей в зависимости от сценария прогноза – оптимистического или пессимистического.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Как отмечалось ранее, *прямой ущерб* вследствие снижения урожайности определяется как сумма недобора по каждой сельскохозяйственной культуре. Ниже приведен подробный расчет для озимой ржи.

Согласно данным таблицы 1 средняя урожайность озимой ржи в хозяйствах Мстиславского района 2,37 т/га. Нормативы потери по степеням эродированности взяты из [6]. Закупочная цена зерна озимой ржи составляет 348,4 руб./т. Площадь посевов – 1804 га, в том числе на слабоэродированных почвах – 613,2 га, среднеэродированных – 388,5 га, сильноэродированных – 20,7 га.

Следовательно, потери составят:

– на слабоэродированных почвах – $ПУ_{1_1} = 2,37 \text{ т/га} \cdot 0,075 \cdot 348,4 \text{ руб./т} \cdot 613,2 \text{ га} = 37974,3 \text{ руб.}$;

– на среднеэродированных почвах – $ПУ_{1_2} = 2,37 \text{ т/га} \cdot 0,225 \cdot 348,4 \text{ руб./т} \cdot 388,5 \text{ га} = 72177,2 \text{ руб.}$;

– на сильноэродированных почвах – $ПУ_{1_3} = 2,37 \text{ т/га} \cdot 0,375 \cdot 348,4 \text{ руб./т} \cdot 20,7 \text{ га} = 6409,6 \text{ руб.}$

Суммарные экономические потери из-за недобора урожая ржи в Мстиславском районе составляют 116,56 тыс. руб.

Для всех возделываемых культур был определен прямой ущерб от недобора урожая: озимая и яровая пшеница – 1056,8 тыс. руб., озимая тритикале – 279,2 тыс. руб., яровой и озимый ячмень – 255,1 тыс. руб., яровой и озимый рапс – 236,6 тыс. руб., овес – 154,8 тыс. руб., гречиха – 10,7 тыс. руб., просо – 7,9 тыс. руб., фуражные зернобобовые – 185,7 тыс. руб., кукуруза на з/м – 1276,8 тыс. руб., однолетние травы – 97,2 тыс. руб., многолетние травы – 675,2 тыс. руб., льно-волокно – 256,4 тыс. руб. (табл. 3).

Таблица 3

Прямой ущерб от недобора урожая сельскохозяйственных культур на пахотных почвах Мстиславского района

Наименование культуры	Прямой ущерб, тыс. руб.			
	слабоэродированные	среднеэродированные	сильноэродированные	суммарные
Озимая рожь	37,97	72,18	6,41	116,56
Озимая пшеница	270,68	514,43	45,71	830,83
Озимая тритикале	90,96	172,87	15,36	279,20
Озимая ячмень	4,97	9,44	0,84	15,24
Озимый рапс	27,81	52,86	4,70	85,36
Яровая пшеница	100,82	114,97	10,22	226,01
Яровой ячмень	107,03	122,05	10,84	239,92
Яровой рапс	67,48	76,95	6,84	151,27
Овес	69,03	78,72	6,99	154,75
Гречиха	4,77	5,44	0,48	10,69
Горох	5,03	5,74	0,51	11,28
Зернобобовые на фураж	82,84	94,47	8,39	185,70
Просо	3,52	4,02	0,36	7,90

Продолжение таблицы 3

Наименование культуры	Прямой ущерб, тыс. руб.			
	слабоэродированные	среднеэродированные	сильноэродированные	суммарные
Кукуруза	536,56	679,82	60,41	1276,79
Однолетние травы	31,68	60,21	5,35	97,24
Многолетние травы	248,34	393,30	33,55	675,19
Лен долгунец	115,57	128,12	12,69	256,38
Итого				4620,31

Таким образом, общий прямой ущерб от эрозионных процессов составляет 4620 тыс. руб.

Согласно формуле 3 устанавливается *косвенный ущерб* от процессов эрозионной деградации, как сумма затрат на восстановление утраченного почвенного плодородия в результате потери гумуса и элементов питания в эродированных почвах.

Приводим подробный расчет на примере затрат на компенсацию потерь K_2O на эродированных почвах при возделывании кукурузы.

Площадь кукурузы на слабоэродированных почвах 2198,8 га, среднеэродированных – 1373,6 га, сильноэродированные – 68,7 га. Нормативы потерь K_2O под кукурузой в зависимости от степени эродированности колеблются от 4 до 10 кг/га в год.

Цена калия хлористого – 120,5 руб./т. Содержание действующего вещества 6 %. Стоимость доставки и внесения минеральных удобрений – 28,9 USD/т [6]. Курс USD (доллара США) – 2,95 руб.

Для начала рассчитаем количество удобрений необходимых для восполнения плодородия ($D_{уд.пр.}$). Оценка производится на основании разработанных нормативов потерь по группам культур и площадей эродированных почв под культурой:

– для слабоэродированных – $D_{уд. пр.1} = 4 \text{ кг/га} / 0,6 \cdot 2197,8 \text{ га} = 14651,7 \text{ кг}$, или 14,65 т;

– для среднеэродированных – $D_{уд. пр.2} = 7 \text{ кг/га} / 0,6 \cdot 1307,6 \text{ га} = 16025,0 \text{ кг}$, или 16,03 т;

– для сильноэродированных – $D_{уд. пр.3} = 10 \text{ кг/га} / 0,6 \cdot 68,68 \text{ га} = 1144,7 \text{ кг}$, или 1,14 т.

Следовательно, для компенсации утраченного подвижного калия необходимо 31,82 т хлористого калия.

Стоимость удобрений составит: $C_{уд} = 31,82 \text{ т} \cdot 120,5 \text{ руб./т} = 3834,3 \text{ руб.}$

Стоимость на доставку и внесение необходимого количества составит:

$$C_{внес} = 31,82 \text{ т} \cdot 28,9 \text{ USD/т} \cdot 2,95 \text{ руб./USD} = 2712,8 \text{ руб.}$$

Таким образом, общие затраты на восполнение подвижного калия эродированных почв под кукурузой составляют: $C_{общ} = 3834,3 + 2712,8 = 6547,1$, или $\approx 6,5$ тыс. руб.

После проведения расчетов была установлена суммарная потребность для компенсации утраченного плодородия следующих удобрений: органические – 33195 т, фосфорные – 231,3 т аммонизированного суперфосфата, калийные – 115,6 т хлористого калия (табл. 4).

Таблица 4

Косвенный ущерб от процессов эрозионной деградации на пахотных почвах Мстиславского района

Наименование группы	Степень эродированности почвы												Сумма		Косвенный ущерб тыс. руб.
	слабоэродированные			среднеэродированные			сильноэродированные			С _{уд}	С _{внес}	тыс. руб.	тыс. руб.		
	Д _{уд.1}	С _{уд}	С _{внес}	Д _{уд.2}	С _{уд}	С _{внес}	Д _{уд.3}	С _{уд}	С _{внес}						
	т	тыс. руб.	тыс. руб.	т	тыс. руб.	тыс. руб.	т	тыс. руб.	тыс. руб.						
Органические удобрения															
Озимые зерновые, рапс	2239	33,02		2099	30,96		140	2,06				66,04		66,04	
Яровые зерновые, зерно-бобовые и крупяные, рапс	7595	112,03		7595	112,03		570	8,4				232,46		232,46	
Пропашные	4396	64,83		4670	68,89		330	4,86				138,58		138,58	
Однолетние травы	1517	22,37		1481	21,84		98	1,44				45,66		45,66	
Многолетние травы	222	3,27		231	3,41		12	0,17				6,85		6,85	
Итого	15969	235,52		16076	237,13		1150	16,93				489,59		489,59	
Фосфорные удобрения (аммонизированный суперфосфат)															
Озимые зерновые, рапс	18,65	21,42	1,59	17,49	20,08	1,49	1,17	1,34				123,22	9,15	46,01	
Яровые зерновые, зерно-бобовые и крупяные, рапс	50,63	58,13	4,32	52,74	60,55	4,50	3,96	4,54				42,83	3,18	132,37	
Пропашные	29,30	33,64	2,50	32,05	36,79	2,73	2,29	2,63				73,06	5,43	78,49	
Однолетние травы	9,48	10,88	0,81	9,87	11,33	0,84	0,74	0,85				23,07	1,71	24,78	
Многолетние травы	1,23	1,42	0,11	1,54	1,77	0,13	0,12	0,13				3,32	0,25	3,56	
Итого	109,29	125,49	9,33	113,69	130,52	9,69	8,28	9,49				265,5	19,72	285,21	
Калийные удобрения															
Озимые зерновые, рапс	9,33	1,12	0,80	8,74	1,05	0,75	0,58	0,07				6,47	4,58	3,84	
Яровые зерновые, зерно-бобовые и крупяные, рапс	25,32	3,05	2,16	26,37	3,18	2,25	1,98	0,24				2,25	1,59	11,04	
Пропашные	14,65	1,77	1,25	16,03	1,93	1,37	1,14	0,14				3,83	2,71	6,55	
Однолетние травы	4,74	0,57	0,40	4,94	0,59	0,42	0,37	0,04				1,21	0,86	2,07	
Многолетние травы	0,62	0,07	0,05	0,77	0,09	0,07	0,06	0,01				0,17	0,12	0,30	
Итого	54,66	6,58	4,66	56,85	6,84	4,86	4,13	0,5				13,93	9,86	23,80	
Итого														798,60	

Суммарные затраты на приобретение и внесение удобрений следующие: органические – около 490 тыс. руб., фосфорные – 290 тыс. руб., калийные – 24 тыс. руб.

Косвенный ущерб, наносимый водно-эрозионными процессами на пахотных почвах Мстиславского район, составляет около 800 тыс. руб.

Общий эколого-экономический ущерб от проявления эрозионных процессов на пахотных землях Мстиславского района составляет примерно 5418 тыс. руб.:

$$\text{ОЭЭУ} = 4620,31 + 798,60 = 5418,91 \text{ тыс. руб.}$$

Предлагаемый метод оценки эколого-экономических потерь в результате эрозии почв позволяет выполнять прогнозы как оптимистическим сценариям, так и пессимистическим.

По оптимистическому сценарию структура посевных площадей разрабатывается согласно рекомендациям лаборатории агрофизических свойств и защиты почв от эрозии Института почвоведения и агрохимии [8].

Для почвенного покрова Мстиславского района желательно уменьшение или исключение пропашных культур и увеличение доли многолетних трав до 42–75 % (табл. 5). По пессимистическому сценарию доля пропашных культур максимально увеличивается (42 %) за счет исключения многолетних трав.

Таблица 5

Различные варианты структуры посевных площадей

Наименование группы культур	Существующая (Нз = 0,63)	Прогноз		
		оптимистический		пессимистический (Нз = 0,40)
		1 (Нз = 0,74)	2 (Нз = 0,90)	
Озимые	31,6	30	15	29
Яровые	27,8	15	10	29
Пропашные	13,1	10	–	42
Однолетние травы	5,6	5	–	–
Многолетние травы	22,0	40	75	–

Согласно проведенному прогнозу по оптимистическому сценарию 1, использование предложенной структуры посевных площадей позволит снизить прямой ущерб до 4380 тыс. руб., косвенный – до 580 тыс. руб. При этом уменьшение общего ущерба составит 462 тыс. руб. (табл. 6, рис.).

Таблица 6

Результаты прогноза оценки ущерба от эрозии на пахотных землях Мстиславского района

Структура посевных площадей	Прямой ущерб (ПУ)	Косвенный ущерб (КУ)				сумма	Общий ущерб (ОЭЭУ)
		затраты на удобрения					
		органические	фосфорные	калийные			
Существующая (Нз = 0,63)	4620,31	489,59	285,21	23,80	798,60	5418,91	
Прогноз	оптимистический 1 (Нз = 0,74)	4380,25	354,65	206,12	16,36	577,13	4957,38
	оптимистический 2 (Нз = 0,90)	3382,89	130,46	76,92	6,42	213,80	3596,69
	пессимистический (Нз = 0,40)	6625,43	1942,48	1153,90	96,26	3192,65	9818,08

При отказе от пропашных культур и увеличении доли многолетних трав до 75 % (оптимистический сценарий 2) ущерб, наносимый эрозией почв, снизится на 1822 тыс. руб., или 30 % \approx до 3600 тыс. руб.

Исключение из структуры посевных площадей многолетних трав и увеличение удельного веса пропашных культур до 40 % и более (пессимистический сценарий) нанесет колоссальный вред. При этом прямой ущерб вырастет в 1,4 раза, косвенный – в 4,0 раза. Общий эколого-экономический ущерб прогнозируется на уровне 9800 тыс. руб., что в 1,8 раза выше, чем при существующей структуре посевных площадей.

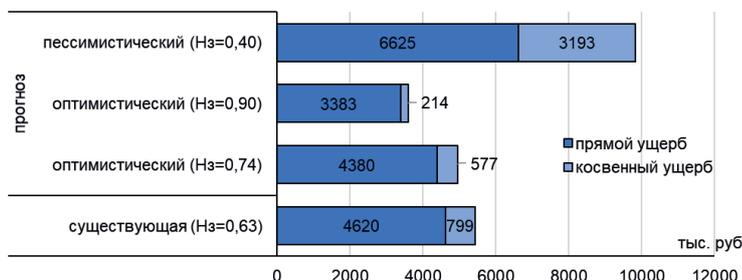


Рис. Результаты прогноза ущерба от проявления водно-эрозионных процессов на пахотных почвах Мстиславского района

ВЫВОДЫ

Проведенная оценка эколого-экономических потерь от водной эрозии почв на примере Мстиславского района Могилевской области показала, что прямой ущерб от недобора урожая сельскохозяйственных культур на эродированных почвах пахотных земель составит 4620 тыс. руб. Общие затраты на приобретение и внесение удобрений для компенсации потерь гумуса и элементов питания растений, вызванных эрозионной деградацией, около 800 тыс. руб. Следовательно, общий эколого-экономический ущерб не менее 5420 тыс. руб.

Согласно проведенному прогнозу по оптимистическим сценариям, использование предложенной структуры посевных площадей в Мстиславском районе (доля многолетних трав – 40–75 %, пропашных культур – 0–10 %) позволит снизить прямой ущерб от процессов эрозионной деградации до 3383–4380 тыс. руб., косвенный – до 214–580 тыс. руб. При этом уменьшение общего ущерба составит 462–1822 тыс. руб.

Исключение из структуры посевных площадей многолетних трав и увеличение удельного веса пропашных культур до 40 % и более (пессимистический сценарий) нанесет колоссальный вред. Прямой ущерб вырастет в 1,4 раза, косвенный – в 4,0 раза. Общий эколого-экономический ущерб прогнозируется на уровне 9800 тыс. руб., что в 1,8 раза выше, чем при существующей структуре посевных площадей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Деградация почв сельскохозяйственных земель Беларуси: виды и количественная оценка / А. Ф. Черныш [и др.] // Почвоведение и агрохимия. – 2016. – № 2(57). – С. 7–18.

2. *Кирюшин, В. И.* Теория адаптивно-ландшафтного земледелия и проектирование агроландшафтов / В. И. Кирюшин. – М.: КолосС, 2011. – 443 с.
3. *Кузнецов, Г. И.* Почвы сельскохозяйственных земель Республики Беларусь: практ. пособие / Г. И. Кузнецов, Н. И. Смеян, Г. С. Цытрон; под ред. Г. И. Кузнецова, Н. И. Смеяна. – Минск: Оргстрой, 2001. – 432 с.
4. Статистический ежегодник Республики Беларусь, 2023 / под ред. И. В. Медведева. – Минск, 2023. – Т. 1. – 322 с.
5. Справочник агрохимика / В. В. Лапа [и др.]; под ред. В. В. Лапа. – Минск: Беларус. наука, 2007. – 390 с.
6. Система нормативных показателей для прогноза и оценки эколого-экономических потерь в результате эрозионных процессов / А. М. Устинова [и др.] // Почвоведение и агрохимия. – 2023. – № 1(70). – С. 7–16
7. Агрохимия и система применения удобрений: учебно-методическое пособие / С. Ф. Шекунова [и др.]; под ред. И. Р. Вильдфлуша. – Горки: БГСХА, 2016. – 258 с.
8. Рекомендации по типовому автоматизированному проектированию адаптивно-ландшафтных систем земледелия на основе оценки почвенно-ресурсного потенциала земель сельскохозяйственного назначения и экологической устойчивости агроландшафтов / Н. Н. Цыбулько [и др.] // НАН Беларуси, Институт почвоведения и агрохимии. – Минск: Институт системных исследований в АПК НАН Беларуси, 2020. – 47 с.

ASSESSMENT AND FORECAST OF ECOLOGICAL AND ECONOMIC DAMAGE AS A RESULT OF SOIL EROSION (using the example of the Mstislavsky district)

**H. M. Ustinava, V. B. Tsyrybka, I. A. Lahachou, A. V. Yukhnovets,
S. A. Kas'yanchyk, A. A. Mits'kova,**

Summary

The assessment of the ecological and economic damage caused by water erosion of soils of arable lands of the Mstislavsky district of the Mogilev region is present at the article. It is established that the direct damage from the shortage of crops will amount to 4,620 thousand rubles. The total cost of purchasing and applying fertilizers to compensate for the loss of humus and nutrients caused by erosion degradation is about 800 thousand rubles. Consequently, the total environmental and economic damage is at least 5,420 thousand rubles.

According to optimistic scenarios of the forecast, an increase in the proportion of perennial grasses to 40–75 % and a decrease in the proportion of row crops to 0–10 % will reduce direct damage from erosion degradation processes to 3383–4380 thousand rubles, indirect damage to 214–580 thousand rubles. The total damage will amount to 462–1822 thousand rubles.

The exclusion of perennial grasses from the structure of sown areas and an increase in the proportion of row crops to 40 % or more will lead to an increase in direct damage by 1,4 times, indirect damage by 4,0 times. The total environmental and economic damage is projected at the level of 9,800 thousand rubles, which is 1,8 times higher than with the existing structure of acreage.

Поступила 07.12.23

УПЛУЎ ДЭФЛЯЦЫЙНЫХ ПРАЦЭСАЎ НА ПЕРАРАЗМЕРКАВАННЕ ^{137}Cs НА ВОРНЫХ ЗЕМЛЯХ

В. Б. Цырыбка, І. А. Лагачоў, А. Г. Падаляк, Г. М. Усцінава

*Інстытут глебазнаўства і аграхіміі
г. Мінск, Беларусь*

УВОДЗІНЫ

У Беларусі адным з асноўных відаў дэградацыі глебаў сельскагаспадарчых зямель з'яўляецца дэфляцыя – адрыв і перанос глебавых часціц ветрам. Дэфляцыя глебы вызначаецца такімі фактарамі, як характар клімату, рэльеф тэрыторыі, асаблівасці глебавага і расліннага покрыва. Яна выяўляецца ў выглядзе паўсядзённай дэфляцыі на адкрытых неабароненых расліннасцю масівах і ў выглядзе пылавых бур. Паўсядзённы працэс працякае пад уздзеяннем слабых паветраных патокаў – вятроў хуткасцю < 15 м/с. Пылавая бура ўзнікаюць пры моцных вятрах, хуткасць якіх перавышае 10–15 м/с, і ўяўляюць сабою перанос вялікіх колькасцяў пылу, пяску, часціц сухога торфу і іх сумесяў моцным ветрам у прыземным пласце паветра (на вышыні > 2 м ад паверхні). Большасць пылавых бур адзначаецца ў цеплы перыяд года: вясной – 52,2 % ад агульнай колькасці, летам – 37,8 % і восенню – 9,4 % [1, 2].

Дэфляцыйныя працэсы ў найбольшай ступені праяўляюцца ў паўднёвай частцы Беларусі – на тэрыторыі Палесся з шырокім распаўсюджваннем лёгкіх па грануламетрычным складзе пясчаных, рыхласупяшчаных, а таксама асушаных тарфяных і дэградаваных тарфяна-мінэральных глебаў, і дзе часцей за іншыя рэгіёны праяўляюцца засухі або засушлівыя з'явы. Апошнім часам у паўднёвых і паўднёва-ўсходніх рэгіёнах Беларусі ўзмацненне дэфляцыйных працэсаў на ворных землях абумоўлена павелічэннем паўтаральнасці засух і засушлівых з'яў, асабліва ў вясновы перыяд, што прыводзіць да пагаршэння воднага рэжыму глебаў, перасыхання верхняга караневага слою лёгкіх пясчаных і супясчаных глебаў. Па дадзеным метэаралагічных станцый з 1966 года ў Беларусі Палессі зарэгістравана больш за 350 выпадкаў праявы экстрэмальнай дэфляцыі – пылавых бураў. Высокую ўдзельную вагу займаюць тут пылавая бура сярэдняй і высокай інтэнсіўнасці [2].

Тэхнагенная катастрофа на Чарнобыльскай АЭС, якая прывяла да забруджвання 23 % тэрыторыі Рэспублікі Беларусь, значна пагоршыла экалагічную сітуацыю [3]. Працэсы дэфляцыі, акрамя разбурэння верхняга гарызонту глебаў, сталі перамяшчаць разам з эалавым матэрыялам ізатопы радыёактыўных элементаў, што прывяло да з'яўлення новых лакальных ачагоў іх павышанай канцэнтрацыі [4].

У працах розных аўтараў устаноўлена, што максімальная актыўнасць радыёнукліду ^{137}Cs адзначалася па краях палеў, да якіх прымыкаюць хмызнякі і лясныя масівы, што абумоўлена затрымкай у іх пылаватых забруджаных часціц. Велічыня гарызантальнай міграцыі залежыць ад выкарыстання ворных земляў. Пад яравымі збожжавымі культурамі, якія характарызуюцца невысокай глебаахоўнай здольнасцю, перанос ^{137}Cs большы, чым пад шматгадовымі травамі, якія добра абараняюць глебу ад дэградацыі [5–8].

Мэтай даследавання з'яўлялася вывучэнне пераразмеркавання дэфляцыйнымі працэсамі ^{137}Cs на арганагенных і мінеральных глебах ворных земляў і вызначэнне шчыльнасці радыеактыўнага забруджвання ў зонах акумуляцыі эолавага матэрыялу.

АБ'ЕКТЫ І МЕТАДЫ ДАСЛЕДАВАННЯЎ

Аб'ектамі даследаванняў з'яўляліся дзярнова-падзолістыя пясчаныя і рыхласупяшчаныя, тарфяныя і дэградаваныя тарфяныя глебы.

З мэтай вызначэння асаблівасцяў гарызантальнай міграцыі ^{137}Cs на мінеральных і арганагенных глебах у 2022 годзе былі праведзены маршрутныя даследаванні на тэрыторыі Веткаўскага, Добрушкага і Жыткавіцкага раенаў Гомельскай вобласці, а таксама ў Лунінецкім раене Брэсцкай вобласці.

Для найбольш дэталёвага вывучэння праблемы былі ўжытыя два падыходы: закладка глебавых катэн, накіраваных па пераважным напрамку ветра (з паўночнага захаду на паўднёвы ўсход);

адбор глебавых пробаў на ключавым участку па сетцы з крокам 50 метраў.

Адбор глебавых пробаў праводзіўся аграхімічным бурам з ворнага гарызонту глеб.

Каардынаты глебавых катэн і ключавых участкаў прыведзены ў табліцы 1 і 2.

Табліца 1

Месцазнаходжанне глебавых катэн (у градусах)

№ катэны	Раён закладкі катэны/	Каардынаты пачатковага пункта катэны		Каардынаты канцавага пункта катэны	
		шырата	даўгата	шырата	даўгата
мінеральныя глебы					
1м	Веткаўскі	52,7899	31,369933	52,7865	31,37515
2м	Веткаўскі	52,786667	31,373533	52,784967	31,375617
3м	Добрушскі	52,457767	31,293983	52,4601	31,2906
4м	Жыткавіцкі	52,224833	27,6624	52,223183	27,664267
арганагенныя глебы					
1а	Добрушскі	52,488683	31,250083	52,487383	31,2528
2а	Добрушскі	52,48885	31,252167	52,487683	31,254933
3а	Лунінецкі	52,42545	27,033417	52,42405	27,036367
4а	Жыткавіцкі	52,221283	27,685617	52,21845	27,6875

Табліца 2

Месцазнаходжанне ключавых участкаў (у градусах)

№ ключавага ўчастка	Раён ключавага ўчастка	Каардынаты мяжы ключавага ўчастка	
		шырата	даўгата
мінеральныя глебы			
1м	Веткаўскі	52,554867	31,13365
		52,555483	31,132833
		52,555233	31,133183
		52,55485	31,131333
2м	Лунінецкі	52,353667	27,174167
		52,35215	27,17065
		52,352233	27,174317
		52,353633	27,1707

№ ключавага ўчастка	Раён ключавага ўчастка	Каардынаты мяжы ключавага ўчастка	
		шырата	даўгата
арганагенныя глебы			
1а	Веткаўскі	52,628917	30,977333
		52,628583	30,978033
		52,630733	30,9787
		52,630483	30,979733
2а	Лунінецкі	52,360883	27,1699
		52,359133	27,170033
		52,360933	27,171667
		52,3592	27,171783

Удзельную актыўнасць ^{137}Cs вызначалі на γ - β -спектраметры МКС-АТ1315. Асноўная адносная хібнасць вымярэнняў пры давяральным інтэрвале $P = 95\%$ не перавышала 15–30%. Апаратурная памылка вымярэнняў – не больш за 15%.

Апрацоўка дадзеных для стварэння буйнамаштабных картаграм шчыльнасці забруджвання ключавых участкаў праводзілася з дапамогай праграмага прадукта QGIS.

ВЫНІКІ ДАСЛЕДАВАННЯЎ І ІХ АБМЕРКАВАННЕ

На ўсіх вывучаных глебавых катэнах выдзелены 3 асноўныя зоны ўплыву дэфляцыйных працэсаў: акумуляцыі (прымеркаваная да драўняна-хмызняковай расліннасці, урэзам вады, дарогам, значным няроўнасцям рэльефу), акумуляцыі-пераносу (на невялікай адлегласці ад пералічаных раней месцаў і асаблівасцям мікрарэльефу), зона пераносу (выраўнаваныя цэнтральныя часткі палеў) (табл. 3).

Табліца 3

Уплыў дэфляцыйных працэсаў на перапамеркаванне ^{137}Cs на дзярнова-падзолістых пячаных і супячаных глебах ворных земляў

№ катэны	Зоны ўплыву дэфляцыі	№ пункта	Удзельная актыўнасць ^{137}Cs у глебе, Бк/кг	Шчыльнасць забруджвання ^{137}Cs , Кц/км ²	Адхіленне ад зоны максімальнай акумуляцыі	
					Кц/км ²	%
1м	аккумуляцыя	1	518,63	5,3	-2,0	-28,0
	аккумуляцыя/перанос	2	474,87	4,8	-2,5	-34,1
	аккумуляцыя/перанос	3	493,57	5,0	-2,3	-31,5
	перанос	4	391,23	4,0	-3,3	-45,7
	перанос	5	417,00	4,2	-3,1	-42,1
	аккумуляцыя/перанос	6	598,47	6,1	-1,2	-16,9
	аккумуляцыя/перанос	7	584,31	5,9	-1,4	-18,9
	аккумуляцыя	8	719,38	7,3	0,0	0,0
	аккумуляцыя	9	656,96	6,7	-0,6	-8,8

Працяг табліцы 3

№ катэны	Зоны ўплыву дэфляцыі	№ пункта	Удзельная актыўнасць ¹³⁷ Cs у глебе, Бк/кг	Шчыльнасць забруджвання ¹³⁷ Cs, Ки/км ²	Адхіленне ад зоны максімальнай акумуляцыі	
					Ки/км ²	%
2м	аккумуляцыя	1	623,28	6,3	-1,7	-21,0
	аккумуляцыя/перанос	2	474,45	4,8	-3,2	-39,9
	аккумуляцыя/перанос	3	603,47	6,1	-1,9	-23,5
	аккумуляцыя/перанос	4	507,78	5,1	-2,9	-35,7
	аккумуляцыя	5	794,00	8,0	0,0	0,0
3м	аккумуляцыя/перанос	1	421,23	4,3	-0,2	-5,1
	перанос	2	310,81	3,2	-1,3	-30,0
	аккумуляцыя/перанос	3	401,77	4,1	-0,4	-9,5
	аккумуляцыя/перанос	4	403,67	4,1	-0,4	-9,1
	аккумуляцыя/перанос	5	359,08	3,6	-0,9	-19,1
	аккумуляцыя	6	441,52	4,5	0,0	0,0
4м	аккумуляцыя	1	99,72	1,0	-0,2	-15,8
	аккумуляцыя/перанос	2	73,57	0,7	-0,5	-37,9
	аккумуляцыя	3	100,05	1,0	-0,2	-15,5
	аккумуляцыя	4	115,84	1,2	0,0	0,0

Глебавыя катэны № 1м і № 2м закладзены на дзярнова-падзолістай пясчанай глебе ў межах аднаго буйнога зямельнага масіву (поля). Першая катэна праходзіць скрозь асноўны масіў, а другая – пераважна ў зоне акумуляцыі.

У зоне пераносу на катэне № 1м шчыльнасць забруджвання ворнага гарызонта ¹³⁷Cs была на 42,1–45,7 % ніжэй у параўнанні з зонай асноўнай акумуляцыі дэфляцыйнага матэрыялу (паўднева-ўсходняя частка поля). Аднак у зоне акумуляцыі ў заходняй частцы поля шчыльнасць забруджвання глебы ¹³⁷Cs была ніжэй на 28 %, што тлумачыцца пераважным напрамкам ветру.

Вывучэнне пераразмеркавання ¹³⁷Cs на глебай катэне № 2м, якая знаходзіцца пераважна ў зоне акумуляцыі, паказвае на значны кантраст усярэдзіне: у зоне максімальнай акумуляцыі шчыльнасць забруджвання ворнага гарызонта ¹³⁷Cs была на 3,2 Ки/км² (39,9 %) вышэй, чым у зоне частковай акумуляцыі/пераносу. Розніца ў шчыльнасці забруджвання паміж паўночна-заходняй і паўднева-ўсходняй часткамі зоны акумуляцыі складала 21,0 %, што блізка да значэнняў катэны № 1м (28,0 %). Гэта пацвярджае ролю дэфляцыі ў гарызантальным пераносе ў дадзеным пэўным глебавым масіве.

Глебавая катэна № 3м закладзена на дзярнова-падзолістых рыхласупясчаных глебах у межах буйнога зямельнага масіву. На цяжэйшай па грануламетрычным складзе глебе інтэнсіўнасць дэфляцыі была ніжэй, таму адрозненні ва ўтрыманні ¹³⁷Cs у ворным гарызонце паміж зонамі максімальнай акумуляцыі і пераносу складала 30,0 %, а не больш за 40 %, як на пясчаных глебах.

Глебавая катэна № 4м была закладзена на дзярнова-падзолістай пясчанай глебе. Асаблівасць яе ў тым, што абедзве зоны акумуляцыі фарміруюцца антрапагеннымі аб'ектамі (агароджа прыватнай забудовы і дарога). Дадзеная катэна размешчана

ў зоне пераважнай акумуляцыі, таму чыстай зоны пераносу на ей не выдзелена. Аднак розніца паміж максімальнай і мінімальнай шчыльнасцю забруджвання глебы ^{137}Cs дасягае 37,9 %.

Маршрутныя даследаванні былі таксама праведзены на арганогенных глебах (табл. 4).

Табліца 4

**Уплыў дэфляцыйных працэсаў на перапамеркаванне ^{137}Cs
на арганогенных глебах**

№ катэны	Зоны ўплыву дэфляцыі	№ пункта	Удзельная актыўнасць, Бк/кг	Шчыльнасць забруджвання Ки/км ²	Адхіленне ад зоны максімальнай акумуляцыі	
					Ки/км ²	%
1а	аккумуляцыя	1	468,30	4,7	-0,2	-4,1
	аккумуляцыя	2	437,56	4,4	-0,5	-10,2
	перанос	3	109,17	1,1	-3,8	-77,6
	аккумуляцыя	4	472,08	4,8	-0,1	-2,0
	аккумуляцыя	5	479,60	4,9	0,0	0,0
2а	аккумуляцыя	1	547,65	5,6	0,0	0,0
	аккумуляцыя/перанос	2	486,95	4,9	-0,7	-12,5
	аккумуляцыя/перанос	3	457,74	4,6	-1,0	-17,9
	аккумуляцыя	4	504,96	5,1	-0,5	-9,0
3а	аккумуляцыя	1	136,95	1,4	-0,4	-22,2
	аккумуляцыя	2	135,76	1,4	-0,4	-22,2
	аккумуляцыя/перанос	3	129,35	1,3	-0,5	-27,8
	перанос	4	96,34	1,0	-0,8	-44,4
	аккумуляцыя	5	175,29	1,8	0,0	0,0
	аккумуляцыя	6	182,05	1,8	0,0	0,0
4а	аккумуляцыя	1	76,42	0,8	0,0	0,0
	аккумуляцыя	2	76,28	0,8	0,0	0,0
	аккумуляцыя/перанос	3	71,57	0,7	-0,1	-12,5
	перанос	4	49,27	0,5	-0,3	-37,5
	аккумуляцыя	5	75,80	0,8	0,0	0,0

Катэна № 1а закладзена ў Добрушскім раене на полі са складаным мазаічным глебавым покрывам: прадстаўлены тарфяна-мінеральныя, рэшткава-тарфяныя і посттарфяныя разнавіднасці дэгратаарфяных глеб. У сувязі з гэтым, на дадзенай катэне адзначаецца максімальнае адрозненне ў шчыльнасці забруджвання паміж зонай пераносу і зонай акумуляцыі, якое дасягае 77,6 %.

Катэна № 2а знаходзіцца ў непасрэднай блізкасці ад катэны 1а. Яна прадстаўлена тарфянымі глебамі і размешчана ніжэй па рэльефу, што абумоўлівае больш працяглы перыяд пераўвільгатнення і, такім чынам, істотна памяншае інтэнсіўнасць праходжання дэфляцыйных працэсаў. Максімальная розніца паміж шчыльнасцямі забруджвання не перавышае 18,0 %.

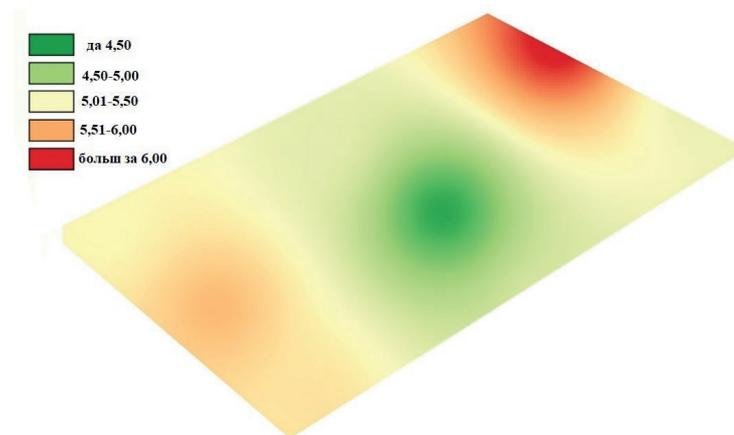
Катэна 3а ўключае тарфяныя і тарфяна-мінеральныя глебы, што адлюстроўваецца ў інтэнсіўнасці дэфляцыйных працэсаў: розніца ў радыеактыўнасці глебавых узораў у зоне максімальнай акумуляцыі і зоне пераносу дасягае 44,4 %. Шчыльнасць забруджвання зоны акумуляцыі пераважных вятроў (паўночна-заходніх і заходніх) вышэй на 22,2 %.

Катэна 4а размешчана на тарфяных і тарфяна-мінеральных глебах. Максімальная розніца ў шчыльнасці забруджвання дасягае 37,5 %.

З мэтай больш дэталёвага даследавання гарызантальнага пераразмеркавання ^{137}Cs на дэфляцыйнабяспечных мінеральных глебах было закладзена два ключавыя ўчасткі ў Веткаўскім і Лунінецкім раёнах.

Атрыманыя дадзеныя апрацаваны з дапамогай праграмнага прадукта QGIS і пабудаваны інтэрпаляцыйныя буйнамаштабныя картаграмы шчыльнасці забруджвання ключавых участкаў.

Фактычнае размеркаванне ^{137}Cs у глебе на ключавым участку адрозніваецца ад прагнознага адсутнасцю зоны максімальнай акумуляцыі ўздоўж дарогі і найвялікай шчыльнасцю забруджвання паўночнай часткі ўчастка (мал. 1). Максімальнае забруджванне паўночнай часткі абумоўлена першапачатковым нераўнамерным выпадзеннем радыенукліду. Невысокая шчыльнасць забруджвання ўздоўж дарогі можа быць звязана з перакрыццем насыпнымі грунтам пры дарожных працах. Астатнія зоны сфарміраваны паводле ўздзеяння дэфляцыі – мінімум у цэнтральнай частцы поля, максімум каля ветравых перашкод.



Мал. 1. Картаграма шчыльнасці забруджвання ^{137}Cs ключавога ўчастка ў Веткаўскім раёне, Ки/км^2

У Лунінецкім раёне на ключавым участку прасторавая неаднастайнасць забруджвання глебы ^{137}Cs фарміравалася ў выніку працэсаў дэфляцыі. Найбольшае забруджванне было характэрна для тэрыторый, прылеглых да дарогі, лесапаласы і меліярацыйным каналам, найменшае – для цэнтральнай і паўднева-ўсходняй часткам ключавога ўчастка (мал. 2). Згодна з ружай вятроў у паўднева-ўсходняй частцы павінна быць зона акумуляцыі, аднак яна адсутнічала, што звязана з нераўнамернасцю выпадзення радыенукліду. Гэта пацвярджаецца картамі радыеактыўнага забруджвання – тэрыторыі на ўсход ад ключавога ўчастка характарызуюцца як незабруджаныя (шчыльнасць забруджвання $^{137}\text{Cs} < 1 \text{ Ки/км}^2$).

У ходзе даследаванняў былі ўзяты пробы навяянага (дэфляцыйнага) матэрыялу, прадстаўленага рыхлым пяском, які актыўна перамяшчаецца вятрамі – 9–10 м/с. Удзельная актыўнасць ^{137}Cs у пробах вар'іравала ў дыяпазонах 50–80 Бк/кг (шчыльнасць забруджвання каля 1 Ки/км^2).

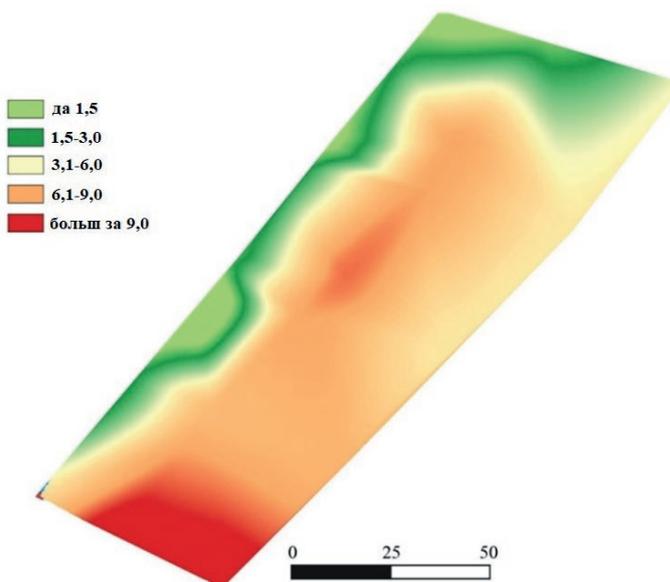
Улічваючы павелічэнне паўтаральнасці глебавых засух і верагоднасці ўзнікнення пылавых бур, варта праводзіць супрацьдэфляцыйную арганізацыю тэрыторыі для прадукінення забруджвання новых тэрыторый.

На арганагенных глебах таксама было закладзена два ключавых ўчасткі.



Мал. 2. Картаграма шчыльнасці забруджвання ^{137}Cs ключавага ўчастка ў Лунінецкім раене, Ки/км^2

На ключавым участку ў Веткаўскім раене максімальная шчыльнасць забруджвання адзначаецца ў паўднева-ўсходняй частцы (мал. 3), што цалкам адпавядае прагнознаму размеркаванню радыенукліду дэфляцыйнымі працэсамі. У той жа час цэнтральная частка забруджана досыць раўнамерна, што звязана з высокай вільготнасцю глебы і, такім чынам, меншай схільнасцю да дэфляцыі.

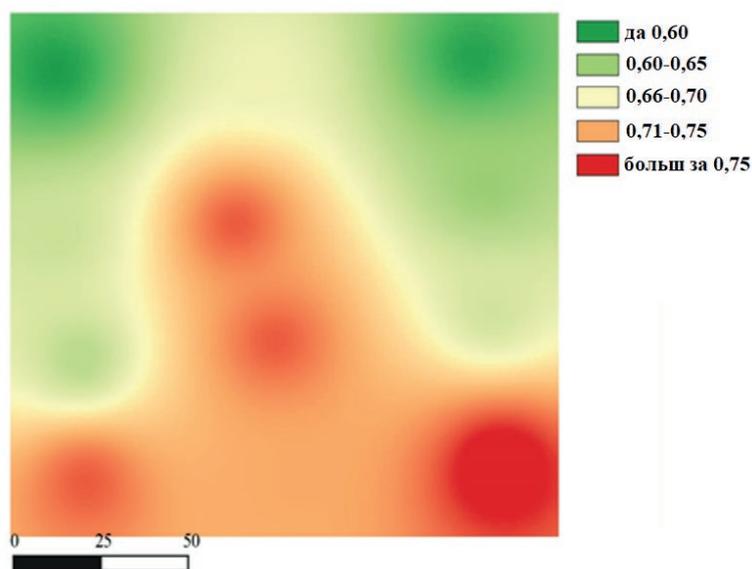


Мал.3. Картаграма шчыльнасці забруджвання ^{137}Cs ключавага ўчастка ў Веткаўскім раене, Ки/км^2

Глебавыя ўзоры, адабраныя ў заходняй і паўночнай частцы, валодаюць удзельнай актыўнасцю на парадак меншай, чым у зоне акумуляцыі. Найбольш верагодным тлумачэннем з'яўляецца тое, што вакол ключавага ўчастка ў дадзеных месцах размешчаюцца меліярацыйныя каналы, пры чыстцы якіх першапачатковая дзенная паверхня была перакрыта адкладамі з каналаў. Даследаваннямі ўстаноўлена, што радыенуклід цэзію не валодае здольнасцю да актыўнай вертыкальнай міграцыі [9], такім чынам, пасля перакрыцця першапачатковай глебавай паверхні, удзельная актыўнасць верхніх гарызонтаў глебы істотна паменшылася.

Ключавы ўчастак у Лунінецкім раене быў закладзены ў масіве тарфяных і дэ-гратарфяных глеб.

Цэнтральная частка прадстаўлена тарфянымі глебамі з найменшымі абсалютнымі вышынямі. На дадзеным аб'екце даследаванняў адзначаецца зона акумуляцыі ў паўднева-ўсходняй частцы ўчастка, а таксама зоны вынасу ў паўночнай (мал. 4). У той жа час у цэнтральнай частцы вывучаемага ўчастка, шчыльнасць забруджвання таксама набліжаецца да максімальных велічынь, а ва ўсходняй частцы, дзе павінна занходзіцца зона частковай акумуляцыі, яна некалькі ніжэй.



Мал. 4. Картаграма шчыльнасці забруджвання ¹³⁷Cs ключавага ўчастка ў Лунінецкім раене, Ки/км²

На гэтым аб'екце даследаванняў ключавую ролю ў пераразмеркаванні радыеактыўнага цэзію адыгрывае глебавае покрыва. Цэнтральная частка прадстаўлена тарфянымі глебамі, якія большую частку года знаходзяцца ў пераўвільготненым стане і практычна не падвяргаюцца ўплыву дэфляцыі. Усходняя частка ж прадстаўлена дэ-гратарфянымі глебамі, якія, наадварот, найбольш схільныя да ўздзеяння дэфляцыйных працэсаў.

ВЫВАДЫ

Вынікі, атрыманыя падчас маршрутных глебавых экспедыцый, паказалі, што на пясчаных, рыхласупячаных, тарфяных і дэградаваных тарфяных глебах ворных земляў адбываецца перапамеркаванне ^{137}Cs з працэсамі дэфляцыі. Уздоўж натуральных і антрапагенных перашкод фарміруюцца зоны акумуляцыі дэфляцыйнага (навеянага) матэрыялу з падвышаным утрыманнем у ім радыенукліду. На рыхласупячаных глебах розніца ў шчыльнасці забруджвання паміж зонай пераносу і акумуляцыі дасягае 30,0 %, а на пясчаных глебах – 45,0 %.

Ступень схільнасці да дэфляцыйных працэсаў знаходзіцца ў цеснай узаемасувязі са ступенню дэградацыі тарфяных глеб. На тарфяных і тарфяна-мінеральных глебах розніца ў шчыльнасці забруджвання паміж зонай пераносу і акумуляцыі складае да 37,5 %, а на рэшткава-тарфяных і посттарфяных глебах – дасягае велічынь больш за 75,0 %.

Зоны максімальнай акумуляцыі радыенуклідаў адпавядаюць паўднева-ўсходнім участкам палеў, што абумоўлена пераважнымі напрамкамі ветру. Пры гэтым варта адзначыць, што на арگانагенных глебах ключавую ролю гуляе водны рэжым, у шматлікіх выпадках на палях з тарфянымі глебамі прысутнічаюць зоны пастаяннага пераўвільгатнення, з паверхні якіх пераносу глебавых часціц практычна не адбываецца.

СПІС ЛІТАТУРЫ

1. *Червань, А. Н.* Методические подходы и практическое применение результатов оценки деградации земель/почв Беларуси / А. Н. Червань, Н. Н. Цыбулько, В. М. Яцухно // Известия РАН. Сер. географическая. – 2022. – Т. 86. – № 1. – С. 55–68.
2. Атлас почв сельскохозяйственных земель Республики Беларусь / В. В. Лапа [и др.]; под общ. ред. В. В. Лапа, А. Ф. Черныша; Ин-т почвоведения и агрохимии. – Минск: ИВЦ Минфина, 2017. – 170 с.
3. Атлас современных и прогнозных аспектов последствий аварии на Чернобыльской АЭС на пострадавших территориях России и Беларуси; под ред. Ю. А. Израэля, И. М. Богдевича. – М.: Фонд «Инфосфера – НИА – Природа»; Минск: Белкартография, 2009. – 140 с.
4. *Цырибко, В. Б.* Перераспределение ^{137}Cs дефляционными процессами / В. Б. Цырибко, А. М. Устинова, Н. Н. Цыбулько // Природнае асяроддзе Палесся: асаблівасці і перспектывы развіцця: зб. навук. прац VIII Міжнароднай канферэнцыі «Прыроднае асяроддзе Палесся і навукова-практычныя аспекты рэсурсакарыстання», Брэст, 12–14 верасня 2018 г. / Палескі аграрна-экалагічны інстытут НАН Беларусі; рэдкал. М. В. Міхальчук (гал. рэд.) [і інш.]. – Брэст: Альтернатыва, 2018. – Вып. 11. – С. 103–105.
5. *Dolgilevich, M. I.* Wind erosion as a factor of radionuclide contamination of North Ukrainian landscapes / M. I. Dolgilevich // E.S.S.C. Newsletter 2 – 1996. – P. 16–18.
6. *Черныш А. Ф.* Агроэкологическая оценка и группировка дефляционноопасных земель агроландшафтов Белорусского Полесья / А. Ф. Черныш, Н. Н. Цыбулько, Л. А. Тишук // Почвоведение и агрохимия: сб. науч. тр.; Белорусский научно-исследовательский институт почвоведения и агрохимии. – Минск, 1998. – Вып. 30. – С. 23–32.

7. *Цыбулько, Н. Н.* Дефляция почв и горизонтальный перенос ^{137}Cs / Н. Н. Цыбулько // Радиационная биология. Радиоэкология. – 2006. – Т. 46. – № 1. – С. 96–102.
8. *Черныш, А. Ф.* Миграция и аккумуляция радионуклидов в эродированных агроландшафтах Белорусского Полесья / А. Ф. Черныш, В. С. Аношко // Вестник БГУ. Сер. химия. Биология. География. – 2006. – № 1. – С. 98–102.
9. *Анисимов, В. С.* Вертикальная миграция ^{137}Cs чернобыльских выпадений в различных ландшафтах / В. С. Анисимов, В. К. Кузнецов, А. И. Санжаров // Радиационная биология. Радиоэкология. – 2021. – Т. 61 – № 3. – С. 286–300.

INFLUENCE OF DEFLATIONARY PROCESSES ON THE REDISTRIBUTION OF ^{137}Cs ON ARABLE LAND

V. B. Tsyrybka, I. A. Lahachou, A. G. Padalyak, H. M. Ustsinava

Summary

The article presents data on the redistribution of ^{137}Cs as a result of deflationary processes. It has been established that along natural and anthropogenic obstacles, zones of accumulation of deflation material with an increased content of radionuclide are formed. On loose-sand soils, the difference in pollution density between the transport and accumulation zone reaches 30,0 %, on sandy soils – 45,0 %, on peat and peat-mineral soils – up to 37,5 %, and on residual peat and post-peat soils – 75,0 %.

The zones of maximum accumulation of radionuclides correspond to the south-eastern parts of the fields, which is due to the prevailing wind directions. At the same time, it should be noted that the water regime plays a key role on organic soils, as they have zones of permanent overwetting, from the surface of which there is practically no transfer of soil particles.

Паступила 16.10.23

2. ПЛОДОРДИЕ ПОЧВ И ПРИМЕНЕНИЕ УДОБРЕНИЙ

УДК 631.81:631.445

СОДЕРЖАНИЕ И ЗАПАСЫ ЭЛЕМЕНТОВ ПИТАНИЯ В МОРТМАССЕ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ СИСТЕМ УДОБРЕНИЯ И ПРИЕМОВ ОБРАБОТКИ ВЫСОКО- И СРЕДНЕОКУЛЬТУРЕННЫХ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТЫХ ПОЧВ

Е. Н. Богатырева, Т. М. Серая, Т. М. Кирдун,
Ю. А. Симанкова, М. М. Торчило

*Институт почвоведения и агрохимии,
г. Минск, Беларусь*

ВВЕДЕНИЕ

Важнейшей основой устойчивого развития сельскохозяйственного производства, обеспечивающей получение конкурентоспособной продукции с наименьшими затратами при максимизации прибыли, является рациональное управление почвенными процессами, определяющими плодородие почв. К числу главных показателей, определяющих качество земель, относятся органическое вещество почвы и его основной компонент – гумус, которые, являясь крупнейшим аккумулятивным резервуаром вещества и энергии в биосфере, представляют собой незаменимый агропроизводственный ресурс, способствующий оптимизации жизненно важных для растений свойств почвы.

Однако в ряде научных публикаций [1–6] показано, что между содержанием гумуса в почве и продуктивностью возделываемых культур не всегда существует прямая связь, в некоторых случаях малогумусные почвы имеют высокое эффективное плодородие и, наоборот, урожай невелик при высоком содержании гумуса. В связи с этим, по мнению многих ученых [7–10], определение только содержания гумуса не раскрывает всей сути положительного воздействия органического вещества на продукционную способность почв, поскольку в условиях интенсификации сельскохозяйственного производства урожайность культур лимитируется другими факторами.

И. Н. Шарков отмечал, что почвы с большей емкостью круговорота биогенных элементов будут обладать и более высоким уровнем эффективного плодородия, который целесообразно оценивать по содержанию в почве легкоминерализуемого (лабильного) органического вещества (ЛОВ) [7]. В составе лабильного органического вещества почв можно выделить две основные группы, которые различаются между собой по составу, свойствам, методам экстрагирования – это лабильные гумусовые вещества (подвижный гумус) и легкоразлагаемое органическое вещество.

Согласно А. А. Титляновой, легкоразлагаемое органическое вещество состоит из разнородных фракций: живой фитомассы, мертвой фитомассы – мортмассы, измельченных перемешанных остатков фитомассы, мортмассы, животных тканей – детрит, микроорганизмов и др., являясь ближайшим резервом биогенных элементов для растений [11].

В научной литературе данные о содержании и запасах элементов питания в мортмассе (ММ) представлены довольно ограничено. В России исследования в этом направлении проводили И. В. Русакова, О. А. Власенко, Н. Ф. Балабанова и Н. А. Воронкова [12–15]. В Республике Беларусь этот вопрос изучен довольно слабо.

Цель исследований – установление содержания и запасов элементов питания в мортмассе в разнокультурных дерново-подзолистых почвах при традиционной и поверхностной обработке в зависимости от применяемых систем удобрения.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Полевые опыты с озимой пшеницей заложены на опытных полях Института почвоведения и агрохимии, расположенных в ПРУП «Экспериментальная база им. Котовского» на среднекультурной дерново-подзолистой супесчаной почве и в ОАО «Гастелловское» на высококультурной дерново-подзолистой суглинистой почве. В опытах изучали три фактора: А – приемы основной обработки почвы (вспашка на глубину 20–22 см и дискование на глубину 10–12 см); В – системы удобрения; С – глубина отбора почвенных образцов. Схемы опытов представлена в таблицах 1 и 2.

Перед закладкой опытов поделяночно отобраны почвенные образцы. Пахотный слой среднекультурной почвы имел следующие агрохимические показатели: pH_{KCl} 5,17–5,91, содержание гумуса – 1,75–2,40 %, подвижных форм фосфора – 133–186 мг/кг и калия – 146–239 мг/кг почвы, обменных соединений СаО – 882–1162 мг/кг и MgO – 128–205 мг/кг. Высококультурная почва характеризовалась показателями: pH_{KCl} 5,99–6,93, содержание гумуса – 1,93–2,62 %, подвижных форм фосфора – 409–583 мг/кг и калия – 250–345 мг/кг почвы, обменных соединений СаО – 1539–2689 мг/кг и MgO – 214–393 мг/кг почвы.

После уборки солому измельчали и равномерно распределяли по делянкам. Согласно схеме опытов, на супесчаной почве под озимую пшеницу в среднем запахано 3,0 т/га соломы горохо-овсяной смеси, на суглинистой – 2,5 т/га соломы озимого рапса; затем вносили удобрение микробиологическое «Жыцень» в дозе 3 л/га или компенсирующую дозу азота в виде КАС и задисковывали. Через две недели в 1-м блоке проводили вспашку, во 2-м – дискование в один след. Фосфорные и калийные удобрения внесены под основную обработку почвы, азотные – в три подкормки: в начале ранневесенней вегетации, в фазы первый узел и флаг-лист (из расчета $N_{70+40+40}$ на супесчаной почве и $N_{90+40+50}$ – на суглинистой). В варианте с внесением 40 т/га подстильного навоза КРС на среднекультурной почве дозы внесения азота в первые две подкормки были на 10 кг/га ниже и составили $N_{60+30+40}$; на высококультурной почве только в первую подкормку доза азота была снижена на 30 кг/га, всего внесено $N_{60+40+50}$.

В течение вегетации растений озимой пшеницы поделяночно отбирали почвенные образцы: весной в фазу кущения (главный побег и 2 побега кущения) (1-й отбор), в фазы выхода флаг-листа перед подкормкой азотными удобрениями посевов (2-й отбор) и созревания (перед уборкой) (3-й отбор).

В почвенных образцах основные агрохимические показатели определены по общепринятым методикам: гумус – по Тюрину в модификации ЦИНАО (ГОСТ 26213-91); обменная кислотность pH_{KCl} – потенциометрическим методом (ГОСТ 26483-85); подвижные формы фосфора и калия – по Кирсанову (ГОСТ 26207-91), обменные кальций и магний в 1 М KCl-вытяжке с определением на атомно-абсорбционном спектрофотометре AAS-30 (ГОСТ 26487-85).

Мортмассу отделяли от почвы по методике, изложенной в работе [16]: навеску почвы 200 г, пропущенную через сито с диаметром ячейки 2 мм, заливали в колбе 400 мл воды, настаивали 30 мин. Затем содержимое колбы интенсивно перемешивали и быстро выливали на сито с диаметром ячеек 0,25 мм. С помощью промывалки почву на сите отмывали до чистой воды, всю массу с сита переносили в химический стакан, заливали водой, взбалтывали и всплывшую часть ММ переносили вновь на сито. Так делали до полного перенесения мортмассы из стакана на сито. Затем ее высушивали при температуре 60 °С. В образцах мортмассы общий азот определяли по ГОСТ 13496.4-93, фосфор – по ГОСТ 26657-85, калий – по ГОСТ 30504-97.

Для выявления зависимостей между изучаемыми показателями проведен парный корреляционно-регрессионный анализ согласно методике полевого опыта Б. А. Доспехова с использованием соответствующих программ пакета MSExcel [17].

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В среднекультуренной почве в период наблюдений применяемые агроприемы практически не влияли на содержание элементов питания в мортмассе в слоях 0–10 см и 10–20 см (табл. 1). Однако отмечено, что в блоке со вспашкой внесенные удобрения обеспечили либо положительную тенденцию повышения N в мортмассе, либо его достоверное увеличение относительно контроля в начале активной вегетации озимой пшеницы и к фазе выхода флаг-листа. Независимо от приемов основной обработки почвы в сезонной динамике N в ММ в этой почве наблюдалось увеличение его содержания в изучаемых слоях с 1,20–1,49 % весной при возобновлении вегетации до 1,78–2,34 % к фазе выхода флаг-листа и затем снижение к моменту уборки урожая до показателей, полученных при 1-м отборе (1,26–1,55 %). По фосфору отмечено постепенное повышение его содержания в ММ от начала вегетации озимой пшеницы к фазе созревания с 0,55–0,67 % до 0,66–0,78 %, в то время как для калия, наоборот, снижение с 0,33–0,42 % до 0,27–0,36 %.

В суглинистой почве, точно также, как и в супесчаной в изучаемых слоях независимо от приемов обработки в ходе исследований не установлено достоверных различий в содержании фосфора и калия в ММ под влиянием применяемых систем удобрения (табл. 2). Что касается концентрации азота в ММ в удобренных вариантах, то сложно выявить определенный тренд. Наибольшее влияние на его накопление в ММ внесенные удобрения оказали при обоих способах обработки ко 2-му отбору. Отличительной особенностью суглинистой почвы в слое 0–10 см при замене традиционной обработки почвы на поверхностную являлось более высокое содержание азота и фосфора в ММ в отдельных вариантах к фазам выхода флаг-листа и созревания, чего не наблюдалось в супесчаной почве.

В распределении азота и фосфора в ММ в суглинистой почве при дисковании также обнаружены некоторые отличия от супесчаной: установлена дифференциация

ПЛОДОРОДИЕ ПОЧВ И ПРИМЕНЕНИЕ УДОБРЕНИЙ

почвенных слоев по содержанию азота и фосфора к фазе выхода флага-листа (исключение N в варианте с внесением КАС по соломе). Так, в слое 0–10 см концентрация N по вариантам составила 1,32–1,59 %, фосфора – 0,43–0,45 % против 1,19–1,33 % и 0,33–0,39 % соответственно в слое 10–20 см. Для динамики азота и фосфора при обоих способах обработки в изучаемых слоях этой почвы характерно увеличение содержания в ММ от фазы кущения к фазе выхода флага-листа и последующее снижение к уборке, в то время как для калия наблюдалась тенденция снижения ко 2-му отбору и повышения к 3-му.

Таблица 1

Содержание элементов питания в мортмассе дерново-подзолистой супесчаной почвы в зависимости от систем удобрения и приемов обработки почвы, % на сухое вещество

Вариант	Глубина отбора, см	N			P ₂ O ₅			K ₂ O		
		отбор								
		1-й	2-й	3-й	1-й	2-й	3-й	1-й	2-й	3-й
Вспашка										
1. Без удобрений (контроль 1)	0–10	1,29	1,96	1,44	0,56	0,61	0,68	0,41	0,38	0,34
	10–20	1,20	1,78	1,26	0,60	0,67	0,67	0,36	0,39	0,33
2. N ₇₀₊₄₀₊₄₀ P ₆₅ K ₁₁₅ – фон	0–10	1,49	2,33	1,44	0,63	0,62	0,70	0,38	0,36	0,35
	10–20	1,48	2,25	1,43	0,67	0,70	0,69	0,41	0,39	0,34
3. ПН КРС, 40 т/га + N ₆₀₊₃₀₊₄₀ P ₄₀ K ₃₅	0–10	1,49	2,27	1,47	0,62	0,64	0,70	0,40	0,38	0,36
	10–20	1,42	2,24	1,44	0,61	0,71	0,70	0,42	0,38	0,33
4. Фон + солома, 3 т/га	0–10	1,47	2,11	1,32	0,59	0,60	0,70	0,42	0,37	0,35
	10–20	1,40	2,14	1,44	0,62	0,68	0,78	0,38	0,38	0,34
5. Фон + солома + Жы- цень, 3 л/га	0–10	1,44	2,03	1,55	0,60	0,61	0,68	0,38	0,38	0,33
	10–20	1,39	2,03	1,51	0,63	0,65	0,73	0,33	0,34	0,32
6. Фон + солома + N _{20(КАС)}	0–10	1,31	2,12	1,50	0,57	0,62	0,66	0,40	0,37	0,32
	10–20	1,40	2,05	1,44	0,61	0,65	0,71	0,34	0,36	0,33
Дискование										
1. Без удобрений (контроль 2)	0–10	1,30	2,09	1,44	0,55	0,62	0,69	0,40	0,37	0,31
	10–20	1,35	1,95	1,40	0,61	0,61	0,69	0,33	0,35	0,28
2. N ₇₀₊₄₀₊₄₀ P ₆₅ K ₁₁₅ – фон	0–10	1,44	2,10	1,55	0,62	0,69	0,76	0,38	0,38	0,33
	10–20	1,49	1,89	1,47	0,64	0,69	0,70	0,36	0,36	0,27
3. ПН КРС, 40 т/га + N ₆₀₊₃₀₊₄₀ P ₄₀ K ₃₅	0–10	1,37	2,15	1,47	0,62	0,66	0,72	0,40	0,39	0,32
	10–20	1,40	2,02	1,47	0,62	0,69	0,71	0,36	0,36	0,27
4. Фон + солома, 3 т/га	0–10	1,32	2,09	1,36	0,64	0,64	0,71	0,41	0,39	0,36
	10–20	1,38	1,81	1,42	0,59	0,65	0,71	0,32	0,36	0,28
5. Фон + солома + Жыцень, 3 л/га	0–10	1,43	2,34	1,40	0,61	0,65	0,67	0,41	0,42	0,32
	10–20	1,38	2,03	1,30	0,63	0,69	0,73	0,35	0,39	0,29
6. Фон + солома + N _{20(КАС)}	0–10	1,35	2,10	1,33	0,62	0,69	0,66	0,35	0,41	0,36
	10–20	1,28	2,07	1,31	0,64	0,68	0,70	0,36	0,34	0,28
НСР ₀₅ фактор А		0,18	0,27	0,18	0,08	F _{факт} <F ₀₅	0,09	F _{факт} <F ₀₅	F _{факт} <F ₀₅	0,04
НСР ₀₅ фактор В		0,16	0,23	0,17	0,07	0,08	0,07	0,05	0,05	0,05
НСР ₀₅ фактор С		0,10	0,28	0,16	0,06	0,09	0,08	F _{факт} <F ₀₅	0,04	F _{факт} <F ₀₅

Содержание элементов питания в мортмассе дерново-подзолистой суглинистой почвы в зависимости от систем удобрения и приемов обработки почвы, % на сухое вещество

Вариант	Глубина отбора, см	N			P ₂ O ₅			K ₂ O		
		отбор								
		1-й	2-й	3-й	1-й	2-й	3-й	1-й	2-й	3-й
Вспашка										
1. Без удобрений (контроль 1)	0–10	0,91	1,16	0,98	0,14	0,28	0,16	0,50	0,38	0,55
	10–20	0,93	1,12	1,05	0,16	0,29	0,20	0,46	0,39	0,50
2. N ₉₀₊₄₀₊₅₀ P ₃₀ K ₆₀ – фон	0–10	1,06	1,26	1,08	0,17	0,30	0,17	0,57	0,41	0,57
	10–20	1,01	1,19	1,12	0,20	0,29	0,26	0,50	0,38	0,50
3. ПН КРС, 40 т/га + N ₆₀₊₄₀₊₅₀	0–10	1,01	1,24	0,98	0,16	0,33	0,18	0,56	0,42	0,59
	10–20	0,96	1,23	1,12	0,20	0,34	0,20	0,54	0,39	0,52
4. Фон + солома, 2,5 т/га	0–10	0,90	1,23	1,14	0,15	0,29	0,22	0,52	0,39	0,58
	10–20	0,96	1,18	1,12	0,22	0,35	0,21	0,50	0,42	0,51
5. Фон + солома + Жыцень, 3 л/га	0–10	1,06	1,33	1,13	0,19	0,36	0,21	0,55	0,42	0,53
	10–20	1,11	1,33	1,12	0,22	0,38	0,22	0,53	0,36	0,56
6. Фон + солома + N _{25(КАС)}	0–10	0,98	1,37	1,19	0,16	0,34	0,23	0,58	0,45	0,52
	10–20	1,05	1,33	1,12	0,19	0,38	0,24	0,51	0,43	0,50
Дискование										
1. Без удобрений (контроль 2)	0–10	1,04	1,32	1,00	0,16	0,39	0,24	0,51	0,37	0,57
	10–20	1,05	1,19	1,09	0,20	0,39	0,22	0,47	0,38	0,54
2. N ₉₀₊₄₀₊₅₀ P ₃₀ K ₆₀ – фон	0–10	1,11	1,59	1,16	0,19	0,48	0,27	0,55	0,45	0,59
	10–20	0,98	1,33	1,12	0,19	0,43	0,27	0,52	0,48	0,58
3. ПН КРС, 40 т/га + N ₆₀₊₄₀₊₅₀	0–10	1,05	1,44	1,21	0,17	0,45	0,24	0,50	0,41	0,57
	10–20	0,96	1,23	1,02	0,20	0,39	0,25	0,53	0,39	0,61
4. Фон + солома, 2,5 т/га	0–10	0,96	1,51	1,25	0,19	0,45	0,27	0,50	0,46	0,62
	10–20	1,04	1,26	1,12	0,23	0,49	0,23	0,54	0,45	0,60
5. Фон + солома + Жыцень, 3 л/га	0–10	1,23	1,59	1,33	0,18	0,49	0,33	0,50	0,47	0,56
	10–20	0,99	1,31	1,10	0,20	0,47	0,25	0,58	0,52	0,58
6. Фон + солома + N _{25(КАС)}	0–10	1,19	1,33	1,24	0,20	0,44	0,32	0,56	0,46	0,59
	10–20	1,09	1,26	1,12	0,19	0,47	0,27	0,54	0,43	0,57
НСР ₀₅ фактор А		F _{факт} < F ₀₅	0,16	0,16	F _{факт} < F ₀₅	F _{факт} < F ₀₅	F _{факт} < F ₀₅	0,08	F _{факт} < F ₀₅	0,07
НСР ₀₅ фактор В			0,16	0,18	0,15	F _{факт} < F ₀₅	0,05	0,04	0,07	F _{факт} < F ₀₅
НСР ₀₅ фактор С			0,14	0,14	0,15	F _{факт} < F ₀₅	0,05	F _{факт} < F ₀₅	0,08	0,08

Анализ показал, что в почвах запасы элементов питания в ММ в большей степени зависели от ее количества в вариантах опыта и срока отбора почвенных проб и в меньшей мере от применяемых агроприемов (табл. 3 и 4).

Таблица 3

Запасы элементов питания в мортмассе в разных слоях дерново-подзолистой супесчаной почвы в зависимости от систем удобрения и приемов обработки почвы, кг/га

Вариант	Глубина отбора, см	N			P ₂ O ₅			K ₂ O		
		отбор								
		1-й	2-й	3-й	1-й	2-й	3-й	1-й	2-й	3-й
Вспашка										
1. Без удобрений (контроль 1)	0–10	60	68	58	26	21	27	19	13	14
	10–20	53	62	51	27	24	27	16	14	13
2. N ₇₀₊₄₀₊₄₀ P ₆₅ K ₁₁₅ – фон	0–10	69	94	69	29	25	34	18	14	17
	10–20	64	93	64	29	29	31	18	16	15
3. ПН КРС, 40 т/га + N ₆₀₊₃₀₊₄₀ P ₄₀ K ₃₅	0–10	92	97	78	38	27	37	25	16	19
	10–20	94	100	71	40	31	35	27	17	16
4. Фон + солома, 3 т/га	0–10	84	93	70	34	26	37	24	16	19
	10–20	75	97	71	33	31	38	20	17	17
5. Фон + солома + Жыцень, 3 л/га	0–10	89	113	84	37	34	36	23	21	18
	10–20	88	112	81	40	36	39	21	19	17
6. Фон + солома + N _{20(КАС)}	0–10	83	99	75	36	29	33	25	17	16
	10–20	82	102	70	36	32	35	20	18	16
Дискование										
1. Без удобрений (контроль 2)	0–10	63	81	52	26	24	25	19	14	11
	10–20	57	88	62	26	27	31	14	16	12
2. N ₇₀₊₄₀₊₄₀ P ₆₅ K ₁₁₅ – фон	0–10	68	113	69	29	37	34	18	21	14
	10–20	64	103	78	27	38	37	15	19	14
3. ПН КРС, 40 т/га + N ₆₀₊₃₀₊₄₀ P ₄₀ K ₃₅	0–10	90	117	73	40	36	36	26	21	16
	10–20	64	102	74	28	35	36	16	18	13
4. Фон + солома, 3 т/га	0–10	84	114	68	41	35	35	26	21	18
	10–20	62	96	74	26	34	37	14	19	15
5. Фон + солома + Жыцень, 3 л/га	0–10	97	115	68	41	32	33	28	20	16
	10–20	65	113	70	30	38	39	17	21	16
6. Фон + солома + N _{20(КАС)}	0–10	92	113	61	42	37	30	24	22	16
	10–20	62	115	73	31	37	39	18	19	16

Таблица 4

Запасы элементов питания в мортмассе в разных слоях дерново-подзолистой суглинистой почвы в зависимости от систем удобрения и приемов обработки почвы, кг/га

Вариант	Глубина отбора, см	N			P ₂ O ₅			K ₂ O		
		отбор								
		1-й	2-й	3-й	1-й	2-й	3-й	1-й	2-й	3-й
Вспашка										
1. Без удобрений (контроль 1)	0–10	35	49	35	5	12	6	19	16	19
	10–20	35	47	49	6	12	9	17	16	23
2. N ₉₀₊₄₀₊₅₀ P ₃₀ K ₆₀ – фон	0–10	41	57	47	7	14	7	22	18	25
	10–20	38	58	58	8	14	13	19	18	26

Вариант	Глубина отбора, см	N			P ₂ O ₅			K ₂ O		
		отбор								
		1-й	2-й	3-й	1-й	2-й	3-й	1-й	2-й	3-й
3. ПН КРС, 40 т/га + N ₆₀₊₄₀₊₅₀	0–10	38	65	49	6	17	9	21	22	30
	10–20	37	71	69	8	19	12	21	22	32
4. Фон + солома, 2,5 т/га	0–10	39	64	43	6	15	8	23	20	22
	10–20	40	67	54	9	20	10	21	24	25
5. Фон + солома + Жы-цень, 3 л/га	0–10	35	65	40	6	18	8	18	21	19
	10–20	38	70	54	8	20	10	18	19	25
6. Фон + солома + N _{25(КАС)}	0–10	36	62	44	6	15	9	21	20	21
	10–20	38	62	59	7	18	12	19	20	26
Дискование										
1. Без удобрений (контроль 2)	0–10	47	46	36	7	14	9	23	13	21
	10–20	35	39	40	7	13	8	16	12	20
2. N ₉₀₊₄₀₊₅₀ P ₃₀ K ₆₀ – фон	0–10	54	55	55	9	17	13	27	16	28
	10–20	32	43	45	6	14	11	17	15	23
3. ПН КРС, 40 т/га + N ₆₀₊₄₀₊₅₀	0–10	64	81	62	10	25	12	30	23	29
	10–20	35	50	46	7	16	11	19	16	28
4. Фон + солома, 2,5 т/га	0–10	54	61	49	10	18	11	28	19	24
	10–20	37	44	45	8	17	9	19	16	24
5. Фон + солома + Жы-цень, 3 л/га	0–10	59	70	53	8	22	13	24	21	22
	10–20	35	47	44	7	17	10	21	18	23
6. Фон + солома + N _{25(КАС)}	0–10	48	68	56	8	22	15	22	23	27
	10–20	40	45	41	7	17	10	20	15	21

Наибольшие запасы азота в ММ в удобренных вариантах независимо от приемов обработки почв отмечены в фазу выхода флаг-листа (исключение вариант с внесением минеральных удобрений как по вспашке, так и дискованию в слое 10–20 см суглинистой почвы).

По фосфору четко выраженный максимум запасов в ММ суглинистой почвы также отмечен в эту фазу; супесчаной – наблюдаемые тенденции зависели от применяемых агроприемов: в блоке со вспашкой при минеральной системе удобрения и по запаханной соломе несколько более высокое накопление этого элемента приурочено к уборке урожая, в остальных вариантах – весной при возобновлении вегетации; в блоке с дискованием в слое 0–10 см также наибольшие показатели получены при 1-м отборе (кроме минерального фона), в слое 10–20 см – при 3-м.

В период наблюдений наиболее высокие запасы калия в ММ супесчаной почвы по вспашке (0–20 см) и дискованию в слое 0–10 см обнаружены в фазу кущения (главный побег и 2 побега кущения), в слое 10–20 см – к фазе выхода флаг-листа. В суглинистой почве максимум запасов калия в нижнем слое по вспашке и дискованию установлен перед уборкой; его ярко выраженного максимума в верхнем слое по вспашке не наблюдалось, по дискованию запасы калия в начале и конце вегетации были практически равноценны и меньше – в фазу выхода флаг-листа.

Что касается применяемых систем удобрения, то в суглинистой почве наибольшие запасы элементов питания в ММ во все сроки отбора получены при дисковании

в слое 0–10 см при органоминеральной системе удобрения с внесением 40 т/га подстилочного навоза (прибавка азота в зависимости от срока отбора составила 36–76 %, фосфора – 30–79 %, калия – 30–77 %). В супесчаной почве наиболее благоприятным агрохимическим фоном с точки зрения накопления этих элементов в ММ весной в фазу кущения (главный побег и 2 побега кущения) являлась органоминеральная система удобрения с обработкой соломы удобрением Жыцень также по дискованию в слое 0–10 см (прирост по азоту достиг 54 %, по фосфору – 58 %, по калию – 47 %); в последующие сроки отбора – четких тенденций не выявлено.

По вариантам опыта в изучаемых слоях обеих почв по вспашке установлено довольно равномерное распределение запасов элементов питания, сосредоточенных в ММ, только перед уборкой в нижнем слое суглинистой почвы накапливалось азота в мортмассе в среднем на 33 % больше, чем в верхнем, фосфора – на 38 %, по калию превышение установлено лишь в вариантах с обработанной соломой (+24–32 %).

В блоке с дискованием весной в фазу кущения озимой пшеницы запасы элементов питания в ММ в слое 10–20 см супесчаной почвы в удобренных вариантах в среднем на 27–38 % ниже, чем в слое 0–10 см (кроме минерального фона, где различий не наблюдалось); к фазе выхода флага-листа – разница практически отсутствовала, что сохранялось до созревания, а по фосфору в вариантах с заделкой соломы даже было выше на 14–29 % в слое 10–20 см, по азоту – на 10–19 % в вариантах с обработанной соломой и внесением только минеральных удобрений.

В суглинистой почве при дисковании в течение всего срока исследований наблюдалась дифференциация почвенных слоев по накоплению элементов питания: в слое 10–20 см их запасы в ММ в удобренных вариантах в фазы кущения и выхода флага-листа озимой пшеницы были меньше в среднем на 20–36 %; к моменту уборки по азоту и фосфору – на 20–23 %, по калию – на 17–22 % при минеральной системе удобрения и при обработке соломы компенсирующей дозой азота в виде КАС, в остальных вариантах разница отсутствовала.

В сезонной динамике азота в ММ при обоих способах обработки в изучаемых слоях среднекультуренной почвы наблюдалось увеличение его запасов от начала активной вегетации озимой пшеницы к фазе выхода флага-листа на 11–84 % и затем снижение к фазе созревания на 15–46 %; при этом при органоминеральной системе удобрения с внесением подстилочного навоза КРС по вспашке, в отличие от остальных вариантов, этот показатель мало менялся от 1-го ко 2-му отбору.

Для динамики азота в высококультуренной почве характерны свои особенности. В блоке со вспашкой его запасы в мортмассе, как и в супесчаной почве, повышались к фазе выхода флага-листа на 33–92 % с последующим уменьшением к уборке в слое 0–10 см на 19–38 %, в то время как в слое 10–20 см они незначительно отличались от показателей, полученных при 2-м отборе, отклонения не превышали 6 % (исключение варианты с заделкой соломы и ее обработкой удобрением Жыцень, где снижение достигло 19–24 %). В блоке с дискованием в слое 0–10 см суглинистой почвы наблюдаемые тенденции по азоту зависели от применяемых систем удобрения. При минеральной системе удобрения отмечена относительная стабильность в его запасах на протяжении всего периода наблюдений. При органоминеральной системе удобрения в вариантах с внесением подстилочного навоза, заделкой соломы и ее обработкой удобрением Жыцень или компенсирующей дозой азота в виде КАС установлено увеличение запасов азота,

сосредоточенных в ММ, от начала активной вегетации к фазе выхода флаг-листа на 12–42 %, в варианте без удобрений изменений в этот срок не наблюдалось. К фазе созревания снижение запасов азота в ММ составило 18–25 % по сравнению со 2-м отбором. В нижнем слое при поверхностной обработке почвы отмечено увеличение запасов к фазе выхода флаг-листа на 12–42 % по сравнению с 1-м отбором, которые оставались на таком же уровне к уборке.

В супесчаной почве для сезонной динамики фосфора в блоке со вспашкой в пахотном слое характерно уменьшение его запасов в ММ от фазы кущения озимой пшеницы к фазе выхода флаг-листа на 11–30 % и увеличение к созреванию на 12–41 %. При этом в варианте с применением удобрения Жыцень в обоих слоях, а также в слое 10–20 см на фоне внесения минеральных удобрений и при обработке соломы КАС запасы фосфора в ММ практически не менялись на протяжении всего периода исследований. В нижнем слое при запашке чистой соломы ко 2-му отбору запасы фосфора снизились всего на 8 %, а к 3-му – выросли на 24 %.

В блоке с дискованием характер динамики запасов фосфора в мортмассе в слое 0–10 см супесчаной почвы различался в зависимости от системы удобрения. В вариантах с внесением подстилочного навоза, заделкой соломы в верхний слой и ее обработкой удобрением Жыцень от начала вегетации к фазе выхода флаг-листа отмечена убыль запасов фосфора в ММ на 12–23 % по сравнению с 1-м отбором и стабилизация к уборке. В то же время при минеральной системе удобрения максимальная величина по этому показателю приурочена к фазе выхода флаг-листа (+28 % по сравнению с 1-м отбором) при небольшом снижении к уборке (на уровне 9 %); в варианте с применением КАС запасы фосфора в ММ снижались на протяжении всего срока исследований – убыль к концу вегетационного сезона достигла 29 % по сравнению с 1-м отбором.

В сезонной динамике фосфора в высококультуренной почве наблюдался резкий скачок в приросте его запасов в ММ по вспашке и дискованию в слоях 0–10 см и 10–20 см от начала вегетации к фазе выхода флаг-листа (+73–187 %) и затем снижение к уборке урожая на 21–58 % (кроме варианта с применением минеральных удобрений по вспашке, в котором в слое 10–20 см от 2-го отбора к 3-му запасы фосфора в ММ мало менялись).

Для динамики калия в супесчаной почве в блоке со вспашкой в слое 0–10 см характерно уменьшение его запасов в ММ на 18–36 % от начала вегетации к фазе выхода флаг-листа и повышение к уборке на 15–19 % относительно 2-го отбора. Исключение составили только варианты, где солому обрабатывали удобрением Жыцень и КАС, в которых наблюдалось постепенное снижение запасов калия в мортмассе от фазы кущения к созреванию на 22–36 %. Аналогичная тенденция в период исследований отмечена также по вспашке в слое 10–20 см и дискованию в слое 0–10 см: к уборке убыль его запасов в ММ по опытным вариантам составила 15–41 % и 32–44 % соответственно по сравнению с 1-м отбором. При минеральной системе удобрения в верхнем слое при дисковании, в отличие от остальных вариантов, данный показатель возрастал к фазе выхода флаг-листа (+14 %) и затем уменьшался к уборке на 30 %. Для динамики калия в нижнем слое этой почвы по дискованию характерно увеличение его накопления в ММ от фазы кущения к выходу флаг-листа на 8–30 % и снижение к уборке на 17–27 %.

Особенностью высококультуренной почвы являлось сходство в характере изменения запасов калия в мортмассе в период наблюдений независимо от приемов

ее обработки. В сезонной динамике наблюдалось снижение его запасов как по вспашке в слое 0–10 см (на 17 %), так и дискованию в слоях 0–10 см и 10–20 см (на 23–44 % и 9–22 %) к фазе выхода флаг-листа. К фазе созревания его прирост по сравнению со 2-м отбором составил 20–33 %, 26–80 % и 26–76 % соответственно. При этом в некоторых вариантах в слое 0–10 см наблюдалось постепенное увеличение запасов калия в ММ от возобновления вегетации к уборке: по вспашке при внесении подстилочного навоза (+43 %); по дискованию – в варианте, где солому обрабатывали КАС (+23 %). В верхнем слое исключение также составили варианты в блоке с традиционной обработкой почвы с запашкой соломы и при дисковании в варианте, где заделывали солому, обработанную удобрением Жыцень – запасы калия были довольно постоянными в течении всего срока наблюдений. В блоке со вспашкой в слое 10–20 см суглинистой почвы запасы калия в ММ постепенно увеличивались к уборке на 17–53 %.

В среднем по блокам при обоих способах обработки среднеокультуренной супесчаной почвы для сезонной динамики запасов N в мортмассе характерно увеличение к фазе выхода флаг-листа на 19–63 % и снижение к созреванию 23–40 % (рис. 1).

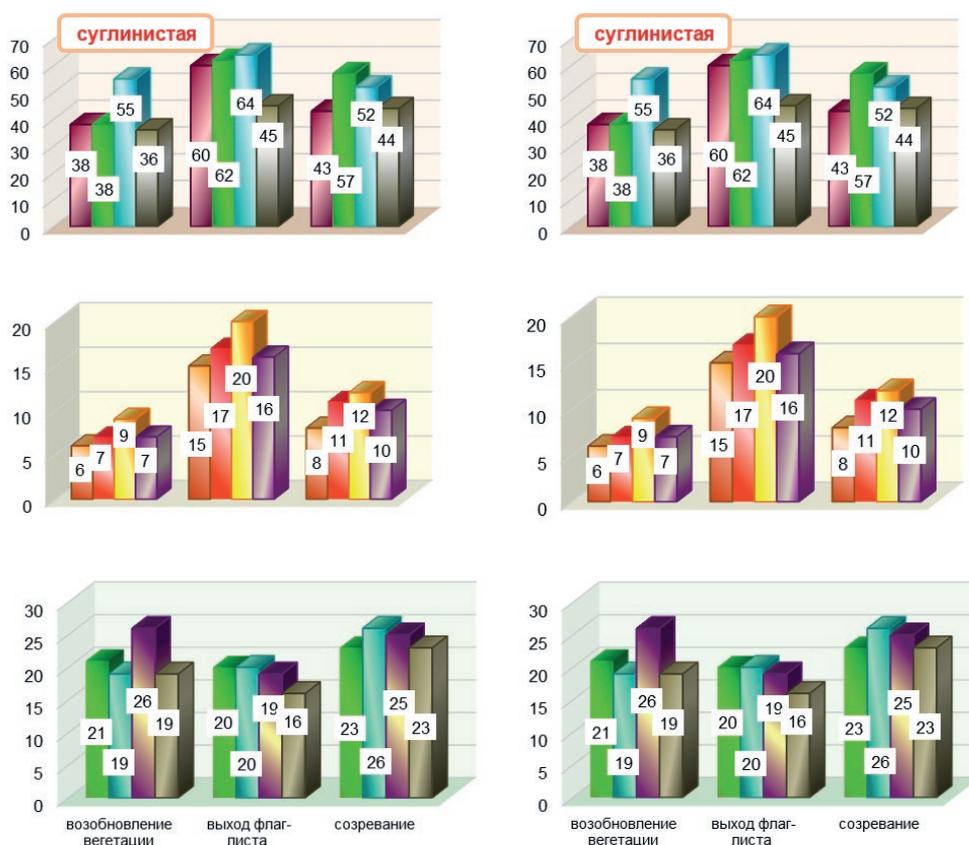


Рис. Влияния приемов основной обработки почвы на запасы элементов питания в мортмассе в дерново-подзолистых почвах разной степени окультуренности (в среднем по блоку), кг/га

В высококультурной суглинистой почве в слое 0–10 см как по вспашке, так и дискованию отмечена такая же тенденция, т. е. повышение запасов азота к середине вегетации (на 16–58 %) и уменьшение к ее завершению (на 19–28 %); в слое 10–20 см этот показатель также возрастал к фазе выхода флаг-листа на 25–63 % при дальнейшей относительной стабильности до уборки.

Для динамики фосфора в слое 0–10 см супесчаной почвы по вспашке отмечено уменьшение его запасов на 18 % от весеннего кущения к фазе выхода флаг-листа с последующим ростом к созреванию на 26 %, в слое 10–20 см они оставались практически постоянными на протяжении всего срока наблюдений; по дискованию в слое 0–10 см его запасы в ММ немного снижались от начала вегетации к уборке; в слое 10–20 см, наоборот, повышались (на 22 %). В суглинистой почве при используемых способах обработки в обоих слоях в среднем по опытным вариантам наблюдался довольно резкий прирост в запасах фосфора в мортмассе от начала весенней вегетации к фазе выхода флаг-листа (на 122–150 %) и затем снижение к уборке на 35–47 %.

По запасам калия в ММ в супесчаной почве по вспашке в обоих слоях отмечено уменьшение к середине вегетации (на 15–27 %), что сохранялось до уборки; в блоке с дискованием в слое 0–10 см – постепенное снижение к уборке в среднем на 35 %, в слое 10–20 см – некоторое повышение ко 2-му отбору (на 19 %) и уменьшение к 3-му (на 24 %). В суглинистой почве при отвальной обработке в изучаемых слоях запасы калия в ММ в среднем мало менялись от начала активной вегетации до фазы выхода флаг-листа, увеличиваясь только к фазе созревания на 15–30 %; при дисковании – его запасы снижались к середине вегетации на 16–27 % с последующим ростом к уборке на 32–44 %.

При обсуждении корреляционных связей между признаками предполагается, что показатели по запасам элементов питания, накопленных в мортмассе, в пахотном слое исследуемых дерново-подзолистых почв отражают их интегральное «накопленное» влияние в промежуток между отбором почвенных образцов.

По результатам исследований установлено, что на супесчаной почве при изучаемых способах обработки зависимость урожайности зерна от запасов азота мортмассы описывалась квадратичными уравнениями при высоком уровне коэффициента детерминации, который был довольно близким в период роста и развития растений озимой пшеницы ($\eta^2_N = 0,87–0,97$) (табл. 5). Коэффициент детерминации на уровне 0,75 отмечен только в фазе кущения при традиционной обработке почвы, тем не менее связь урожая с запасами азота в ММ существенна при рассматриваемом объеме данных.

Выявлено также, что запасы в почве фосфора ММ значительно влияли на процесс формирования урожайности зерна в течение вегетации, что наглядно демонстрируют коэффициенты детерминации. Взаимосвязь между двумя этими показателями возрастала в межфазный период от кущения до выхода флаг-листа и затем несколько снижалась к фазе созревания. При этом на фоне дискования теснота связи между урожаем и запасами фосфора в мортмассе в начале и конце вегетации была немного выше, чем по вспашке; в середине – равноценна.

Урожайность зерна достоверно коррелировала с запасами в почве калия мортмассы в межфазный период от кущения до созревания как по дискованию ($R^2_K = 0,73–0,92$), так и по вспашке (коэффициент детерминации 0,74–0,76); от посева до кущения – теснота связи была не существенной (по вспашке – $\eta^2_K = 0,45$, по дискованию – $R^2_K = 0,60$).

На среднекультуренной супесчаной почве как по вспашке, так и дискованию лимитирующее влияние на формирование урожайности зерна озимой пшеницы от посева до кущения, а также период от фазы выхода флаг-листа до созревания оказали запасы азота мортмассы ($\eta^2_N = 0,75-0,87$ и $\eta^2_N = 0,91-0,93$ соответственно). В межфазный период от кущения до выхода флаг-листа по значимости влияния на урожай по вспашке превалировали азот ($\eta^2_N = 0,96$) и фосфор ($\eta^2_P = 0,89$), сосредоточенные в ММ, по дискованию – азот, фосфор и калий ($\eta^2 = 0,89-0,97$).

Таблица 5

Математические модели зависимости урожайности озимой пшеницы от запасов элементов питания в мортмассе в дерново-подзолистой супесчаной почве в отдельные фазы роста и развития

Запас элемента питания	Межфазный период развития растений	Уравнения регрессии ¹	Коэффициент детерминации ²
Вспашка			
Азот	посев – фаза кущения (главный побег и 2 побега кущения)	$y = -0,0068x^2 + 2,2775x - 134,25$	0,75 ³
	кущение – фаза выхода флаг-листа	$y = -0,0044x^2 + 1,7861x - 124,29$	0,96
	фаза выхода флаг-листа – созревание	$y = -0,014x^2 + 4,1866x - 256,77$	0,93
P ₂ O ₅	посев – фаза кущения (главный побег и 2 побега кущения)	$y = -0,06x^2 + 8,5249x - 245,07$	0,66
	кущение – фаза выхода флаг-листа	$y = -0,0801x^2 + 9,9758x - 252,32$	0,89
	фаза выхода флаг-листа – созревание	$y = 0,9758x - 14,734$	0,70 ³
K ₂ O	посев – фаза кущения (главный побег и 2 побега кущения)	$y = -0,0506x^2 + 5,2854x - 79,86$	0,45
	кущение – фаза выхода флаг-листа	$y = -0,3004x^2 + 21,367x - 321,32$	0,76
	фаза выхода флаг-листа – созревание	$y = 2,4179x - 27,605$	0,74
Дискование			
Азот	посев – фаза кущения (главный побег и 2 побега кущения)	$y = -0,0121x^2 + 3,9696x - 261,56$	0,87
	кущение – фаза выхода флаг-листа	$y = -0,00003x^2 + 0,4434x - 36,7619$	0,97
	фаза выхода флаг-листа – созревание	$y = -0,046x^2 + 12,604x - 801,46$	0,91
P ₂ O ₅	посев – фаза кущения (главный побег и 2 побега кущения)	$y = -0,0669x^2 + 9,2717x - 259,81$	0,76
	кущение – фаза выхода флаг-листа	$y = -0,0656x^2 + 9,1494x - 258,56$	0,89
	фаза выхода флаг-листа – созревание	$y = 1,4094x - 40,86$	0,84
K ₂ O	посев – фаза кущения (главный побег и 2 побега кущения)	$y = 1,4884x - 2,3804$	0,60
	кущение – фаза выхода флаг-листа	$y = 2,1916x - 28,461$	0,92
	фаза выхода флаг-листа – созревание	$y = 2,2137x - 9,3866$	0,73

¹ y – урожай озимой пшеницы, ц/га, x – запасы элементов питания в мортмассе, кг/га (слой 0–20 см); ² – существенность связи при рассматриваемом объеме данных обнаруживается при R² ≥ 0,64; ³R² – коэффициент детерминации для линейной связи, η² – коэффициент детерминации для нелинейной связи.

При возделывании озимой пшеницы на высококультуренной суглинистой почве по вспашке наличие достоверной линейной корреляционной зависимости урожайности зерна с запасами азота, фосфора и калия, сосредоточенными в мортмассе, отмечено лишь в межфазный период от кущения до выхода флаг-листа ($R^2_N = 0,72$, $R^2_P = 0,66$, $R^2_K = 0,67$) (табл. 6). Следует отметить, что эти данные согласуются с результатами, что касается запасов мортмассы в целом.

Таблица 6

Коэффициенты детерминации урожайности зерна озимой пшеницы с запасами элементов питания в мортмассе в дерново-подзолистой суглинистой почве в течение вегетационного периода

Способ обработки почвы	Межфазный период развития растений	R^2_N	R^2_P	R^2_K
Вспашка	посев – фаза кущения (главный побег и 2 побега кущения)	0,25	0,42	0,31
	кущение – фаза выхода флаг-листа	0,72	0,66	0,67
	фаза выхода флаг-листа – созревание	0,30	0,55	0,38
Дискование	посев – фаза кущения (главный побег и 2 побега кущения)	0,49	0,14	0,50
	кущение – фаза выхода флаг-листа	0,81	0,76	0,69
	фаза выхода флаг-листа – созревание	0,80	0,70	0,37

По дискованию урожайность зерна достоверно коррелировала с запасами в почве азота и фосфора мортмассы от кущения до созревания ($R^2_N = 0,80-0,81$, $R^2_P = 0,70-0,76$); до фазы кущения – теснота связи была не существенной. По взаимосвязи между урожайностью озимой пшеницы и запасами калия в мортмассе выявлено, что корреляция статистически значима только от фазы кущения до фазы выхода флаг-листа ($R^2_K = 0,69$).

На дерново-подзолистой суглинистой почве ни один из исследуемых показателей к фазе кущения (главный побег и 2 побега кущения) не был доминирующим по влиянию на урожайность зерна озимой пшеницы, поскольку теснота связи между ними не существенна. В межфазный период от кущения до выхода флаг-листа по вспашке и дискованию лимитирующее влияние на урожайность оказывали запасы азота в мортмассе ($R^2_N = 0,72-0,81$). К фазе созревания по дискованию значимость запасов азота мортмассы по влиянию на урожай также доминирует ($R^2_N = 0,80$), в то время как по вспашке можно говорить лишь об устойчивой тенденции его зависимости от запасов фосфора в мортмассе ($R^2_P = 0,55$).

ВЫВОДЫ

В высоко- и среднекультуренных почвах концентрация азота, фосфора и калия в мортмассе практически не зависела от применяемых агроприемов, различия по их запасам в большей степени определялись ее количеством в вариантах опыта и сроком отбора почвенных образцов.

Наибольшие запасы азота в ММ в удобренных вариантах независимо от приемов обработки исследуемых почв отмечены к фазе выхода флаг-листа. По фосфору четко выраженный максимум запасов в суглинистой почве также отмечен в эту фазу; в супесчаной – наблюдаемые тенденции зависели от применяемых агроприемов. Наиболее высокие запасы калия в ММ в супесчаной почве по вспашке (0–20 см) и дискованию в слое 0–10 см обнаружены в начале вегетации, в слое 10–20 см – к фазе выхода флаг-листа. В суглинистой почве наибольшие запасы калия в нижнем слое по вспашке и дискованию установлены перед уборкой; ярко выраженного максимума в верхнем слое по вспашке не наблюдалось, по дискованию его запасы в начале и конце вегетации были практически равноценны и меньше в фазу выхода флаг-листа.

По опыту максимальные запасы элементов питания в ММ в суглинистой почве получены в блоке с дискованием в слое 0–10 см при органоминеральной системе удобрения с внесением 40 т/га подстилочного навоза – прирост по азоту, фосфору и калию в зависимости от срока отбора составил 30–79 %. В супесчаной почве наиболее благоприятным агрохимическим фоном с точки зрения накопления элементов питания в мортмассе весной в фазу кущения (главный побег и 2 побега кущения) являлась органоминеральная система удобрения с обработкой соломы удобрением Жыцень также по дискованию в слое 0–10 см (их запасы увеличились на 47–58 %); в последующие сроки отбора – четких тенденций не выявлено.

Установлена взаимосвязь между урожайностью зерна и запасами элементов питания, сосредоточенных в мортмассе, на высоко- и среднеокультуренных дерново-подзолистых почвах. На супесчаной почве как по вспашке, так и по дискованию лимитирующее влияние на формирование урожая зерна от посева до кущения, а также в период от фазы выхода флаг-листа до созревания оказали запасы азота мортмассы ($\eta^2_N = 0,75-0,87$ и $\eta^2_N = 0,91-0,93$ соответственно). В межфазный период от кущения до выхода флаг-листа по значимости влияния на урожай по вспашке превалировали азот ($\eta^2_N = 0,96$) и фосфор ($\eta^2_P = 0,89$), сосредоточенные в ММ, по дискованию – азот, фосфор и калий ($\eta^2 = 0,89-0,97$). На суглинистой почве ни один из исследуемых показателей в фазе кущения (главный побег и 2 побега кущения) не был доминирующим по влиянию на урожайность зерна, поскольку теснота связи между ними не существенна. В межфазный период от кущения до выхода флаг-листа по вспашке и дискованию лимитирующее влияние на урожайность оказывали запасы азота в мортмассе ($R^2_N = 0,72-0,81$). К фазе созревания по дискованию значимость запасов азота мортмассы по влиянию на урожай также доминирует ($R^2_N = 0,80$), в то время как по вспашке можно говорить лишь об устойчивой тенденции его зависимости от запасов фосфора в мортмассе ($R^2_P = 0,55$).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Ганжара, Н. Ф.* Гумус, свойства почв и урожай / Н. Ф. Ганжара // Почвоведение. – 1998. – № 7. – С. 812–819.
2. *Жуков, А. И.* Потери и воспроизводство гумуса в земледелии Нечерноземной зоны РСФСР / А. И. Жуков // Химизация сельского хозяйства. – 1990. – № 5. – С. 8–11.
3. *Горбылева, А. М.* Совершенствование методов оценки показателей, характеризующих оптимальные свойства дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы / А. М. Горбылева // Почва – удобрение – плодородие – урожай: материалы

Международ. науч.-практ. конф., Минск, 16–18 фев. 2009 г. / Ин-т почвоведения и агрохимии; редкол.: В. В. Лапа [и др.]. – Минск, 2009. – С. 35–36.

4. *Ганжара, Н. Ф.* Гумусообразование и агрономическая оценка органического вещества почв / Н. Ф. Ганжара, Б. А. Борисов. – М.: Агроконсалт, 1997. – 82 с.

5. Роль гумуса в формировании урожая сельскохозяйственных культур / В. Б. Воробьев [и др.] // Современные проблемы повышения плодородия почв и защиты их от деградации: материалы Международ. науч.-практ. конф., Минск, 27–29 июня 2006 г. / Ин-т почвоведения и агрохимии; редкол.: В. В. Лапа [и др.]. – Минск, 2006. – С. 63–65.

6. *Шевцова, Л. К.* Содержание гумуса в почвах Нечерноземья при длительном удобрении / Л. К. Шевцова, Ю. А. Дробков // Почвоведение. – 1981. – № 10. – С. 113–120.

7. *Шарков, И. Н.* Концепция воспроизводства гумуса в почвах / И. Н. Шарков // Агрохимия. – 2011. – № 12. – С. 21–27.

8. *Завьялова, Н. Е.* Влияние длительного применения органических и минеральных удобрений на трансформацию органического вещества дерново-подзолистой почвы / Н. Е. Завьялова, А. И. Косолапова, В. Р. Ямалтдинова // Агрохимия. – 2005. – № 6. – С. 5–10.

9. *Жуков, А. И.* Гумус и урожайность зерновых культур на дерново-подзолистой супесчаной почве / А. И. Жуков, Л. В. Сорокина, В. В. Мосалева // Почвоведение. – 1993. – № 1. – С. 55–61.

10. *Шевцова, Л. К.* Моделирование трансформации и баланса гумуса дерново-подзолистых почв на основе информационной базы длительных опытов / Л. К. Шевцова, И. В. Володарская, Е. В. Горбунов // Агрохимия. – 2000. – № 9. – С. 5–10.

11. *Титлянова, А. А.* Легкоразлагаемое органическое вещество пахотных почв / А. А. Титлянова // Математические модели и информационные технологии в сельскохозяйственной биологии: итоги и перспективы: материалы Всероссийской конф. (с межд. участием), С.-Петербург, 14–15 октября 2010 г. / АФИ Россельхозакадемии, СибФТИ Россельхозакадемии. – С.-Петербург, 2010. – С. 149–153.

12. *Русакова, И. В.* Влияние соломы и пожнивного сидерата на запасы морт-массы и содержание в ней элементов питания / И. В. Русакова // Владимирский земледелец. – 2019. – № 4(90). – С. 46–50.

13. *Власенко, О. А.* Влияние Запасы легкоминерализуемого органического вещества при возделывании пропашных кормовых культур в Красноярской лесостепи / О. А. Власенко // Вестник КрасГАУ. – 2017. – № 9. – С. 157–165.

14. *Балабанова, Н. Ф.* Влияние длительного применения удобрений на органическое вещество лугово-черноземной почвы и урожайность зерна яровой пшеницы в южной лесостепи Западной Сибири: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук: 06.01.04 / Н. Ф. Балабанова; СибНИИСХ. – Новосибирск, 2013. – 19 с.

15. *Балабанова, Н. Ф.* Влияние длительного применения удобрений в зернотравяном севообороте на содержание лабильного органического вещества в лугово-черноземной почве / Н. Ф. Балабанова, Н. А. Воронкова // Агрохимия. – 2015. – № 1. – С. 16–22.

16. Влияние пожнивных остатков на состав органического вещества чернозема, выщелоченного в лесостепи Западной Сибири / И. Н. Шарков [и др.] // Почвоведение. – 2014. – № 4. – С. 473–479.

17. Доспехов, Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований) / Б. А. Доспехов. – 5-е изд., доп. и перераб. – М.: Агропромиздат, 1985. – 351 с.

**THE CONTENT AND STOCKS OF NUTRIENTS IN MORTMASS,
DEPENDING ON FERTILIZER SYSTEMS AND PROCESSING
TECHNIQUES OF HIGH- AND MEDIUM-CULTIVATED
SOD-PODZOLIC SOILS**

**E. N. Bahatyrova, T. M. Seraya, T. M. Kirdun,
Y. A Simankova, M. M. Torchilo**

Summary

The influence of tillage techniques and fertilizer systems on the content and stocks of nutrients in mortmass in layers of 0–10 cm and 10–20 cm of sod-podzolic soils has been established, the dynamics of stocks during the winter wheat vegetation has been studied; the relationship between grain yield and stocks of nitrogen, phosphorus and potassium mortmass in soils was determined.

Поступила 13.12.23

ИЗМЕНЕНИЕ УРОЖАЙНОСТИ ЗЕЛЕННОЙ МАССЫ СУДАНСКОЙ ТРАВЫ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ АГРОХИМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ДЕРНОВО- ПОДЗОЛИСТОЙ СУПЕСЧАНОЙ ПОЧВЫ

Г. В. Седукова, Н. В. Кристова, С. А. Исаченко

*Институт радиобиологии НАН Беларуси,
г. Гомель, Беларусь*

ВВЕДЕНИЕ

Увеличение производства кормов и повышение их качественного состава необходимо для наращивания объемов выпуска животноводческой продукции. Неустойчивость климатических условий в период вегетации приводит к снижению продуктивности кормовых культур и обуславливает возделывание универсальных, хорошо адаптирующихся к повышенным температурам и недостаточному увлажнению почвы. В качестве такой культуры может быть предложена суданская трава, которая пригодна для использования на зеленый корм, приготовления силоса и заготовки на сено. Это теплолюбивая и светолюбивая культура короткого дня. Посев культуры проводят при температуре почвы на глубине заделки семян 10–12 °С [1]. Требования к почве у суданской травы невысокие. Ее можно возделывать как на легких песчаных почвах, так и на суглинистых, а также на осушенных торфяниках. Не подходят для нее только тяжелые глинистые, кислые, заболоченные почвы с высоким стоянием грунтовых вод.

Суданская трава обладает рядом ценных качеств: высокая урожайность, хорошее качество зеленой массы, универсальность использования, засухоустойчивость, неприхотливость к почвам, что делает ее перспективной культурой полевого кормопроизводства. Перспективность использования суданской травы особенно проявляется в южных регионах страны, в которых наблюдается увеличение повторяемости сильных засух [2], приводящих к недостаточному увлажнению. В Гомельской области повторяемость сильных засух за весь период вегетации (май–октябрь) составила 37 %. Кроме этого, в данном регионе наиболее широко распространены почвы легкого гранулометрического состава. На долю дерново-подзолистых супесчаных почв приходится около 33 %, песчаных – около 47 % [3].

Для достижения полной реализации потенциала культуры размещение ее по полям должно осуществляться с учетом требований к агрохимическим показателям, характеризующим плодородие почв. Для этого целесообразно определить влияние агрохимических показателей почвы на урожайность суданской травы. Установление данных закономерностей позволит рационально использовать почвы под посевы суданской травы. Учитывая незначительную распространенность культуры и ограниченное количество исследований в Беларуси по изучению изменчивости продуктивности суданской травы при возделывании на почвах, характеризующихся различным плодородием, исследования по влиянию основных агрохимических показателей на урожайность культуры являются весьма

актуальными. Определение зависимостей между агрохимическими свойствами почвы, с одной стороны, и урожайностью зеленой массы суданской травы, с другой, является научной основой для установления, в последующем, оптимальных показателей, совершенствования системы применения удобрений и рационального использования сельскохозяйственных земель.

МЕТОДИКА И ОБЪЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования проводились в 2021–2022 гг. в 2 полевых опытах, заложенных на дерново-подзолистых супесчаных почвах, характеризующихся различными агрохимическими показателями. Содержание гумуса в пахотном горизонте почвы полевых экспериментов варьировалось от 1,6 до 3,0 %, охватывая группы со средним, повышенным и высоким содержанием [3]. Интервал вариабельности обменной кислотности почвы составил 5,1–7,2 ед., что обеспечило возможность изучения продуктивности культуры на почвах с кислотностью от кислых до слабощелочных. Содержание подвижных форм калия (K_2O) изменялось в широком диапазоне от 83 до 495 мг/кг почвы – от низкого до очень высокого. Изменение подвижных форм фосфора (P_2O_5) при этом было от повышенного 236 мг/кг почвы до очень высокого 490 мг/кг почвы. Опыты проводились в 3-кратной повторности с общей и учетной площадью делянок 10 м² и 4 м² соответственно.

Определение агрохимических показателей почвы выполнялось по следующим методикам: обменная кислотность – потенциометрическим методом [4], содержание гумуса – по Тюрину в модификации ЦИНАО [5], подвижных форм фосфора и калия – по методу Кирсанова в модификации ЦИНАО [6].

В качестве объекта исследований использовали суданскую траву – сорт Довская мечта, входящий в государственный реестр сортов, допущенных для использования с 2014 г. во всех областях Республики Беларусь [7]. Технология выращивания культуры в полевом опыте соответствовала регламенту возделывания суданской травы [8].

Оценку урожайности зеленой массы проводили в несколько фаз укосной спелости: фазу начала выметывания (НВМ) и в фазу молочно-восковой спелости (МВС). Уборку урожая осуществляли вручную, поделаяночно, со взвешиванием массы с учетной площади.

Вегетационные периоды в годы проведения исследований характеризовались недостаточным количеством осадков. Обобщенный показатель влагообеспеченности – гидротермический коэффициент (ГТК) составлял 1,3 в первый год исследований и 0,9 – во второй, что позволяет утверждать о слабозасушливых и засушливых условиях возделывания культуры. При этом в 2021 г. от посева до начала выброса метелки ГТК не превышал 1,0 (условия засушливые), а до фазы молочно-восковой спелости находился на уровне 1,1 (условия слабозасушливые). В 2022 г. более увлажненным оказался вегетационный период до начала выметывания суданской травы (ГТК 1,3), чем до молочно-восковой спелости культуры (ГТК 1,0).

Корреляционный анализ для определения влияния агрохимических показателей почвы проводили используя 12 пар сравнения данных, полученных в вариантах без применения удобрений. Для оценки силы корреляционной связи использована шкала Чеддока, в соответствии с которой при коэффициенте корреляции r от 0,1 до 0,3 – связь характеризуется как слабая; при r от 0,3 до 0,5 – умеренная; от 0,5 до 0,7 – заметная; от 0,7 до 0,9 – высокая; от 0,9 до 1,0 – весьма высокая (сильная).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

За годы исследований урожайность зеленой массы суданской травы в фазу НВМ изменялась от 153 до 398 ц/га и среднем находилась на уровне 266 ц/га. В фазу МВС урожайность зеленой массы увеличилась в среднем в 1,4 раза, достигнув 367 ц/га при изменениях от 181 до 516 ц/га. Прирост урожайности зеленой массы при достижении растениями фазы МВС составил 27–169 ц/га, по сравнению с предыдущей учетной фазой развития культуры. Изменчивость урожайности была значительной, о чем свидетельствует коэффициент вариации, превышающий 30 %.

Анализ парной корреляционной связи, выполненной на основании данных полевых опытов, показал, что урожайность зеленой массы суданской травы зависит от агрохимических показателей почвы.

Так, установлена прямая корреляционная связь между значением pH_{KCl} , с одной стороны, и урожайностью зеленой массы, с другой. Определена высокая сила связи изучаемого показателя с урожайностью зеленой массы суданской травы и в фазу НВМ ($r = 0,90$) и в фазу МВС ($r = 0,84$). Кроме этого, зависимость прироста урожая зеленой массы, полученного от НВМ до МВС от обменной кислотности почвы оценивается коэффициентом корреляции 0,80. Причем, связь во всех случаях существенна как на 5 %-ном, так и на 1 %-ном уровне значимости. Следовательно, 80 % изменений урожайности зеленой массы в фазу НВМ зависит от уровня обменной кислотности почвы. В следующую фазу доля изменений, зависящих от данного фактора, снижается до 70 %.

На основании регрессионного анализа установлены уравнения регрессии, использование которых позволило определить среднюю прогнозируемую урожайность зеленой массы культуры в разные фазы ее развития при возделывании на дерново-подзолистых супесчаных почвах, характеризующихся различными основными агрохимическими показателями. На основании уравнения регрессии, описывающего связь урожайности зеленой массы с обменной кислотностью почвы, установлено изменение результирующего показателя при разных значениях влияющего, от 5 до 7 ед. (табл. 1).

Таблица 1

Изменение урожайности зеленой массы суданской травы в разные фазы развития при различной степени кислотности дерново-подзолистой супесчаной почвы

pH_{KCl} , ед.	Урожайность зеленой массы, ц/га		
	НВМ	МВС	прирост
5	100	163	15
5,5	157	233	44
6	214	303	74
6,5	271	373	103
7	328	443	133

Анализ данных показал, что изменение pH_{KCl} на 0,1 ед. способствует увеличению сбора зеленых кормов с гектара посевов культуры, убранной в фазу НВМ, на 11 ц/га, в фазу МВС – на 14 ц/га. Прирост зеленой массы между фазами увеличивается на 6 ц/га.

Между содержанием в почве гумуса и урожайностью зеленой массы суданской травы, убранной в фазу НВМ, отмечена сильная корреляционная связь ($r = 0,95$). При изменении уровня гумусированности дерново-подзолистой супесчаной почвы от 1,5 % до 3,5 % сбор зеленой массы с гектара посевов культуры увеличится со 152 до 438 ц/га (табл. 2).

Около 90 % изменений урожайности суданской травы в фазу НВМ обусловлены вариабельностью гумуса в почве. Каждый 0,1 % гумуса обеспечивает 14 ц/га зеленой массы в анализируемую фазу развития растений.

Анализируя связь между уровнем гумусированности почвы и приростом урожайности зеленой массы от НВМ до МВС, отмечено, что сила связи высокая ($r = 0,77$) и существенна даже на 1%-ном уровне значимости. Рост аргумента на 0,1 % способствует увеличению прироста продуктивности культуры на 7 ц/га.

Таблица 2

Изменение урожайности зеленой массы суданской травы в разные фазы развития при разном уровне содержания гумуса в дерново-подзолистой супесчаной почве

Содержание гумуса, %	Урожайность зеленой массы, ц/га		
	НВМ	МВС	прирост
1,5	152	280	44
2	223	334	80
2,5	295	389	115
3	366	443	150
3,5	438	497	185

Определено, что продуктивность в фазу МВС в меньшей степени зависит от содержания гумуса в почве. Сила связи лишь заметная ($r = 0,55$) и значима только на 5 % уровне. Значительно снижается и доля изменений результативного признака от изучаемого фактора и составляет всего около 30 %. И более низкая прибавка урожая зеленой массы в МВС (11 ц/га) обеспечивается за счет повышения уровня содержания гумуса на 0,1 %.

Анализ зависимости урожайности культуры при уборке в фазу НВМ от содержания в почве подвижных форм калия показал наличие высокой связи ($r = 0,84$). Используя уравнение регрессии установлено, что в интервале содержания K_2O в почве 80–400 урожайность зеленой массы увеличится со 101 до 257 ц/га (табл. 3).

Таблица 3

Изменение урожайности зеленой массы суданской травы в разные фазы развития при различном уровне содержания подвижных форм калия в дерново-подзолистой супесчаной почве

Содержание K_2O , мг/кг почвы	Урожайность зеленой массы, ц/га		
	НВМ	МВС	прирост
80	101	300	47
140	131	323	65
200	160	345	83
300	209	383	114
400	257	421	144

При этом увеличение уровня содержания K_2O на 10 мг/кг почвы, обеспечивает повышение продуктивности суданской травы на 5 ц/га. Сбор зеленой массы в фазу НВМ с гектара посевов суданской травы на 71 % зависит от уровня содержания K_2O в почве.

В фазу МВС сила корреляционной связи, также как и с уровнем содержания гумуса, ослабевает и характеризуется как умеренная ($r = 0,50$). Доля зависимости снижается до 25 %. Урожайность зеленой массы в указанном выше диапазоне влияющего параметра прогнозируется на уровне 300–421 ц/га. И интенсивность повышения продуктивности культуры при увеличении содержания K_2O в почве на 10 мг/кг почвы снижается, составляя 4 ц/га.

Следовательно, можно предположить незначительную требовательность культуры как к уровню гумусированности почвы, так и к уровню содержания подвижных форм калия в почве в более поздние фазы развития.

Прирост зеленой массы от первой до второй фазы укосной спелости зависит от содержания калия в почве и повышается от 47 ц/га при низком содержании K_2O до 144 ц/га при высоком содержании.

Также установлена высокая корреляционная зависимость ($r = 0,87$) между уровнем содержания подвижных форм фосфора в почве и урожайностью зеленой массы суданской травы, убранной в фазу НВМ. Определено, что около 76 % изменений урожайности в данную фазу обусловлено содержанием фосфора в почве. При изменениях уровня содержания P_2O_5 в почве от 200 до 450 мг/кг почвы сбор зеленой массы с гектара посевов культуры будет повышаться со 128 до 353 ц/га (табл. 4).

При этом, повышение P_2O_5 на 10 мг/кг почвы способствует росту урожайности зеленой массы в фазу НВМ на 9 ц/га.

При достижении фазы МВС урожайность культуры всего на 54 % зависит от содержания фосфора в почве. Сила связи при этом также высокая ($r = 0,74$). Прибавка урожая, формируемая за счет увеличения P_2O_5 в почве на 10 мг/кг, составляет 10 ц/га. При изменениях P_2O_5 в диапазоне, указанном выше, урожайность зеленой массы в фазу МВС будет составлять 213–464 ц/га.

Таблица 4

Изменение урожайности зеленой массы суданской травы в разные фазы развития при различном уровне содержания подвижных форм фосфора в дерново-подзолистой супесчаной почве

Содержание K_2O , мг/кг почвы	Урожайность зеленой массы, ц/га		
	НВМ	МВС	прирост
200	128	213	27
250	173	263	51
300	218	313	75
400	308	414	123
450	353	464	147

Доля изменения прироста урожайности от НВМ до МВС составляет 63 %. Фактическая прибавка урожая варьирует от 27 до 147 ц/га, обеспечивая прирост 5 ц/га по мере увеличения P_2O_5 в почве на каждые 10 мг/кг почвы.

Установленные зависимости позволяют определить степень влияния каждого из агрохимических показателей на урожайность зеленой массы в разные фазы укосной спелости.

ВЫВОДЫ

На урожайность зеленой массы суданской травы существенное влияние оказывают основные агрохимические показатели дерново-подзолистой супесчаной почвы. Установлена сильная связь урожайности зеленой массы в фазу начала выметывания со всеми изучаемыми показателями (pH_{KCl} , гумус, K_2O , P_2O_5). Сила связи между урожайностью зеленой массы в фазу молочно-восковой спелости ослабевает и значения коэффициентов корреляции снижаются.

За счет снижения обменной кислотности почвы на 0,1 ед. урожайность зеленой массы в фазу начала выметывания повышается на 11 ц/га, в фазу молочно-восковой спелости – на 14 ц/га. Повышение гумусированности почвы на 1 % обеспечивает рост сбора зеленой массы с гектара посевов суданской травы на 14 ц/га при уборке в первую укосную спелость и на 11 ц/га – при уборке во вторую. Увеличение уровня содержания K_2O и P_2O_5 на 10 мг/кг почвы рост урожайности зеленой массы в фазу начала выметывания достигает 5 и 9 ц/га, а в фазу молочно-восковой спелости – 4 и 10 ц/га соответственно.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дьяченко, В. В. Особенности семеноводства суданской травы в юго-западной части Центрального региона // Вл. В. Дьяченко, Вит. В. Дьяченко // Кормопроизводство. – № 1. – 2011. – С. 34–36.
2. Пространственно-временные изменения почвенных засух на территории Белорусского Полесья в условиях современного изменения климата / В. И. Мельник [и др.] // Природные ресурсы. – 2021. – № 1. – С. 15–21.
3. Справочник агрохимика / Нац. акад. наук Беларуси, Ин-т почвоведения и агрохимии; В. В. Лапа [и др.]; под ред. В. В. Лапа. – Минск: ИВЦ Минфина, 2021. – 260 с.
4. Почвы. Приготовление солевой вытяжки и определение pH по методу ЦИНАО: ГОСТ 26483–85. – Введ. 1986.07.01. – М.: Изд-во стандартов, 1987. – 4 с.
5. Почвы. Определение органического вещества в модификации ЦИНАО: ГОСТ 26212–91. – Введ. 1993.07.01. – М.: Изд-во стандартов, 1992. – 6 с.
6. Почвы. Определение подвижных соединений фосфора и калия по методу Кирсанова в модификации ЦИНАО: ГОСТ 26207–91. – Введ. 1993.07.01. – М.: Изд-во стандартов, 1992. – 6 с.
7. Государственный реестр сортов [Электронный ресурс] / М-во сельского хозяйства и продовольствия РБ, Гос. инспекция по испытанию и охране сортов растений; отв. ред. В. А. Бейня. – Минск. 2020. – Режим доступа: http://img/gosudarstvennyu_reyestr_2021.pdf. – Дата доступа: 01.02.2022.
8. Организационно-технологические нормативы возделывания зерновых, зернобобовых, крупяных культур: сб. отраслевых регламентов / Нац. акад. наук Беларуси, НПЦ НАН Беларуси по земледелию; рук. разработ.: Ф. И. Привалов [и др.]. – 3-е изд. – Минск: Беларуская навука, 2014. – 288 с.

**CHANGES IN THE YIELD OF GREEN MASS OF SUDANGRASS
DEPENDING ON AGROCHEMICAL PARAMETERS
OF SOD-PODZOLIC SANDY LOAMY SOIL**

G. V. Sedukova, N. V. Kristova, S. A. Isachenko

Summary

The article presents correlations between the yield of green mass of Sudangrass harvested in the phase of the beginning of the heading and in the phase of milky-wax ripeness, on the one hand, and the main agrochemical parameters (exchangeable acidity pH_{KCl} , humus content, K_2O , P_2O_5), on the other hand. The strength of the relationship between each of the indicators is shown.

Based on the established trend lines and regression equations, the quantitative parameters of the change in the yield of green mass of Sudangrass in different phases of cutting ripeness were determined with a change in the values of influencing factors. Were calculated predicted yield of green mass and the intensity of its growth between the phases of crop development with the variability of agrochemical parameters of sod-podzolic sandy loamy soil.

Поступила 31.05.2023

ВЛИЯНИЕ ГЛИФОСАТ-УТИЛИЗИРУЮЩИХ БАКТЕРИЙ *AZOSPIRILLUM* SP. И *RHIZOBIUM* SP. НА ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЙ СТАТУС РАСТЕНИЙ ПРИ РАЗНОМ СОДЕРЖАНИИ ГЕРБИЦИДА В ПОЧВЕ

Н. А. Михайловская, Т. Б. Барашенко, А. В. Юхновец,
Т. В. Погирницкая, С. В. Дюсова

Институт почвоведения и агрохимии,
г. Минск, Беларусь

ВВЕДЕНИЕ

Ассоциативные азотфиксирующие бактерии *Azospirillum* sp. и симбиотические *Rhizobium* sp. из фонда исследовательской коллекции Института почвоведения и агрохимии проявляют активность в отношении утилизации глифосата [1]. Хорошо известно также, что *Azospirillum* spp. [2–4] и *Rhizobium* spp. [5, 6, 7], способны оказывать на инокулированные растения значительное стимулирующее действие, которое проявляется в формировании более развитой корневой системы [8, 9] за счет экскреции фитогормонов [10–13]. К стимулирующим факторам относится способность представителей *Azospirillum* sp. [14] и *Rhizobium* sp. [15, 16] растворять трехзамещенные фосфаты кальция и обеспечивать соответствующее улучшение фосфатного питания в ризосфере инокулированных растений.

Перспективность применения *Azospirillum* sp. и *Rhizobium* sp. в качестве инокулянтов обусловлена комплексом их полезных свойств. *Azospirillum* spp. отличаются разносторонним приспособительным метаболизмом углерода и азота, они способны осуществлять все реакции цикла азота, кроме нитрификации. Источниками азота для *Azospirillum* spp. могут служить атмосферный азот, аммоний, нитраты и нитриты [12, 17], что в значительной мере способствует их адаптации и приживаемости в конкурентных условиях ризосферы.

Значимым фактором в условиях ризосферы является подвижность микроорганизмов. Более подвижные бактерии получают преимущества по сравнению с менее подвижными для достижения оптимальной экологической ниши. Представители *Azospirillum* spp., отличаются высокой подвижностью. При этом *Azospirillum brasilense* характеризуются повышенной подвижностью за счет наличия одной полярной флагеллы, используемой для движения в жидких средах и дополнительных латеральных флагелл для движения в более плотных средах [18–20]. В классических работах Bashan Y. экспериментально доказана миграция *A. brasilense* к корням проростков пшеницы и установлена ее зависимость от почвенной влаги [20].

Симбиотические diaзотрофы *Rhizobium* sp., сохраняемые в исследовательской коллекции Института почвоведения и агрохимии, также способны метаболизировать гербицид глифосат [1] и характеризуются комплексом полезных свойств. Наряду с высокой активностью азотфиксации [5], *Rhizobium* sp. оказывают значительное гормональное воздействие на растения [21, 22], эффективно растворяют трехзамещенные фосфаты кальция [15, 16], обеспечивая физиологические количества

подвижного фосфора в ризосфере инокулированных растений, что положительно воздействует на их продуктивный статус.

Полифункциональность ризобактерий *Azospirillum* sp. и *Rhizobium* sp. свидетельствует об их перспективности в качестве инокулянтов, в особенности в условиях интенсивного применения глифосата. В связи с этим актуально изучение их влияния на физиологический статус растений в широком диапазоне содержания гербицида в почве.

Цель исследований – изучение влияния глифосат-утилизирующих бактерий *Azospirillum* sp. и *Rhizobium* sp. на физиологический статус растений в зависимости от содержания гербицида в почве.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Объекты исследований – ризосферные азотфиксирующие бактерии из фонда исследовательской коллекции Института почвоведения и агрохимии: ассоциативные *Azospirillum brasilense* (штаммы *Azospirillum brasilense* 2(в)3, *Azospirillum brasilense* Д-П1, *Azospirillum brasilense* 1') и клубеньковые *Rhizobium trifolii* (*Rhizobium trifolii* R-45, *Rhizobium trifolii* R-107, *Rhizobium trifolii* R-63/3). Исследования проведены путем постановки серии инокуляционных *in vitro* экспериментов.

Методика инокуляционных *in vitro* экспериментов по оценке влияния глифосата на PGP-потенциал ризобактерий *Azospirillum* sp. и *Rhizobium* sp. Эксперименты проведены в чашках Петри, тест-культура – яровая пшеница (семена). Поверхностно стерилизованные семена (10 % H₂O₂, 30 мин.) выдерживали в растворах глифосата (0,20 мг/мл (C₁) и 1,00 мг/мл (C₂)), просушивали стерильной фильтровальной бумагой. Семена тест-культуры инокулировали суспензиями тестируемых ризобактерий. Длительность экспозиции семян в растворах гербицида – 2 часа, экспозиции семян в бактериальных суспензиях (инокуляция) – также 2 часа. Обработанные семена раскладывали в чашки Петри (по 10 семян в каждую) на фильтровальную бумагу, увлажненную стерильной водопроводной водой (4 мл). Чашки Петри помещали в термостат на 4–5 суток при температуре 28 °С.

Бактериальные суспензии готовили путем смыва двухсуточных культур бактерий, выращенных на плотных питательных средах. Титры: 5,0–5,5·10⁷ КОЕ/мл (OD₆₅₀ 0,700–0,750; UV/VISS-8001). Контроль – семена тест-культуры, выдержанные 2 часа в дистиллированной воде (C₀) и обработанные растворами гербицида (C₁ и C₂) без инокуляции бактериальными суспензиями. Повторность в опытах пятикратная.

В ходе экспериментов на 2-е сутки определяли всхожесть семян пшеницы, на 4–5 сутки – длину надземной части (колеоптиле) и суммарную длину корней проростков.

В лабораторных исследованиях использовали гербицид Торнадо 500: в.р., 500 г/л глифосата кислоты (изопропиламинная соль). Изготовитель – АО Фирма «Август», Россия, ТУ 20.20.12-071-18015953-2017 г.

Методика модельных инокуляционных экспериментов с тест-культурами в искусственно контролируемых условиях (почвенный микрокосм). Модельные эксперименты включали культивирование тест-культуры (семена инокулировали ГФ-утилизирующими бактериями *Azospirillum* sp. и *Rhizobium* sp.) в почве с широким диапазоном содержания гербицида глифосат. В экспериментах использована дерново-подзолистая супесчаная почва, в которой искусственно созданы

следующие уровни содержания глифосата: C_0 (без глифосата), C_1 , C_2 и C_3 . Для создания концентраций C_1 , C_2 и C_3 в почву вносили водные растворы гербицида Торнадо: 2,30 мг ГФ/кг, 7,70 мг ГФ/кг и 38,50 мг ГФ/кг почвы. Концентрации C_1 и C_2 соответствуют следующим нормам внесения гербицида: 3,0 л/га и 10 л/га. Концентрация C_3 соответствует пятикратному превышению максимальной дозы 50 л/га при условии пересчета на слой пахотного горизонта 0–5 см. Внесение гербицида в почву проведено за 7 дней до посева семян тест-культуры. Длительность эксперимента – 2,5 месяца, повторность – четырехкратная.

В модельном эксперименте в качестве тест-культуры использовали горох посевной *Pisum sativum* L. сорта Миллениум. Опыт проведен по схеме: 1. Контроль; 2. *Azospirillum brasilense* (2(в)3); 3. *Azospirillum brasilense* Дп1; 4. *Rhizobium trifolii* R-45. В сосуды (\varnothing 9 см, h = 11 см, объем почвы 500 г) высевали по 5 семян гороха, поверхностно стерилизованных (10 % раствор H_2O_2 , 30 мин.) и инокулированных суспензиями соответствующих бактерий. Контроль – семена без инокуляции. Инокулянты приготовлены путем смыва двухсуточных культур, выращенных на плотной питательной среде. Титры бактериальных суспензий для обработки семян составили $8,5\text{--}9,0 \cdot 10^7$ КОЕ/мл.

Оценка влияния глифосата на фотосинтетический потенциал растений. Фотосинтетические показатели тест-культуры изучали в течение 2-х месяцев (от посева семян до уборки). Фотосинтетическую активность гороха посевного оценивали по следующим показателям: динамика роста, биомасса надземной части растений по общепринятым методикам [23], площадь листовой поверхности методом измерений [24] с определением поправочного коэффициента ($K = 0,85$) и методом сканирования с использованием компьютерной программы LeafSizeMeter. Содержание хлорофиллов в листьях определяли по методу Г. С. Посыпанова [25]. По окончании эксперимента определены сырая и сухая масса корней растений гороха.

Методика определения содержания хлорофилла в листьях. В соответствии с методом Г. С. Посыпанова [25] навеску листьев (0,2 г) растирали в фарфоровой ступке с добавлением отмытого речного песка, к полученной массе приливали 4–5 мл этилового спирта и продолжали растирание в течение нескольких минут. После отстаивания раствор фильтровали в мерную колбу объемом 25 мл. Полученный фильтрат доводили до метки этиловым спиртом и определяли оптическую плотность экстрактов на спектрофотометре Metertech UV/VIS SP 8001.

Для стерилизации химических реактивов и посуды используются стерилизатор паровой ГК-100-3, стерилизатор паровой ГК-10-1, облучатели ультрафиолетовые УГД-2, УГД-3. Для культивирования бактерий и приготовления бактериальных суспензий используются: термостат ТПС-1, шейкер орбитальный KS-501 digital IKA WERKE (GmbH & Co.KG), перемешивающее устройство ЛАБ-ПУ-01.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Общеизвестно, что основной механизм воздействия глифосата (ГФ) на нежелательные растения – ингибирование фермента (5-enolpyruvylshikimate-3-phosphate synthase, EPSPS) шикиматного пути биосинтеза ароматических аминокислот [26]. Глифосат нарушает биосинтез жизненно важных аминокислот (фенилаланин, тирозин, триптофан), что в свою очередь приводит к нарушению биосинтеза белка.

Глифосат – единственный гербицид, действующий по механизму ингибирования биосинтеза циклических ароматических аминокислот и белка. Для абсолютного большинства гербицидов основной мишенью являются процессы фотосинтеза в растениях.

Однако к настоящему времени накоплено достаточно научной информации, подтверждающей действие глифосата на фотосинтетическую активность растений. Опубликован ряд исследований, свидетельствующих, что гибель растений может быть обусловлена разными механизмами действия глифосата на их физиологические процессы. В соответствии с современными данными под влиянием глифосата часто отмечается ингибирование биосинтеза хлорофиллов, каротиноидов, жирных кислот и снижения их содержания в растениях [6, 7, 27–29].

Много внимания в научной литературе уделяется вопросам глифосат-индуцированного окислительного стресса, который считается вторичным эффектом блокирования шикиматного пути биосинтеза белка. Применение глифосата может вызывать негативные изменения в функционировании фотосинтетического аппарата, приводящие к снижению фотохимической активности и накоплению перекиси водорода H_2O_2 [28, 29].

Сейчас известно, что некоторые растения способны метаболизировать глифосат до аминометилфосфоновой кислоты (АМФК), которая также рассматривается как фитотоксин. Совместное присутствие ГФ и АМФК может существенно модифицировать действие гербицида на физиологию растений [29, 30]. Влияние АМФК и совместного действия ГФ и АМФК значительно менее исследовано.

По данным Уанписсаги применение глифосата может приводить к снижению устьичной проводимости [31]. Исследования Сактак свидетельствуют о способности глифосата вызывать нарушения питания растений [32].

Анализ современных литературных данных показывает, что глифосат оказывает влияние на разные физиологические процессы в растениях. В связи с этим актуально изучение влияния ГФ-утилизирующих ризобактерий на рост, развитие и показатели фотосинтетической активности растений, а также оценка их антистрессового действия в зависимости от содержания гербицида в почве.

Влияние *Azospirillum* sp. и *Rhizobium* sp. на всхожесть семян и развитие проростков пшеницы в зависимости от содержания глифосата в почве. В ходе *in vitro* экспериментов RGP-потенциал (стимулирующий потенциал) глифосат-утилизирующих бактерий оценивали по показателям всхожести семян тест-культуры, а также по развитию проростков: длине корней и колеоптиле. На контрольном варианте четко прослеживается негативное действие концентрации глифосата в почве на всхожесть, длину корней и колеоптиле тест-культуры. Стрессовое действие глифосата усиливается при увеличении концентрации гербицида в почве (табл. 1).

Результаты тестирования 3-х штаммов ассоциативных diaзотрофов *Azospirillum* sp. и 2-х штаммов симбиотических *Rhizobium* sp. показали, что ассоциативные азотфиксаторы *Azospirillum* sp. 1', *Azospirillum* sp. Дп1 и *Azospirillum* sp. 2(в)3 оказывают более значимое стимулирующее и антистрессовое действие по сравнению с клубеньковыми бактериями *Rhizobium* sp. Под действием штаммов *Azospirillum* sp. всхожесть семян пшеницы повышалась на 3,3–16,7 %, длина колеоптиле – на 0,08–0,67 см и суммарная длина корней проростка – на 1,26–2,31 см в зависимости от содержания глифосата в почве (табл. 1).

Таблица 1

Влияние *Azospirillum* sp. и *Rhizobium* sp. на всхожесть семян и развитие проростков пшеницы в зависимости от содержания глифосата в почве (*in vitro*, 2023 г.)

Вариант	Всхожесть, %			Длина coleoptиле, см			Суммарная длина корней проростка, см		
	C ₀	C ₁	C ₂	C ₀	C ₁	C ₂	C ₀	C ₁	C ₂
Контроль	86,7	83,3	70,0	2,98	2,68	1,66	10,76	9,21	6,13
<i>Rhizobium</i> sp. R-45	83,3	83,3	75,0	3,07	2,87	1,95	12,35	10,80	6,59
<i>Rhizobium</i> sp. R-63/3	85,0	76,7	66,7	3,36	2,79	1,76	11,06	9,54	5,97
<i>Azospirillum</i> sp. 1'	90,0	86,7	77,0	3,40	2,76	1,83	11,37	9,46	6,25
<i>Azospirillum</i> sp. Дп1	90,0	86,7	76,7	3,76	2,93	2,06	12,86	10,16	7,45
<i>Azospirillum</i> sp. 2(в)3	93,3	90,0	86,7	3,65	3,06	2,21	13,07	10,83	7,39
C _{ГФ} : C ₀ – 0 мкг/мл C ₁ – 0,2 мкг/мл C ₂ – 1,0 мкг/мл									
НСП _{0,95} Фактор А (C _{ГФ})	7,42			0,28			0,47		
Фактор В (инокуляция)	8,64			0,36			0,61		

Влияние ГФ-утилизирующих бактерий *Azospirillum* sp. и *Rhizobium* sp. на показатели активности фотосинтеза в зависимости от содержания глифосата в почве. В модельных инокуляционных экспериментах в искусственно контролируемых условиях получены экспериментальные данные по влиянию азотфиксирующих бактерий на динамику линейного роста тест-культуры гороха Миллениум в зависимости от концентрации глифосата в почве. На фоне без глифосата, а также на фонах C₁ (3,0 л/га), C₂ (10 л/га) и C₃ (50 л/га) наиболее заметное антистрессовое и стимулирующее воздействие на высоту растений тест-культуры гороха оказали штаммы *A. brasilense* 2(в)3 и *Rh. trifolii* R-45 (табл. 2, рис. 1, 2). Отмечено усиление антистрессового действия приема инокуляции диазотрофами *A. brasilense* 2(в)3 и *Rh. trifolii* R-45 при повышении содержания глифосата в почве.



Рис. 1. Фон C₀ (4 сосуда слева: 1 – контроль; 2 – *A. brasilense* 2(в)3; 3 – *A. brasilense* Дп1; 4 – *Rh. trifolii* R-45). Фон C₂ (4 сосуда справа: 1 – контроль; 2 – *A. brasilense* 2(в)3; 3 – *A. brasilense* Дп1; 4 – *Rh. trifolii* R-45)



Рис. 2. Фон C_0 (4 сосуда слева: 1 – контроль; 2 – *A. brasilense* 2(в)3; 3– *A. brasilense* Дп1; 4 – *Rh. trifolii* R-45). Фон C_3 (4 сосуда справа: 1 – контроль; 2 – *A. brasilense* 2(в)3; 3 – *A. brasilense* Дп1; 4 – *Rh. trifolii* R-45)

Таблица 2

Влияние *Azospirillum* sp. и *Rhizobium* sp. на динамику линейного роста гороха Миллениум в зависимости от содержания глифосата в почве

$C_{ГФ}$	Инокуляция	Высота растений, см							
		14.03.23		27.03.23		06.04.23		21.04.23	
		см	% *	см	%*	см	% *	см	%*
C_0	Без инокуляции	9,69	100	18,17	100	26,07	100	34,16	100
	<i>A. brasilense</i> 2(в)3	10,64	110	19,78	109	30,18	116	36,09	106
	<i>A. brasilense</i> Дп1	9,52	98	19,12	105	28,15	108	35,25	103
	<i>Rh. trifolii</i> R-45	9,63	99	19,39	107	27,43	105	35,80	105
C_1	Без инокуляции	9,23	100	17,56	100	25,28	100	33,62	100
	<i>A. brasilense</i> 2(в)3	9,79	106	17,75	101	25,80	102	35,44	105
	<i>A. brasilense</i> Дп1	9,48	103	17,83	102	25,54	101	33,98	101
	<i>Rh. trifolii</i> R-45	9,50	103	16,34	93	26,60	105	36,98	110
C_2	Без инокуляции	9,00	100	17,23	100	24,19	100	32,85	100
	<i>A. brasilense</i> 2(в)3	9,75	108	18,15	105	25,38	105	34,12	104
	<i>A. brasilense</i> Дп1	8,50	94	19,46	113	25,11	104	34,66	106
	<i>Rh. trifolii</i> R-45	9,59	107	19,87	115	28,16	116	35,98	110
C_3	Без инокуляции	7,66	100	15,15	100	22,14	100	30,46	100
	<i>A. brasilense</i> 2(в)3	8,11	106	17,29	114	24,43	110	34,39	113
	<i>A. brasilense</i> Дп1	8,38	109	17,87	118	22,37	101	33,72	111
	<i>Rh. trifolii</i> R-45	10,20	133	17,13	113	24,55	111	32,93	108
НСР ₀₅ Фактор А (инокуляция)		0,5		0,45		0,73		0,61	
Фактор В (доза ГФ)		0,5		0,45		0,73		0,61	

Примечание. C_0 – без ГФ, C_1 – 2,30 мг ГФ/кг (3,0 л/га), C_2 – 7,70 мг ГФ/кг (10 л/га), C_3 – 38,50 мг ГФ/кг (50 л/га). * Действие по отношению к контролю.

Получены экспериментальные данные по влиянию ассоциативных и клубеньковых бактерий на массу надземной части и корней растений гороха Миллениум в зависимости от содержания гербицида в почве. Отмечено что штаммы diazotрофов *A. brasilense* 2(в)3 и *Rh. trifolii* R-45 как на фонах без внесения глифосата, так и на фонах C_1 , C_2 и C_3 при возрастающих концентрациях гербицида в почве оказывали стимулирующий эффект на развитие корней и надземной части гороха, что подтверждает антистрессовое действие ризосферных бактерий в условиях загрязнения почвы гербицидом (табл. 3, рис. 3, 4).

Можно отметить, что на фоне C_0 наибольшее влияние на сухую массу корней оказал штамм *A. brasilense* 2(в)3 (22 %), затем *Rh. trifolii* R-45 (17 %) и *A. brasilense* Дп1 (9 %). На фоне C_1 наблюдается аналогичная закономерность, сухая масса корней повышалась на 22, 13 и 4 % соответственно. На фоне C_2 лучшие показатели получены при инокуляции гороха *A. brasilense* Дп1 (15 %) и *Rh. trifolii* R-45 (15 %). На фоне C_3 по эффективности выделяются ризобактерии *A. brasilense* 2(в)3 (22 %) и *Rh. trifolii* R-45 (17 %), а также усиливается стимулирующее действие *A. brasilense* Дп1 (17 %). В некоторых случаях прослеживается тенденция усиления антистрессового действия азотфиксирующих ризобактерий при повышении содержания глифосата в почве.

Таблица 3

Влияние *Azospirillum* sp. и *Rhizobium* sp. на массу надземной части и корней гороха Миллениум в зависимости от содержания глифосата в почве

$C_{ГФ}$	Инокуляция	Масса надземной части				Масса корней растений			
		сырая масса		сухая масса		сырая масса		сухая масса	
		г	% *	г	% *	г	% *	г	% *
C_0	Без инокуляции	2,52	100	0,37	100	1,38	100	0,23	100
	<i>A. brasilense</i> 2(в)3	2,71	108	0,42	114	1,50	109	0,28	122
	<i>A. brasilense</i> Дп1	2,44	97	0,38	103	1,47	107	0,25	109
	<i>Rh. trifolii</i> R-45	2,59	103	0,39	105	1,44	104	0,27	117
C_1	Без инокуляции	2,49	100	0,36	100	1,30	100	0,23	100
	<i>A. brasilense</i> 2(в)3	2,72	109	0,40	111	1,55	119	0,28	122
	<i>A. brasilense</i> Дп1	2,72	109	0,38	106	1,38	106	0,24	104
	<i>Rh. trifolii</i> R-45	2,61	105	0,40	111	1,35	104	0,26	113
C_2	Без инокуляции	2,35	100	0,31	100	1,13	100	0,20	100
	<i>A. brasilense</i> 2(в)3	2,81	120	0,36	116	1,31	116	0,22	110
	<i>A. brasilense</i> Дп1	2,41	103	0,35	113	1,21	107	0,23	115
	<i>Rh. trifolii</i> R-45	2,54	108	0,35	113	1,22	108	0,23	115
C_3	Без инокуляции	2,10	100	0,29	100	0,95	100	0,18	100
	<i>A. brasilense</i> 2(в)3	2,36	112	0,35	121	1,20	126	0,22	122
	<i>A. brasilense</i> Дп1	2,41	115	0,34	117	1,10	116	0,21	117
	<i>Rh. trifolii</i> R-45	2,53	120	0,33	114	1,08	114	0,21	117
НСР ₀₅ Фактор А (инокул.)		0,13		0,03		0,13		0,02	
Фактор В (доза ГФ)		0,13		0,03		0,13		0,02	

Примечание. C_0 – без ГФ, C_1 – 2,30 мг ГФ/кг (3,0 л/га), C_2 – 7,70 мг ГФ/кг (10 л/га), C_3 – 38,50 мг ГФ/кг (50 л/га). * Действие по отношению к контролю.



Рис. 3. Модельный эксперимент, тест-культура горох Миллениум (2023 г.)



Рис. 4. Корневая система тест-культуры, горох Миллениум (2023 г.)

Влияние азотфиксирующих бактерий на площадь листовой поверхности тест-культуры в зависимости от содержания глифосата в почве. Площадь листовой поверхности – один из важнейших показателей активности фотосинтеза. Величина ассимиляционной поверхности растения – важнейший фактор и необходимое условие высокой продуктивности растений [25, 28]. Увеличение площади листовой поверхности свидетельствует об улучшении физиологического состояния растения.

Представлены экспериментальные данные по оценке площади листовой поверхности разными методами: путем измерений (произведение общей длины на максимальную ширину листа) и методом сканирования (табл. 4). Отмечена общая закономерность: прием инокуляции семян ассоциативными и симбиотическими diaзотрофами *Azospirillum* sp. и *Rhizobium* sp. способствовал увеличению площади листовой поверхности растений гороха в широком диапазоне содержания глифосата в почве.

Установлена следующая зависимость: при повышении содержания глифосата в почве антистрессовое действие азотфиксирующих *Azospirillum* sp. и *Rhizobium* sp. на площадь листовой поверхности постепенно ослабевало. На фоне C_0 без внесения глифосата эффективность азотфиксирующих бактерий варьировала в пределах 7–30 % (4–24 %), на фоне C_1 – в пределах 13–22 % (13–23 %), на фоне C_2 – от 1 до 17 % (2–12 %) и на фоне C_3 – от 7 до 11 % (11–15 %) (табл. 4).

Таблица 4

Влияние *Azospirillum* sp. и *Rhizobium* sp. на площадь листовой поверхности гороха Миллениум в зависимости от содержания ГФ в почве

$C_{ГФ}$	Инокуляция	Площадь листовой поверхности			
		метод измерений ($K = 0,85$)		метод сканирования	
		см ²	% *	см ²	% *
C_0	Без инокуляции	65,27	100	64,17	100
	<i>A. brasilense</i> 2(в)3	71,85	110	70,28	109
	<i>A. brasilense</i> Дп1	67,88	104	68,46	107
	<i>Rh. trifolii</i> R-45	80,97	124	83,73	130

Продолжение таблицы 4

С _{ГФ}	Инокуляция	Площадь листовой поверхности			
		метод измерений (K = 0,85)		метод сканирования	
		см ²	% *	см ²	% *
С ₁	Без инокуляции	59,24	100	59,74	100
	<i>A. brasilense</i> 2(в)3	69,03	116	72,91	122
	<i>A. brasilense</i> Дп1	72,78	123	70,22	118
	<i>Rh. trifolii</i> R-45	66,68	113	67,54	113
С ₂	Без инокуляции	58,92	100	61,80	100
	<i>A. brasilense</i> 2(в)3	65,09	110	72,39	117
	<i>A. brasilense</i> Дп1	65,77	112	63,64	103
	<i>Rh. trifolii</i> R-45	59,95	102	62,48	101
С ₃	Без инокуляции	58,30	100	62,20	100
	<i>A. brasilense</i> 2(в)3	64,75	111	66,49	107
	<i>A. brasilense</i> Дп1	66,76	115	68,78	111
	<i>Rh. trifolii</i> R-45	65,78	113	67,46	109
НСР ₀₅ Фактор А (инокуляция)		3,10		2,04	
Фактор В (доза ГФ)		3,10		2,04	

Примечание. С₀ – без ГФ, С₁ – 2,30 мг ГФ/кг (3,0 л/га), С₂ – 7,70 мг ГФ/кг (10 л/га), С₃ – 38,50 мг ГФ/кг (50 л/га).

*Действие по отношению к контролю.

Влияние азотфиксирующих бактерий на содержание хлорофиллов в листьях гороха Миллениум в зависимости от концентрации глифосата в почве.

Хлорофиллы играют важнейшую роль в процессах фотосинтеза, их содержание считается объективным показателем физиологического статуса растения и его фотосинтетического потенциала [25, 27, 28]. Все высшие растения содержат хлорофиллы а и b. Содержание хлорофилла а обычно превышает содержание хлорофилл b.

Результаты экспериментов свидетельствуют о положительном действии азотфиксирующих ризобактерий *A. brasilense* 2(в)3, *A. brasilense* Дп1 и *Rh. trifolii* R-45 на активность процессов фотосинтеза в растениях гороха Миллениум (табл. 5). Прием инокуляции семян глифосат-утилизирующими diaзотрофами оказывает антистрессовое действие в широком диапазоне содержания глифосата в почве.

При анализе экспериментальных данных отмечена закономерность, проявляющаяся в снижении содержания разных форм хлорофилла (а, b и а + b) в листьях тест-культуры при повышении концентрации глифосата в почве от 0 до 10 л/га или до 50 л/га. Отмечена также закономерность антистрессового действия инокуляции семян ассоциативными и симбиотическими diaзотрофами *Azospirillum* sp. и *Rhizobium* sp., который способствует повышению содержания разных форм хлорофилла в листьях гороха Миллениум в широком диапазоне содержания глифосата в почве.

Установлена зависимость содержания хлорофиллов (а, b и а + b) в листьях от концентрации глифосата в почве. Показатели содержания хлорофиллов (а, b и а + b) в листьях тест-культуры зависели также от свойств штамма-инокулянта.

Влияние *Azospirillum* sp. и *Rhizobium* sp. на содержание хлорофиллов в листьях гороха Миллениум в зависимости от концентрации глифосата в почве

C _{ГФ}	Инокуляция	Содержание хлорофиллов, %		
		a	b	a + b
C ₀	Без инокуляции	7,45	3,66	11,11
	<i>A. brasilense</i> 2(в)3	8,24	4,97	13,21
	<i>A. brasilense</i> Дп1	8,29	4,75	13,04
	<i>Rh. trifolii</i> R-45	8,74	3,98	12,72
C ₁	Без инокуляции	6,74	3,15	9,89
	<i>A. brasilense</i> 2(в)3	7,74	4,78	12,52
	<i>A. brasilense</i> Дп1	8,36	4,96	13,32
	<i>Rh. trifolii</i> R-45	7,14	4,10	11,24
C ₂	Без инокуляции	6,05	2,85	8,90
	<i>A. brasilense</i> 2(в)3	8,05	4,01	12,06
	<i>A. brasilense</i> Дп1	7,80	4,74	12,54
	<i>Rh. trifolii</i> R-45	7,64	4,04	11,68
C ₃	Без инокуляции	5,60	2,26	7,86
	<i>A. brasilense</i> 2(в)3	6,15	2,95	9,10
	<i>A. brasilense</i> Дп1	6,00	2,62	8,62
	<i>Rh. trifolii</i> R-45	7,26	2,38	9,64
НСР ₀₅ Фактор А (инокуляция)		0,41	0,32	0,50
Фактор В (доза ГФ)		0,41	0,32	0,50

Примечание. C₀ – без ГФ, C₁ – 2,30 мг ГФ/кг (3,0 л/га), C₂ – 7,70 мг ГФ/кг (10 л/га), C₃ – 38,50 мг ГФ/кг (50 л/га).

Данные, полученные в модельных экспериментах в условиях почвенного микроскома показали, что ризосферные азотфиксирующие бактерии *A. brasilense* и *Rh. trifolii* из коллекционного фонда Института почвоведения и агрохимии оказывают полифункциональное полезное воздействие на инокулированные растения: стимулируют их рост и развитие, повышают их фотосинтетический потенциал (ассимиляционная поверхность, содержание хлорофиллов), способны утилизировать глифосат и одновременно оказывать антистрессовое действие на растения в широком диапазоне концентраций этого гербицида в почве. К преимуществам ризосферных бактерий *A. brasilense* и *Rh. trifolii* относится способность фиксировать атмосферный азот и контролировать развитие фитопатогенов [4, 33].

ВЫВОДЫ

Проведена серия модельных инокуляционных экспериментов по культивированию гороха Миллениум в условиях почвенного микроскома с искусственно созданными уровнями содержания глифосата в почве: C₀ (без глифосата), C₁, C₂ и C₃ соответствующие внесению 0; 3; 10 и 50 л/га гербицида в полевых условиях. Установлено, что прием инокуляции семян глифосат-утилизирующими ризобактериями *A. brasilense* 2(в)3, *A. brasilense* Дп1 и *Rh. trifolii* R-45 оказывает

полифункциональное антистрессовое действие на растение в широком диапазоне содержания глифосата в почве, которое проявляется в стимуляции роста, развития корневой системы, повышении фотосинтетического потенциала за счет увеличения ассимиляционной поверхности листьев и содержания хлорофиллов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Михайловская, Н. А. Скрининг азотфиксирующих бактерий по способности метаболизировать гербицид глифосат как источник фосфора / Н. А. Михайловская // Почвоведение и агрохимия. – 2022. – 2(69). – С. 110–120.
2. Okon, Y. Developments in Basic and Applied Biological Nitrogen Fixation / Y. Okon, R. W. F. Hardy // Plant Physiology. Academic Press Inc. – 1983. – Vol. 8. – P. 5–54.
3. Michiels, K. *Azospirillum* – plant root associations: a review / K. Michiels, J. Vanderleyden, A. Gool // Biol. Fertil. Soils. – 1989. – Vol. 8. – P. 356–368.
4. Нестеренко, В. Н. Использование ассоциативных микроорганизмов для повышения урожайности ячменя и многолетних злаковых трав: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук: 06.01.04 / В. Н. Нестеренко. – Минск, 1993. – 23 с.
5. Mikanová, O. Schopnost kmenů *Rhizobium leguminosarum* zpřístupňovat fosfor / O. Mikanová [et al.] // Rostlinná výroba. – 1995. – Vol. 41. – № 9. – P. 423–425
6. Zobiolo, L. H. S. Glyphosate affects chlorophyll, nodulation and nutrient accumulation of «second generation» glyphosate-resistant soybean (*Glycine max* L.) / L. H. S. Zobiolo [et al.] // Pestic. Biochem. Physiol. – 2011. – Vol. 99. – P. 53–60.
7. Zobiolo, L. H. S. Glyphosate effects on photosynthesis, nutrient accumulation, and nodulation in glyphosate-resistant soybean / L. H. S. Zobiolo [et al.] // J. Plant Nutr. Soil Sci. – 2012. – Vol. 175. – P. 319–330.
8. Okon, Y. Development and function of *Azospirillum*-inoculated roots / Y. Okon, Y. Kapulnik // Plant Soil. – 1986. – Vol. 90. – P. 3–16.
9. Kapulnik, Y. Changes in root morphology of wheat caused by *Azospirillum* inoculation / Y. Kapulnik, Y. Okon, Y. Henis // Can. J. Microbiol. – 1985. – Vol. 31. – P. 881–887.
10. Tien, T.M. Plant growth substances produced by *Azospirillum brasilense* and their effect on the growth of pearl millet (*Pennisetum americanum* L.) / T. M. Tien, M. H. Gaskins, D. H. Hubbell // Appl. Environ. Microbiol. – 1979. – Vol. 37, № 5. – P. 1016–1024.
11. Jain, D. K. Characterization of a substance produced by *Azospirillum* which causes branching of wheat root hairs / D. K. Jain, D. G. Patriquin // Can. J. Microbiol. – 1985. – Vol. 31. – P. 206–210.
12. Zimmer, W. An alternative explanation for plant growth promotion by bacteria of the genus *Azospirillum* / W. Zimmer, K. Roeben, H. Bothe // Planta. – 1988. – Vol. 176. – P. 333–342.
13. Zimmer, W. The phytohormonal interactions between *Azospirillum* and wheat / W. Zimmer, H. Bothe // Nitrogen fixation with non-legumes / Eds. F. A. Skinner [et al.]. – Kluwer Academic Publishers, 1989. – P. 137–145.
14. Михайловская, Н. А. Активность фосфатмобилизации у ризобактерий / Н. А. Михайловская [и др.] // Почвоведение и агрохимия. – 2007. – № 1(38). – С. 225–231.
15. Štorkánová, G. P-solubilizační aktivita kmenů rodu *Rhizobium*. (P-solubilization activity of *Rhizobium* species strains) / G. Štorkánová [et al.] // Rostlinná výroba. – 1999. – Vol. 45. – № 9. – P. 403–40.

16. *Mikanová, O.* The practical use of the P-solubilization activity of *Rhizobium* species strains / O. Mikanová, J. Kubát // *Rostlinná Výroba*. – 1999. – Vol. 45. – № 9. – P. 407–409.
17. *Kennedy, I.R.* Biological nitrogen fixation in non-leguminous field crops: recent advances / I. R. Kennedy, Y. Tchan // *Plant Soil*. – 1992. – Vol. 141. – P. 93–118.
18. *Duke, S.O.* Glyphosate: a once-in-a-century herbicide / S. O. Duke, S B. Powles // *Pest Manage Sci*. – 2008. – Vol. 64, № 4. – P. 319–325.
19. *Moens, S.* Cloning sequencing and phenotypic analysis of *laf1*, encoding the flagellum of the lateral flagella of *Azospirillum brasilense* Sp. 7 / S. Moens [et al.] // *J. Bacteriol*. – 1995. – Vol. 177. – P. 5419–5426.
20. *Bashan, Y.* Migration of the rhizosphere bacteria *Azospirillum brasilense* and *Pseudomonas fluorescens* towards wheat roots in the soil / Y. Bashan // *J. Gen. Microbiol*. – 1986. – Vol. 132. – P. 3407–3414.
21. *Mikanová, O.* Phosphorus Solubilizing Microorganisms and their Role in Plant Growth Promotion / Mikanová, O., Kubát, J. // *Microbial Biotechnology in Agriculture and Aquaculture* – 2006. – Vol. II. – P. 111–145.
22. *Mikanová, O.* Practical use of the P-solubilization activity of *Rhizobium* species strains / O. Mikanová, J. Kubát // *Rostlinná Výroba*. – 1999. – Vol. 45. – № 9. – P. 407–409.
23. *Лапа, В. В.* Применение удобрений и качество урожая / В. В. Лапа, В. Н. Босак. – Минск, 2006. – 120 с.
24. Способ определения площади листьев гороха: пат. SU 1544279 A1 / А. Г. Бегунова, В. В. Ефремова, Г. Д. Цвирицько, А. М. Бурдун; заявитель Кубанский с/х институт, 1981.
25. *Посыпанов, Г. С.* Методы изучения биологической фиксации азота воздуха / Г. С. Посыпанов. – М.: Агропромиздат, 1991. – 299 с.
26. *Haslam, E.* The shikimate pathway: biosynthesis of natural products series / E. Haslam. – Elsevier, New York. – 2014.
27. *Fedtke, K.* Herbicides / K. Fedtke, S. Duke // *Plant toxicology* / Hock B, Elstner E, eds. – New York: Marcel Dekker. – 2005. – P. 247–330.
28. *Gomes, M.P.* Glyphosate-Dependent Inhibition of Photosynthesis in Willow / M. P. Gomes [et al.] // *Front. Plant Sci*. – 2016. – Vol. 8. – P. 150–164.
29. *Gomes, M. P.* Alteration of plant physiology by glyphosate and its by-product aminomethylphosphonic acid: an overview / M. P. Gomes [et al.] // *J. Exp. Bot*. – 2014. – Vol. 65, № 17. – P. 4691–4703.
30. *Reddy, K. N.* Aminomethylphosphonic acid, a metabolite of glyphosate, causes injury in glyphosate-treated, glyphosate-resistant soybean / K.N. Reddy, A.M. Rimando, S.O. Duke // *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. – 2004. – Vol. 52. – P. 5139–5143.
31. *Yannicari, M.* Glyphosate effects on gas exchange and chlorophyll fluorescence responses of two *Lolium perenne* L. biotypes with differential herbicide sensitivity. / M. Yannicari [et al.] // *Plant Physiol. Biochem*. – 2012. – Vol. 57. – P. 210–217.
32. *Сакмак, I.* Glyphosate reduced seed and leaf concentrations of calcium, manganese, magnesium, and iron in nonglyphosate resistant soybean. / I. Сакмак [et al.] // *Eur. J. Agron*. – 2009. – Vol. 31. – P. 114–119.
33. *Михайловская, Н. А.* Антагонистическая активность ризобактерий *A. brasilense* и *B. circulans* по отношению к фитопатогенным микромицетам pp. *Fusarium* и *Alternaria* / Н. А. Михайловская, Т. Б. Барашенко // *Почвоведение и агрохимия*. – 2019. – № 1(62). – С. 234–244.

**EFFECT OF GLYPHOSATE-UTILIZING BACTERIA *AZOSPIRILLUM* SP.
AND *RHIZOBIUM* SP. ON PHYSIOLOGICAL STATUS OF PLANTS
UNDER DIFFERENT GLYPHOSATE CONTENT IN SOIL**

**N. A. Mikhailouskaya, T. B. Barashenko, A. V. Yukhnavets,
T. V. Pogirnitskaya, S. V. Dyusova**

Summary

Cultivation of *Pisum sativum* L, Millenium under soil microcosm conditions in model experiments with different glyphosate content in soil: C₀, C₁, C₂ and C₃, which corresponding the application of 0; 3,0; 10,0 and 50,0 liters of herbicide per hectare. Experimental data showed that seed inoculation by rhizobacteria *Azospirillum* sp. and *Rhizobium* sp. provided anti-stress effect on cultivated plants at high diapason of glyphosate content in soil. Anti-stress action of inoculation procedure realized in plant growth promotion, root stimulation, as well as in the increase of leaf's assimilation area and chlorophylls content in leaf.

Поступила 06.12.23

ВЛИЯНИЕ РИЗОБАКТЕРИЙ Р. *PSEUDOMONAS* НА ФОТОСИНТЕТИЧЕСКИЙ ПОТЕНЦИАЛ КУКУРУЗЫ В ПРИСУТСТВИИ ГЛИФОСАТА В ПОЧВЕ

Н. А. Михайловская¹, С. А. Касьянчик², Т. Б. Барашенко¹,
Т. В. Погирницкая¹, С. В. Дюсова¹

¹Институт почвоведения и агрохимии, г. Минск, Беларусь

²Национальная академия наук Беларуси, г. Минск, Беларусь

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время гербицид глифосат применяется в глобальных масштабах. Глифосат интенсивно используется в сельскохозяйственных посевах, в лесном хозяйстве, в садоводстве, на территориях городов, для очистки водоемов и в качестве десиканта. Это обусловлено его эффективностью, невысокой стоимостью и наличием устойчивых к гербициду трансгенных сортов основных сельскохозяйственных культур. В международной научной литературе отмечается практически повсеместное присутствие остаточных количеств глифосата (ГФ) и его первичного метаболитического продукта, аминометилфосфоновой кислоты (АМФК), в окружающей среде [1, 2]. При оценке остаточного количества глифосата установлено, что гербицид может распространяться на большие расстояния (до нескольких километров) от места применения [3]. По последним научным данным при однократной обработке почвы глифосат и его метаболит АМФК обнаруживаются в почве в течение 2-х лет, а при многократных обработках – в течение 5 лет [4].

К настоящему времени многократно подтверждено негативное экологическое действие глифосата [5–7] и установлена необходимость его детоксикации. Современные научные исследования свидетельствуют о токсическом действии ГФ на живые организмы. В 2015 г. ВОЗ признала глифосат карциногенным для человека [1]. Для снижения негативных последствий многократного применения ГФ, восстановления биологической активности почвы и получения экологической продукции необходимы периодические ремедиации почв.

Почвенный глифосат устойчив к химическим и физическим методам воздействия. Микробные методы детоксикации считаются самыми эффективными, так как могут обеспечить безопасную детоксикацию гербицида [8–11]. К настоящему времени наибольшее число глифосат-утилизирующих бактерий обнаружено среди представителей рода *Pseudomonas* [1, 12, 13]. Ризосферные бактерии рода *Pseudomonas* широко распространены в почвах зоны умеренного климата. Наряду с представителями *Bacillus* и *Arthrobacter*, бактерии р. *Pseudomonas* считаются основными составляющими микрофлоры почв умеренной зоны.

Среди объектов хранения исследовательской коллекции ризосферных бактерий Института почвоведения и агрохимии имеется целый ряд представителей рода *Pseudomonas*, повышающих доступность нерастворимых фосфатов [14, 15]. Ценным свойством *Pseudomonas* spp. является их высокая антагонистическая активность по отношению к корневым фитопатогенам. Инокулянты на основе

Pseudomonas spp. действуют как эффективные биофунгициды и оказывают значимое фунгистатическое действие на корневой гнили [14]. По результатам наших исследований применение коллекционных штаммов *Pseudomonas* spp. в качестве инокулянтов обеспечивало гормональный эффект: увеличение объема корней на 14–30 %, массы корней – на 11–32 %, массы надземной части растения – на 6–19 % на ранних этапах онтогенеза [14, 15].

В процессе проведения скрининга исследовательской коллекции установлено новое ценное свойство представителей *Pseudomonas* sp. – способность утилизировать глифосат. В результате скрининга были отобраны эффективные штаммы р. *Pseudomonas*, способные метаболизировать глифосат как источник фосфора [16, 17].

Цель настоящей работы – установить влияние глифосат-утилизирующих фосфатрастворяющих ризобактерий р. *Pseudomonas* на фотосинтетический потенциал кукурузы в зависимости от содержания глифосата в почве.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Объекты исследований – штаммы ризосферных фосфатрастворяющих ризобактерий из фонда исследовательской коллекции Института почвоведения и агрохимии: *Pseudomonas* sp. P-6, *Pseudomonas* sp. P-7, *Pseudomonas* sp. P-15, *Pseudomonas* sp. P-25 и *Pseudomonas* sp. P-42. Исследования проведены путем постановки серии инокуляционных *in vitro* экспериментов.

Методика инокуляционных *in vitro* экспериментов по оценке влияния глифосата на PGP-потенциал ризобактерий *Pseudomonas* spp. Инокуляционные *in vitro* эксперименты проведены в чашках Петри, тест-культура – яровая пшеница. Поверхностно стерилизованные семена (10 % H₂O₂, 30 минут) обрабатывали растворами гербицида (0,20 и 1,00 мкг/мл), просушивали стерильной фильтровальной бумагой. После этого семена тест-культуры инокулировали суспензиями исследуемых ризосферных бактерий. Длительность экспозиции семян в растворах гербицида – 2 часа, экспозиции семян в бактериальных суспензиях (инокуляция) также 2 часа. Обработанные семена раскладывали в чашки Петри (по 10 семян в каждую) на фильтровальную бумагу, увлажненную стерильной водопроводной водой (4 мл). Чашки Петри помещали в термостат при температуре 28 °С на 4–5 суток.

Бактериальные суспензии готовили путем смыва двухсуточных культур, выращенных на плотных питательных средах. Титры: 5,0–5,5 × 10⁷ КОЕ/мл (OD₆₅₀ 0,700–0,750 на спектрофотометре UV/VISS-8001). Контроль – семена тест-культуры, выдержанные 2 часа в дистиллированной воде (С₀), а также обработанные растворами глифосата (С₁, С₂) без инокуляции. Повторность в опытах пятикратная. В ходе экспериментов на 2-е сутки определяли всхожесть семян пшеницы, на 5-е сутки – длину надземной части (колеоптиле) и суммарную длину корней проростков.

Методика проведения модельного инокуляционного эксперимента с тест-культурой в искусственно контролируемых условиях (почвенный микрокосм). Для установления влияния ГФ-утилизирующих ризобактерий рода *Pseudomonas* (инокуляция семян) на физиологический статус растений и показатели активности фотосинтеза в условиях почвенного микрокосма проведен модельный эксперимент в дерново-подзолистой супесчаной почве (500 г) с искусственно созданными разными уровнями содержания глифосата: С₀ (без глифосата), С₁, С₂

и C_3 . Для создания концентраций C_1 , C_2 и C_3 в почву вносили водные растворы гербицида Торнадо: 2,30 мг ГФ/кг, 7,70 мг ГФ/кг и 38,50 мг ГФ/кг почвы. Концентрация C_1 соответствует внесению в почву 3,0 л/га, концентрация C_2 – 10 л/га гербицида. Опытная концентрация C_3 соответствует пятикратному превышению максимальной дозы 50 л/га при условии пересчета на слой пахотного горизонта 0–5 см. Внесение гербицида в почву проведено за 7 дней до посева семян тест-культур. Длительность эксперимента – 2,5 месяца, повторность четырехкратная.

В модельном эксперименте в качестве тест-культуры использовали кукурузу Фрода. Поверхностно стерилизованные (10 % раствор H_2O_2 , 30 минут) семена кукурузы были инокулированы суспензиями бактерий *Pseudomonas* spp. P-6, P-7 и P-25 с титрами $8,5\text{--}8,8 \times 10^7$ КОЕ/мл. Бактериальные суспензии готовили путем смыва двухсуточных культур, выращенных на плотной питательной среде. Контроль – семена без инокуляции. В каждый сосуд (\varnothing 9 см, h = 11 см, объем почвы 500 г) высевали по 5 семян тест-культуры.

Оценка влияния глифосата на фотосинтетический потенциал растений.

Фотосинтетические показатели тест-культуры изучали в течение 2-х месяцев (от посева семян до уборки). Фотосинтетическую активность кукурузы оценивали по следующим показателям: динамика роста методом замеров, масса надземной части растений методом высушивания до постоянной массы [18], площадь листовой поверхности методом измерений с определением поправочного коэффициента (для кукурузы $K = 0,75$). Содержание хлорофиллов в листьях определяли по методу Посыпанова [19]. По окончании эксперимента определены сырая и сухая масса корней растений кукурузы. Повторность в эксперименте четырехкратная.

Методика определения содержания хлорофилла в листьях. В соответствии с методом Г. С. Посыпанова [19] навеску листьев (0,2 г) растирали в фарфоровой ступке с добавлением отмытого речного песка, к полученной массе приливали 4–5 мл этилового спирта и продолжали растирание в течение нескольких минут. После отстаивания раствор фильтровали в мерную колбу объемом 25 мл, полученный фильтрат доводили до метки этиловым спиртом и определяли оптическую плотность экстрактов на спектрофотометре Metertech UV/VIS SP 8001.

Содержание хлорофилла а, хлорофилла b и каротиноидов в листьях растений определяли в вытяжках этилового спирта (96%) спектрофотометрическим методом (Metertech UV/VIS SP 8001) при длинах волн, соответствующих максимумам спектра поглощения исследуемых пигментов в указанном растворителе. Для хлорофилла а в вытяжке этилового спирта максимум поглощения находится при OD665, для хлорофилла b – при OD649 нм. Каротиноиды определяли при длине волны 441 нм. Концентрацию пигментов в экстракте рассчитывали по формулам [20]: C_a , (мг/л) = $13,70 \cdot OD665 - 5,76 \cdot OD649$; C_b , (мг/л) = $25,80 \cdot OD649 - 7,60 \cdot OD665$, где OD665 – оптическая плотность раствора при длине волны 665 нм, OD649 – оптическая плотность раствора при длине волны 649 нм. Концентрацию каротиноидов (Скар., мг/л) рассчитывали по формуле: $C_{кар.} = 4,695 \cdot OD441 - 0,268 \cdot (C_a + C_b)$, где OD441 – оптическая плотность раствора при длине волны 441 нм; $C_a + C_b$ – суммарное содержание хлорофиллов а и b в растворе, мг/л. Количественное содержание пигментов (мг/г сух. вещества) в экстракте рассчитывали по формуле: $X = V \cdot C \times 100 : m \cdot 1000 \times (100 - W)$, V – объем спиртовой вытяжки, мл; C – концентрация пигмента в спиртовом растворе, мг/л; m – навеска, г; W – потеря веса при высушивании навески листьев, %.

В лабораторных исследованиях использовали гербицид Торнадо 500: в. р., 500 г/л глифосата кислоты (изопропиламинная соль). Изготовитель: АО Фирма «Август», Россия, ТУ 20.20.12-071-18015953-2017 г.

Для стерилизации химических реактивов и посуды используются стерилизатор паровой ГК-100-3, стерилизатор паровой ГК-10-1; облучатели ультрафиолетовые УГД-2, УГД-3.

Для культивирования бактерий и приготовления бактериальных суспензий используются: термостат ТПС – 1, шейкер орбитальный KS-501 digital IKA WERKE (GmbH & Co.KG), перемешивающее устройство ЛАБ-ПУ-01.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Несмотря на международные научные данные о практически повсеместном присутствии остаточных количеств глифосата и его метаболита АМФК в почвах [1, 2], вопросы действия почвенного глифосата на развитие растений изучаются достаточно редко. В связи с этим в задачи наших исследований входило изучение влияния разных концентраций глифосата в почве на рост, развитие и фотосинтетический потенциал кукурузы.

Влияние *Pseudomonas* spp. на всхожесть семян и развитие проростков пшеницы в зависимости от содержания глифосата в почве. В задачи исследований входила оценка влияния концентрации глифосата на показатели всхожести семян тест-культуры (яровая пшеница), длины coleoptиле и суммарной длины корней проростков. Результаты эксперимента указывают на стрессовое действие глифосата, отмечено снижение процента всхожести семян, длины coleoptиле и суммарной длины корней проростков. Инокуляция семян штаммами *Pseudomonas* spp. P-6, P-7, P-15, P-25, P-42 оказывала значимое стимулирующее действие на фоне глифосатного стресса.

Среди представителей фосфатрастворяющих ризобактерий наибольший стимулирующий эффект оказывали штаммы *Pseudomonas* spp. P-6, P-7 и P-25: показатели всхожести повышались на 3–16 %, длина coleoptиле – на 0,14–0,60 см и длина корней проростка – на 0,21–2,36 см в зависимости от концентрации глифосата (табл. 1, рис. 1).

Таблица 1

Влияние ризобактерий р. *Pseudomonas* на показатели всхожести и развития проростков тест-культуры (яровая пшеница) в зависимости от концентрации глифосата

Вариант	Всхожесть, %			Длина coleoptиле, см			Суммарная длина корней 1 растения, см		
	C ₀	C ₁	C ₂	C ₀	C ₁	C ₂	C ₀	C ₁	C ₂
Контроль	87	77	67	3,19	2,84	2,37	10,29	8,80	6,05
<i>Pseudomonas</i> sp. P-6	90	93	80	3,71	3,20	2,97	11,81	9,01	8,45
<i>Pseudomonas</i> sp. P-7	87	80	77	3,79	3,08	2,95	12,16	9,15	8,41
<i>Pseudomonas</i> sp. P-15	80	70	60	3,54	2,82	2,78	10,56	8,10	6,28
<i>Pseudomonas</i> sp. P-25	87	80	83	3,84	2,98	2,85	12,52	9,89	8,39
<i>Pseudomonas</i> sp. P-42	93	93	83	3,26	2,98	2,63	11,31	9,26	6,72
НСР _{0,95} Факт. А (ГФ)	9,14			0,43			0,87		
Факт. В (инокуляция)	8,17			0,33			0,68		

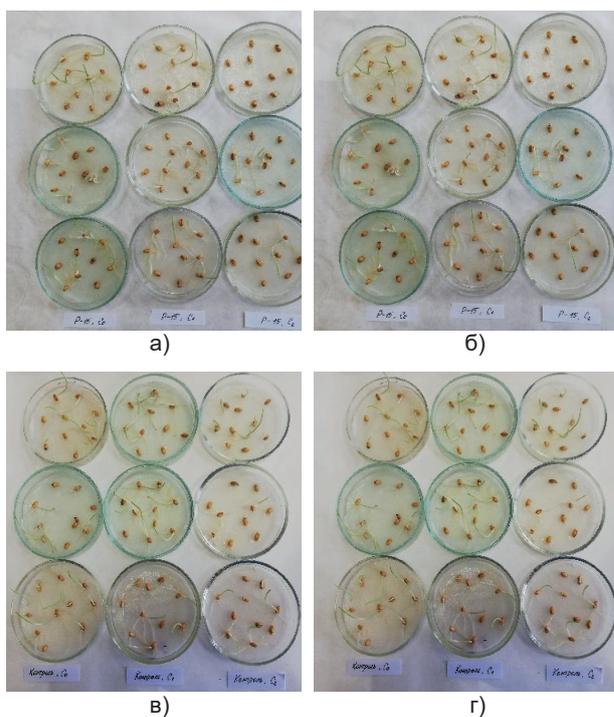


Рис. 1. Влияние ризобактерий на показатели всхожести и развития проростков тест-культуры (яровая пшеница) в зависимости от концентрации глифосата: а) *Pseudomonas* sp. P-6; б) *Pseudomonas* sp. P-15; в) *Pseudomonas* sp. P-25; г) контроль без инокуляции

Влияние ГФ-утилизирующих ризобактерий р. *Pseudomonas* на показатели активности фотосинтеза растений кукурузы в зависимости от содержания глифосата в почве. Для абсолютного большинства применяемых в настоящее время гербицидов основной мишенью являются процессы фотосинтеза в растениях. Основным механизмом действия глифосата (ГФ) на нежелательные растения является ингибирование фермента EPSPS в шикиматном пути биосинтеза ароматических аминокислот [21], вызывающее нарушение процесса биосинтеза белка.

Однако в современной научной литературе появляются исследования, подтверждающие действие глифосата на процессы фотосинтеза растений. В ряде научных исследований доказывается, что глифосат оказывает негативное действие на биосинтез хлорофиллов, каротиноидов и снижает их содержание в растениях [22–24]. Это актуализирует изучение влияния ГФ-утилизирующих ризосферных бактерий на рост, развитие и показатели фотосинтетической активности растений.

Модельный инокуляционный эксперимент в условиях почвенного микроекосма проведен со штаммами фосфатрастворяющих ризобактерий, показавших в предыдущем опыте лучшие результаты по действию на тест-культуру по показателям всхожести семян и развития проростков пшеницы. В инокуляционном эксперименте (рис. 2) с искусственно созданными уровнями внесения гербицида в почву изучены штаммы ризобактерий *Pseudomonas* sp. P-6, *Pseudomonas* sp. P-7 и *Pseudomonas* sp. P-25, получены данные по их влиянию на рост, развитие и показатели активности фотосинтеза растений кукурузы в зависимости от содержания глифосата в почве.



Рис. 2. Лабораторный эксперимент, тест-культура кукуруза

В результате эксперимента установлено, что повышение содержания глифосата в почве не оказывало существенного негативного действия на динамику линейного роста кукурузы Фрода (табл. 2, рис. 3). Стимулирующее действие на рост растений оказала инокуляция семян кукурузы штаммами фосфатрастворяющих ризобактерий. На начальном этапе роста наибольший положительный эффект от *Pseudomonas* spp. (8–18 %) отмечен на фоне C_0 , ко времени уборки эффект от инокуляции *Pseudomonas* spp. составил 4–7 % и 2–12 % на фонах C_1 – C_3 по сравнению с контрольными вариантами. По стимуляции роста лучшими инокулянтами для кукурузы были штаммы *Pseudomonas* sp. P-6 и *Pseudomonas* sp. P-25.

Таблица 2

Влияние ризобактерий р. *Pseudomonas* на динамику линейного роста растений кукурузы в зависимости от содержания глифосата в почве

C _{ГФ}	Инокуляция	Высота растений, см							
		16.05.23		25.05.23		06.06.23		26.06.23	
		см	%*	см	%*	см	%*	см	%*
C ₀	Контроль	6,18	100	24,85	100	42,21	100	58,32	100
	<i>Pseudomonas</i> sp. P-6	7,28	118	26,79	108	45,37	107	62,52	107
	<i>Pseudomonas</i> sp. P-7	6,89	111	26,93	108	44,34	105	60,64	104
	<i>Pseudomonas</i> sp. P-25	6,66	108	25,88	104	43,27	103	60,89	104
C ₁	Контроль	6,11	100	23,77	100	43,77	100	59,96	100
	<i>Pseudomonas</i> sp. P-6	5,91	97	25,17	106	45,32	104	62,36	104
	<i>Pseudomonas</i> sp. P-7	6,51	107	26,04	110	47,43	108	65,78	110
	<i>Pseudomonas</i> sp. P-25	6,39	105	27,42	115	46,71	107	63,20	105
C ₂	Контроль	5,91	100	23,34	100	43,72	100	62,56	100
	<i>Pseudomonas</i> sp. P-6	6,36	108	25,29	108	47,53	109	66,84	107
	<i>Pseudomonas</i> sp. P-7	5,96	101	23,97	103	44,82	103	64,19	103
	<i>Pseudomonas</i> sp. P-25	6,74	114	26,83	115	47,96	110	69,72	112
C ₃	Контроль	6,89	100	26,16	100	44,72	100	60,20	100
	<i>Pseudomonas</i> sp. P-6	7,40	107	30,59	117	51,08	114	66,21	110
	<i>Pseudomonas</i> sp. P-7	7,29	106	28,04	107	48,00	107	63,02	105
	<i>Pseudomonas</i> sp. P-25	6,55	95	28,00	107	49,05	110	65,48	109
HCP ₀₅	Фактор А (инокуляция)	0,38		1,78		2,68		2,56	
	Фактор В (доза ГФ)	0,38		1,78		2,68		2,56	

Примечание. C₀ – без ГФ, C₁ – 2,30 мг ГФ/кг (3,0 л/га), C₂ – 7,70 мг ГФ/кг (10 л/га), C₃ – 38,50 мг ГФ/кг (50 л/га); *Действие инокуляции в % по отношению к контролю.



Рис. 3. Влияние ризобактерий р. *Pseudomonas* (контроль, штаммы P-6, P-7 и P-25) на рост кукурузы в зависимости от содержания ГФ в почве ГФ: а) – фон C_0 (4 сосуда слева) и C_2 (4 сосуда справа); б) фон C_0 (4 сосуда слева) и C_3 (4 сосуда справа)

Повышение содержания глифосата в почве практически не влияло на высоту растений кукурузы, но оказывало негативное действие на корневую систему. По данным модельного эксперимента повышение содержания глифосата в почве приводило к снижению сухой массы корней кукурузы (в расчете на 1 растение) от 0,34 г до 0,27 г на вариантах без инокуляции. Прием инокуляции семян ризобактериями р. *Pseudomonas* стимулировал развитие корневой системы, оказывая антистрессовое действие. Наиболее значимый антистрессовый эффект отмечен для штаммов *Pseudomonas* sp. P-6 и *Pseudomonas* sp. P-25 на фоне концентрации C_2 (7,70 мг ГФ/кг), соответствующей применению 10 л/га в полевых условиях. На фоне концентрации C_3 (38,50 мг ГФ/кг), соответствующей внесению 50 л/га, положительный эффект был получен от всех протестированных инокулянтов р. *Pseudomonas*. Антистрессовое действие фосфатрастворяющих ризобактерий *Pseudomonas* spp. усиливалось при повышении содержания глифосата в почве (табл. 3).

Таблица 3

Влияние ризобактерий р. *Pseudomonas* на массу надземной части и корней кукурузы в зависимости от содержания глифосата в почве

C _{ГФ}	Инокуляция	Масса надземной части				Масса корней растений			
		сырая масса		сухая масса		сырая масса		сухая масса	
		г	%*	г	%*	г	%*	г	%*
C ₀	Контроль	3,67	100	0,58	100	2,35	100	0,34	100
	<i>Pseudomonas</i> sp. P-6	4,06	111	0,68	117	2,89	123	0,41	121
	<i>Pseudomonas</i> sp. P-7	3,96	108	0,65	112	2,39	102	0,36	106
	<i>Pseudomonas</i> sp. P-25	4,11	112	0,73	126	2,48	106	0,37	109
C ₁	Контроль	3,46	100	0,57	100	2,22	100	0,30	100
	<i>Pseudomonas</i> sp. P-6	3,56	103	0,59	104	2,27	102	0,31	103
	<i>Pseudomonas</i> sp. P-7	3,68	106	0,59	104	2,24	101	0,31	103
	<i>Pseudomonas</i> sp. P-25	3,97	115	0,63	111	2,27	102	0,30	100
C ₂	Контроль	3,75	100	0,51	100	1,94	100	0,28	100
	<i>Pseudomonas</i> sp. P-6	4,27	114	0,60	118	2,38	123	0,37	132
	<i>Pseudomonas</i> sp. P-7	4,29	114	0,63	124	2,13	110	0,28	100
	<i>Pseudomonas</i> sp. P-25	4,13	110	0,61	120	2,07	107	0,34	121

Продолжение таблицы 3

C _{ГФ}	Инокуляция	Масса надземной части				Масса корней растений			
		сырая масса		сухая масса		сырая масса		сухая масса	
		г	%*	г	%*	г	%*	г	%*
C ₃	Контроль	3,64	100	0,63	100	2,25	100	0,27	100
	<i>Pseudomonas</i> sp. P-6	4,01	110	0,69	110	2,75	122	0,38	141
	<i>Pseudomonas</i> sp. P-7	3,90	107	0,66	105	2,30	102	0,34	126
	<i>Pseudomonas</i> sp. P-25	3,95	109	0,68	108	2,72	121	0,33	122
НСП ₀₅ Фактор А (инокуляция)		0,48		0,04		0,14		0,02	
Фактор В (доза ГФ)		0,48		0,04		0,14		0,02	

Примечание. C₀ – без ГФ, C₁ – 2,30 мг ГФ/кг (3,0 л/га), C₂ – 7,70 мг ГФ/кг (10 л/га), C₃ 38,50 мг ГФ/кг (50 л/га); *Действие по отношению к контролю.

Инокуляция семян кукурузы штаммами *Pseudomonas* sp. P-7, *Pseudomonas* sp. P-6 и *Pseudomonas* sp. P-25 обеспечивала увеличение площади листовой поверхности на 4–9 % и сухой массы растений на 12–26 % по сравнению с вариантом без инокуляции на блоке без глифосата. При использовании штамма *Pseudomonas* sp. P-6 в качестве инокулянта площадь листьев кукурузы увеличивалась на 6–15 %, сухая масса – на 4–18 %; за счет применения штамма *Pseudomonas* sp. P-7 – на 6–23 % и 4–24 % и штамма *Pseudomonas* sp. P-25 – на 5–12 % и 8–20 % соответственно по отношению к контрольным вариантам (табл. 3, 4).

Таблица 4

Влияние ризобактерий р. *Pseudomonas* на фотосинтетический потенциал растений кукурузы в зависимости от содержания глифосата в почве

C _{ГФ}	Инокуляция	Площадь листовой поверхности		Содержание (мг/г сух. в-ва)			
		см ² /1 раст.	%	хлорофилл			каротиноиды
				а	б	а + б	
C ₀	Контроль	178,8	100	7,78	3,64	11,42	0,99
	<i>Pseudomonas</i> sp. P-6	195,3	109	8,54	4,15	12,69	0,99
	<i>Pseudomonas</i> sp. P-7	186,1	104	8,32	3,85	12,17	0,54
	<i>Pseudomonas</i> sp. P-25	185,2	104	8,27	3,80	12,07	0,74
C ₁	Контроль	168,5	100	6,95	3,83	10,78	0,92
	<i>Pseudomonas</i> sp. P-6	194,5	115	7,58	3,63	11,21	0,73
	<i>Pseudomonas</i> sp. P-7	206,9	123	7,94	3,87	11,81	0,73
	<i>Pseudomonas</i> sp. P-25	189,5	112	7,78	3,61	11,39	0,70
C ₂	Контроль	171,8	100	7,21	3,47	10,68	0,34
	<i>Pseudomonas</i> sp. P-6	195,3	114	7,81	3,45	11,26	0,54
	<i>Pseudomonas</i> sp. P-7	183,9	107	7,90	3,65	11,55	0,69
	<i>Pseudomonas</i> sp. P-25	182,8	106	7,50	3,73	11,23	0,52
C ₃	Контроль	187,3	100	5,41	2,61	8,02	0,89
	<i>Pseudomonas</i> sp. P-6	197,8	106	5,63	2,76	8,39	0,59
	<i>Pseudomonas</i> sp. P-7	198,8	106	6,43	3,31	9,74	0,93
	<i>Pseudomonas</i> sp. P-25	196,0	105	5,93	2,91	8,84	0,95
НСП ₀₅ Фактор А (инокуляция)		8,63		0,41	0,32	0,50	0,05
Фактор В (доза ГФ)		8,63		0,41	0,32	0,50	0,05

Таким образом, установлено положительное антистрессовое действие ризобактерий *Pseudomonas* spp. на активность процессов фотосинтеза у растений кукурузы. Под действием инокуляции отмечается рост содержания хлорофилла в листьях по сравнению с вариантами без применения ризобактерий на фонах С₁, С₂ и С₃. Прием инокуляции семян тест-культуры глифосат-утилизирующими *Pseudomonas* spp. оказывает антистрессовое действие в широком диапазоне содержания глифосата в почве.

Применение микробных инокулянтов с полезными свойствами оказывает разностороннее положительное влияние на растения. Среди основных полезных факторов при внесении микробных удобрений рассматриваются следующие – стимуляция ростовых процессов (гормональный эффект), повышение доступности элементов минерального питания, улучшение водного питания, антистрессовое действие, повышение иммунитета растений, фунгистатическое действие на развитие патогенных грибов.

Многие исследователи считают гормональный эффект и антистресс наиболее значимыми механизмами действия микробных инокулянтов на растения. Стимуляция развития корневой системы повышает способность инокулированных растений использовать элементы минерального питания и воду из почвы. Улучшение водного питания часто является одним из основных положительных факторов инокуляции.

Антистрессовое действие микробных инокулянтов на растения также считается одним из важных механизмов их взаимодействия. В литературе имеются сообщения, подтверждающие, что в стрессовых условиях инокуляция улучшает развитие растений благодаря продуцированию биологически активных веществ внесенными микроорганизмами [13]. Наиболее вероятно, что повышение урожайности, наблюдаемое при использовании микробных удобрений, обусловлено совместным действием вышеперечисленных факторов.

ВЫВОДЫ

Проведена серия модельных инокуляционных экспериментов по культивированию кукурузы Фрода в условиях почвенного микрокосма с искусственно созданными уровнями содержания глифосата в почве: 0; 3; 10 и 50 л/га гербицида в полевых условиях. Результаты экспериментов показали стрессовое действие почвенного глифосата на развитие растений, отмечено снижение процента всхожести семян, замедление роста и снижение активности фотосинтеза. Прием инокуляции семян глифосат-утилизирующими ризобактериями *Pseudomonas* sp. P-7, *Pseudomonas* sp. P-6 и *Pseudomonas* sp. P-25 оказывает полифункциональное антистрессовое действие на растение в широком диапазоне содержания глифосата в почве, которое проявляется в стимуляции роста, развития корневой системы, повышении фотосинтетического потенциала за счет увеличения ассимиляционной поверхности листьев и содержания хлорофиллов. Антистрессовое действие псевдомонад усиливается при повышении содержания глифосата в почве.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Recent advances in glyphosate biodegradation / H. Zhan [et al.] // Applied Microbiol. Biotech. – 2018. – Vol. 102. – P. 5033–5043.

2. Microbial degradation of glyphosate herbicides (review) / A. V. Sviridov [et al.] // Appl Biochem Microbiol. – 2015. – Vol. 51(2). – P. 188–195.
3. Nomura, N. S. The adsorption and degradation of glyphosate in five Hawaiian sugarcane soils / N. S. Nomura, H. W. Hilton // Weed Research. – 1977. – Vol. 17. – P. 113–121.
4. Duke, S. O. Glyphosate: a once-in-a-century herbicide / S. O. Duke, S. B. Powles // Pest Manage Sci. – 2008. – Vol. 64(4). – P. 319–325.
5. Bai, S. H. Glyphosate: environmental contamination, toxicity and potential risks to human health via food contamination / S. H. Bai, S. M. Ogbourne // Environ. Sci. Pollut. Res. – 2016. – Vol. 23(19). – P. 18988–19001.
6. Carlisle, S. M. Glyphosate in the Environment / S. M. Carlisle, J. T. Trevors // Water, Air and Soil Poll. – 1988. – Vol. 39. – P.409–420.
7. Жариков, М. Г. Эколого-токсикологическая оценка многолетнего применения глифосата на дерново-подзолистой почве и биоремедиация загрязненных территорий: дис. ... канд биол. наук: 03.01.06 / М. Г. Жариков; ВАК РФ. – М., 2012.
8. Кононова, С. В. Фосфонаты и их деградация микроорганизмами / С. В. Кононова, М. А. Несмеянова // Биохимия. – 2002. – Т. 67. Вып. 2. – С. 220–233.
9. Шушкова, Т. В. Биодеструкция глифосата почвенными бактериями: дис. ... канд. биол. наук: 03.01.06 / Т. В. Шушкова; ВАК РФ. – М., 2010.
10. Биодegradация фосфорорганических загрязнителей почвенными бактериями: биохимические аспекты и нерешенные проблемы / А. В. Свиридов [и др.] // Биотехнология. – 2020. – Т. 36, № 4. – С. 126–135.
11. Микробная деструкция органофосфонатов почвенными бактериями / И. Т. Ермакова [и др.] // Микробиология. – 2008. – Т. 77, № 5. – С. 689–695.
12. Metabolism of Glyphosate in *Pseudomonas* sp. strain Lbr. / G. S. Jacob [et al.] // Appl. Environ. Microbiol. – 1988. – Vol. 54(12). – P. 2953–2958.
13. Kishore, G. M. Degradation of glyphosate by *Pseudomonas* sp. PG2982 via a sarcosine intermediate / G. M. Kishore, G. S. Jacob // J. Biol. Chem. – 1987. – Vol. 262(25). – P. 12164–12168.
14. Влияние фосфатмобилизирующих бактерий на ростовые процессы, урожайность и фитопатологическое состояние посевов зерновых культур на дерново-подзолистых супесчаных почвах / Н. А. Михайловская [и др.] // Почвоведение и агрохимия. – 2012. – № 1(48). – С. 136–149.
15. Активность фосфатмобилизации у ризобактерий / Н. А. Михайловская [и др.] // Почвоведение и агрохимия. – 2007. – № 1(38). – С. 225–231.
16. Скрининг зональных изолятов *Pseudomonas* spp. по устойчивости к глифосату и способности утилизировать его как источник углерода и фосфора / Н. А. Михайловская [и др.] // Почвоведение и агрохимия. – 2021. – № 1(38). – С. 225–231.
17. Скрининг фосфатрастворяющих ризобактерий *Pseudomonas* spp. по активности роста в зависимости от содержания глифосата в жидкой среде Дворкина-Фостера / Михайловская [и др.] // Почвоведение и агрохимия. – 2023. – № 1(70). – С. 136–148.
18. Лапа, В. В. Применение удобрений и качество урожая / В. В. Лапа, В. Н. Босак. – Минск, 2006. – 120 с.
19. Посыпанов, Г. С. Методы изучения биологической фиксации азота воздуха / Г. С. Посыпанов. – М.: Агропромиздат, 1991. – 299 с.
20. Lichtenthaler, H. K. Chlorophylls and carotenoids: measurement and characterization by UV-VIS spectroscopy / H. K. Lichtenthaler and, C. Bussman // Curr. Protoc. Food

Anal. Chem. – 2001. – P. 1–8.

21. *Haslam, E.* The shikimate pathway: biosynthesis of natural products series / E. Haslam // Elsevier, New York. – 2014.

22. *Fedtke, K.* Herbicides / K. Fedtke, S. Duke // Plant toxicology / Hock B, Elstner E, eds. – New York: Marcel Dekker. – 2005. – P. 247–330.

23. Glyphosate-Dependent Inhibition of Photosynthesis in Willow / M.P. Gomes [et al.] // Front. Plant Sci. – 2016. – Vol. 8. – P. 150–164.

24. Alteration of plant physiology by glyphosate and its by-product aminomethylphosphonic acid: an overview / M. P. Gomes [et al.] // J. Exp. Bot. – 2014. – Vol. 65, № 17. – P. 4691–4703.

EFFECT OF RHYZOBACTERIA *PSEUDOMONAS* SPP. ON PHOTOSYNTHETIC POTENTIAL OF MAIS UNDER DIFFERENT GLYPHOSATE CONTENT IN SOIL

**N. A. Mikhailouskaya, S. A. Kasyuntchyk, T. B. Barashenko,
T. V. Pogiritskaya, S. V. Dyusova**

Summary

Cultivation of *Zea Mais*, Frodo under soil microcosm conditions in model experiments with different glyphosate content in soil: C₀, C₁, C₂ and C₃, which corresponding the application of 0; 3,0; 10,0 and 50,0 liters of herbicide per hectare. Experimental data showed that seed inoculation by rhizobacteria *Pseudomonas* spp. provided anti-stress effect on cultivated plants at high diapason of glyphosate content in soil. Anti-stress action of inoculation procedure realized in plant growth promotion, root stimulation, as well as in the increase of leaf's assimilation area and chlorophylls content in leaves.

Поступила 13.12.23

3. РЕКОМЕНДАЦИИ ПРОИЗВОДСТВУ

УДК 631.81:633.11:631.445

РЕГЛАМЕНТ ПРИМЕНЕНИЯ УДОБРЕНИЙ ПОД ЯРОВУЮ ПШЕНИЦУ НА ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТЫХ ВЫСОКОКУЛЬТУРЕННЫХ СУГЛИНИСТЫХ ПОЧВАХ

**Е. Г. Мезенцева, О. Г. Кулеш, О. В. Симанков,
А. А. Грачева, С. М. Зенькова**

*Институт почвоведения и агрохимии,
г. Минск, Беларусь*

1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1.1. Высококультуренные дерново-подзолистые почвы представляют ценность как стратегический резерв. В Беларуси такие почвы составляют основной фонд обрабатываемых земель, из них суглинистые являются наиболее благоприятными для выращивания всех сельскохозяйственных культур с высокой потенциальной продуктивностью, в том числе и яровых зерновых.

1.2. По данным последнего тура агрохимических исследований установлено, что доля суглинистых почв, высокообеспеченных подвижным фосфором (более 400 мг/кг почвы) и калием (более 300 мг/кг почвы), составляет соответственно около 4,1 % (35,6 тыс. га) и 28,9 % (250,8 тыс. га) общей обследованной площади пахотных почв глинистого и суглинистого гранулометрического состава.

1.3. Оптимизация минерального питания по этапам онтогенеза растений позволяет в большей степени реализовать генетический потенциал продуктивности возделываемых культур и снизить удельные затраты элементов питания на формирование урожайности. Кроме того, важнейшим условием повышения эффективности сельского хозяйства является усиление устойчивости возделываемых культур к погодно-климатическим изменениям, основанное на проведении адаптационных мер, направленных на предотвращение потерь урожая от негативных последствий.

1.4. Современные системы удобрения сельскохозяйственных культур, возделываемых в севооборотах на высококультуренных почвах, наряду со сбалансированным применением органических, минеральных удобрений и средств защиты растений, должны предусматривать более интенсивное использование микроудобрений, стимуляторов роста и т. п. Комплексное их использование в системе удобрения за счет стимуляции метаболизма и усвоения питательных веществ позволяет существенно повысить сбор продукции высокого качества.

1.5. Под яровую пшеницу требования к почвам, технологическим операциям по обработке почвы, подготовке семян к посеву, борьбе с сорняками, вредителями и болезнями, уборке и послеуборочной доработке зерна проводятся в соответствии с требованиями технологии, нормативно-технологической документации, методическими рекомендациями научно-исследовательских организаций аграрного профиля.

1.6. В настоящем дополнении к отраслевому регламенту представлены новые данные по эффективности различных систем удобрения при возделывании яровой пшеницы на дерново-подзолистых высококультуренных суглинистых почвах, развивающихся на мощном легком суглинке со следующими агрохимическими характеристиками: рН 6,0–6,5 содержание гумуса – 2,0–2,2 %, подвижных форм фосфатов более 600 мг/кг и калия более 300 мг/кг почвы (индекс окультуренности 0,96).

1.7. Предложены системы удобрения для яровой пшеницы по лучшему предшественнику – кукурузе на зеленую массу, возделываемой по трем технологиям:

– **минеральная**: осенняя обработка почвы – вспашка, дискование на глубину 10–12 см; рекомендуемые дозы минеральных удобрений;

– **органоминеральная**: внесение органических удобрений (60 т/га солоमистого навоза или др.); обработка почвы – вспашка, дискование на глубину 10–12 см); применение рекомендуемых доз минеральных удобрений с учетом элементов питания, поступивших в почву из навоза;

– **минеральная биологизированная**: горохо-овсяная смесь на зеленую массу + поукосно редька масличная на зеленое удобрение с осенней заделкой всей массы в почву дисковыми боронами (поверхностная обработка на глубину 10–12 см); применение рекомендуемых доз минеральных удобрений.

2. ВНЕСЕНИЕ УДОБРЕНИЙ

2.1. Потребность яровой пшеницы в минеральных удобрениях на планируемую урожайность определяют исходя из установленных нормативов, основанных на новых результатах полевых исследований и методических решениях.

Для получения планируемой урожайности зерна (5,0–7,0 т/га) на почвах с содержанием подвижных фосфатов и калия более 300 мг/кг почвы требуется 90–120 кг/га д. в. азота, 25–35 кг фосфора и 60–80 кг/га д. в. калия. При размещении яровой пшеницы по неунавоженным предшественникам, рекомендуемые дозы действующего вещества минеральных удобрений на планируемую урожайность увеличивают: азота – на 15 кг/га, фосфора – на 10, калия – на 20 кг/га.

2.2. На почвах с содержанием подвижных форм фосфатов более 600 мг/кг и калия более 300 мг/кг почвы более эффективны повышенные дозы азота (120 кг/га д. в. и более), обеспечивающие существенную мобилизацию почвенных запасов фосфора и калия.

2.3. Дозы минеральных удобрений под яровую пшеницу вносят дифференцированно в зависимости от системы удобрения предшественника. Далее представлены технологические схемы комплексного применения удобрений и стимуляторов роста при уходе за посевами яровой пшеницы.

2.4. **Минеральная система удобрения.** Применение минеральной системы удобрения при возделывании яровой пшеницы на дерново-подзолистых высококультуренных суглинистых почвах, когда под предшествующую культуру не были внесены органические удобрения, возможно в хозяйствах с невысоким поголовьем скота или его отсутствием, испытывающих дефицит в органических удобрениях. При этом следует учитывать, что такая система удобрения даже на высококультуренных почвах может привести к деградации почвенного плодородия, в связи с чем не рекомендуется применять ее при возделывании яровой пшеницы более чем в одной ротации севооборота.

Основное внесение до посева. В расчете на урожайность зерна 60 ц/га вносят 90 кг д. в. азота, 30 кг/га д. в. фосфора и 60 кг/га д. в. калия.

Формы минеральных удобрений для основного внесения: карбамид или КАС, аммофос, аммонизированный суперфосфат, хлористый калий или комплексные удобрения для яровых зерновых культур с содержанием азота, фосфора и калия соответственно 13, 11, 18 %, 16, 12 и 20 %, 14, 11, 19 % или 13, 8 и 17 % с медью, марганцем, серой и регулятором роста.

Фаза начала трубкования (появление 1-го узла). Рекомендуется провести подкормку азотными удобрениями в дозе 30 кг/га д. в. Для проведения подкормки используют карбамид или КАС (с разбавлением водой в соотношении 1:3).

При суммарных дозах азота более 120 кг/га д. в. с целью предупреждения полегания посевов необходимо применение регуляторов роста растений, включенные в Государственный реестр средств защиты растений и удобрений, разрешенных для использования на территории Республики Беларусь.

Подкормка медными и марганцевыми удобрениями. Проводится жидкими хелатными микроудобрениями в дозе по 50 г/га меди и марганца в баковой смеси с разрешенными ретардантами. Формы микроудобрений для некорневой подкормки: МикроСтим-Медь, МикроСтим-Марганец, МикроСтим-Медь, Марганец. **Подкормка стимуляторами роста** в форме Экогум АФ, Экосил и др.

Фаза флагового листа. Рекомендуется провести подкормку азотными удобрениями в дозе 30 кг/га д. в. Для проведения подкормки используют карбамид.

Подкормка медными и марганцевыми удобрениями и стимуляторами роста аналогичны таковым, применяемым в фазу начала трубкования. Дополнительная комплексная некорневая подкормка посевов яровой пшеницы микроудобрениями и стимуляторами роста на минеральном фоне в эту фазу обеспечивает повышение урожайности зерна на 10–12 %.

Использование минеральной системы удобрения в технологии возделывания яровой пшеницы на дерново-подзолистой высококультуренной суглинистой почве позволяет получить 60 ц/га зерна 2 класса качества (15,2 % белка, 37,3 % клейковины), 376 долл./га условной прибыли и 137 % рентабельности при окупаемости 1 кг минеральных удобрений 6,7 кг зерна.

Технологическая схема применения удобрений при возделывании яровой пшеницы по минеральной системе удобрения представлена в таблице 1.

Таблица 1

Технологическая схема комплексного применения удобрений и стимуляторов роста при возделывании яровой пшеницы по минеральной системе удобрения (планируемая урожайность 60 ц/га)

Дозы удобрений, кг/га д. в.	Формы удобрений	Сроки применения
$N_{90}P_{30}K_{60}$	Карбамид или КАС, аммофос, аммонизированный суперфосфат, хлористый калий, комплексные удобрения: 13-11-18; 16-12-20; 14-11-19; 13-8-17 (Cu, Mn, S, регулятор роста)	До посева с заделкой в почву
N_{30}	Карбамид или КАС в разведении с водой в соотношении 1:3, PPP*	В фазу начала выхода в трубку

Дозы удобрений, кг/га д. в.	Формы удобрений	Сроки применения
N ₃₀	Карбамид	В фазу появления флагового листа
Cu _{0,05} Mn _{0,05} (две подкормки)	Жидкие хелатные микроудобрения МикроСтим-Медь Л (0,65 л/га), МикроСтим-Марганец (1,0 л/га), МикроСтим-Медь, Марганец (1,0 л/га)	Некорневые подкормки: 1-я – в стадии 1-го узла; 2-я – в стадии флагового листа
Стимуляторы роста растений (две подкормки)	Экогум АФ (1,0 л/га), Экосил (0,06 л/га) и др. Расход рабочего раствора 200 л/га	

* Применение регуляторов роста растений при суммарной дозе азота более 120 кг/га д. в.

2.5. Органоминеральная система удобрения. Яровая пшеница хорошо отзывается на последствие органических удобрений, поэтому рекомендуется возделывать ее на полях, где органические удобрения были внесены под предшествующую культуру. Из общего количества элементов питания, поступивших с навозом под предшественник, яровая пшеница усваивает 20 % азота и по 10–15 % фосфора и калия.

Эффективность 1-го года последствия навоза КРС, внесенного в дозе 60 т/га под предшественник, выражается в повышении урожайности зерна яровой пшеницы на 15–17 %.

Применение органоминеральной системы удобрения на дерново-подзолистых высококультуренных суглинистых почвах способствует сдерживанию темпов потерь подвижных соединений фосфора и калия почвы.

Основное внесение до посева. С учетом элементов питания, поступивших из органических удобрений, вносят: 90 кг д. в. азота, 20 кг/га д. в. фосфора и 35 кг/га д. в. калия.

Формы минеральных удобрений для основного внесения: карбамид или КАС, аммофос, аммонизированный суперфосфат, хлористый калий или комплексные удобрения для яровых зерновых культур с содержанием азота, фосфора и калия соответственно 13, 11, 18 %, 16, 12 и 20 %, 14, 11, 19 % или 13, 8 и 17 % с медью, марганцем, серой и регулятором роста.

Фаза начала трубкования (появление 1-го узла). Рекомендуется провести подкормку азотными удобрениями в дозе 30 кг/га д. в. Для проведения подкормки из азотных удобрений рекомендуется использовать карбамид или КАС (с разбавлением водой в соотношении 1:3).

При суммарных дозах азота более 120 кг/га д. в. с целью предупреждения полегания посевов рекомендуется применять регуляторы роста растений, включенные в Государственный реестр средств защиты растений и удобрений, разрешенных для использования на территории Республики Беларусь.

Подкормка медными и марганцевыми удобрениями. Проводится жидкими хелатными микроудобрениями в дозе по 50 г/га меди и марганца в баковой смеси с разрешенными ретардантами. Формы микроудобрений для некорневой подкормки: МикроСтим-Медь, МикроСтим-Марганец, МикроСтим-Медь, Марганец.

Подкормка стимуляторами роста в форме Экогум АФ, Экосил и др.

Фаза флагового листа. Рекомендуется провести подкормку азотными удобрениями в дозе 30 кг/га д. в. Подкормка медными и марганцевыми удобрениями и стимуляторами роста аналогичны таковым, применяемым в фазу трубкования. Для проведения подкормки из твердых азотных удобрений рекомендуется использовать карбамид.

Дополнительная комплексная подкормка посевов яровой пшеницы в фазу флага-листа азотом (N_{30}), микроудобрением и стимуляторами роста растений способствует увеличению в зерне содержания белка на 0,5–0,7 %, клейковины – на 2,0–2,2 %.

Таблица 2

Технологическая схема комплексного применения удобрений и стимуляторов роста при возделывании яровой пшеницы по органоминеральной системе удобрения (планируемая урожайность 60 ц/га)

Дозы удобрений, кг/га д. в.	Формы удобрений	Сроки применения
	Органические удобрения – солоmistый (60 т/га) или жидкий (полужидкий) навоз (в экв. по азоту) вносят под предшественник	Осенью с заделкой в почву под вспашку
$N_{90}P_{20}K_{35}$	Карбамид или КАС, аммофос, аммонизированный суперфосфат, хлористый калий, комплексные удобрения: 13-11-18; 16-12-20; 14-11-19; 13-8-17 (Cu, Mn, S, регулятор роста)	До посева с заделкой в почву
N_{30}	Карбамид или КАС в разведении с водой в соотношении 1:3, PPP*	В фазу начала выхода в трубку
N_{30}	Карбамид	В фазу появления флагового листа
$Cu_{0,05}Mn_{0,05}$ (две подкормки)	Жидкие хелатные микроудобрения МикроСтим-Медь Л (0,65 л/га), МикроСтим-Марганец (1,0 л/га), МикроСтим-Медь, Марганец (1,0 л/га)	Некорневые подкормки: 1-я – в стадии 1-го узла; 2-я – в фазу флагового листа
Стимуляторы роста растений (две подкормки)	Экогум АФ (1,0 л/га), Экосил (0,06 л/га) и др. Расход рабочего раствора 200 л/га	

* Применение регуляторов роста растений при суммарной дозе азота более 120 кг/га д. в.

Использование органоминеральной системы удобрения в технологии возделывания яровой пшеницы на дерново-подзолистой высококультуренной суглинистой почве позволяет получить 60 ц/га зерна 2 класса качества (15,1–15,8 % белка, 37,1–39,3 % клейковины), 352–464 долл./га условной прибыли и 119–171 % рентабельности при окупаемости 1 кг минеральных удобрений 3,2–5,0 кг зерна.

Технологическая схема применения удобрений при возделывании яровой пшеницы по органоминеральной системе удобрения представлена в таблице 2.

2.6. Минеральная биологизированная система удобрения. На полях, отдаленных от ферм, куда транспортировка органических удобрений затруднена, альтернативой применения навоза может явиться минеральная биологизированная система удобрения, где используется зеленая масса сидеральной культуры семейства Капустных. От общего количества поступивших в почву элементов минерального питания, внесенных с сидератом под предшественник, яровая пшеница использует порядка 20 %, что обеспечивает дополнительный сбор зерна не менее 2,0 ц/га.

Применение сидеральных культур на дерново-подзолистых высококультуренных суглинистых почвах способствует сдерживанию темпов потерь подвижных соединений фосфора и калия почвы.

Основное внесение до посева. Вносят: 90 кг д. в. азота, 20–30 кг/га д. в. фосфора и 35–60 кг/га д. в. калия.

Формы минеральных удобрений для основного внесения: карбамид или КАС, аммофос, аммонизированный суперфосфат, хлористый калий или комплексные удобрения для яровых зерновых культур с содержанием азота, фосфора и калия соответственно 13, 11, 18 %, 16, 12 и 20 %, 14, 11, 19 % или 13, 8 и 17 % с медью, марганцем, серой и регулятором роста.

Фаза начала трубкования (появление 1-го узла). Рекомендуется провести подкормку азотными удобрениями в дозе 30 кг/га д. в. Для проведения подкормки из твердых азотных удобрений рекомендуется использовать карбамид или КАС (с разбавлением водой в соотношении 1:3).

При суммарных дозах азота более 120 кг/га д. в. с целью предупреждения полегания посевов рекомендуется применять регуляторы роста растений, включенные в Государственный реестр средств защиты растений и удобрений, разрешенных для использования на территории Республики Беларусь.

Подкормка медными и марганцевыми удобрениями. Проводится жидкими хелатными микроудобрениями в дозе по 50 г/га меди и марганца в баковой смеси с разрешенными ретардантами. Формы микроудобрений для некорневой подкормки: МикроСтим-Медь, МикроСтим-Марганец, МикроСтим-Медь, Марганец.

Возможно проведение подкормок посевов яровой пшеницы: стимуляторами роста растений – в фазу 1-го узла, сочетания азотной подкормки (N_{30}), микроудобрений и стимуляторов роста растений – в фазу появления флагового листа. Дополнительное применение комплекса вышеуказанных подкормок в засушливых условиях, не оказывая существенного влияния на повышение урожайности зерна, способствует улучшению показателей качества зерна яровой пшеницы (повышение содержания в продукции белка на 0,8–1,0 %, клейковины на 2,0–2,2 %).

Использование минеральной биологизированной системы удобрения в технологии возделывания яровой пшеницы на дерново-подзолистой высококультуренной суглинистой почве позволяет получить 60 ц/га и более зерна 2 класса качества (14,3–15,4 % белка, 34,9–38,0 % клейковины), 448–616 долл./га условной прибыли и 142–230 % рентабельности при окупаемости 1 кг минеральных удобрений 5,4–8,7 кг зерна.

В годы с достаточным увлажнением данные системы удобрения способствуют получению не менее 79 ц/га зерна высокого качества при окупаемости 1 кг минеральных удобрений до 16,5 кг зерна яровой пшеницы.

Технологическая схема применения удобрений при возделывании яровой пшеницы по минеральной биологизированной системе удобрения представлена в таблице 3.

Таблица 3

Технологическая схема комплексного применения удобрений и стимуляторов роста при возделывании яровой пшеницы по минеральной биологизированной системе удобрения (планируемая урожайность 60 ц/га и более)

Дозы удобрений, кг/га д. в.	Формы удобрений	Сроки применения
Зеленая масса сидерата (экв. 15–20 т/га органических удобрений) – под предшественник		Осенью с заделкой в почву дисками
$N_{90}P_{20-30}K_{35-60}$	Карбамид или КАС, аммофос, аммонизированный суперфосфат, хлористый калий, комплексные удобрения: 13-11-18; 16-12-20; 14-11-19; 13-8-17 (Cu, Mn, S, регулятор роста)	До посева с заделкой в почву
N_{30}	Карбамид или КАС в разведении с водой в соотношении 1:3, PPP*	В фазу начала выхода в трубку
$Cu_{0,05}Mn_{0,05}$	Жидкие хелатные микроудобрения МикроСтим-Медь Л (0,65 л/га), МикроСтим-Марганец (1,0 л/га), МикроСтим-Медь, Марганец (1,0 л/га). Расход рабочего раствора 200 л/га	Некорневая подкормка в стадии 1-го узла
<i>Возможные дополнительные подкормки посевов для повышения качества зерна</i>		
Стимуляторы роста растений	Некорневая подкормка: Экогум АФ (1 л/га), Экосил (0,06 л/га) и др. Расход рабочего раствора 200 л/га	Фаза начала выхода в трубку
$Cu_{0,05}Mn_{0,05}$	Некорневая подкормка: жидкие хелатные микроудобрения МикроСтим-Медь Л (0,65 л/га), МикроСтим-Марганец (1,0 л/га), МикроСтим-Медь, Марганец (1,0 л/га) Расход рабочего раствора 200 л/га Расход рабочего раствора 200 л/га	Фаза появления флагового листа
N_{30}	Карбамид	
Стимуляторы роста растений	Некорневая подкормка: Экогум АФ (1 л/га), Экосил (0,06 л/га) и др. Расход рабочего раствора 200 л/га	

Настоящий регламент устанавливает требования к выполнению технологических операций возделывания яровой пшеницы со средней расчетной урожайностью зерна 2 класса качества на уровне 60,0 ц/га (максимальной 79 ц/га) при различной интенсификации технологий ее возделывания на дерново-подзолистых высококультуренных суглинистых почвах.

**REGULATIONS FOR THE USE OF FERTILIZERS
FOR SPRING WHEAT ON SOD-PODZOLIC HIGHLY
CULTIVATED LOAMY SOILS SOIL SCIENCE
AND AGROCHEMISTRY**

**E. G. Mezentseva, O. G. Kulesh, O. V. Simankov,
A. A. Gracheva, S. M. Zenkova**

Summary

This regulation establishes requirements for the implementation of technological operations for the cultivation of spring wheat with an average estimated grain yield of quality class 2 at the level of 60.0 c/ha (maximum 79 c/ha) with various intensification of technologies for its cultivation on sod-podzolic highly cultivated loamy soils.

РЕГЛАМЕНТ ПРИМЕНЕНИЯ УДОБРЕНИЙ ПОД КУКУРУЗУ НА ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТЫХ ВЫСОКОКУЛЬТУРЕННЫХ СУГЛИНИСТЫХ И СУПЕСЧАНЫХ ПОЧВАХ

Е. Г. Мезенцева, О. Г. Кулеш, О. В. Симанков, А. А. Грачева, С. М. Зенькова
Институт почвоведения и агрохимии, г. Минск, Беларусь

1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1.1. В Беларуси кукуруза является важной кормовой культурой, которая используется для производства зеленой массы, силоса и зернофуража. Среди кормовых культур по продуктивности ей нет равных: по выходу кормовых единиц с 1 га она превосходит зерновые в среднем в 1,9 и многолетние травы – в 1,7 раза.

1.2. По статистическим данным за 2020 год в республике общая уборочная площадь кукурузы достигла 1,2 млн га, из них на силос – более 1 млн га. В последние годы благодаря подбору новых гибридов и усовершенствованным технологиям в Беларуси расширились посевные площади, и повысилась урожайность кукурузы, возделываемой на зеленую массу. В системе сортоиспытания в передовых сельхозпредприятиях и в экспериментальных опытах продуктивность кукурузы достигает 13 т/га к. ед. и более. Однако в целом по стране потенциал культуры реализуется менее чем наполовину – за период 2016–2020 гг. средняя урожайность зеленой массы кукурузы составила 247 ц/га, или 5 т/га к. ед. Недобор урожая происходит в основном из-за нарушений технологии выращивания этой культуры: неправильного подбора систем удобрения, почв, гибридов, средств защиты растений, сроков сева и уборки.

1.3. По данным последнего тура агрохимического обследования установлено, что доля суглинистых и супесчаных почв, высокообеспеченных подвижным фосфором (более 251 мг/кг почвы) и калием (более 301 мг/кг почвы), составляет соответственно 21,1 % (1059,9 тыс. га) и 17,6 % (884,0 тыс. га) общей обследованной площади пашни.

1.4. При возделывании сельскохозяйственных культур на почвах, высокообеспеченных фосфором и калием, в настоящее время агрохимической наукой республики рекомендуется частичная (50–60 %) компенсация выноса данных элементов. В связи с неизбежным, постоянным ростом цен на минеральные удобрения и энерготехнические ресурсы возрастает необходимость еще более экономного использования, в первую очередь дорогостоящих фосфорных, а также калийных удобрений с учетом почвенных запасов и содержания данных элементов питания в органических удобрениях, применяемых в органоминеральных системах удобрения при возделывании сельскохозяйственных культур в севообороте.

1.5. Оптимизация минерального питания по этапам онтогенеза растений позволяет в большей степени реализовать генетический потенциал продуктивности возделываемых культур и снизить удельные затраты элементов питания на формирование урожайности. Кроме того, важнейшим условием повышения эффективности сельского хозяйства является усиление устойчивости возделываемых культур к погодно-климатическим изменениям, основанное на проведении адаптационных мер, направленных на предотвращение потерь урожая от негативных последствий.

1.6. Современные системы удобрения сельскохозяйственных культур, возделываемых в севооборотах на высококультурных почвах, наряду со сбалансированным применением органических, минеральных удобрений и средств защиты растений, должны предусматривать более интенсивное использование микроудобрений, стимуляторов роста и т.п. Комплексное их использование в системе удобрения за счет стимуляции метаболизма и усвоения питательных веществ позволяет существенно повысить сбор продукции высокого качества.

1.7. При возделывании кукурузы требования к почвам, технологическим операциям при обработке почвы, подготовке семян к посеву, борьбе с сорняками, вредителями и болезнями, уборке зеленой массы устанавливаются в соответствии с требованиями технологии, нормативно-технологической документации, методическими рекомендациями научно-исследовательских организаций аграрного профиля.

2. ТРЕБОВАНИЯ К ПОЧВАМ

2.1. При возделывании кукурузы на дерново-подзолистых почвах необходимо подбирать воздухопроницаемые, с глубоким гумусовым горизонтом, хорошо обеспеченные питательными веществами в доступных формах, слабокислые или с нейтральной реакцией почвы. Лучшими из которых для кукурузы являются легко- и среднесуглинистые и супесчаные, подстилаемые мореной. Не пригодны для возделывания этой культуры глинистые и переувлажненные почвы, поля и участки с близким залеганием уровня грунтовых вод, с понижениями, которые приводят к застою воды в весенний период и подтоплению посевов в период вегетации.

2.2. Оптимальные агрохимические показатели почв: рН 5,8–7,0, содержание гумуса – не менее 1,8 %, подвижного фосфора и обменного калия – не менее 150 мг/кг почвы.

2.3. В настоящем дополнении к отраслевому регламенту представлены новые данные по эффективности различных систем удобрения при возделывании кукурузы на зеленую массу на дерново-подзолистых высококультурных суглинистых почвах, развивающихся на мощном легком суглинке со следующими агрохимическими характеристиками: рН 6,0–6,5 содержание гумуса – 2,0–2,2 %, подвижных форм фосфатов более 600 мг/кг и калия более 300 мг/кг почвы (индекс окультуренности 0,96), а также для дерново-подзолистых высококультурных супесчаных почв со следующими агрохимическими характеристиками: рН 5,7–5,9 содержание гумуса – 2,3–2,5 %, подвижных форм фосфатов – 180–190 мг/кг, калия – 210–220 (индекс окультуренности 0,80).

3. ОБРАБОТКА ПОЧВЫ, ПРЕДШЕСТВЕННИКИ

3.1. Технологические требования к обработке почвы и выбор предшественника зависят от уровня интенсификации возделывания кукурузы.

3.2. При возделывании кукурузы на дерново-подзолистых высококультурных суглинистых почвах без применения органических удобрений (минеральная система удобрения) осенью проводят вспашку на глубину пахотного слоя, дискование на глубину 10–12 см с последующей предпосевной культивацией.

3.3. При возделывании кукурузы с применением органических удобрений (органоминеральная система удобрения) осенью проводят вспашку с заделкой навоза на глубину пахотного слоя, дискование на глубину 10–12 см с последующей предпосевной культивацией.

При замене подстилочного навоза полужидким или жидким их вносят в эквивалентном количестве (по азоту).

3.4. На полях, отдаленных от ферм, куда транспортировка органических удобрений затруднена, альтернативой запашке соломистого навоза может явиться минеральная биологизированная система удобрения, где используется зеленая масса сидерата. В качестве пожнивных сидеральных культур рекомендуются быстрорастущие сидераты с коротким вегетационным периодом (например, семейства Капустных).

3.5. Заделка в почву сидератов при урожайности 150–250 ц/га эквивалентна 15 т/га подстилочного навоза, 250–350 ц/га – 20 т/га.

3.6. При возделывании кукурузы по минеральной биологизированной технологии системе удобрения с применением сидерата предшественником может выступать горохо-овсяная смесь на зеленую массу, после укоса которой высевается сидерат. Осенью проводится скашивание, измельчение всей массы. После подвяливания вся масса заделывается в почву дисковыми боронами на глубину 10–12 см.

3.7. Замена вспашки дискованием при использовании сидерата в качестве органического удобрения снижает эксплуатационные затраты.

4. ВНЕСЕНИЕ УДОБРЕНИЙ

4.1. Кукуруза является высокоинтенсивной культурой и для формирования урожайности 15–20 т/га к. ед. требует плодородных почв, применения высоких доз удобрений.

4.2. Потребность кукурузы в минеральных удобрениях на планируемую урожайность определяют исходя из установленных нормативов, основанных на новых результатах полевых исследований и методических решений.

4.3. Для получения 61–70 т/га зеленой массы кукурузы (12–14 т/га к. ед.) при возделывании культуры на дерново-подзолистых суглинистых почвах с содержанием подвижных фосфатов и калия более 300 мг/кг рекомендовано на фоне внесения органических удобрений применение 121–140 кг/га д. в. азота, 50–60 – фосфора и 60–70 кг/га д. в. калия. С учетом высокого содержания в почве подвижных форм фосфатов (более 600 мг/кг) и калия (более 300 мг/кг почвы) возможно применение моноазотной системы удобрения (120 кг/га д. в.).

4.4. Для получения 61–70 т/га зеленой массы кукурузы (12–14 т/га к. ед.) при возделывании культуры на дерново-подзолистых супесчаных почвах рекомендовано на фоне внесения органических удобрений применение 140–160 кг/га д. в. азота, 60–70 – фосфора и 120–140 кг/га д. в. калия.

4.5. При возделывании кукурузы без внесения органических удобрений (минеральная система удобрения) на дерново-подзолистых высококультуренных суглинистых почвах рекомендовано внесение 150–180 кг/га д. в. азота, 20 – фосфора и 60 кг/га д. в. калия.

4.6. С учетом высокого риска деградации легких почв возделывать кукурузу на дерново-подзолистых супесчаных почвах без применения органических удобрений недопустимо.

4.7. Дозы минеральных удобрений под кукурузу вносят дифференцированно в зависимости от системы удобрения (минеральная, органоминеральная и минеральная биологизированная с использованием сидерата). В таблицах

1–4 представлены технологические схемы комплексного применения органических, макро- и микроудобрений, стимуляторов роста при возделывании кукурузы на зеленую массу.

5. СИСТЕМЫ УДОБРЕНИЯ

5.1. Минеральная система удобрения. Применение минеральной системы удобрения при возделывании кукурузы на дерново-подзолистых высококультурных суглинистых почвах без использования органических удобрений возможно в хозяйствах с невысоким поголовьем скота, испытывающих дефицит органических удобрений. При этом следует учитывать, что такая система удобрения даже на высококультурных почвах может привести к деградации почвенного плодородия. Поэтому применять ее при возделывании кукурузы допустимо не более чем в одной ротации севооборота.

5.1.1. Фосфорные и калийные удобрения полной дозой вносят под предпосевную культивацию. С учетом особенностей потребления азота растениями кукурузы в течение вегетации, перед посевом вносят не более 90 кг/га д. в. азотных удобрений, оставшуюся часть – в 2 приема.

5.1.2. Кукуруза отзывчива на внесение микроудобрений. В процессе вегетации кукуруза поглощает из расчета на 1 га: цинка – 350–400 г, бора – 70–80 г, меди – 50–60 г. В почвах, даже высококультурных, как правило, отмечается низкое содержание меди, бора и цинка, тем более что антагонистом первого является азот, а других – фосфаты.

5.1.3. Некорневые обработки посевов кукурузы стимуляторами роста растений способствуют повышению устойчивости растений к стрессам.

5.1.4. Применение минеральной системы удобрения при возделывании кукурузы на зеленую массу позволяет получить 15–16 т/га к. ед., 18 ц/га белка, 60–80 долл./га условной прибыли при 37–56 % рентабельности и себестоимости 1 т к. ед. 26 долл.

5.1.5. Технологическая схема применения удобрений при возделывании кукурузы на зеленую массу по минеральной системе удобрения представлена в таблице 1.

Таблица 1

Технологическая схема комплексного применения удобрений и стимуляторов роста при возделывании кукурузы по минеральной системе удобрения на дерново-подзолистых высококультурных суглинистых почвах

Дозы удобрений, кг/га д. в.	Форма удобрений	Сроки применения
N_{90} , $N_{90}P_{20}K_{60}$	Карбамид или КАС, аммофос, хлористый калий, комплексные удобрения: 14-13-20; 15-12-18; 14-10-18 (Zn, B, Cu, Mn, Co)	До посева с заделкой в почву
N_{30}	Карбамид или КАС в разведении с водой в соотношении 1:3	Фаза 4–6 листьев
$B_{0,10}Zn_{0,15}$ $Zn_{0,10}$	Некорневая подкормка: Жидкие микроудобрения с содержанием бора в органоминеральной форме и цинка в хелатной – МикроСтим-Цинк, Бор (3,0 л/га), МикроСтим-Цинк (2,0 л/га). Расход рабочего раствора 200 л/га	

Продолжение таблицы 1

Дозы удобрений, кг/га д. в.	Форма удобрений	Сроки применения
Стимуляторы роста растений	Некорневая подкормка: Экогум АФ (1 л/га), Экосил (0,1 л/га) и др. Расход рабочего раствора 200 л/га	Фаза 4–6 листьев
N ₃₀	Карбамид	Фаза 8–10 листьев
Стимуляторы роста растений	Некорневая подкормка: Экосил Плюс (0,1 л/га) или др. Расход рабочего раствора 200 л/га	

5.2. Органоминеральная система удобрения. Является наиболее оптимальной при возделывании кукурузы. На дерново-подзолистых высококультуренных почвах применение 60 т/га солоमистого навоза обеспечивает дополнительное получение урожая на уровне 18–20 %.

5.2.1. Дозы вносимых минеральных удобрений устанавливаются с учетом элементов питания, поступивших в почву с органическими удобрениями. Из соломистого навоза, внесенного под кукурузу, растениями в течение вегетации усваивается около 23 % азота, 28 % фосфора и 55 % калия.

5.2.2. Технологическая схема применения удобрений при возделывании кукурузы по органоминеральной системе удобрения на дерново-подзолистых высококультуренных суглинистых и супесчаных почвах представлена в таблицах 2–3.

Таблица 2

Технологическая схема комплексного применения удобрений и стимуляторов роста при возделывании кукурузы по органоминеральной системе удобрения на дерново-подзолистых высококультуренных суглинистых почвах

Дозы удобрений, кг/га д. в.	Форма удобрений	Сроки применения
Органические удобрения – соломистый (60 т/га) или жидкий (полужидкий) навоз (в экв. по азоту)		Осенью с заделкой в почву под вспашку
N ₆₀	Карбамид или КАС	До посева с заделкой в почву
N ₃₀	Карбамид или КАС в разведении с водой в соотношении 1:3	Фаза 4–6 листьев
B _{0,10} Zn _{0,15} Zn _{0,10}	Некорневая подкормка: Жидкие микроудобрения с содержанием бора в органоминеральной форме и цинка в хелатной – МикроСтим-Цинк, Бор (3,0 л/га), МикроСтим-Цинк (2,0 л/га). Расход рабочего раствора 200 л/га	
Стимуляторы роста растений	Некорневая подкормка: Экогум АФ (1 л/га), Экосил (0,1 л/га) и др. Расход рабочего раствора 200 л/га	

Продолжение таблицы 2

Дозы удобрений, кг/га д. в.	Форма удобрений	Сроки применения
N ₃₀	Карбамид	Фаза 8–10 листьев
Стимуляторы роста растений	Некорневая подкормка: Экосил Плюс (0,1 л/га) или др. Расход рабочего раствора 200 л/га	

5.2.3. Применение органоминеральной системы удобрения при возделывании кукурузы на зеленую массу на дерново-подзолистой суглинистой почве позволяет получить 19–20 т/га к. ед., 23 ц/га белка, 203 долл./га условной прибыли при 66 % рентабельности, себестоимости 1 т к. ед. 28 долл. при снижении доз минеральных удобрений до 110 кг д. в.

Таблица 3

Технологическая схема комплексного применения удобрений и стимуляторов роста при возделывании кукурузы по органоминеральной системе удобрения на дерново-подзолистых хорошоокультуренных супесчаных почвах

Дозы удобрений, кг/га д. в.	Форма удобрений	Сроки применения
Органические удобрения – солоmistый (60 т/га) или жидкий (полужидкий) навоз (в экв. по азоту)		Осенью с заделкой в почву под вспашку
N ₆₀ P ₆₀ K ₁₂₀	Карбамид или КАС, аммофос, хлористый калий, комплексные удобрения: 14-13-20; 15-12-18; 14-10-18 (Zn, B, Cu, Mn, Co)	До посева с заделкой в почву
N ₃₀	Карбамид или КАС в разведении с водой в соотношении 1:3	Фаза 4–6 листьев
B _{0,10} Zn _{0,15} Zn _{0,10}	Некорневая подкормка: Жидкие микроудобрения с содержанием бора в органоминеральной форме и цинка в хелатной – МикроСтим-Цинк, Бор (3,0 л/га), МикроСтим-Цинк (2,0 л/га). Расход рабочего раствора 200 л/га	
Стимуляторы роста растений	Некорневая подкормка: Экогум АФ (1 л/га), Экосил (0,1 л/га) и др. Расход рабочего раствора 200 л/га	Фаза 8–10 листьев
N ₃₀	Карбамид	
Стимуляторы роста растений	Некорневая подкормка: Экосил Плюс (0,1 л/га) и др. Расход рабочего раствора 200 л/га	

5.2.4. Применение органоминеральной системы удобрения при возделывании кукурузы на зеленую массу на дерново-подзолистой супесчаной почве позволяет получить 15 т/га к. ед., 36 ц/га белка, 59 долл./га условной прибыли при 18 % рентабельности.

5.3. **Минеральная биологизированная система удобрения** является альтернативой системе удобрения с применением навоза.

5.3.1. Технологическая схема применения удобрений при возделывании кукурузы по минеральной биологизированной системе удобрения на дерново-подзолистых супесчаных почвах представлена в таблице 4.

Таблица 4

Технологическая схема комплексного применения удобрений и стимуляторов роста при возделывании кукурузы по минеральной биологизированной системе удобрения на дерново-подзолистых хорошоокультуренных супесчаных почвах

Дозы удобрений, кг/га д. в.	Форма удобрений	Сроки применения
Зеленая масса сидерата (экв. 15–20 т/га органических удобрений)		Осенью с заделкой в почву дисками
$N_{60-90}P_{60-90}$ $K_{120-150}$	Карбамид или КАС, аммофос, хлористый калий, комплексные удобрения: 14-13-20; 15-12-18; 14-10-18 (Zn, B, Cu, Mn, Co)	До посева с заделкой в почву
N_{60}	Карбамид или КАС в разведении с водой в соотношении 1:3	Фаза 4–6 листьев
$B_{0,10}Zn_{0,15}$ $Zn_{0,10}$	Некорневая подкормка: Жидкие микроудобрения с содержанием бора в органоминеральной форме и цинка в хелатной – МикроСтим-Цинк, Бор (3,0 л/га), МикроСтим-Цинк (2,0 л/га). Расход рабочего раствора 200 л/га	
Стимуляторы роста растений	Некорневая подкормка: Экогум АФ (1 л/га), Экосил (0,1 л/га) и др. Расход рабочего раствора 200 л/га	
N_{30}	Карбамид	Фаза 8–10 листьев
Стимуляторы роста растений	Некорневая подкормка: Экосил Плюс (0,1 л/га) и др. Расход рабочего раствора 200 л/га	

5.3.2. Применение минеральной биологизированной системы удобрения при возделывании кукурузы на зеленую массу на дерново-подзолистой супесчаной почве позволяет получить 13,5 т/га к. ед., 34–35 ц/га белка, 55–63 долл./га условной прибыли при 28–29 % рентабельности.

5.3.3. Органоминеральная и минеральная биологизированные системы удобрения при возделывании кукурузы на дерново-подзолистых высокоокультуренных почвах обеспечивают поддержание исходного уровня содержания подвижных соединений фосфора и калия или сдерживание темпов их потерь.

**REGULATIONS FOR THE USE OF FERTILIZERS
FOR CORN ON SOD-PODZOLIC HIGHLY CULTIVATED LOAMY
AND SANDY LOAM SOILS**

**E. G. Mezentseva, O. G. Kulesh, O. V. Simankov,
A. A. Gracheva, S. M. Zenkova**

Summary

These sections of the industry technological regulations establish requirements for the effective use of fertilizer systems, depending on the level of intensification of corn cultivation for green mass on sod-podzolic highly cultivated soils with a scientific research and field experiments in the cultivation of corn of the Republican Unitary Enterprise "Institute of Soil Science and Agrochemistry".

**УСОВЕРШЕНСТВОВАННАЯ СИСТЕМА УДОБРЕНИЯ
ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ ПРИ ТРАДИЦИОННОЙ
И ПОВЕРХНОСТНОЙ ОБРАБОТКЕ ПОЧВЫ,
ОБЕСПЕЧИВАЮЩАЯ ЭКОНОМИЧЕСКИ ОБОСНОВАННОЕ
ПОВЫШЕНИЕ УРОЖАЙНОСТИ И КАЧЕСТВА ЗЕРНА
НА ВЫСОКО- И СРЕДНЕОКУЛЬТУРЕННЫХ ДЕРНОВО-
ПОДЗОЛИСТЫХ ПОЧВАХ
(РЕКОМЕНДАЦИИ)**

**Т. М. Серая, Е. Н. Богатырева, Т. М. Кирдун, Т. В. Мачок,
Ю. А. Симанкова, М. М. Торчило**

*Институт почвоведения и агрохимии,
г. Минск, Беларусь*

ВВЕДЕНИЕ

В структуре посевных площадей зерновые и зернобобовые культуры в среднем по республике занимают 42–43 %, на 22–23 % этих площадей размещаются посевы озимой пшеницы. За последние 5 лет урожайность зерна данной культуры в среднем составила 37,1 ц/га, при средних дозах удобрений в этот период: органических – 5,7 т/га, азотных – 101 кг/га, фосфорных – 30 кг/га, калийных – 94 кг/га (NPK – 225 кг/га, соотношение N:P:K – 1:0,3:0,9).

Для удовлетворения разнообразного спроса населения республики в хлебобулочных, кондитерских, макаронных и других изделиях требуется зерно определенного ассортимента и качества. Содержание белка определяет характер использования пшеницы: для хлебопечения больше всего подходит зерно с содержанием белка 14–15 %, для макаронных изделий – 17–18 %. При оценке хлебопекарных свойств большое значение имеют количество и качество клейковины. Разница в закупочной цене между фуражным и продовольственным зерном пшеницы 4 класса в 2022 г. составляла 98,74 руб./т, между зерном 3 и 4 класса – 66,86 руб./т. На технологические свойства зерна пшеницы влияют режим температур, обеспеченность осадками, степень окультуренности почв, система удобрения и ряд других внешних факторов. Почвенно-климатические условия Республики Беларусь не позволяют получать высококачественное зерно на уровне сильной пшеницы, однако, имеются вполне реальные возможности для повышения качества зерна мягкой пшеницы. Ежегодно Совет Министров определяет объемы закупок сельскохозяйственной продукции и сырья для республиканских государственных нужд. Согласно постановлению Совета Министров от 31 декабря 2021 г. № 786, в 2022 г. закупки зерна по госзаказу предусматривались в объеме 811,4 тыс. т, в том числе продовольственной пшеницы – 530 тыс. т.

В современных условиях важно не только стремиться к повышению урожайности сельскохозяйственных культур, но и к снижению себестоимости, то

есть по возможности наращивать производство конкурентоспособной продукции. Для этого необходимо максимально задействовать малозатратные приемы в технологиях возделывания культур. Снижения себестоимости продукции можно добиться, используя излишки соломы на удобрение, то есть при планировании доз удобрений учитывать содержание органического вещества и элементов питания, поступающих с соломой, а также путем усовершенствования системы удобрения с учетом последних агрохимических исследований.

Основным источником органических удобрений в республике являются все виды навоза. Однако для хозяйств, специализирующихся на производстве зерна и другой продукции растениеводства, при отсутствии или слабом развитии животноводства важным источником органического вещества является солома. Измельчение соломы на удобрение существенно удешевляет затраты на уборку зерновых культур. Кроме этого из 1 т соломы может синтезироваться 120–200 кг гумуса. Однако для благоприятного протекания биохимических процессов в почве при заделке соломы необходимо обеспечение оптимального углеродно-азотного соотношения (20–30:1), так как, по данным ряда исследователей внесение соломы стимулирует развитие отдельных видов почвенных микроорганизмов, выделяющих токсины. Фитотоксичный эффект фенольных соединений, образующихся при разложении соломы, проявляется в торможении роста корней, хлорозе растений, нарушении обмена веществ, задержке поступления элементов питания, подавлении дыхательного процесса. Скорость разложения соломы, в первую очередь, зависит от биологической активности почвы, степени ее окультуренности, гранулометрического состава. В связи с этим, одним из направлений исследований было установление сравнительной агроэкономической эффективности внесения по соломе, заделываемой под озимые зерновые, компенсирующей дозы азота в виде КАС и целюлозоразлагающего микробиологического удобрения Жыцень на высоко- и среднеокультуренных дерново-подзолистых почвах.

Исследования многих научных учреждений стран СНГ и дальнего зарубежья показывают, что в севообороте отвальную вспашку с успехом можно заменить безотвальной обработкой почвы, что позволяет сократить производственные затраты на ее обработку на 30–80 %, получить высокие стабильные урожаи и сохранить окружающую среду. Вызывает интерес эффективность применения различных систем удобрения на фоне разных способов обработки почвы.

УДОБРЕНИЕ ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ

Рекомендуются системы удобрения озимой пшеницы с планируемой урожайностью 60–70 ц/га на среднеокультуренных дерново-подзолистых почвах и 70–80 ц/га на высокоокультуренных почвах.

Полевые опыты с озимой пшеницей сорт Августина проводили в течение трех лет в трех полях на среднеокультуренной дерново-подзолистой супесчаной почве со слабокислой реакцией почвенной среды (рН 5,52–5,80), средним и повышенным содержанием гумуса (1,96–2,40 %) и подвижных форм фосфора (134–177 мг/кг), низким и средним содержанием подвижных форм калия (134–195 мг/кг) и на высокоокультуренной дерново-подзолистой суглинистой почве

с близкой к нейтральной и нейтральной реакцией почвенной среды (рН 6,17–6,61), повышенным и высоким содержанием гумуса (2,38–2,69 %) и подвижных форм калия (277–336 мг/кг) и очень высоким содержанием подвижных форм фосфора (549–607 мг/кг).

На каждом поле исследования проводили в двух блоках: в 1-м блоке в качестве основной обработки почвы применяли вспашку на глубину 20 см, во 2-м блоке – дискование в один след на глубину 10–12 см.

Применяли минеральную систему удобрения и органоминеральную, где в качестве органических удобрений использовали подстилочный навоз КРС и солому предшественника.

После уборки предшественника измельченную солому равномерно распределяли по полю, вносили компенсирующие дозы азота в виде КАС или микробное удобрение Жыцень в дозе 3 л/га и задисковывали. Через две недели в 1-м блоке проводили вспашку, во 2-м – дискование в один след.

Подстилочный навоз вносили после уборки предшественника: в дозе 40 т/га (солому убирали с поля) и в дозе 30 т/га (по соломе предшественника).

Комплексное удобрение Адоб Профит 4-12-38 в дозе по 2 кг/га вносили в некорневые подкормки осенью в фазу начала кущения и в период начала весенней вегетации в вариантах, где фосфорные и калийные удобрения не вносили в почву.

На среднекультуренной почве минеральные удобрения внесены в полной дозе, рассчитанной под планируемую урожайность ($N_{70+40+40}P_{65}K_{115}$), в вариантах с подстилочным навозом КРС в дозе 40 т/га – $N_{60+30+40}P_{40}K_{35}$, в дозе 30 т/га – $N_{60+40+40}P_{50}K_{50}$, в вариантах с учетом содержания калия и фосфора в запаханной соломе предшественника в среднем за три года внесено $N_{70+40+40}P_{55}K_{45}$.

На высококультуренной почве азотные удобрения внесены в полной дозе, рассчитанной под планируемую урожайность, фосфорные и калийные с использованием понижающих коэффициентов, учитывающих содержание подвижных форм фосфора и калия в почве, ($N_{90+40+50}P_{30}K_{60}$), в вариантах с подстилочным навозом КРС в дозе 40 т/га – $N_{50+40+50}$, в дозе 30 т/га – $N_{60+40+50}P_{10}$. В вариантах с учетом содержания калия и фосфора в запаханной соломе предшественника в среднем за три года внесено $N_{90+40+50}P_{25}K_{15}$.

Фосфорные и калийные удобрения внесены под основную обработку почвы, азотные – в три подкормки: в начале ранневесенней вегетации (КАС), в фазу «первый узел» (карбамид), в фазу «флаг-лист» (карбамид) и в одном варианте проводили некорневую подкормку карбамидом N_{10} в стадию «колошение». В одном из вариантов первую подкормку азотом проводили как только можно было выйти в поле, в остальных при наступлении оптимальных сроков, и в одном из вариантов фосфорные и калийные удобрения вносили не под основную обработку почвы, а после сева.

Результаты полевого опыта указывают на то, что в зависимости от применяемых систем удобрения в среднем за три года урожайность зерна озимой пшеницы на среднекультуренной почве в блоке вспашки изменялась от 66,8 ц/га до 70,7 ц/га, в блоке дискования – от 67,7 ц/га до 73,3 ц/га (табл. 1); на высококультуренной почве в блоке вспашки – от 75,8 ц/га до 82,0 ц/га, в блоке дискования – от 79,3 ц/га до 84,1 ц/га (табл. 2).

**Эффективность применения удобрений при возделывании
озимой пшеницы на среднекультуренной дерново-подзолистой
супесчаной почве, среднее за 2020–2022 гг.**

Вариант	Урожайность зерна, ц/га	Содержание, %		Условный чистый доход, долл./га	
		протеина	клейковины	продовольствие	фураж
Вспашка					
Без удобрений (контроль)	40,9	8,77	17,43	–	–
$N_{70+40+40} P_{65} K_{115}$	66,8	13,23	26,21	505	54
Адоб Профит 4-12-38, 4 кг/га + $N_{70+40+40}$	68,5	12,90	25,84	662	199
ПН КРС, 40 т/га + $N_{60+30+40} P_{40} K_{35}$	69,7	13,18	26,58	554	83
Солома + ПН КРС, 30 т/га + $N_{60+40+40} P_{50} K_{50}$	70,7	13,11	26,38	564	86
Солома + $N_{70+40+40} P_{65} K_{115}$	66,4	12,85	26,20	498	49
Солома + $N_{70+40+40+10} P_{65} K_{115}$	66,8	13,26	26,63	505	54
Солома + Жыцень, 3 л/га + $N_{70+40+40} P_{65} K_{115}$	69,1	13,24	26,64	538	71
Солома + $N_{20(КАС)} + N_{70+40+40} P_{65} K_{115}$	69,2	13,22	26,63	534	66
Солома + $N_{20(КАС)} + N_{70 \text{ до орт } +40+40} P_{65} K_{115}$	67,8	13,35	27,25	507	48
Солома + $N_{20(КАС)} + N_{70+40+40} P_{65} K_{115}$ (по вспашке)	67,6	13,06	26,24	503	46
Солома + $N_{20(КАС)} + P_{55}^* K_{45}^* + N_{70+40+40}$	68,6	12,98	25,74	549	86
Дискование					
Без удобрений (контроль 2)	38,3	8,91	17,57	–	–
$N_{70+40+40} P_{65} K_{115}$	67,7	13,86	25,29	517	99
ПН КРС, 40 т/га + $N_{60+30+40} P_{40} K_{35}$	70,0	13,88	25,99	553	120
Солома + $N_{70+40+40} P_{65} K_{115}$	68,5	13,94	26,44	532	109
Солома + ПН КРС, 30 т/га + $N_{60+40+40} P_{50} K_{50}$	68,5	13,75	26,12	515	91
Солома + Жыцень, 3 л/га + $N_{70+40+40} P_{65} K_{115}$	73,3	13,30	25,11	614	158
Солома + $N_{20(КАС)} + N_{70+40+40} P_{65} K_{115}$	70,2	13,52	25,83	547	112
НСР ₀₅ (удобрения)	4,8	0,62	1,42	–	–
НСР ₀₅ (обработка почвы)	2,3	0,33	0,73	–	–

Примечание. *дозы удобрений рассчитаны с учетом фосфора и калия в соломе.

**Эффективность применения удобрений при возделывании
озимой пшеницы на высококультуренной дерново-подзолистой
суглинистой почве, среднее за 2020–2022 гг.**

Вариант	Урожайность зерна, ц/га	Содержание, %		Условный чистый доход, долл./га	
		протеина	клейковины	продовольствие	фураж
Вспашка					
Без удобрений (контроль 1)	60,4	9,18	17,53	–	–
$N_{90+40+50}P_{30}K_{60}$	76,3	12,07	26,00	482	–33
Адоб Профит 4-12-38, 4 кг/га + $N_{90+40+50}$	76,8	12,13	26,17	548	29
ПН КРС, 40 т/га + $N_{50+40+50}$	78,6	12,44	27,41	551	20
Солома + ПН КРС, 30 т/га + $P_{10} + N_{60+40+50}$	82,0	12,36	27,28	610	55
Солома + $N_{90+40+50}P_{30}K_{60}$	80,4	12,24	26,35	562	19
Солома + $P_{30}K_{60} + N_{90+40+50+10}$	79,5	12,50	27,48	545	8
Солома + Жыцень, 3 л/га + $N_{90+40+50}P_{30}K_{60}$	75,8	12,36	26,60	461	–52
Солома + $N_{25(КАС)} + N_{90+40+50}P_{30}K_{60}$	78,5	12,63	27,35	502	–28
Солома + $N_{25(КАС)} + N_{90до опт +40+50}P_{30}K_{60}$	80,6	12,20	26,42	543	–1
Солома + $N_{25(КАС)} + N_{90+40+50}P_{30}K_{60}$ (по вспашке)	76,6	12,37	26,67	465	–53
Солома + $N_{25(КАС)} + N_{90+40+50}P_{25}^*K_{15}^*$	77,1	12,56	27,45	495	–26
Дискование					
Без удобрений (контроль 2)	59,9	9,11	17,59	–	–
$N_{90+40+50}P_{30}K_{60}$	81,2	12,50	27,90	586	29
ПН КРС, 40 т/га + $N_{50+40+50}$	84,1	12,67	28,41	666	90
Солома + $N_{90+40+50}P_{30}K_{60}$	79,3	12,79	28,41	549	5
Солома + ПН КРС, 30 т/га + $N_{60+40+50}P_{10}$	81,7	12,61	28,01	611	52
Солома + Жыцень, 3 л/га + $N_{90+40+50}P_{30}K_{60}$	83,7	12,32	27,13	623	49
Солома + $N_{25(КАС)} + N_{90+40+50}P_{30}K_{60}$	80,9	12,45	27,29	557	2
НСР ₀₅ (удобрения)	5,0	0,69	2,36	–	–
НСР ₀₅ (обработка почвы)	2,7	0,39	1,34	–	–

Примечание. *дозы удобрений рассчитаны с учетом фосфора и калия в соломе.

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ВОЗДЕЛЫВАНИЯ ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ НА ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТЫХ ПОЧВАХ РАЗНОЙ СТЕПЕНИ ОКУЛЬТУРЕННОСТИ

Рациональность применения различных видов и доз удобрений в сельскохозяйственном производстве должна быть подтверждена не только агрономической, но и экономической эффективностью. Ее главным критерием в растениеводстве является получение максимальной урожайности при минимальных затратах. Расчет экономической эффективности позволяет установить научно обоснованные дозы удобрений для получения стабильных урожаев с высоким качеством продукции. Экономическую эффективность применения удобрений оценивали таким показателем как условный чистый доход, который рассчитывали на 1 га посевов как разность между стоимостью урожая, полученного за счет удобрений, и стоимостью затрат на удобрения и доработку урожая.

Справочно. Расчет экономической эффективности внесения удобрений выполнен на прибавку урожая от удобрений с учетом повышения качества всего зерна в ценах на минеральные удобрения и зерно пшеницы в Республике Беларусь в 2022 г. в долларовой эквиваленте. Транспортировка до 5 км и внесение подстилочного навоза КРС (ПН КРС) – 3,5 долл./т (на озимую пшеницу брали 60 % от затрат), затраты на доработку прибавки урожая зерна – 25 долл./т, затраты на внесение соломы не учитывали, так как ее измельчали и разбрасывали по полю при уборке.

В 2022 г. стоимость продовольственного зерна пшеницы 4 класса (клейковина от 18 до 23 %) составляла 473,14 руб./т, 3 класса с клейковиной выше 23 % – 540,00 руб./т, стоимость фуражного зерна (клейковина менее 18 %) брали 374,40 руб./т. Пересчет в долл. выполнен по курсу 2,45.

Высокая экономическая эффективность, при условии реализации зерна на продовольствие, отмечена во всех вариантах применения удобрений как на среднеокультуренной, так и на высокоокультуренной почвах, однако, если это зерно использовать на фуражные цели, условный чистый доход за счет применения удобрений будет в разы ниже, а на высокоокультуренной почве в отдельных вариантах даже будет убыток (табл. 1, 2).

Для расчета оптимальных доз внесения удобрений под планируемую урожайность используется метод коэффициентов возмещения выноса, то есть компенсация выноса за счет удобрения с корректировкой на уровень содержания соответствующих элементов питания в почве. Установлено, что при возделывании озимой пшеницы на среднеокультуренной дерново-подзолистой супесчаной почве при урожайности зерна 66,4–73,3 ц/га в зависимости от системы применения удобрений коэффициенты возмещения удобрениями выноса азота составили 1,1–2,7, фосфора – 1,0–2,5, калия – 1,5–3,6 (табл. 3). Это значит, что применяемые системы удобрения наряду с повышением урожайности и качества зерна озимой пшеницы способствуют поддержанию и повышению почвенного плодородия. Максимальные коэффициенты возврата получены при органико-минеральной системе удобрения с применением подстилочного навоза КРС.

Для получения урожайности продовольственного зерна озимой пшеницы 60–70 ц/га на среднеокультуренных дерново-подзолистых почвах рекомендуется внесение под основную обработку почвы 65 кг /га д. в. фосфорных удобрений

и 115 кг/га д. в. калийных удобрений и три подкормки азотом: 70 кг/га д. в. в начале ранневесенней вегетации (КАС), 40 кг/га д. в. в фазу «первый узел» (карбамид), 40 кг/га д. в. в фазу «флаг-лист» (карбамид). В опыте при такой системе удобрения ($N_{70+40+40}P_{65}K_{115}$) урожайность зерна составила 66,8 ц/га (+68 % за счет удобрений). Кроме роста урожайности внесение удобрений способствовало увеличению содержания в зерне сырого белка с 8,77 % до 13,23 % и клейковины – с 17,43 до 26,21 %. В результате зерно по содержанию клейковины соответствовало требованиям, предъявляемым к продовольственному зерну 3 класса качества, в то время как зерно пшеницы, выращенной без удобрений, было пригодно только на фураж. Реализация зерна на продовольствие обеспечит условный чистый доход за счет применения удобрений 505 долл./га, при использовании на фураж – 54 долл./га. Данная система удобрения обеспечивает бездефицитный баланс азота и фосфора и положительный – калия; коэффициенты возмещения составили: азота – 1,1, фосфора – 1,0, калия – 1,6.

Таблица 3

Коэффициенты возмещения элементов питания в зависимости от применяемых систем удобрения при возделывании озимой пшеницы на дерново-подзолистых супесчаных почвах, среднее за 3 года

Вариант	Коэффициент возмещения					
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
	высококультуренная почва			среднекультуренная почва		
Вспашка						
Без удобрений (контроль)	–	–	–	–	–	–
НРК	1,2	0,5	0,6	1,1	1,0	1,6
Адоб Профит 4-12-38, 4 кг/га + N ₁₊₂₊₃	1,2	–	–	1,1	–	–
ПН КРС, 40 т/га + N ₁₊₂₊₃ РК	2,5	1,9	2,5	2,6	2,4	3,6
Солома + ПН КРС, 30 т/га + N ₁₊₂₊₃ РК	2,2	1,7	2,3	2,4	2,2	3,6
Солома + N ₁₊₂₊₃ РК	1,3	0,5	1,0	1,2	1,1	2,1
Солома + N ₁₊₂₊₃₊₄ РК	1,3	0,5	1,0	1,3	1,2	2,1
Солома + Жыцень, 3 л/га + N ₁₊₂₊₃ РК	1,3	0,5	1,0	1,2	1,1	2,1
Солома + N _(КАС) + N ₁₊₂₊₃ РК	1,4	0,5	1,0	1,4	1,2	2,2
Солома + N _(КАС) + N _{1 до опт +2+3} РК	1,4	0,5	1,0	1,4	1,2	2,2
Солома + N _(КАС) + N ₁₊₂₊₃ РК (по вспашке)	1,4	0,5	1,1	1,4	1,3	2,2
Солома + N _(КАС) + P [*] K [*] + N ₁₊₂₊₃	1,4	0,4	0,5	1,3	1,1	1,6
Дискование						
Без удобрений (контроль 2)	–	–	–	–	–	–
N ₁₊₂₊₃ РК	1,1	0,4	0,5	1,1	1,0	1,5
ПН КРС, 40 т/га + N ₁₊₂₊₃ РК	2,4	1,9	2,5	2,7	2,5	3,6
Солома + N ₁₊₂₊₃ РК	1,3	0,5	1,0	1,2	1,2	2,0
Солома + ПН КРС, 30 т/га + N ₁₊₂₊₃ РК	2,2	1,5	2,3	2,5	2,3	3,5
Солома + Жыцень, 3 л/га + N ₁₊₂₊₃ РК	1,3	0,5	1,1	1,2	1,1	1,9
Солома + N _(КАС) + N ₁₊₂₊₃ РК	1,4	0,5	1,1	1,3	1,1	2,0

В сельскохозяйственных организациях в случае отсутствия фосфорных и калийных удобрений озимая пшеница высевается без внесения их в почву. В таком случае можно рассматривать два варианта: 1) некорневые подкормки комплексными удобрениями с содержанием фосфора и калия; 2) внесение фосфорных и калийных удобрений после посева пшеницы. В опыте эти два варианта были испытаны. Двукратная некорневая обработка комплексным удобрением Адоб Профит 4-12-38 в дозе по 2 кг/га: 1-я – в фазу кущения осенью, 2-я – в период начала активной вегетации весной в опыте со средним и повышенным содержанием подвижных форм фосфора, низким и средним содержанием подвижных форм калия по действию на урожайность (68,5 ц/га) была близкой к внесению $P_{65}K_{115}$ при самом высоком в опыте условном чистом доходе. Однако при данной системе удобрения баланс фосфора и калия в почве будет отрицательным и при частом ее применении это приведет к снижению плодородия почвы. Внесение фосфорных и калийных удобрений после посева пшеницы в опыте (вносили вручную) также по влиянию на урожайность и качество зерна пшеницы было близким к внесению их под вспашку, однако в производственных условиях будет оставаться колея после прохода техники, которая, скорее всего, окажет негативное влияние на развитие растений.

На фоне внесения 40 т/га подстилочного навоза КРС под озимую пшеницу рекомендуется снижение доз фосфорных и калийных удобрений на 25 и 80 кг/га д. в. соответственно и азотных – по 10 кг/га в первую и вторую подкормки. В опыте эта система удобрения оказала близкое влияние на урожайность и показатели качества зерна, как и внесение $N_{70+40+40}P_{65}K_{115}$, однако эта система удобрения рассчитана на повышение плодородия почвы: коэффициенты возмещения азота составили 2,6, фосфора – 2,4, калия – 3,6.

При оставлении измельченной соломы на поле после уборки предшественника рекомендуется снижение дозы подстилочного навоза КРС с 40 до 30 т/га и внесение на этом фоне $N_{60+40+40}P_{50}K_{50}$. В опыте данная система удобрения по агроэкономической эффективности была близка к системе удобрения с внесением 40 т/га подстилочного навоза КРС.

Заделка соломы без компенсирующей дозы азота в почву с содержанием гумуса более 2,0 % не оказывает негативного влияния на развитие озимой пшеницы в осенний период при соблюдении следующих условий: сразу после уборки предшественника измельченная солома должна быть задискована и оставлена в таком состоянии примерно на две недели, после этого проводится основная обработка почвы под озимую пшеницу. Если планируется внесение по соломе жидкого навоза или навозных стоков, КАС или целлюлозоразлагающего микробного удобрения – их следует внести перед дискованием. В варианте с внесением соломы 3 т/га + $N_{70+40+40}P_{65}K_{115}$ в среднем за 3 года не отмечено негативного влияния соломы на урожайность и показатели качества зерна по сравнению с аналогичным вариантом без соломы, однако коэффициенты возмещения элементов питания были выше и составили: азота – 1,2, фосфора – 1,1, калия – 2,1.

Обработка соломы целлюлозоразлагающим микробным удобрением Жыцень в дозе 3 л/га обеспечила выраженную тенденцию роста урожайности зерна в 2020 г. (+4,8 ц/га) и 2022 г. (+3,1 ц/га) и не оказала влияния в 2021 г. В результате в среднем за 3 года прибавка урожая была недостоверной (+2,7 ц/га).

Внесение компенсирующей дозы азота по соломе (N_{20}) в виде КАС не оказало существенного влияния на урожайность и показатели качества зерна озимой пшеницы.

Дополнительная некорневая подкормка N_{10} в период «колошение – налив зерна» из трех лет была эффективной только в погодных условиях 2022 г. и способствовала увеличению содержания белка на 1,31 %, клейковины – на 2,08 % на среднекультуренной почве и на 1,0 % белка и 3,53 % клейковины на высококультуренной почве.

В опыте ранневесеннюю подкормку озимой пшеницы проводили в два срока: в одном из вариантов, как только можно было выйти в поле, в остальных – при установлении среднесуточных температур выше 5 °С. Погодные условия в марте–апреле 2020–2022 гг. были схожими: кратковременное потепление в марте сменялось продолжительным периодом (2–3 недели) со среднесуточными температурами ниже 5 °С. Существенной разницы в урожайности и показателях качества зерна между подкормками до оптимальных сроков и в оптимальные сроки не установлено.

На основании полученных экспериментальных данных рекомендуется начинать ранневесеннюю подкормку озимой пшеницы сразу же, как только можно выйти в поле, начиная с более слабых посевов.

Снижение доз фосфорных и калийных удобрений с учетом поступления данных элементов питания с соломой предшественника обеспечило получение урожайности зерна озимой пшеницы на уровне внесения полных доз этих удобрений с близким содержанием белка и клейковины.

На полях чистых от многолетних сорняков в качестве основной обработки почвы под озимую пшеницу рекомендуется поверхностная обработка (дискование в один след на 10–12 см) как при внесении минеральных удобрений, так и органических (подстилочный навоз, солома) при условии равномерного распределения их по поверхности поля. В опыте урожайность зерна в блоке дискования в среднем за 3 года была на 0,5 ц/га выше по сравнению с аналогичными вариантами в блоке вспашки при достоверной разнице в урожае в варианте, где солому обрабатывали целлюлозоразлагающим микробным препаратом Жыцень в дозе 3 л/га. Заделка соломы без компенсирующей дозы азота как при вспашке, так и дисковании не оказала негативного влияния на растения озимой пшеницы. Следует отметить, что заделка дисками соломы, обработанной микробным удобрением Жыцень, гораздо эффективнее по влиянию на урожайность, чем ее запашка, так как данное удобрение гораздо эффективнее работает в аэробных условиях.

На высококультуренных дерново-подзолистых почвах для получения урожайности продовольственного зерна озимой пшеницы 70–80 ц/га рекомендуется внесение под основную обработку почвы 30 кг/га д. в. фосфорных и 60 кг/га д. в. калийных удобрений и три подкормки азотом: 90 кг/га д. в. в начале ранневесенней вегетации (КАС), 40 кг/га д. в. в фазу «первый узел» (карбамид), 50 кг/га д. в. в фазу «флаг-лист» (карбамид). В опыте при такой системе удобрения ($N_{90+40+50}P_{30}K_{60}$) урожайность зерна в среднем за 3 года составила 76,3 ц/га (+26 % за счет удобрений) с колебаниями по годам от 59,4 ц/га в 2021 г., когда растения пострадали от снежной плесени до 90,7 ц/га в 2020 г. Кроме роста урожайности внесение удобрений способствовало увеличению содержания в зерне

сырого белка с 9,18 % до 12,07 % и клейковины – с 17,53 до 26,00 % при условном чистом доходе за счет применения удобрений 482 долл./га при реализации на продовольствие, при использовании на фураж убыток от применения удобрений составит 33 долл./га. Данная система удобрения обеспечивает положительный баланс азота и дефицитный фосфора и калия; коэффициенты возмещения составили: азота – 1,2, фосфора – 0,5, калия – 0,6. По мнению Н. Н. Семененко с соавторами для высокоплодородных дерново-подзолистых почв с очень высоким содержанием фосфора и калия оптимальными коэффициентами возмещения выноса являются: N – 1,1, P₂O₅ – 0,3 и K₂O – 0,4.

В опыте органоминеральная система удобрения с внесением в качестве органических удобрений соломы обеспечила поддержание содержания подвижных форм калия на исходном уровне при дефицитном балансе фосфора; в вариантах с подстилочным навозом КРС отмечены максимальные коэффициенты возврата элементов питания в почву.

В целом на высококультуренной дерново-подзолистой суглинистой почве в удобренных вариантах в блоке вспашки урожайность увеличилась в среднем на 30 %, относительно неудобренного варианта, при увеличении содержания сырого белка до 12,07–12,63 %, клейковины – до 26,00–27,48 %. В блоке дискования урожайность за счет удобрений выросла на 37 %, содержание сырого белка – до 12,32–12,79 %, клейковины – до 27,13–28,41 %. Условный чистый доход за счет применения удобрений составил 461–666 долл./га при реализации зерна на продовольствие.

Урожайность зерна озимой пшеницы в блоке дискования в удобренных вариантах в среднем была на 3,2 ц/га (4 %) выше по сравнению с аналогичными вариантами в блоке вспашки. Запашка соломы без компенсирующей дозы азота не оказала негативного влияния на растения озимой пшеницы. Наибольшая урожайность зерна в опыте получена в вариантах с внесением подстилочного навоза КРС в дозе 40 т/га – 84,1 ц/га и обработкой соломы микробным удобрением Жыцень – 83,7 ц/га (табл. 2).

При возделывании озимой пшеницы на высококультуренной дерново-подзолистой суглинистой почве при урожайности зерна 75,8–84,1 ц/га в зависимости от системы применения удобрений коэффициенты возмещения удобрениями выноса составили: азота – 1,1–2,5, фосфора – 0,4–1,9, калия – 0,5–2,5 (табл. 3).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На дерново-подзолистых почвах в полевых опытах в среднем за 3 года за счет эффективного плодородия среднекультуренной супесчаной почвы получено 40,9 ц/га зерна озимой пшеницы, высококультуренной суглинистой – 60,4 ц/га (+48 %) в блоке вспашки и соответственно 38,3 ц/га и 59,9 ц/га (+56 %) в блоке дискования. Удобрения способствовали существенному снижению негативного влияния погодных условий и сглаживали роль степени окультуренности почвы; урожайность в удобренных вариантах на высококультуренной почве по сравнению со среднекультуренной почвой была выше на 16 %.

На почвах с повышенной обеспеченностью подвижными формами фосфора и калия при посеве озимой пшеницы без фосфорных и калийных удобрений рекомендуется двукратная некорневая обработка посевов комплексным

удобрением Адоб Профит 4-12-38 в дозе по 2 кг/га: 1-я – в фазу кущения осенью, 2-я – в период начала активной вегетации весной или другим удобрением близким по составу.

На почвах с заделкой соломы под озимую пшеницу дозу подстилочного навоза целесообразно уменьшить с 40 до 30 т/га, что без снижения урожайности позволит повысить рентабельность. Также повышению экономической эффективности применения удобрений способствует снижение доз фосфорных и калийных удобрений под озимую пшеницу с учетом содержания элементов питания в соломе предшественника.

На почвах с содержанием гумуса более 2 % измельченная солома предшественника не оказывает негативного влияния на рост и развитие растений озимой пшеницы при соблюдении следующих условий: сразу после уборки предшественника измельченная солома должна быть задискована и оставлена в таком состоянии примерно на две недели, после этого проводится основная обработка почвы под озимую пшеницу.

Ранневесеннюю подкормку озимой пшеницы рекомендуется начинать сразу же, как только можно выйти в поле, начиная с более слабых посевов.

На основании 3-х летних исследований рекомендуются оптимальные системы удобрения:

– для *среднекультуренной дерново-подзолистой супесчаной почвы со вспашкой в качестве основной обработки почвы* – система удобрения, включающая внесение $N_{70+40+40}P_{55}K_{45}$ на фоне соломы, в среднем за 3 года обеспечила формирование урожайности зерна озимой пшеницы 68,6 ц/га с содержанием сырого протеина 12,98 %, клейковины – 25,74 %, коэффициенты возмещения выноса элементов питания урожаем составили: N – 1,3, P_2O_5 – 1,1, K_2O – 1,6, условный чистый доход за счет применения удобрений при условии реализации зерна на продовольствие – 549 долл./га; для *повышения плодородия почвы* рекомендуется система удобрения – солома + ПН КРС, 30 т/га + $N_{60+40+40}P_{50}K_{50}$, которая обеспечила формирование урожайности зерна 70,7 ц/га с содержанием сырого протеина 13,11 %, клейковины – 26,38 %; коэффициенты возмещения выноса элементов питания урожаем составили: N – 2,4, P_2O_5 – 2,2, K_2O – 3,6; условный чистый доход за счет применения удобрений при условии реализации зерна на продовольствие – 564 долл./га;

– при *поверхностной обработке почвы* – система удобрения, включающая внесение $N_{70+40+40}P_{65}K_{115}$ на фоне соломы, обработанной микробным препаратом Жыцень в дозе 3 л/га, в среднем за 3 года обеспечила формирование урожайности зерна озимой пшеницы 73,3 ц/га с содержанием сырого протеина 13,30 %, клейковины – 25,11 %; коэффициенты возмещения выноса элементов питания урожаем: N – 1,2, P_2O_5 – 1,1, K_2O – 1,9; условный чистый доход за счет применения удобрений при условии реализации зерна как продовольственно-го – 614 долл./га;

– для *высококультуренной дерново-подзолистой суглинистой почвы со вспашкой* в качестве основной обработки почвы – система удобрения, включающая внесение $N_{90+40+50}P_{30}K_{60}$ на фоне соломы, в среднем за 3 года обеспечила формирование урожайности зерна озимой пшеницы 80,4 ц/га с содержанием сырого протеина 12,24 %, клейковины – 26,35 %; коэффициенты возмещения выноса элементов питания урожаем: N – 1,3, P_2O_5 – 0,5, K_2O – 1,0; условный чистый

доход при условии реализации зерна на продовольствие – 562 долл./га; система удобрения, включающая внесение по соломе 30 т/га подстилочного навоза КРС и $N_{60+40+50}P_{10}$, в среднем за 3 года обеспечила формирование урожайности зерна озимой пшеницы 82,0 ц/га с содержанием сырого протеина 12,36 %, клейковины – 27,28 %; коэффициенты возмещения выноса элементов питания урожаем: N – 2,2, P_2O_5 – 1,7, K_2O – 2,3; условный чистый доход – 610 долл./га;

– при *поверхностной обработке почвы* – система удобрения, включающая внесение $N_{90+40+50}P_{30}K_{60}$ на фоне соломы, обработанной микробным препаратом Жыцень в дозе 3 л/га, в среднем за 3 года обеспечила формирование урожайности зерна озимой пшеницы 83,7 ц/га с содержанием сырого протеина 12,32 %, клейковины – 27,13 %; коэффициенты возмещения выноса элементов питания урожаем: N – 1,3, P_2O_5 – 0,5, K_2O – 1,1; условный чистый доход – 623 долл./га;

– для *расширенного воспроизводства плодородия почвы* рекомендуется система удобрения – ПН КРС, 40 т/га + $N_{50+40+50}$, в среднем за 3 года обеспечила формирование урожайности зерна озимой пшеницы 84,1 ц/га с содержанием сырого протеина 12,67 %, клейковины – 28,41 %; коэффициенты возмещения выноса элементов питания урожаем: N – 2,4, P_2O_5 – 1,9, K_2O – 2,5; условный чистый доход при условии реализации зерна на продовольствие – 666 долл./га.

AN IMPROVED SYSTEM FOR FERTILIZING WINTER WHEAT DURING TRADITIONAL AND SURFACE TILLAGE, PROVIDING ECONOMICALLY JUSTIFIED INCREASING THE YIELD AND QUALITY OF GRAIN ON HIGHLY AND MODERATELY CULTIVATED SODDY-PODZOLIC SOILS // SOIL SCIENCE AND AGROCHEMISTRY

**T. M. Seraya, E. N. Bogatyreva, T. M. Kirdun, T. V. Machok,
Y. A. Simankova, M. M. Torchilo**

Summary

Fertilization systems for winter wheat are recommended, including the application of cattle bedding manure, the incorporation of chopped straw of the predecessor, and, taking into account the organic background, effective doses of phosphorus and potassium fertilizers, optimal timing and doses of nitrogen fertilizing, which, along with increasing yield, will improve the quality of grain content protein (up to 12–13%), and gluten (up to 25–28%).

РЕГЛАМЕНТ ПРИМЕНЕНИЯ МИКРОУДОБРЕНИЙ В ТЕХНОЛОГИИ ВОЗДЕЛЫВАНИЯ ОЗИМОГО РАПСА И ЯРОВОГО ЯЧМЕНЯ

М. В. Рак, Е. Н. Пукалова, Н. С. Гузова, Л. Н. Гук, В. В. Корсакова

*Институт почвоведения и агрохимии,
г. Минск, Беларусь*

1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

В настоящее время остаются актуальными разработка и совершенствование основ рационального, агрохимически эффективного и экологически безопасного применения различных видов, перспективных форм и доз микроудобрений, которые обеспечивают получение в конкретных почвенно-климатических условиях оптимальной величины урожая культур с улучшенными показателями биологического и хозяйственного качества. Применение микроэлементов в системе удобрения позволяет создать оптимальные условия для реализации генетического потенциала сельскохозяйственных культур. Потребность растений в микроэлементах увеличивается с уменьшением кислотности почвы, при высоком содержании доступного фосфора и азота в почве, при внесении больших доз фосфорных и азотных удобрений.

Недостаточное содержание подвижных форм микроэлементов в почве зачастую является фактором, лимитирующим формирование урожая и качества продукции сельскохозяйственных культур. Особенно это актуально для высококультуренных почв, которые отличаются оптимальной кислотностью, высоким содержанием гумуса, фосфора и калия. Так, площади пахотных почв республики с pH более 6,0 составляют 38,2 %, с повышенным и высоким содержанием гумуса – 62,5 %, фосфора – 52,3 %, калия – 44,8 %. На таких почвах потребность растений в микроэлементах и роль сбалансированности минерального питания возрастает в условиях интенсивных технологий, направленных на формирование высокопродуктивных посевов. Поэтому для более эффективного использования микроэлементов важно оптимизировать дозы, сочетания и сроки некорневых подкормок микроудобрениями в технологиях возделывания озимого рапса на дерново-подзолистых высококультуренных почвах. Применение микроудобрений в системе удобрения сельскохозяйственных культур повышает эффективность азотных, фосфорных и калийных удобрений. В последние годы в Республике Беларусь для некорневых подкормок зарегистрированы новые марки эффективных жидких комплексных микроудобрений, применение которых способствует сбалансированному питанию растений макро- и микроэлементами, повышению урожайности сельскохозяйственных культур и качества растениеводческой продукции.

2. ПРИМЕНЕНИЕ УДОБРЕНИЙ ПОД ОЗИМЫЙ РАПС

2.1. Озимый рапс возделывается на плодородных дерново-подзолистых легко- и среднесуглинистых и супесчаных почвах, подстилаемых моренным суглинком.

Агрохимические показатели почв: pH 5,8–6,5, содержание гумуса – не менее 2,0 %, подвижного фосфора и обменного калия – не менее 150 мг/кг почвы.

2.2. Озимый рапс отличается повышенным выносом элементов питания. С 1 т семян и соответствующим количеством побочной продукции выносятся из почвы 58 кг азота, 29 кг фосфора и 26 кг калия. Показатели удельного выноса элементов питания являются важной характеристикой биологических особенностей культуры при определении оптимальных доз минеральных удобрений.

2.3. Дозы минеральных удобрений рассчитываются балансовым методом с учетом планируемого урожая и содержания элементов питания в почве определяются на ЭВМ для всех хозяйств республики в областных проектно-исследовательских станциях по химизации сельского хозяйства при разработке планов применения удобрений. При урожайности 40–50 ц/га доза внесения минеральных удобрений под озимый рапс составляет $N_{190-240}P_{60-90}K_{120-160}$.

2.4. Под озимый рапс для основного внесения в почву лучшей формой минеральных удобрений являются специализированные комплексные, включающие элементы минерального питания в необходимом соотношении для этой культуры. Технологически этот вопрос решается путем применения комплексных удобрений, производимых на Гомельском химическом заводе (марки NPK: 6-20-30; 8-18-25; 7-16-31; 5-16-35 с серой, бором и марганцем). Удобрения вносятся после уборки предшествующей культуры под основную обработку почвы. Наличие в комплексных удобрениях сбалансированного соотношения азота, фосфора, калия, серы и микроэлементов обеспечивают потребность растений озимого рапса в осенний период развития и, что очень важно, способствуют лучшей перезимовке растений.

2.5. При отсутствии комплексных форм минеральных удобрений следует вносить простые формы: сульфат аммония, карбамид или КАС, аммофос или аммонизированный суперфосфат, хлористый калий. В этом случае для внесения основных доз минеральных удобрений требуется три прохода техники. Дозы азота в составе комплексных удобрений или в форме простых удобрений до посева не должны превышать 30–40 кг/га д. в.

2.6. Комплексные или простые формы минеральных удобрений под озимый рапс вносят под вспашку или культивацию с заделкой на глубину 10–16 см. В этих случаях обеспечивается наиболее равномерное перемешивание удобрений по глубине пахотного слоя.

2.7. Важным мероприятием по уходу за озимым рапсом являются подкормки азотными удобрениями весной в начале возобновления вегетации растений. Первая подкормка азотными удобрениями посевов озимого рапса проводится по возможности в ранние сроки, после оценки перезимовки растений. Оценка перезимовки растений озимого рапса проводится, как правило, через две недели после схода снега. Оптимальная доза азота составляет 100–120 кг/га д. в. Цель этой подкормки заключается в усилении листо- и побегообразования растений. В этот период закладываются длина центральной и боковых ветвей, количество будущих цветков. На одном растении озимого рапса может сформироваться при благоприятных условиях до 3 тыс. цветочных бугорков. Подкормку желательно провести в максимально сжатые сроки – за 5–7 дней, так как при опоздании с ее проведением формируется меньше побегов первого порядка и цветков на них. Форма азотных удобрений под озимый рапс – КАС, мочевины, сульфат аммония. Оптимальным вариантом ранневесенней подкормки озимого рапса является

внесение 60 кг/га д. в. азота в форме сульфата аммония и 60 кг/га д. в. азота в форме карбамида или КАС. При подкормке сульфатом аммония растения получают еще один дополнительный макроэлемент – серу, к которому рапс очень чувствителен. Если подкормку посевов озимого рапса проводить КАС машинами РОСА-0,5, то для того, чтобы внести требуемую дозу азота при расходе жидкости 180 л/га (70 кг/га д. в.) нужно проводить подкормку в два приема.

2.8. Вторую подкормку следует провести через 2–2,5 недели после первой при внесении 60–80 кг/га д. в. азота. Цель этой подкормки заключается в усилении ветвления растений и образовании ветвей в дозе 2-го и последующих порядков. Недостаток питания в этот период приводит к снижению общего количества стручков на растении и семян в них. Форма азотного удобрения – карбамид. Оптимальное количество азота для двух подкормок в весенний период составляет 180 кг/га д. в.

2.9. Микроэлементы по степени снижения их выноса урожаем озимого рапса образуют следующий ряд: $Mn > Zn > B > Cu$. Наиболее высоким выносом характеризуется марганец, который составляет 71,0 г на 1 т семян с соответствующим количеством соломы. Не менее интенсивные показатели выноса отмечены по цинку и бору: вынос цинка – 55,9 г/т, бора – 41,0 г на 1 т продукции. Самые низкие показатели выноса отмечены по меди и составляют 12,2 г/т семян с соответствующим количеством соломы (табл. 1).

Таблица 1

Вынос микроэлементов озимым рапсом на дерново-подзолистой высокоокультуренной легкосуглинистой почве

Вынос	Cu	Zn	B	Mn
Общий, г/га	67,2	307,4	225,6	390,5
Удельный, г/т	12,2	55,9	41,0	71,0

2.10. Среди микроэлементов должно уделяться особое внимание внесению бора в технологии возделывания озимого рапса, так как его недостаток наиболее сильно сказывается на образовании жиров и урожайности семян. Наряду с бором важную роль в формировании урожая рапса играет марганец, который влияет на образования стручков и накопление жиров в семенах, повышает стрессоустойчивость к засухе и холоду. Медь и цинк ввиду хорошей усвояемости рапсом играют в его развитии второстепенную роль, в отличие от бора и марганца, однако недостаток этих двух элементов также может привести к существенному отставанию в развитии и снижению урожая. Цинк и медь необходимы для повышения жизнестойкости растений и устойчивости к полеганию, оплодотворения и образования стручков.

2.11. Для сбалансированного питания озимого рапса макро- и микроэлементами и получения высокой урожайности на дерново-подзолистых высокоокультуренных почвах, слабообеспеченных бором, медью и марганцем, необходимы некорневые подкормки в период вегетации растений. Высокая эффективность некорневых подкормок озимого рапса микроэлементами достигается при использовании трех микроэлементов в дозах кг/га д. в. и сочетаниях $B_{0,15}Cu_{0,025}Mn_{0,05}$ В полевом опыте в среднем за два года применение микроудобрений МикроСтим-Бор, МикроСтим-Медь и МикроСтим-Марганец в трехкратную некорневую подкормку в дозах $B_{0,15}Cu_{0,025}Mn_{0,05}$ на фоне внесения минеральных удобрений в дозах $N_{200}P_{54}K_{72}$,

обеспечило повышение урожайности семян на 5,2 ц/га, масличности – на 1,6 %, получение прибыли – 320,5 руб./га (128,2 USD/га) и урожайности – 30,6 ц/га.

2.12. В технологии возделывания озимого рапса для получения высокой агроэкономической эффективности рекомендуется трехкратная некорневая подкормка растений жидкими микроудобрениями. Микроудобрения в некорневую подкормку вносят в три срока: осенью в фазе 4–6 листьев, весной в начале стеблевания и в фазе бутонизации. Микроудобрения целесообразно совмещать в баковых смесях с регуляторами роста, фунгицидами и инсектицидами. Лучшими формами микроудобрений для озимого рапса являются жидкие органоминеральные и хелатные микроудобрения МикроСтим-Бор, МикроСтим-Медь Л, МикроСтим-Марганец, МикроСил-Бор, МикроСил-Медь Л и другие жидкие микроудобрения, включенные в Государственный реестр средств защиты растений и удобрений, разрешенных для использования на территории Республики Беларусь. Кроме того, добавляют 5 кг карбамида на 200 л рабочего раствора. Технологическая схема применения минеральных макро- и микроудобрений в период вегетации приводится в таблице 2.

2.13. Наиболее эффективной формой микроудобрений для растений являются комплексные соединения микроэлементов, которые более технологичны в применении и обладают высокой биологической активностью, что позволяет обеспечить лучшую доступность микроэлементов для растений (табл. 3). Кроме микроэлементов (бор, медь, марганец) жидкие комплексные микроудобрения содержат регулятор роста растений природного происхождения Гидрогумат или Экосил, что повышает их эффективность и отличает от других аналогичных форм микроудобрений. Состав и содержание микроэлементов в этих микроудобрениях соответствует биологическим потребностям сельскохозяйственных культур.

Таблица 2

Технологическая схема применения удобрений при возделывании озимого рапса (планируемая урожайность 40–50 ц/га)

Дозы удобрений, кг/га д. в.	Формы удобрений	Сроки применения
$N_{30-40}P_{60-90}K_{120-150}$	Комплексные удобрения марки НРК: 6-20-30; 8-18-25; 7-16-31; 5-16-35 с добавками S, B и Mn. При их отсутствии: сульфат аммония, КАС или карбамид, аммофос или аммонизированный суперфосфат, хлористый калий	До посева
$N_{100-120}$	Сульфат аммония, КАС или карбамид	Весной в начале вегетации
N_{60-80}	Карбамид	Через 2–2,5 недели после первой
$B_{0,15}Cu_{0,025}Mn_{0,05}$	Жидкие микроудобрения: МикроСтим-Бор – 1,0 л/га МикроСтим-Медь Л – 0,32 л/га; МикроСтим-Марганец – 1,0 л/га или другие жидкие микроудобрения, включенные в Государственный реестр средств защиты растений и удобрений, разрешенных для использования на территории Республики Беларусь.	Некорневые подкормки осенью: 1-я – в фазе 4–6 листьев весной: 2-я – в фазе стеблевания; 3-я – в фазе бутонизации. Расход рабочего раствора 200 л/га.

**Ассортимент отечественных жидких комплексных микроудобрений
для озимого рапса**

Марки микроудобрений	Состав, г/л
МикроСтим-Бор	N – 50; В – 150; гуминовые вещества – 0,6–8,0
МикроСтим-Медь Л	N – 65; Cu – 78; гуминовые вещества – 0,6–5,0
МикроСтим-Марганец	N – 35; Mn – 50
МикроСил-Бор	N – 50; В – 150; Экосил – 30 мл/л
МикроСил-Медь Л	N – 65; Cu – 80; Экосил – 30 мл/л
КомплеМет Бор	N – 65; В – 150;
ПОЛИБОР	В – 150

2.14. Жидкие комплексные микроудобрения для некорневой подкормки озимого рапса: МикроСтим-Бор, МикроСтим-Медь Л, МикроСтим-Марганец, МикроСил-Бор, МикроСил-Медь Л, АДОБ-Бор, АДОБ-Медь, АДОБ-Марганец, Эколист Бор, Эколист Медь, Эколист Марганец, АМКО Бор, ПОЛИБОР, ПОЛИДОН марка Бор, Меристем В и др.

2.15. Для внесения рабочего раствора микроудобрений необходимо использовать дефлекторные распылители РД-110-4 или щелевые Рщ-110-4 и Рщ-110-2,5. При выборе оптимального срока проведения некорневой подкормки следует учитывать погодные условия, так как поглощения растениями микроэлементов составляет от 1 до 2 дней. Не рекомендуется опрыскивание на сырые или покрытые росой листья, а также в условиях интенсивного солнечного освещения. Опрыскивание посевов растворами микроудобрений лучше проводить в послеобеденное время или в пасмурную погоду.

3. ПРИМЕНЕНИЕ УДОБРЕНИЙ ПОД ЯРОВОЙ ЯЧМЕНЬ

3.1. Яровой ячмень возделывается на плодородных дерново-подзолистых легко- и среднесуглинистых и супесчаных почвах, подстилаемых моренным суглинком. Оптимальный интервал кислотности для ярового ячменя находится в интервале рН 6,0–7,0. На кислых почвах урожайность и окупаемость удобрений снижается, особенно у сортов интенсивного типа. Агрохимические показатели почв: содержание гумуса – не менее 2,0 %, подвижного фосфора и обменного калия – не менее 150 мг/кг почвы.

3.2. Яровой ячмень хорошо отзывается на удобрения. На дерново-подзолистых почвах растения хорошо используют последствие органических удобрений. Лучшие предшественники яровых – удобренные пропашные культуры.

3.3. В сравнении с озимыми культурами яровой ячмень слабее кустится, обладает менее развитой корневой системой. В сочетании с более коротким периодом вегетации (90–120 дней) это обуславливает сравнительно высокую потребность в питательных веществах. Основное количество питательных веществ (до 70 % общего количества) потребляется ячменем за период от начала выхода в трубку до конца цветения. От всходов до начала выхода в трубку растения ячменя, хотя

и потребляют небольшое количество элементов питания, однако очень чувствительны к недостатку азота и фосфора, что может приводить к задержке роста и образованию мелких колосьев.

3.4. Фосфор способствует росту корневой системы, формированию крупного колоса, более раннему созреванию растений. Критическим периодом фосфорного питания растений является начальный период роста. Прибавка урожайности от фосфорных удобрений ниже, чем от азотных, но без них растения хуже усваивают азот и калий.

3.5. Наибольшее количество калия растения поглощают в первые периоды роста. Высока эффективность калийных удобрений на почвах при небольших запасах обменного калия. После известкования и по мере окультуривания почв значение калийных удобрений возрастает.

3.6. Высокая урожайность ярового ячменя обеспечивается при сбалансированном минеральном питании растений. Дозы минеральных удобрений рассчитывают балансовым методом с учетом планируемого урожая и содержания элементов минерального питания в почве. При урожайности 40–50 ц/га оптимальная доза внесения минеральных удобрений под яровой ячмень составляет $N_{60-90}P_{60-90}K_{100-130}$.

3.7. Под посев ярового ячменя лучшей формой минеральных удобрений являются комплексные, включающие элементы в необходимом соотношении. Технологически этот вопрос решается путем применения комплексных удобрений, производимые на Гомельском химическом заводе (марки НРК: 13-11-18; 16-12-20; 14-11-19; 13-8-17 с добавками меди, марганца, серы и регулятора роста). Эти удобрения сбалансированы по своему составу с учетом биологических особенностей яровых зерновых культур для почв разного уровня плодородия. За один проход технических средств вносятся все необходимые элементы питания.

3.8. При отсутствии комплексных минеральных удобрений следует вносить простые формы: карбамид или КАС, аммофос или аммонизированный суперфосфат, хлористый калий. В этом случае для внесения основных доз минеральных удобрений требуется три прохода техники. Дозы азота в составе комплексных удобрений или в форме простых удобрений до посева не должны превышать 60–70 кг/га д. в. на дерново-подзолистых суглинистых и 80–90 кг/га д. в. на супесчаных и песчаных почвах.

3.9. Комплексные или простые формы минеральных удобрений под яровой ячмень вносят под вспашку или культивацию с заделкой на глубину 10–16 см. В этих случаях обеспечивается наиболее равномерное перемешивание удобрений по глубине пахотного слоя.

3.10. При внесении расчетных доз минеральных удобрений до посева в стадию начала выхода в трубку посева ярового ячменя необходимо подкормить азотом в дозе 30 кг/га д. в. Максимальная доза азота для районированных сортов яровых зерновых культур при этом не должна превышать 120 кг/га. Эффективность подкормки азотными удобрениями повышается при достаточном увлажнении почвы, поэтому на юге республики основное внесение азота до посева часто является решающим условием в формировании урожая.

3.11. Микроэлементы по степени снижения их выноса урожаем ярового ячменя образуют следующий ряд: $Zn > Mn > Cu$. Наиболее высоким выносом характе-

ризируются цинк и марганец, который составляет соответственно 18 г и 14 г на 1 т семян с соответствующим количеством соломы. Самые низкие показатели выноса отмечены по меди и составляют 4,2 г/т семян с соответствующим количеством соломы (табл. 4).

Таблица 4

Вынос микроэлементов яровым ячменем на дерново-подзолистой высококультуренной легкоуглинистой почве

Вынос	Cu	Mn	Zn
Общий, г/га	21,1	70,3	89,4
Удельный, г/т	4,2	14,1	18,0

3.12. Для получения высокой урожайности ячменя на дерново-подзолистых высококультуренных почвах, слабообеспеченных подвижной медью и обменным марганцем, необходимы некорневые подкормки в период вегетации растений. Высокая эффективность некорневых подкормок ярового ячменя микроэлементами достигается при использовании двух элементов в сочетании $Cu_{0,025}Mn_{0,025}$ кг/га д. в. В полевом опыте в среднем за два года применение микроудобрений МикроСтим-Медь Л и МикроСтим-Марганец в некорневую подкормку ярового ячменя в стадии первого узла в дозах $Cu_{0,025}Mn_{0,025}$ кг/га д. в. на фоне внесения минеральных удобрений $N_{80}P_{45}K_{60}$, обеспечивало повышение урожайности на 6,9 ц/га, содержания белка в зерне – на 1,7 %, марганца и цинка в продукции – на 21 и 30 %, получение прибыли – 108,0 руб./га (43,2 USD/га) и урожайности – 49,8 ц/га.

3.13. Микроудобрения в некорневую подкормку вносят в стадию первого узла (табл. 5). Микроудобрения целесообразно совмещать в баковых смесях с регуляторами роста, фунгицидами и инсектицидами.

Таблица 5

Технологическая схема применения удобрений при возделывании ярового ячменя (урожайность 50–60 ц/га)

Дозы удобрений, кг/га д. в.	Формы удобрений	Сроки применения
$N_{60-90}P_{60-90}K_{100-130}$	Комплексные удобрения марки NPK: 13:11:18; 16:12:20; 14:11:19; 13:8:17 с добавками Cu, Mn, S и регулятора роста. При их отсутствии: карбамид или КАС, аммофос, хлористый калий.	До посева
$Cu_{0,025}Mn_{0,025}$	Жидкие хелатные микроудобрения: МикроСтим-Медь Л – 0,32 л/га МикроСтим-Марганец – 0,5 л/га или другие жидкие микроудобрения, включенные в Государственный реестр средств защиты растений и удобрений, разрешенных для использования на территории Республики Беларусь.	Некорневая подкормка в стадии 1-го узла. Расход рабочего раствора 200 л/га.

3.14. Наиболее эффективной формой микроудобрений для растений являются комплексные соединения микроэлементов, которые более технологичны

в применении и обладают высокой биологической активностью, что позволяет обеспечить лучшую доступность микроэлементов для растений (табл. 6). Кроме микроэлементов (медь, марганец) жидкие комплексные микроудобрения содержат регуляторы роста растений природного происхождения Гидрогумат или Экосил, что повышает эффективность и отличает от других аналогичных форм микроудобрений. Состав и содержание микроэлементов в этих микроудобрениях соответствует биологическим потребностям сельскохозяйственных культур.

Таблица 6

**Ассортимент отечественных жидких комплексных микроудобрений
для ярового ячменя**

Марки микроудобрений	Состав, г/л
МикроСтим-Медь Л	N – 65; Cu – 78; гуминовые вещества – 0,6–5,0
МикроСтим-Марганец	N – 35; Mn – 50
МикроСтим-Медь, Марганец	N – 55; Cu – 50; Mn – 50
МикроСил-Медь Л	N – 65; Cu – 80; Экосил – 30 мл/л

3.15. Формы жидких микроудобрений для некорневой подкормки озимого рапса: МикроСтим-Медь Л, МикроСтим-Марганец, МикроСтим-Медь Л, Марганец, МикроСил-Медь Л, АДОб-Медь, АДОб-Марганец, Эколист Медь, Эколист Марганец и другие.

3.16. Для внесения рабочего раствора микроудобрений необходимо использовать дефлекторные распылители РД-110-4 или щелевые Рщ-110-4 и Рщ-110-2,5. При выборе оптимального срока проведения некорневой подкормки следует учитывать погодные условия, так как поглощения растениями микроэлементов составляет от 1 до 2 дней. Не рекомендуется опрыскивание на сырые или покрытые росой листья, а также в условиях интенсивного солнечного освещения. Опрыскивание посевов растворами микроудобрений лучше проводить в послеобеденное время или в пасмурную погоду.

**REGULATIONS FOR THE USE OF MICROFERTILIZERS
IN THE TECHNOLOGY OF CULTIVATING
WINTER RAPE AND SPRING BARLEY**

**M. V. Rak, E. N. Pukalova, N. S. Guzova,
L. N. Guk, V. V. Korsakova**

Summary

The regulations provide doses, combinations and timing of the use of micro-fertilizers in the fertilizer system when cultivating winter rapeseed on sod-podzolic highly cultivated soils, ensuring increased yields and improved seed quality.

The regulations provide doses, combinations and timing of the use of micro-fertilizers in the fertilizer system when cultivating spring barley on sod-podzolic highly cultivated soils, ensuring increased yields and improved product quality.

ОРГАНИЗАЦИЯ СЕМИНАРОВ ДЛЯ СПЕЦИАЛИСТОВ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ОРГАНИЗАЦИЙ ПО ВЕДЕНИЮ ПРОИЗВОДСТВА В УСЛОВИЯХ РАДИОАКТИВНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ТЕРРИТОРИЙ

Н. Ю. Жабровская, Т. М. Серая, Ю. В. Путятин

*Институт почвоведения и агрохимии,
г. Минск, Беларусь*

В результате аварии на Чернобыльской АЭС в наибольшей степени пострадало сельское хозяйство. Это обусловлено тем, что радиоактивное загрязнение затронуло регионы с высокоинтенсивным агропромышленным производством, а основные загрязненные территории – земли сельскохозяйственного назначения.

По состоянию на 01.01.2022 г. в сельскохозяйственном пользовании находится 836,6 тыс. га земель, загрязненных ^{137}Cs с плотностью 1,0 Ки/км² и выше, в том числе 281,6 тыс. га земель одновременно загрязненных ^{90}Sr с плотностью 0,15 Ки/км² и выше. Долгоживущие изотопы – ^{137}Cs и ^{90}Sr – в течение длительного времени будут определять радиоактивное загрязнение сельскохозяйственной продукции, продуктов питания и уровни дозовых нагрузок на население.

В Беларуси в рамках государственных программ по преодолению последствий катастрофы на Чернобыльской АЭС применяется система защитных мер (контрмер) в сельскохозяйственном производстве. Данная система включает комплекс научно обоснованных организационных, агротехнических, агрохимических, зооветеринарных и технологических мероприятий, направленных на снижение содержания нормируемых радионуклидов в растениеводческой и животноводческой продукции. Научно-методической основой ее служат руководства и рекомендации по ведению агропромышленного производства в условиях радиоактивного загрязнения земель.

Применение научно обоснованных доз мелиорантов, минеральных и органических удобрений на загрязненных радионуклидами землях должна обеспечивать минимальное накопление радионуклидов в растениеводческой и животноводческой продукции, исключение производства продукции и продуктов питания, не соответствующих санитарно-гигиеническим нормативам по содержанию радионуклидов. Комплекс агрохимических мероприятий должен способствовать восстановлению и поддержанию почвенного плодородия.

За послеаварийный период в результате системной реализации защитных мер и естественного распада, сорбции и миграции радионуклидов в почве поступление их в продукцию растениеводства снизилось. Изменение радиационной обстановки указывает на необходимость совершенствования стратегии ведения сельскохозяйственного производства и защитных мероприятий в условиях радиоактивного загрязнения. Система использования загрязненных радионуклидами земель должна обеспечивать не только минимальное накопление радионуклидов в растениеводческой и животноводческой продукции, исключение производства продукции и продуктов питания, не соответствующих санитарно-гигиеническим нормативам по содержанию радионуклидов, но также самокупаемость произведенной продукции.

В рамках выполнения работ по мероприятию: 66.7. «Организация и проведение семинаров-консультаций для специалистов сельскохозяйственных организаций

и представителей крестьянско-фермерских хозяйств по ведению производства в условиях радиоактивного загрязнения территорий» Государственной программы по преодолению последствий катастрофы на Чернобыльской АЭС на 2021–2025 гг. для специалистов сельского хозяйства и представителей крестьянских (фермерских) хозяйств, работников сельскохозяйственного и (радио)экологического профиля, а также других заинтересованных лиц Гомельской области 27 сентября 2023 г. был проведен семинар на базе КУП «Гомельская ОПИСХ», 28 сентября 2023 г. семинар прошел для специалистов Могилевской области на базе УКПП «Могилевская ОПИСХ».

Для участия в семинарах были приглашены сотрудники Главного управления по проблемам ликвидации последствий катастрофы на Чернобыльской АЭС Гомельского и Могилевского облисполкомов, сотрудники областных комитетов и районных управлений по сельскому хозяйству и продовольствию, научно-исследовательских и учебных учреждений, специалисты организаций АПК.

Открыл семинар начальник управления по обращению с радиоактивными отходами Департамента по ядерной и радиационной безопасности МЧС Республики Беларусь Павлов Д. Е. с докладом «Защитные мероприятия в сельскохозяйственном производстве». Были представлены статистические данные о площадях и динамике радиационно опасных земель, алгоритмы возврата земельных участков радиационно опасных земель в сельхозоборот и исключения земельных участков из радиационно опасных земель для целей, не связанных с ведением сельского хозяйства. Докладчик представил проблемные вопросы по проведению радиационного контроля согласно РДУ-99 и ГН-37, поступающие соответствующих структур Минсельхозпрода, Минлесхоза, Минприроды, облисполкомов, Белкоопсоюза в связи с вступлением в силу с 2023 г. Гигиенического норматива «Критерии оценки радиационного воздействия», которым введены референтные уровни содержания цезия-137 и стронция-90 в пищевых продуктах.

Заведующий лабораторией мониторинга плодородия почв и экологии, Института почвоведения и агрохимии, доктор сельскохозяйственных наук, профессор Путятин Ю. В. представил многолетние данные мониторинга состояния плодородия почв, загрязненных радионуклидами: рН, содержание гумуса, подвижные фосфор и калий, обменные кальций и магний, содержание подвижных форм микроэлементов – цинка, бора и меди, содержание радионуклидов ^{137}Cs и ^{90}Sr . Показана также динамика и прогноз изменения показателей плодородия почв, загрязненных радионуклидами, при различных уровнях применения известковых мелиорантов, калийных и фосфорных удобрений.

Путятин Ю. В. выступил с презентацией «Пригодность почв по радиационному фактору для возделывания основных сельскохозяйственных культур для получения нормативной животноводческой продукции». В докладе были отмечены следующие моменты: на дерново-подзолистых почвах при оптимальных агрохимических показателях для получения цельного молока и молока, направляемого на переработку, использование зеленой массы при возделывании клевера лугового, люцерны, гороха, вики посевной, пелюшки не лимитируется уровнем загрязнения почвы ^{137}Cs на землях, где разрешено ведение сельскохозяйственного производства (до 40 Ки/км²). Использование зеленой массы ограничивается плотностью загрязнения почвы ^{90}Sr . На основании данных полевых опытов и электронной базы данных загрязнения почв радионуклидами была проведена оценка пригодности

пахотных почв для возделывания многолетних бобовых культур (клевера лугового, люцерны), однолетних бобовых культур (гороха, вики посевной, пелюшки). Разработаны картосхемы для наиболее загрязненных радионуклидами районов Беларуси на различное целевое использование растениеводческого сырья по ^{90}Sr .

Следующий доклад «Влияние дефляционных процессов на перераспределение ^{137}Cs на пахотных землях» представил Цырибко В. Б., заведующий лабораторией агрофизических свойств и защиты почв от эрозии, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент Института почвоведения и агрохимии. В докладе показаны: группировка почв по степени дефляционной опасности, картограмма распределения дефлированных и сильнодефляционноопасных почв сельскохозяйственных земель, карты радиоактивного загрязнения и вероятности пыльных бурь, данные по влиянию дефляционных процессов на перераспределение ^{137}Cs на дерново-подзолистых почвах и на органогенных почвах пахотных земель. В продолжение Цырибко В. Б. представил почвозащитные комплексы на дефляционноопасных сельскохозяйственных землях, подверженных радиоактивному загрязнению». В основу комплекса вошли почвозащитная способность сельскохозяйственных культур, почвозащитная эффективность сельскохозяйственных культур на разных типах дефляционных земель. Предложены типовые структуры посевов и рекомендуемые севообороты на дефляционных землях.

Серая Т. М., заместитель директора по научной и инновационной работе, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент РУП «Институт почвоведения и агрохимии», отметила существенное влияние агрохимических свойств почв на накопление радионуклидов сельскохозяйственными культурами: повышение содержания гумуса от 1,0 до 3,5 % способствует снижению перехода ^{137}Cs и ^{90}Sr до 2,0–2,5 раз; повышение содержания в почве подвижных форм калия от низкого (менее 100 мг/кг) до оптимального (200–300 мг/кг) и изменение реакции почв от кислого (pH_{KCl} 4,5–5,0) к нейтральному (pH_{KCl} 4,5–5,0) способствует снижению перехода ^{137}Cs и ^{90}Sr от 3 до 10 раз. Для специалистов предприятий и организаций АПК представлены доклады «Органические удобрения – как фактор повышения плодородия почв и урожайности сельскохозяйственных культур» и «Применение макро- и микроудобрений в современных технологиях возделывания сельскохозяйственных культур на территории радиоактивного загрязнения». В докладах отражены факторы формирования высокой урожайности сельскохозяйственных культур, основные направления по повышению эффективности органических и минеральных удобрений, расчет доз удобрений, причины дефицита микроэлементов и применение микроудобрений в современных технологиях возделывания сельскохозяйственных культур, недостатки в работе с удобрениями.

Директор КУП «Гомельская областная проектно-изыскательская станция химизации сельского хозяйства» Подоляк А. Г. и директор УКПП «Могилевская ОПИСХ», Холенков О. К. осветили проблемные вопросы при проведении крупномасштабного агрохимического и радиологического обследования сельскохозяйственных земель данных областей. Особое внимание было уделено финансированию и проведению известкования почв, загрязненных радионуклидами.

Проведение дифференциации кормов с различным уровнем радиоактивного загрязнения на стадии их заготовки и хранения, рационы кормления сельскохозяйственных животных, гарантирующие получение продукции животноводства в соответствии с гигиеническими нормативами представил Царенок А. А., кандидат сельскохозяйственных наук, заведующий лабораторией производства экологически

безопасной продукции животноводства в условиях техногенного загрязнения территорий Института радиобиологии НАН Беларуси.

О научной деятельности Государственного природоохранного научно-исследовательского учреждения «Полесский государственный радиационно-экологический заповедник» рассказал заместитель директора по научной работе, кандидат сельскохозяйственных наук Кудин М. В.



Серая Т. М., заместитель директора по научной и инновационной работе (Институт почвоведения и агрохимии)
Павлов Д. Е., начальник управления по обращению с радиоактивными отходами (Департамент по ядерной и радиационной безопасности МЧС Республики Беларусь)
Подоляк А. Г., директор (КУП «Гомельская ОПИСХ»)
Шаройко Д. Д., заместитель начальника управления по ликвидации последствий катастрофы на ЧАЭС Гомельского облисполкома



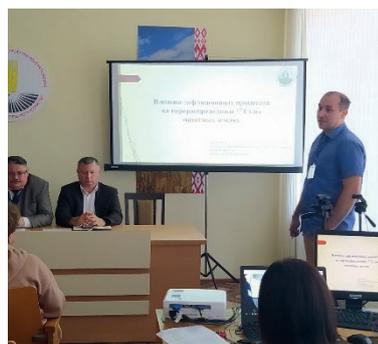
Павлов Д. Е., начальник управления по обращению с радиоактивными отходами (Департамент по ядерной и радиационной безопасности МЧС Республики Беларусь)



Подоляк А. Г., директор, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент (КУП «Гомельская областная проектно-испытательная станция химизации сельского хозяйства»)



Путятин Ю. В. с докладом «Динамика и состояние плодородия почв, загрязненных радионуклидами»



Цырибко В. Б. с докладом «Влияние дефляционных процессов на перераспределение ^{137}Cs на пахотных землях»



Холенков О. К., директор УКПП «Могилевская ОПИСХ» с докладом «Крупномасштабное агрохимическое и радиологическое обследование сельскохозяйственных земель Могилевской области. Проблемные вопросы»



Кудин М. В. с докладом «Научная деятельность Государственного природоохранного научно-исследовательского учреждения «Полесский государственный радиационно-экологический заповедник»



Гомель, 27 сентября 2023 г.



Могилев, 28 сентября 2023 г.



Экскурсия в лаборатории УКПП «Могилевская ОПИСХ»

Выступления докладчиков вызвали живой интерес участников семинаров, по результатам которых задан ряд вопросов, состоялись многочисленные дискуссии и обсуждения:

влияние погодных условий на коэффициенты перехода радионуклидов из почвы в растения;

процессы разрушения почвенного покрова сельскохозяйственных земель в результате пыльных бурь для южных и юго-восточных регионов Беларуси и меры по защите почв от дефляции;

особенности хранения и учета органических удобрений;

эффективность способов заделки органических и минеральных удобрений;

система удобрения люцерны для получения чистых кормов;

особенности известкования в сложившихся условиях;

механизм ввода (возвращения) земель в хозяйственное пользование, перевода радиационно опасных земель в земли лесного фонда, проблемных аспектов ввода земель в сельскохозяйственное пользование, обращения с объектами ядерного наследия;

обслуживание приборной базы и приобретение новых приборов.

Участникам семинаров были розданы информационные материалы по теме семинаров (буклеты, памятки, рекомендации) о правилах ведения сельскохозяйственного производства в условиях радиоактивного загрязнения территорий, основываясь на анализе и обобщении результатов научных исследований (с дальнейшим распространением этих материалов в электронном и печатном виде для использования в работе среди заинтересованных).

По завершении второго дня мероприятия участники ознакомились с деятельностью унитарного коммунального производственного предприятия «Могилевская областная проектно-изыскательская станция агрохимизации», на базе которой состоялся семинар, в сопровождении директора станции О. К. Холенкова посетили ряд лабораторий, места хранения почвенных образцов.

По итогам семинаров подготовлен свод выявленных проблемных вопросов по организации ведения сельскохозяйственного производства (с учетом вступившего в силу гигиенического норматива «Критерии оценки радиационного воздействия», утвержденного постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 29 ноября 2022 г. № 829), поступивших от участников семинаров предложений,

проблемных вопросов для презентации ответов в рамках межведомственного тематического семинара по вопросам функционирования системы контроля радиоактивного загрязнения.

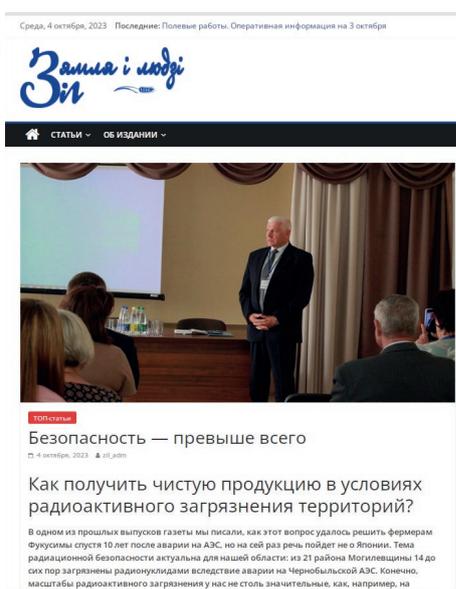
Ознакомление представителей органов управления, районных специалистов сельскохозяйственной отрасли и представителей фермерских хозяйств с новыми разработками ученых будет способствовать применению на практике мероприятий по снижению перехода радионуклидов в корма и продукты питания. По мнению участников семинаров, такие мероприятия весьма востребованы, вызывают интерес, позволяют не только получить новую актуальную информацию, но и обменяться опытом с коллегами, обсудить новейшие подходы в целях повышения эффективности работы.

Проведение семинаров было широко освещено в областных СМИ и на специализированных сайтах с основными тезисами по каждому тематическому направлению:

- сайт Департамента по ядерной и радиационной безопасности МЧС Республики Беларусь <https://gosatomnadzor.mchs.gov.by/novosti/432922/>;
- сайт РУП «Институт почвоведения и агрохимии» <http://www.brissa.by/?p=3426>;
- сайт Институт радиобиологии НАН Беларуси <https://www.irb.basnet.by/ru/seminar-dlya-specialistov-selskoxozyajstvennyx-organizacij-i-predstavitelej-krestyansko-fermerskix-hozyajstv-rabotnikov-selskoxozyajstvennogo-i-radioekologicheskogo-profiljapo-vedeniyu-proizvodstv/>;
- сайт Полесского государственного радиационно-экологического заповедника [https://zapovednik.by/novosti/11792310Ц](https://zapovednik.by/novosti/11792310Ц;);
- <https://gp.by/novosti/obshchestvo/news275673.html>;
- газета «Прыпяцкая праўда» <https://narovlya.by/novosti/obschestvo/seminar-dlya-spetsialistov-selhozorganizatsij-i-vladeltsev-krestyansko-fermerskih-hozyajstv-proveli-segodnya-na-baze-oblastnoj-proektno-izyskatelskoj-stantsii-himizatsii-selskogo-hozyajstva/>;
- газета «Зямля і людзі» <https://zilmogilev.by/2023/10/04/bezopasnost-prevyshe-vsego/>.



газета «Гомельская праўда»



газета «Зямля і людзі»

13 декабря 2023 г. Госатомнадзор совместно с РУП «Институт почвоведения и агрохимии» провел межведомственный тематический семинар по вопросам функционирования системы контроля радиоактивного загрязнения, который собрал широкий круг экспертов, специалистов, представителей органов государственного управления, учреждений образования, производителей оборудования для измерений ионизирующего излучения, а также работников подразделений радиационного контроля, непосредственно проводящих испытания продукции.

В ходе мероприятия состоялось торжественное награждение нагрудным знаком «За заслуги в преодолении последствий катастрофы на Чернобыльской АЭС» работников системы контроля радиоактивного загрязнения.

Начальник Госатомнадзора Луговская О. М. в своем сообщении проинформировала присутствующих о принимаемых и планируемых решениях, а также стратегии реализации единой государственной политики в области обеспечения ядерной и радиационной безопасности, в том числе в контексте реализации задач направленных на преодоление последствий катастрофы на Чернобыльской АЭС.

В рамках семинара участниками были представлены информационные сообщения по направлениям осуществления контроля радиоактивного загрязнения.

О системе контроля радиоактивного загрязнения, о взаимодействии в рамках реализации Государственной программы по преодолению последствий катастрофы на Чернобыльской АЭС на 2021–2025 годы, проекте программ совместной деятельности в рамках Союзного государства Беларуси и России, законодательной основе, поставке приборов радиационного контроля рассказал участникам семинара Павлов Д. Е., начальник управления по обращению с радиоактивными отходами и объектами ядерного наследия Госатомнадзора.



Лашук Е. С., начальник отдела радиологии ГУ «Белорусский государственный ветеринарный центр» МСХП РБ представила доклад «Радиационный контроль в Министерстве сельского хозяйства и продовольствия Республики Беларусь»: об организациях, осуществляющих радиационный контроль в процессе проведения почвенно-агрохимических и ветеринарных исследований; обеспечении производства радиационно безопасной продукции; об особенностях проведения радиационного контроля молока и молочной продукции, мяса и мясной продукции, продуктов питания из личных подсобных хозяйств, реализуемых на рынках.

Начальник отдела радиационного мониторинга леса ГУ «Беллесозащита» Министерства лесного хозяйства РБ Карбанович И. С. выступила с докладом «Система контроля радиоактивного загрязнения лесного фонда», в котором рассказала о схемах и исполнителях контроля радиоактивного загрязнения, площади радиоактивного загрязнения лесного фонда, радиационном контроле древесины, дикорастущих ягод и грибов, а также оформлении документов, подтверждающих радиационную безопасность партий продукции. Особое внимание было уделено системе информирования о радиационной обстановке в лесах.



Дюбайло О. В. начальник службы радиационного мониторинга ГУ «Республиканский центр по гидрометеорологии, контролю радиоактивного загрязнения и мониторинга окружающей среды». Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды представил доклад «Контроль радиоактивного загрязнения населенных пунктов», в котором представлена информация о проведении общей оценки радиационной обстановки на территории республики (радиационный мониторинг), методическом руководстве и ведении банка данных о радиоактивном загрязнении территории Республики Беларусь. Представлены источники информирования населения о результатах радиационного мониторинга (атласы, СМИ, экспозиции на республиканских и международных выставках, сайт службы радиационно-экологического мониторинга Гидромета).

Информационное сообщение ГПНИУ «Полесский государственный радиационно-экологический заповедник» о соблюдении требований радиационной безопасности в Полесском государственном радиационно-экологическом заповеднике представили Кудин М. В., заместитель директора по научной работе, Калиниченко С. А., заведующий лабораторией спектрометрии и радиохимии, Деменковец Н. Н., заведующий отделом радиационной безопасности и режима. В связи со спецификой чернобыльского загрязнения территории Полесского государственного радиационно-экологического заповедника одним из проблемных вопросов остается проведение радиационного контроля пищевой продукции охоты и оформления разрешения для ее вывоза (охотничьи трофеи), что в принципе ставит под сомнение целесообразность ведения охотничьего хозяйства на территории экспериментально-хозяйственной зоны заповедника.

Доклад «Радиационно-гигиенический мониторинг и радиационный контроль в Республике Беларусь. Новые критерии оценки радиационной безопасности» представила Николаенко Е. В., заведующая лабораторией радиационной

безопасности РУП «Научно-практический центр гигиены», главный внештатный специалист Министерства здравоохранения по радиационной гигиене. Автор довела до сведения присутствующих информацию об организации радиационно-гигиенического мониторинга и радиационного контроля в Республике Беларусь и о новых критериях оценки радиационной безопасности. Уточнены формулировки и новые единицы измерения, допустимые уровни содержания цезия-137 и стронция-90 в продукции и товарах, в сельскохозяйственном сырье и кормах в связи с принятием нового гигиенического норматива.

Бондаловская Т. В., врач-гигиенист отделения радиационной гигиены государственного учреждения «Гомельский областной центр гигиены, эпидемиологии и общественного здоровья» рассказала о радиационно-гигиеническом мониторинге продукции, производимой в личных подсобных хозяйствах (ЛПХ), а также дикорастущих растений и (или) их частей, продукции охоты и рыболовства, используемых гражданами для собственного потребления. Подробно рассказано о проводимой с населением работе по предотвращению сбора и употребления продукции леса, загрязненной радионуклидами.

Информационное сообщение о подготовке кадров и повышении квалификации представили Хоровец И. Г., старший преподаватель Института повышения квалификации и переподготовки кадров Белорусского государственного аграрного технического университета и Герменчук М. Г., заместитель директора по научной работе Международного экологического института им. А. Д. Сахарова БГУ.

С информационными сообщениями о производимых приборах радиационного контроля, новинках на рынке оборудования выступили Прибылев С., сотрудник УП «Атомтех» и Рикунев В., директор ЗАО «Тимет».

В заключительной части семинара участники могли высказаться и задать вопросы специалистам. Прозвучали предложения и проблемные вопросы для занесения в протокол семинара от Минсельхозпрода, Минприроды, других заинтересованных.

Среди слушателей распространены информационные материалы, включающие карты радиоактивного загрязнения территории Республики Беларусь в целом, а также областей республики, «Рекомендации по ведению сельскохозяйственного производства на территории радиоактивного загрязнения Республики Беларусь на 2021–2025 годы», материалы о новейших приборах для осуществления радиационного контроля.

По единому мнению участников семинара, такие мероприятия весьма востребованы, вызывают интерес, позволяют не только получить новую актуальную информацию, но и обменяться опытом с коллегами, обсудить новейшие подходы в целях повышения эффективности работы.

В работе семинара приняло участие более 130 специалистов.



ВЫДАЮЩИЙСЯ УЧЕНЫЙ И ПЕДАГОГ (к 95-летию со дня рождения А. И. Горбылевой)

**Т. Ф. Персикова, С. Д. Курганская, О. В. Мурзова,
Е. Ф. Валейша, М. В. Царева, О. А. Поддубный**

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



18 декабря 2023 г. исполняется 95 лет со дня рождения доктора сельскохозяйственных наук, профессора, академика Международной академии аграрного образования, Лауреата премии имени академика Д. Н. Прянишникова, заслуженного работника высшей школы БССР, известного ученого в области почвоведения и агрохимии Анны Ивановны Горбылевой.

Вспоминая в юбилейные дни имя Анны Ивановны Горбылевой, хотелось бы напомнить, что лучшим памятником для ученого является почитание и развитие его учения, призывающего беречь и умножать плодородие родной земли.

А. И. Горбылева родилась в мордовском селе Старая Горяша Краснослободского района в семье русских крестьян. Рано познав нелегкий крестьянский труд, в ее душу проникла любовь к земле, желание сделать ее более красивой и плодородной. И ей это удалось!

Вся ее долгая жизнь – беззаветное служение любимому делу.

Осенью 1946 г., после успешной сдачи экзаменов, сбывается мечта Анны Ивановны Горбылевой: она становится студенткой Московской сельскохозяйственной академии им. К. А. Тимирязева. И уже тогда она проявила себя с лучшей стороны, получая за отличную учебу и активную общественную работу именную стипендию им. М. И. Калинина. Закончив с отличием академию, а затем аспирантуру, в 1955 г. она с блеском защищает кандидатскую диссертацию на тему: «Динамика некоторых свойств почвы и урожай растений при трех вариантах системы удобрений в девятипольном севообороте».

По распределению и совету известного ученого О. Кедрова-Зихмана, Анна Ивановна приехала в маленький белорусский городок Горки. Да так и осталась здесь на всю жизнь. Тогда молоденькая Анна и не задумывалась о том, что Горецкая земля станет для нее второй родиной. Здесь, в Белорусской сельскохозяйственной академии, она пройдет путь от ассистента до доктора сельскохозяйственных наук, профессора, академика Международной академии аграрного образования, заведующей кафедрой почвоведения, здесь вырастут ее дети, здесь она обретет настоящих друзей и станет Почетным гражданином г. Горки. Но это будет потом, а впереди дорога, длиною в жизнь.

В 1958 г. молодой ученый организовала и до 1964 года заведовала, на общественных началах, радиоизотопной лабораторией, которая позднее была преобразована в кафедру сельскохозяйственной радиологии. С мая 1981 по август 1998 гг. заведовала кафедрой почвоведения БСХА, где ярко проявились ее руководящие и организаторские качества.

Одновременно с основной деятельностью, в 1972–1990 гг. А. И. Горбылева руководила отделами опытов и проблемной лабораторией питания растений и гумуса БСХА, а с 1990 г. руководила исследованиями по одному из разделов республиканских программ «Плодородие» и «Агрокомплекс».

Докторскую диссертацию на тему «Совершенствование системы и технологии внесения удобрений на дерново-подзолистых легкосуглинистых почвах» защитила в 1979 г. Причем, среди академических ученых-агрономов она была первой женщиной – доктором наук. Звание профессора ей было присвоено в 1981 г., а в 1997 г. А. И. Горбылева избрана членом-корреспондентом Международной академии аграрного образования, а в 2008 г. становится действительным членом (академиком) этой академии.

Основные научные исследования А. И. Горбылевой посвящены установлению закономерностей в системе «почва – растения – удобрения» в условиях интенсивной химизации почв. На их основе разрабатываются принципы планирования системы удобрения в севообороте с включением различных технологий внесения удобрений и в зависимости от способов обработки почвы, обеспечивающей целенаправленное регулирование плодородия почвы и охрану окружающей среды.

Анна Ивановна Горбылева имела особое чутье на способных к научно-исследовательской работе учеников, всегда их поддерживала и приглашала в аспирантуру. Она создала научную школу. Благодаря ее педагогическому таланту, высокой профессиональной эрудиции и трудолюбию, подготовлено 17 кандидатов наук, в том числе 3 гражданина России, 1 – Египта, 1 – Вьетнама. Она являлась автором более 260 научных, учебных и методических разработок и рекомендаций, в том числе 2 справочников по минеральным удобрениям, 2 – по известкованию и 5 учебных пособий, в том числе 3 – с грифом Министерства образования Республики Беларусь.

Результаты ее исследований нашли отражение при разработке научных основ применения удобрений как у нас в стране, так и за рубежом, многие из них вошли в качестве нормативов в модели почвенного плодородия и использованы при подготовке рекомендаций для сельскохозяйственного производства.

А. И. Горбылева всегда поддерживала тесные связи со многими ведущими отечественными и зарубежными учеными (России, Украины, Молдовы, Литвы, Латвии, Польши и др. стран). Творческие контакты, встречи на конгрессах, съездах, конференциях, обмен корреспонденцией позволяли ей и ее сотрудникам быть всегда информированными о проводимых в мире исследованиях и способствовали признанию школы белорусских агрохимиков-почвоведов.

В 2002 г. за выдающийся вклад в развитие высшего образования Анна Ивановна являлась стипендиатом Президента Республики Беларусь.

Научно-исследовательскую и руководящую работу Анна Ивановна успешно сочетала с общественной научной деятельностью, являясь членом редколлегии журнала «Почвоведение и агрохимия», специализированного совета по защите докторских и кандидатских диссертаций, научно-технического экспертного совета

по агрономии и экологии БГСХА, Белорусского общества почвоведов и Международной ассоциации агроэкологов «Агроэкологос», участником международных, республиканских съездов, конференций, научно-производственных семинаров.

За цикл исследований, посвященных вопросам эволюции почвенного плодородия и комплексным проблемам охраны почв, оптимизации минерального питания растений и почвенных процессов с целью создания высокопродуктивных и чистых агроценозов на дерново-подзолистых почвах, в 2004 г., на конкурсной основе, А. И. Горбылевой была присуждена престижная премия имени академика Д. Н. Прянишникова, учрежденная Правительством России для ученых в области агрохимии. Ни это ли высокий уровень международного признания научной работы профессора А. И. Горбылевой!

Анна Ивановна награждена знаками «Отличник сельского хозяйства СССР», «За отличные успехи в высшей школе», медалями «За доблестный труд», «За трудовую доблесть», Почетной Грамотой Верховного совета БССР, Почетными грамотами Государственного комитета по имуществу Республики Беларусь, Министерства сельского хозяйства и продовольствия Республики Беларусь, Президиума Академии аграрных наук, Могилевского и Брестского облисполкомов, Горецкого райисполкома и ректората УО «БГСХА», а также многочисленными благодарностями [1, 2].

Глубокие знания, порядочность, принципиальность и требовательность, сочетающаяся с отзывчивостью, добротой и скромностью, позволили Анне Ивановне заслужить огромный авторитет и признание среди ученых аграрной науки, а также специалистов и руководителей сельскохозяйственных предприятий.

60 лет Анна Ивановна Горбылева отдала любимой профессии.

Оглядываясь назад и оценивая свой жизненный путь, Анна Ивановна не раз восклицала:

Судьбу мне нечего корить,
Она мне отвела немало!
И если бы пришлось жизнь повторить,
Я повторила б все сначала...

Жизненный путь Анны Ивановны завершился 16 июня 2015 г. на 87-м году жизни. Но школа А. И. Горбылевой, тот научный задел, созданный под ее руководством и при ее непосредственном участии, явились прочным фундаментом для последующих исследований в области агрохимии и почвоведения. Развитие ее идей и принципов продолжают и поныне и будут еще долго служить не одному поколению ученых и специалистов, а образ ученого, преданного своему делу, навсегда сохранится в наших сердцах!

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Жизненный путь, достойный уважения (к 90-летию со дня рождения А. И. Горбылевой) / Т. Ф. Персикова [и др.] // Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. – 2018. – № 4 – С.169–171.

2. Настоящее – есть ключ к пониманию прошлого (к 100-летию кафедры почвоведения БГСХА) / Т. Ф. Персикова [и др.] // Земледелие и растениеводство – 2021. – № 6(139). – С. 58–60.

РЕФЕРАТЫ

1. ПОЧВЕННЫЕ РЕСУРСЫ И ИХ РАЦИОНАЛЬНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ

УДК 631.44.001.53:631.47

Лапа В. В., Матыченков Д. В., Азаренок Т. Н., Матыченкова О. В., Дыдышко С. В. Специализированные информационные системы в сельскохозяйственном производстве Республики Беларусь // Почвоведение и агрохимия. – 2023. – № 2(71). – С. 7–13.

Представлены результаты исследований по разработке специализированной информационной системы, основанной на компьютеризированной системе сбора, хранения, обработки информации с использованием геостатистических оценок. Практическое применение специализированной информационной системы позволяет с наименьшими материальными затратами существенно повысить экономическую эффективность получения растениеводческой продукции за счет объективного планирования производства с учетом требований к агроэкологическим свойствам почвенного покрова, определить количественную необходимость внесения органических и минеральных удобрений, целесообразность проведения мероприятий по повышению плодородия почв, что обеспечит дифференцированный подход в использовании почвенных ресурсов и удобрений на планируемую урожайность применительно для каждого поля сельскохозяйственного предприятия.

Табл. 2. Рис. 2. Библиогр. 7.

УДК 633/635:632.112

Устинова А. М., Цырибко В. Б., Логачев И. А., Юхновец А. В., Касьянчик С. А., Митькова А. А., Карабец Н. А. Потенциальные риски ведения растениеводства в Республике Беларусь при проявлении засух и засушливых явлений // Почвоведение и агрохимия. – 2023. – № 2(71). – С. 14–23.

В статье приведена шкала потенциальных рисков ведения растениеводства при проявлении засух и засушливых явлений, разработанная на основании бальной оценки почвенных (площади почв, наименее устойчивых и слабоустойчивых к засухам и засушливым явлениям) и климатических (картограмм суммы температур выше 10 °С и годовой суммы осадков) условий, по административно-территориальным единицам (районам). Предлагается риск ведения растениеводства при проявлении засух и засушливых явлений считать слабым при сумме баллов ≤ 5 , средним – 6–7, высоким – 8–9, очень высоким – ≥ 10 баллов. Приводятся результаты оценки и картограмма потенциальных рисков ведения растениеводства при проявлении засух и засушливых явлений. Установлено, что очень высоким потенциальным риском негативного влияния засух и засушливых явлений на ведение растениеводства отличаются Брестский, Каменецкий, Брагинский, Ветковский, Добрушский, Наровлянский, Хойникский, Берестовицкий, Волковысский, Гродненский, Свислочский, Щучинский, Быховский, Славгородский районы.

В 42 районах, расположенных в основном в Гомельской, Брестской и Гродненской областях, потенциальный риск высокий, в 45 – средний, в 17 районах – слабый.

Табл. 5. Рис. 8. Библиогр. 8.

УДК 631.459

Устинова А. М., Цырибко В. Б., Логачев И. А., Юхновец А. В., Касьянчик С. А., Митькова А. А. Оценка и прогноз эколого-экономического ущерба в результате эрозии почв (на примере Мстиславского района) // Почвоведение и агрохимия. – 2023. – № 2(71). – С. 24–33.

В статье приведена оценка эколого-экономического ущерба от водной эрозии почв пахотных земель Мстиславского района Могилевской области. Установлено, что прямой ущерб от недобора урожая сельскохозяйственных культур составит 4620 тыс. руб. Общие затраты на приобретение и внесение удобрений для компенсации потерь гумуса и элементов питания, вызванных эрозийной деградацией, около 800 тыс. руб. Следовательно общий эколого-экономический ущерб не менее 5420 тыс. руб.

Согласно проведенному прогнозу по оптимистическим сценариям, увеличение доли многолетних трав до 40–75 % и уменьшение удельного веса пропашных культур до 0–10 % позволит снизить прямой ущерб от процессов эрозийной деградации до 3383–4380 тыс. руб., косвенный – до 214–580 тыс. руб. При этом общий ущерб составит 462–1822 тыс. руб.

Исключение из структуры посевных площадей многолетних трав и увеличение удельного веса пропашных культур до 40 % и более приведет к росту прямого ущерба в 1,4 раза, косвенного – в 4,0 раза. Общий эколого-экономический ущерб прогнозируется на уровне 9800 тыс. руб., что в 1,8 раза выше, чем при существующей структуре посевных площадей.

Табл. 6. Рис. Библиогр. 8.

УДК 631.459.2:631.438.2

Цырыбка В. Б., Лагачоў І. А., Падаляк А. Г., Усцінава Г. М. Уплыў дэфляцыйных працэсаў на перапамеркаванні ^{137}Cs на ворных землях // Почвоведение и агрохимия. – 2023. – № 2(71). – С. 34–43.

У артыкуле прыведзены дадзеныя па перапамеркаванні ^{137}Cs у выніку дэфляцыйных працэсаў. Устаноўлена, што ўздоўж натуральных і антрапагенных перашкод фарміруюцца зоны акумуляцыі дэфляцыйнага матэрыялу з павышаным утрыманнем у ім радыенукліду. На рыхласупясчаных глебах розніца ў шчыльнасці забруджвання паміж зонай пераносу і акумуляцыі дасягае 30,0 %, на пясчаных глебах – 45,0 %, на тарфяных і тарфяна-мінэральных – да 37,5 %, а на рэшткава-тарфяных і посттарфяных глебах 75,0 %.

Зоны максімальнай акумуляцыі радыенуклідаў адпавядаюць паўднева-ўсходнім участкам палеў, што абумоўлена пераважнымі напрамкамі ветру. Пры гэтым варта адзначыць, што на антрапагенных глебах ключавую ролю выконвае водны рэжым, бо яны маюць зоны перманентнага пераўвільгатнення, з паверхні якіх перанос глебавых часціц практычна не адбываецца.

Табл. 4. Мал. 4. Бібліягр. 9.

2. ПЛОДОРОДИЕ ПОЧВ И ПРИМЕНЕНИЕ УДОБРЕНИЙ

УДК 631.81:631.445

Богатырева Е. Н., Серая Т. М., Кирдун Т. М., Симанкова Ю. А., Торчило М. М. Содержание и запасы элементов питания в мортмассе в зависимости от систем удобрения и приемов обработки высоко- и среднеокультуренных дерново-подзолистых почв // Почвоведение и агрохимия. – 2023. – № 2(71). – С. 44–59.

Установлено влияние приемов обработки почвы и систем удобрения на содержание и запасы элементов питания в мортмассе в слоях 0–10 см и 10–20 см дерново-подзолистых почв, изучена динамика запасов в течение вегетации озимой пшеницы; определены взаимосвязи между урожайностью зерна и запасами в почвах азота, фосфора и калия мортмассы.

Табл. 6. Рис. Библиогр. 17.

УДК 633.17:631.559.2:631.452

Седукова Г. В., Кристова Н. В., Исаченко С. А. Изменение урожайности зеленой массы суданской травы в зависимости от агрохимических показателей дерново-подзолистой супесчаной почвы // Почвоведение и агрохимия. – 2023. – № 2(71). – С. 60–66.

В статье представлены корреляционные зависимости между урожайностью зеленой массы суданской травы, убранной в фазу начала выметывания и в фазу молочно-восковой спелости, с одной стороны, и основными агрохимическими показателями (обменная кислотность $pH_{КС}$, содержание гумуса, K_2O , P_2O_5), с другой стороны. Показана сила связи между каждым из показателей.

На основании установленных трендовых линий и уравнений регрессии определены количественные параметры изменения урожайности зеленой массы суданской травы в разные фазы укосной спелости при изменении значений влияющих факторов. Определена прогнозная урожайность зеленой массы и интенсивность ее прироста между фазами развития культуры при вариабельности агрохимических показателей дерново-подзолистой супесчаной почвы.

Табл. 3. Библиогр. 8.

УДК 632.15:579.64

Михайловская Н. А., Барашенко Т. Б., Юхновец А. В., Погирницкая Т. В., Дюсова С. В. Влияние глифосат-утилизирующих бактерий *Azospirillum* sp. и *Rhizobium* sp. на физиологический статус растений при разном содержании глифосата в почве // Почвоведение и агрохимия. – 2023. – № 2(71). – С. 67–79.

Проведена серия модельных инокуляционных экспериментов по культивированию гороха Миллениум в условиях почвенного микрокосма с искусственно созданными уровнями содержания глифосата в почве: C_0 (без глифосата), C_1 , C_2 и C_3 соответствующие внесению 0; 3; 10 и 50 л/га гербицида в полевых условиях. Экспериментальные данные показали, что прием инокуляции семян *Azospirillum* sp. и *Rhizobium* sp. оказывает антистрессовое действие на растение в широком диапазоне содержания глифосата в почве. Действие инокуляции проявляется

в стимуляции роста растений, развития корневой системы, увеличении площади ассимиляционной поверхности и повышении содержания хлорофиллов в листьях.
Табл. 5. Рис. 4. Библиогр. 33.

УДК 631.847.22:633.15

Михайловская Н. А., Касьянчик С. А., Барашенко Т. Б., Погирницкая Т. В., Дюсова С. В. Влияние ризобактерий р. *Pseudomonas* на фотосинтетический потенциал кукурузы в присутствии глифосата в почве // Почвоведение и агрохимия. – 2023. – № 2(71). – С. 80–90.

Проведена серия модельных инокуляционных экспериментов по культивированию кукурузы Фрода в условиях почвенного микрокосма с искусственно созданными уровнями содержания глифосата в почве: С₀ (без глифосата), С₁, С₂ и С₃ соответствующие внесению 0; 3; 10 и 50 л/га гербицида в полевых условиях. Экспериментальные данные показали, что прием инокуляции семян ризосферными бактериями рода *Pseudomonas* оказывает антистрессовое действие на растение в широком диапазоне содержания глифосата в почве. Действие инокуляции проявляется в стимуляции роста растений, развитии корневой системы, увеличении площади ассимиляционной поверхности и повышении содержания хлорофиллов и каротиноидов в листьях. Антистрессовое действие псевдомонад усиливается при повышении содержания глифосата в почве.

Табл. 4. Рис. 3. Библиогр. 24.

3. РЕКОМЕНДАЦИИ ПРОИЗВОДСТВУ

УДК 631.81:633.11:631.445

Е. Г. Мезенцева, О. Г. Кулеш, О. В. Симанков, А. А. Грачева, С. М. Зенькова Регламент применения удобрений под яровую пшеницу на дерново-подзолистых высококультуренных суглинистых почвах // Почвоведение и агрохимия. – 2023. – № 2(71). – С. 91–98.

Настоящий регламент устанавливает требования к выполнению технологических операций возделывания яровой пшеницы со средней расчетной урожайностью зерна 2 класса качества на уровне 60,0 ц/га (максимальной 79 ц/га) при различной интенсификации технологий ее возделывания на дерново-подзолистых высококультуренных суглинистых почвах.

Табл. 3.

УДК 631.81:633.15:631.445

Е. Г. Мезенцева, О. Г. Кулеш, О. В. Симанков, А. А. Грачева, С. М. Зенькова Регламент применения удобрений под кукурузу на дерново-подзолистых высококультуренных суглинистых и супесчаных почвах // Почвоведение и агрохимия. – 2023. – № 2(71). – С. 99–106.

В настоящих разделах отраслевого технологического регламента установлены требования по эффективному использованию систем удобрения в зависимости от уровня

интенсификации возделывания кукурузы на зеленую массу на дерново-подзолистых высококультурных почвах с планируемой урожайностью до 15–20 т к. ед./га. В основу регламента положены результаты научных исследований и полевые опыты возделывания кукурузы РУП «Институт почвоведения и агрохимии».

Табл. 4.

УДК 632.8:631.417.2:631.445.24

Т. М. Серая, Е. Н. Богатырева, Т. М. Кирдун, Т. В. Мачок, Ю. А. Симанкова, М. М. Торчило Усовершенствованная система удобрения озимой пшеницы при традиционной и поверхностной обработке почвы, обеспечивающая экономически обоснованное повышение урожайности и качества зерна на высоко- и среднекультурных дерново-подзолистых почвах // Почвоведение и агрохимия. – 2023. – 2(71). – С. 107–118.

Рекомендованы системы удобрения озимой пшеницы, включающая внесение подстилочного навоза КРС, заделку измельченной соломы предшественника, и, с учетом органического фона, эффективные дозы фосфорных и калийных удобрений, оптимальные сроки и дозы проведения азотных подкормок, что позволит наряду с повышением урожайности улучшить качество зерна по содержанию белка (до 12–13 %) и клейковины (до 25–28 %).

Табл. 3.

УДК 631.81:633.16:631.445

М. В. Рак, Е. Н. Пукалова, Н. С. Гузова, Л. Н. Гук, В. В. Корсакова Регламент применения микроудобрений в технологии возделывания озимого рапса и ярового ячменя // Почвоведение и агрохимия. – 2023. – № 2(71). – С. 119–126.

В регламенте приведены дозы, сочетания и сроки применения микроудобрений в системе удобрения при возделывании озимого рапса на дерново-подзолистых высококультурных почвах, обеспечивающие повышение урожайности и улучшение качества семян.

В регламенте приведены дозы, сочетания и сроки применения микроудобрений в системе удобрения при возделывании ярового ячменя на дерново-подзолистых высококультурных почвах, обеспечивающие повышение урожайности и улучшение качества продукции.

Табл. 6.

ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ

Научный журнал «Почвоведение и агрохимия», согласно приказу ВАК Республики Беларусь от 05.01.2023 № 2 (с изменениями, внесенными приказами от 13.03.2023 № 63, от 23.06.2023 № 152, от 20.11.2023 № 285), включен в Перечень научных изданий Республики Беларусь для опубликования результатов диссертационных исследований. Направляемые статьи должны являться оригинальными материалами, не опубликованными ранее в других печатных изданиях.

Текст научной статьи должен быть подготовлен в соответствии с требованиями главы 5 Инструкции по оформлению диссертации, автореферата и публикаций по теме диссертации (утверждена Постановлением ВАК Республики Беларусь от 28.02.2014 № 3) и иметь следующую структуру: индекс по Универсальной десятичной классификации (УДК); введение; основную часть (разделы – методы и объекты исследований, результаты исследований и их обсуждение), выводы, список цитированных источников. К статье прилагается аннотация на русском и английском языках (с переводом названия статьи, фамилий авторов). Статья должна быть подписана всеми авторами.

Объем статьи не должен превышать 10 страниц формата А4. Все материалы представляются в электронном виде.

Электронный вариант должен быть набран в текстовом редакторе Microsoft Word шрифтом Arial (размер кегля – 10 пт, через одинарный интервал, абзац – 0,75). Рисунки даются в формате TIF, JPG 300–600 точек на дюйм. Текст на рисунках также должен быть набран гарнитурой Arial, размер кегля соизмерим с размером рисунка. Подписи к рисункам и схемам делаются отдельно. Иллюстрации, формулы, уравнения и сноски, встречающиеся в статье, должны быть пронумерованы в соответствии с порядком цитирования в тексте.

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

Сведения об источниках оформляются в соответствии с межгосударственным стандартом ГОСТ 7.80-2000 «Библиографическая Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь, 25.06.2014, 7/2786 9 запись. Заголовок. Общие требования и правила составления», межгосударственным стандартом ГОСТ 7.1-2003 «Библиографическая запись. Библиографическое описание. Общие требования и правила составления», межгосударственным стандартом ГОСТ 7.82-2001 «Библиографическая запись. Библиографическое описание электронных ресурсов. Общие требования и правила составления», межгосударственным стандартом ГОСТ 7.12-93 «Библиографическая запись. Сокращение слов на русском языке. Общие требования и правила», межгосударственным стандартом ГОСТ 7.11-2004 «Библиографическая запись. Сокращение слов и словосочетаний на иностранных европейских языках», государственным стандартом Республики Беларусь СТБ 7.12-2001 «Библиографическая запись. Сокращение слов на белорусском языке. Общие требования и правила».

Поступившая статья направляется на рецензию, затем визируется членом редколлегии и рассматривается на заседании редколлегии. Возвращение статьи автору на доработку не означает, что она принята к печати. Статьи не по профилю журнала возвращаются авторам после заключения редколлегии.

Редакция оставляет за собой право вносить в текст редакционную правку.

ДЛЯ ЗАМЕТОК