

ISSN 0130-8475

Институт почвоведения и агрохимии

ПОЧВОВЕДЕНИЕ И АГРОХИМИЯ

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ

Основан в 1961 г.

№ 2(73)
Июль – декабрь 2024 г.

Минск
2024

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, Е. Г. МЕЗЕНЦЕВА,
Н. А. МИХАЙЛОВСКАЯ, Г. В. ПИРОГОВСКАЯ,
Ю. В. ПУТЯТИН, М. В. РАК, В. Г. СЫЧЕВ, В. Б. ЦЫРИБКО

ПОЧВОВЕДЕНИЕ И АГРОХИМИЯ

2(73)

Июль – декабрь 2024 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 22.12.2024. Формат 70x100 1/16. Бумага офсетная.
Усл. печ. л. 11,28. Уч.-изд. л. 10,87. Тираж 50 экз. Заказ 658.

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», 2024

СОДЕРЖАНИЕ

1. ПОЧВЕННЫЕ РЕСУРСЫ И ИХ РАЦИОНАЛЬНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ

Цырибко В. Б., Устинова А. М., Логачёв И. А., Митькова А. А., Гутько Ф. С. Оценка противодефляционной устойчивости песчаных и рыхлосупесчаных почв пахотных земель Республики Беларусь	7
Радовня В. А., Халецкий В. Н., Азарёнок Т. Н., Матыченкова О. В. Влияние интенсификации технологии на почвах разной степени пригодности для возделывания сои	13
Цырибко В. Б., Устинова А. М., Логачев И. А., Юхновец А.В., Касьянчик С. А. Формирование почвозащитных комплексов на почвах разной степени эрозионной опасности	21
Воробей М. В., Киндеев А. Л. Применения геостатистического подхода при учете внутрипольной неоднородности почвенной кислотности при проведении известкования сельскохозяйственных земель	30
Шашко Ю. К., Азарёнок Т. Н., Матыченкова О. В., Дыдышко С. В., Карпович Г. Г. Земельные и почвенные ресурсы Экваториальной Гвинеи	42

2. ПЛОДОРДИЕ ПОЧВ И ПРИМЕНЕНИЕ УДОБРЕНИЙ

Кулеш О. Г., Мезенцева Е. Г., Грачева А. А., Зенькова С. М. Динамика содержания азота, фосфора и калия в растениях яровой пшеницы в течение вегетации в зависимости от условий произрастания	58
Михайловская Н. А., Серая Т. М., Богатырева Е. Н., Дюсова С. В. Активность гидролитических процессов в циклах углерода и азота при разных способах основной обработки и удобрения дерново-подзолистых почв	70
Серая Т. М., Богатырева Е. Н., Новик А. Л., Кирдун Т. М., Симанкова Ю. А., Устинова А. М., Торчило М. М. Эффективность систем удобрения кормовых бобов на дерново-подзолистой супесчаной почве	79
Рак М. В., Пукалова Е. Н., Кудласевич С. Г., Гук Л. Н. Влияние азотных, медных, марганцевых и цинковых удобрений на урожайность и качество озимого ячменя и вынос элементов питания на дерново-подзолистой супесчаной почве ...	89
Седукова Г. В. К вопросу о роли агрохимических показателей дерново-подзолистой супесчаной почвы в формировании урожайности зеленой массы сорго зернового	97

Шаченкова Л. Н., Езубец А. П., Вонсович Н. В. Ионнообменные субстраты БИОНА с новыми анионообменными компонентами	105
Почвы и земельные ресурсы в новом Национальном атласе Беларуси.....	118

3. ЮБИЛЕИ

РОГОВОЙ ПАВЕЛ ПРОКОФЬЕВИЧ (к 130-летию со дня рождения выдающегося ученого Беларуси).....	123
Рефераты	127
Правила для авторов	132

CONTENTS
1. SOIL RESOURCES AND THEIR RATIONAL USE

- Tsyrybka V. B., Ustsinava H. M., Lahachou I. A., Mitskova A. A., Hutsko P. S.** Assessment of anti-deflation stability of sandy and loose sandy loam soils of arable lands of the Republic of Belarus..... 7
- Radounya V. A., Khaletsky V. N., Azaronak T. N., Matychenkova O. V.** The influence of intensification of technology on soils of varying degrees of suitability for soybean cultivation 13
- Tsyrybka V. B., Ustsinava H. M., Lahachou I. A., Yukhnovets A. V., Kasyanchik S. A.** Formation of soil protection complexes on soils with varying degrees of erosion hazard..... 21
- Vorobei M. V., Kindeev A. L.** Application of geostatistical approach in accounting for intra-field heterogeneity soil acidity In liming of agricultural lands..... 30
- Shashko Y. K., Azaronak T. N., Matychenkova O. V., Dydysko S. V., Karpovich G. G.** Land and soil resources of Equatorial Guinea 42

2. SOIL FERTILITY AND FERTILIZATION

- Kulesh O. G., Mezentseva E. G., Gracheva A. A., Zenkova S. M.** Dynamics of nitrogen, phosphorus and potassium content in spring wheat plants during the growing season depending on growing conditions..... 58
- Mikhailouskaya N. A., Seraya T. M., Bogatyreva E. N., Djusova S. V.** Activity of hydrolytic processes in C and N cycles under different methods of basic soil tillage and fertilization 70
- Seraya T. M., Bohatyrova E. N., Novik A. L., Kirdun T. M., Simankova Yu. A., Ustsinava H. M., Torchilo M. M.** Effectiveness of fertilizer systems for broad beans on soddy-podzolic sandy loam soil..... 79
- Rak M. V., Pukalova E. N., Kudlasevich S. G., Guk L. N.** The influence of nitrogen, copper, manganese and zinc fertilizers on the yield and quality of winter barley and the removal of nutrients on sod-podzolic sandy loam soil..... 89
- Sedukova G. V.** To the question of the role of agrochemical indicators of sod-podzolic sandy loam soil in the formation of the productivity of green mass of grain sorghum..... 97

Shachenkova L. N., Yezubets H. P., Vansovich N. V. Ion exchange BIONA substrates with new anion exchange components	105
Soils and land resources in the new National atlas of Belarus	118

3. OUR JUBILEES

ROGOVOJ PAVEL PROKOFIEVICH (on the 130th anniversary of the birth of the outstanding scientist of Belarus).....	123
Summaries	127
Instructions for authors	132

1. ПОЧВЕННЫЕ РЕСУРСЫ И ИХ РАЦИОНАЛЬНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ

УДК 631.459.3

ОЦЕНКА ПРОТИВОДЕФЛЯЦИОННОЙ УСТОЙЧИВОСТИ ПЕСЧАНЫХ И РЫХЛОСУПЕСЧАНЫХ ПОЧВ ПАХОТНЫХ ЗЕМЕЛЬ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

В. Б. Цырибко, А. М. Устинова, И. А. Логачёв, А. А. Митькова, Ф. С. Гутько

Институт почвоведения и агрохимии, г. Минск, Беларусь

ВВЕДЕНИЕ

Интенсификация земледелия без соответствующего учета природно-ландшафтных условий приводит к усилению процессов деградации почвенного покрова, снижению продуктивности пахотных земель. В Беларуси в условиях нарастающих изменений климата одним из потенциально наиболее опасных видов деградации почв становится дефляция.

Интенсивность дефляционных процессов определяется такими факторами, как тип климата, рельеф территории, особенности почвенного и растительного покрова. Они проявляются в виде повседневной дефляции на открытых незащищенных растительностью массивах и в виде пыльных бурь [1].

Повседневную дефляцию вызывают ветры, обладающие необходимой критической скоростью, достаточной для отрыва частиц почвы от поверхности. Для минеральных почв легкого гранулометрического состава это ветры со скоростью 5–6 м/с. Согласно данным метеорологических станций, повторяемость ветров таких скоростей может достигать 20,0 % в весенние месяцы. При критической скорости ветра в движение приходят частицы почвы диаметром от 1,0 до 0,25 мм и менее [2].

Агрегаты и частицы диаметром > 1 мм обычно не переносятся ветром, а перекатываются по поверхности почвы и только при пыльных бурях вовлекаются в воздушный поток. Пыльные бури возникают при сильных ветрах, скорость которых превышает 10–15 м/с. Пыльная (песчаная) буря представляет перенос больших количеств пыли, песка, частиц сухого торфа и их смесей сильным ветром в приземном слое воздуха (на высоте > 2 м от поверхности). По данным метеорологических станций на 2022 год в Беларуси зарегистрировано более 350 случаев проявления экстремальной дефляции. Высокий удельный вес занимают пыльные бури средней и высокой интенсивности. Причиной увеличения интенсивности и повторяемости дефляции является увеличение средней температуры весеннего периода – с 2000 по 2023 гг. она превышала среднемноголетнее значения 13 раз, в то же время выпадение осадков ниже нормы отмечалось 9 раз [2].

Дефляция чаще всего возникает весной (апрель–май) и в начале лета (первая декада июня), когда почва распылена обработкой и не защищена растительностью, реже – осенью. Потери почвы в апреле составляют 30 %, в мае – 42, в июне – 24, в сентябре – 4 % от общей суммы годовых потерь [1].

Дефляционные процессы наносят существенный экономический ущерб, приводя к ухудшению плодородия и производительной способности почв в результате выдувания из верхнего слоя мелкозема, содержащего наибольшее количество гумуса и элементов минерального питания растений. Также происходит ухудшение водно-физических и биологических свойств почв.

В республике 2108,2 тыс. га пахотных земель (41,2 % площади пашни), относятся к дефляционноопасным, на которых при нерациональном использовании может произойти интенсификация процессов деградации. Среди дефляционноопасных почв минеральные легкие почвы занимают 1827,8 тыс. га (86,7 %). Дефляционноопасные земли наиболее распространены на территории Белорусского Полесья – в Брестской, Гомельской и Минской областях [3].

Среди свойств почв, влияющих на их устойчивость к дефляции, выделяются гранулометрический состав, структурно-агрегатное состояние, содержание гумуса и катионов кальция [4].

Цель исследований – оценка устойчивости к дефляции песчаных и рыхлосупесчаных почв пахотных земель.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Объектами исследований являлись дефляционноопасные дерново-подзолистые автоморфные, дерново-подзолистые заболоченные, дерновые заболоченные и аллювиальные дерновые заболоченные почвы рыхлосупесчаного и песчаного гранулометрического состава.

Для определения противодефляционной устойчивости почв в 2024 г. проведены маршрутные исследования для отбора почвенных монолитов на территории районов Гомельской, Гродненской и Брестской областей. Для этого закладывались прикопки и отбирались почвенные образцы из верхней части пахотного горизонта (0–7 см), которая в наибольшей степени подвержена дефляции.

В процессе исследований определялись показатели, характеризующие противодефляционную устойчивость почв (содержание агрегатов крупнее 1,0 мм, содержание агрегатов 0,5–0,1 мм), исходя из данных сухого просеивания, которые определяются по методу Саввинова [5].

Для оценки состояния противодефляционной устойчивости почвы использовали шкалу, основанную на дефлируемости, адаптированную для условий Европы (табл. 1).

Таблица 1

Оценка дефлируемости и противодефляционной устойчивости почвы (составлена авторами на основании [6])

Дефлируемость	Устойчивость	Содержание агрегатов крупнее 1,0 мм, (%)
Высокая	неудовлетворительная	менее 50,0
Умеренная	удовлетворительная	50,0–60,0
Слабая	хорошая	более 60,0

Полученные данные обрабатывали методами математической статистики с использованием программного обеспечения MS Excel.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Проведенный структурно-агрегатный анализ образцов позволил определить показатели противодефляционной устойчивости почв (табл. 2).

Таблица 2

Значения показателей противодефляционной устойчивости изученных почв

Название почвы	Содержание агрегатов, %								
	крупнее 1,0 мм			0,1–0,5 мм			меньше 0,1 мм		
	min	max	ср. знач.	min	max	ср. знач.	min	max	ср. знач.
Дерново-подзолистая автоморфная рыхлосупесчаная	22,2	48,9	31,6	37,5	65,1	50,3	2,9	14,5	7,6
Дерново-подзолистая автоморфная песчаная	1,8	28,0	11,2	58,9	91,6	76,6	3,0	13,4	6,6
Дерново-подзолистая полугидроморфная рыхлосупесчаная	20,4	48,3	33,8	38,6	65,3	52,3	3,3	11,3	7,7
Дерново-подзолистая полугидроморфная песчаная	1,5	23,1	10,2	61,7	92,9	77,4	1,7	16,5	7,4
Дерновая полугидроморфная рыхлосупесчаная	19,4	50,7	33,6	34,8	63,4	51,0	5,2	11,1	8,0
Дерновая полугидроморфная песчаная	1,1	24,5	10,9	56,7	92,8	76,6	1,8	16,3	6,3
Аллювиальная дерновая слабogleеватая песчаная	10,9	14,6	12,8	71,4	75,1	73,3	3,1	6,1	4,6

Содержание устойчивых к дефляции агрегатов в изученных дерново-подзолистых автоморфных песчаных почвах изменялось в диапазоне от 1,8 % до 28,0 %, а в среднем составило 11,2 %. Наименьшие значения отмечены на свежеспаханных почвах, а наибольшие – на стерне и посевах озимых культур, что указывает на важную роль обработки почвы и растительного покрова в минимизации интенсивности дефляции. Все значения содержания устойчивой к дефляции фракции меньше 50,0 %, что характеризует дефляционную устойчивость данных почв как неудовлетворительную. Доля агрегатов, перемещающихся при критических скоростях ветра (0,1–0,5 мм), в среднем составляет 76,6 %, что подтверждает результаты ранее проведенных исследований, характеризующие данные почвы как сильно дефляционноопасные. Песчаные почвы относят к условно бесструктурным [7], что объясняет низкое содержание агрегатов крупнее 1,0 мм.

Показатели дефляционной устойчивости дерново-подзолистых заболоченных, дерновых заболоченных и аллювиальных дерновых заболоченных песчаных почв имели близкие значения в сравнении с дерново-подзолистыми автоморфными. Среднее содержание устойчивых агрегатов в данных типах почв составляло 10,2–12,8 %, агрегатов – 0,1–0,5 мм – 73,3–77,4 %, что указывает на отсутствие статистически значимой разницы между песчаными почвами.

Для подтверждения гипотезы об отсутствии различия в противодефляционной устойчивости различных типов песчаных почв в программном пакете MS Excel был проведен парный Т-тест (по критерию Стьюдента) для сравнения выборок, который показал отсутствие различий при уровне значимости 0,05.

Устойчивость к дефляции рыхлосупесчаных почв выше, чем у песчаных. Содержание агрегатов крупнее 1,0 мм в дерново-подзолистых автоморфных рыхлосупесчаных изменяется от 22,2 до 48,9 %, а в среднем – 31,6 %. В дерново-подзолистых заболоченных рыхлосупесчаных варьируется от 20,4 до 48,3 %, в среднем составляет 33,8 %, а в дерновых заболоченных – от 19,4 до 50,7 %, а в среднем – 33,6 %.

Содержание фракции 0,1–0,5 мм в рыхлосупесчаных почвах составляет 50,3–52,3 %, что более чем в 1,5 раза ниже, чем у песчаных почв, что подтверждает их меньшую дефляционную опасность.

Сравнение выборок рыхлосупесчаных почв различных типов также указывает на отсутствие статистически значимых отличий в устойчивости к дефляции между ними.

В то же время сравнение выборок содержания устойчивых к дефляции агрегатов (крупнее 1,0 мм) и фракции 0,1–0,5 мм рыхлосупесчаных и песчаных почв по критерию Стьюдента показало статистически значимое различие между ними при уровне значимости альфа 0,05. Доля агрегатов, переносимых в состоянии суспензии (менее 0,1 мм), во всех изученных почвенных разновидностях находится в приблизительно в одинаковом диапазоне, что подтверждается результатами Т-теста. Вероятно, это обусловлено их крайне низкой устойчивостью и постоянным переносом с воздушным потоком на значительные расстояния.

Полученные данные указывают на определяющую роль гранулометрического состава в формировании противодефляционной устойчивости почв, что позволяет в дальнейшем анализировать обобщённые выборки песчаных и супесчаных почв.

В ходе исследований проводился отбор монолитов рядом с лесными массивами/лесополосами и в центральной части полей для установления их влияния на устойчивость почв к дефляции. Анализ данных показывает, что содержание агрегатов крупнее 1,0 мм несколько выше в зоне влияния лесов/лесополос (рис. 1), однако статистически значимого различия не установлено. Для уточнения роли почвозащитных насаждений данные исследования будут продолжены.

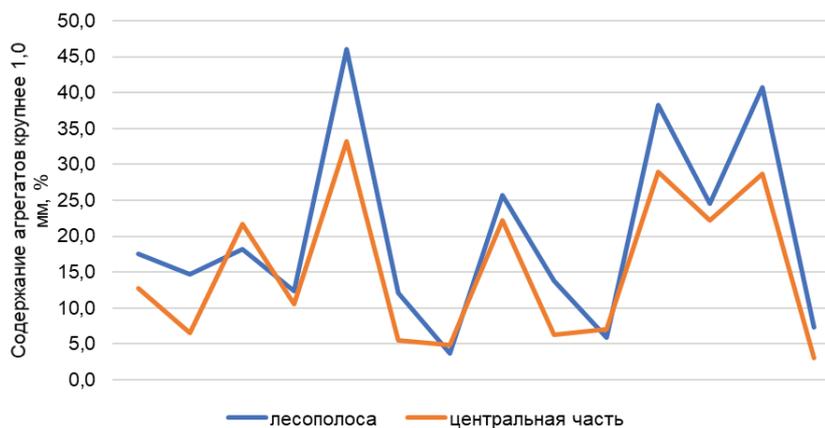


Рис. 1. Влияние лесополос на противодефляционную устойчивость почв, %

Проведенная качественная характеристика позволила оценить изученные почвы по противодефляционной устойчивости (рис. 2).

Все изученные песчаные почвы независимо от типовой принадлежности и степени увлажнения обладают неудовлетворительной противодефляционной устойчивостью, наибольшие значения (28,0 %) приблизительно в 2 раза ниже уровня диапазона удовлетворительных параметров (50,0–60,0 %). Это указывает на необходимость формирования почвозащитных противодефляционных мероприятий на данных почвах для минимизации экономического и экологического ущерба от дефляционных процессов путем насыщения севооборотов озимыми и многолетними травами.

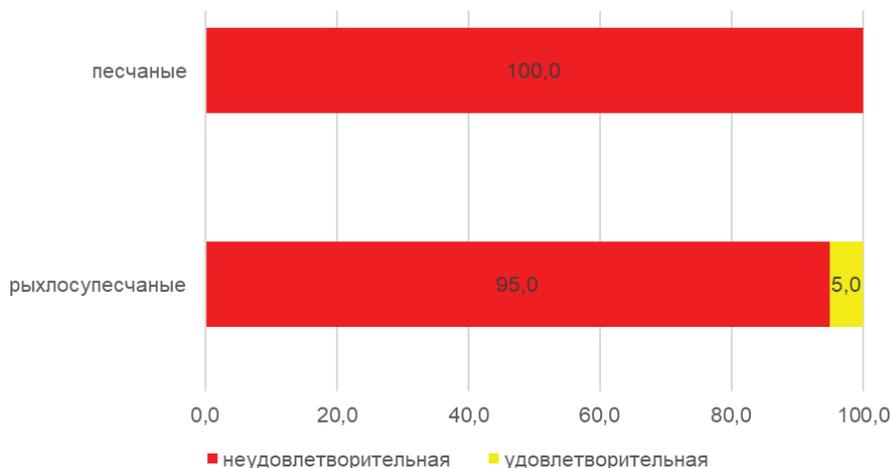


Рис. 2. Распределение почв по противодефляционной устойчивости, %

Доля рыхлосупесчаных почв с неудовлетворительной устойчивостью составляет 95,0 %, с удовлетворительной – 5,0 %. Противодефляционная резистентность рыхлых супесей примерно в 3 раза выше, чем у песков, что позволяет расширить диапазон возделываемых на них сельскохозяйственных культур без интенсификации процессов дефляции.

ВЫВОДЫ

Проведенные исследования показали, что среднее содержание устойчивых агрегатов (крупнее 1,0 мм) в песчаных почвах составляло 10,2–12,8 %, агрегатов 0,1–0,5 мм – 73,3–77,4 %. Все изученные песчаные почвы независимо от типовой принадлежности и степени увлажнения обладают неудовлетворительной противодефляционной устойчивостью, наибольшие значения (28,0 %) приблизительно в 2 раза ниже уровня диапазона удовлетворительных параметров (50,0–60,0 %), что указывает на необходимость формирования почвозащитных противодефляционных мероприятий на данных почвах для минимизации экономического и экологического ущерба от дефляционных процессов путем насыщения севооборотов озимыми культурами и многолетними травами.

Устойчивость к дефляции рыхлосупесчаных почв выше, чем у песчаных. Содержание агрегатов крупнее 1,0 мм в дерново-подзолистых автоморфных рыхлосупесчаных составляло 31,6 %, в дерново-подзолистых заболоченных – 33,8 %, а в дерновых заболоченных – 33,6 %.

Доля рыхлосупесчаных почв с неудовлетворительной устойчивостью составила 95,0 %, а с удовлетворительной – 5,0 %. Противодефляционная резистентность рыхлых супесей примерно в 3 раза выше, чем у песков, что позволяет расширить диапазон возделываемых культур без интенсификации процессов дефляции.

На основании проведенной статистической обработки данных о структурном состоянии песчаных и рыхлосупесчаных почв установлено, что содержание устойчивых к дефляции агрегатов не зависит от их типовой принадлежности и степени увлажнения, а обуславливается, в первую очередь, гранулометрическим составом.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Почвы Республики Беларусь / В. В. Лапа, Т. Н. Азаренок, С. В. Шульгина [и др.] ; под. ред. В. В. Лапы. – Минск : ИВЦ Минфина, 2019. – 632 с.
2. Погода и Климат : [сайт]. – Москва, 2004–2024. – URL: <http://www.pogodaiklimat.ru/archive.php> (дата обращения: 05.11.2024).
3. Почвы сельскохозяйственных земель Республики Беларусь: практ. пособие / Г. И. Кузнецов, Н. И. Смеян, Г. С. Цытрон [и др.] ; под ред. Г. И. Кузнецова, Н. И. Смеяна. – Минск : Оргстрой, 2001. – 432 с.
4. Blanco, H. Soil Conservation and Management / Humberto Blanco, Rattan Lal. – Cham : Springer, 2024. – 611 p.
5. Вадюнина, А. Ф. Методы исследования физических свойств почв / А. Ф. Вадюнина, З. А. Корчагина. – М. : Агропромиздат, 1986. – 416 с.
6. Wind erosion susceptibility of European soils/ Pasquale Borrelli, Cristiano Ballabio, Panos Panagos, Luca Montanarella // Geoderma. – 2014. – Vol. 232–234. – P. 471–478.
7. Цырибко, В. Б. Агрофизические свойства почв, сформированных на различных почвообразующих породах, и их оптимальные параметры : автореф. дис. ... канд. с.-х. наук : 06.01.03 / Виктор Борисович Цырибко ; Ин-т почвоведения и агрохимии. – Минск , 2017. – 20 с.

ASSESSMENT OF ANTI-DEFLATION STABILITY OF SANDY AND LOOSE SANDY LOAM SOILS OF ARABLE LANDS OF THE REPUBLIC OF BELARUS

V. B. Tsyrybka, H. M. Ustsinava, I. A. Lahachou, A. A. Mitskova, P. S. Hutsko

Summary

The article provides an assessment of the resistance to deflation of sandy and loose sandy loam soils of arable lands. The average content of stable aggregates (larger than 1,0 mm) in sandy soils was 10,2–12,8 %, and in loose sandy loam soils – 31,6–33,8 %. All studied sandy soils, regardless of their type and degree of moisture, have unsatisfactory anti-deflation resistance. The share of loose sandy loam soils with unsatisfactory stability was 95,0 %, and with satisfactory stability – 5,0 %. Based on the statistical processing of data on the structural state of sandy and loose sandy loam soils, it was established that the content of deflation-resistant aggregates does not depend on their type and degree of moisture, but is determined, first of all, by the granulometric composition.

Поступила 25.11.24

ВЛИЯНИЕ ИНТЕНСИФИКАЦИИ ТЕХНОЛОГИИ НА ПОЧВАХ РАЗНОЙ СТЕПЕНИ ПРИГОДНОСТИ ДЛЯ ВОЗДЕЛЫВАНИЯ СОИ

В. А. Радовня¹, В. Н. Халецкий², Т. Н. Азарёнок³, О. В. Матыченкова³

*¹Белорусская государственная сельскохозяйственная академия,
г. Горки, Беларусь*

²Брестская ОСХОС НАН Беларуси, г. Пружаны, Брестская область, Беларусь

³Институт почвоведения и агрохимии, г. Минск, Беларусь

ВВЕДЕНИЕ

Соя является относительно новой культурой для Республики Беларусь, но в последние годы отмечается положительная динамика роста ее посевных площадей, которые в 2024 г. достигли отметки 9,6 тыс. га, что на 46 % выше уровня предыдущего года.

В последние годы в республике созданы раннеспелые сорта сои, созревающие при накоплении относительно небольших сумм активных температур: 1700–1800 °С [2], что позволяет размещать ее посевы в центральных и даже северных районах республики, а также возделывать эту культуру на полугидроморфных и гидроморфных почвах при поздних сроках, когда посев в оптимальные сроки технически не осуществим. Особую опасность представляют весенние заморозки и пониженные температуры, которые могут существенно ограничить продуктивность сои [5].

Соя довольно требовательна к плодородию почв и гидротермическим условиям вегетации. Различные типы и разновидности почв отличаются по своим агрофизическим, агрохимическим и микробиологическим свойствам, имеют различные влагоемкость, запас питательных веществ, кислотность, содержание органического вещества и др. При этом данные показатели оказывают влияние как на произрастание культурных растений, так и на эффективность отдельных агроприемов (минеральное удобрение, внесение удобрений и др.).

Следует отметить, что проблема оценки пригодности почв для возделывания сои в условиях республики долгое время оставалась малоизученной, существующие рекомендации возделывания сои [7] ориентированы преимущественно на автоморфные дерново-подзолистые почвы (суглинистые и супесчаные, подстилаемые мореной), в связи с этим возникает вопрос о их применении для полугидроморфных и гидроморфных почв.

Проблема оценки пригодности земель под сельскохозяйственные культуры отличается большим разнообразием подходов и методов. В. А. Рожков приводит 6 современных интегральных индексов продуктивности земель [8]. Суть индексов сводится к тому, что каждая сельскохозяйственная культура обладает определенными требованиями к почве и внешним условиям (почвенно-климатические условия) и при оценке пригодности земель для выращивания той или иной культуры определяется мера сходства между требованиями культуры и показателями, которые характеризуют данное земельное угодье.

В настоящее время в агрономических науках оценка земель, основанная на интегральных показателях, утрачивает значение [3, 6]. Получает распространение комплексная агрономическая характеристика почв, которая учитывает особенности почвенного покрова и агроклиматические особенности региона, влияющие на урожайность сельскохозяйственных культур [1]. Основным критерием при проведении агроэкологической оценки служат биологические требования сельскохозяйственных культур к условиям произрастания и агротехнологиям. Для каждой культуры используют технологии различной степени интенсивности, соответствующие биологическому потенциалу сортов и гибридов, а также почвенно-климатическому потенциалу [4].

Г. С. Цытрон, Л. И. Шибут для условий республики выделяют 15 агропроизводственных групп почв, построенных на трех принципах [9]:

- учет требований сельскохозяйственных культур к почвенным условиям;
- различия в плодородии почв, в том числе агропочвенных и агротехнологических свойствах;
- различия в оценке земель, характеризующей почвенное плодородие.

Для сельскохозяйственных культур авторами разработаны частные агропроизводственные группировки почв республики, разделенные на четыре группы (наиболее пригодные, пригодные, малопригодные и непригодные). Однако агропроизводственные группировки почв требуют некоторого уточнения, особенно это касается агроторфяных низинных почв и дерготорфоземов с разным содержанием органического вещества.

Недостаток экспериментальных данных о пригодности тех или иных типов почв для возделывания сои в Республике Беларусь и послужил основанием для проведения настоящей работы.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования проводились в 2021–2023 гг. в центральной части Беларуси на 3-х почвенных разновидностях (согласно данным агроэкологической лаборатории БГСХА):

– дерново-подзолистая среднесуглинистая (далее по тексту ДПсугл) (Дзержинский район): с показателем кислотности pH_{KCl} – 5,6–6,4, содержанием гумуса 3,26–3,58 %, подвижного фосфора – 359,0–400,7 мг/кг, обменного калия – 307,4–320,2 мг/кг, оценка почвенного плодородия – 59 баллов;

– дерново-подзолистая связносупесчаная слабogleеватая (далее по тексту ДПсуп) (Червенский район): с показателем кислотности pH_{KCl} – 6,2–6,4, содержанием гумуса – 1,96–2,01 %, подвижного фосфора – 193,0–207,7 мг/кг, обменного калия – 237,7–267,5 мг/кг, оценка почвенного плодородия – 31 балл;

– торфяно-глеевая (далее по тексту ТБ) (Червенский район): с показателем кислотности pH_{KCl} 5,1, с содержанием подвижных форм фосфора (P_2O_5) – 271 мг/кг и калия (K_2O) – 246 мг/кг, мощность пахотного частично минерализованного горизонта 20 см, последующего торфяного слоя 30 см, оценка почвенного плодородия – 29 баллов.

Исследования проводились на раннеспелом сорте Припять, районированном в Республике Беларусь с 2006 г. Сорту характеризуется детерминантным типом роста и дружным созреванием. Предшественником на дерново-подзолистой среднесуглинистой почве были однолетние травы, на дерново-подзолистой связносупесчаной и торфяно-глеевой почвах – редька масличная на семена.

Общая площадь делянки во всех опытах составляла 12 м², учетная – 6,4 м², повторность – 3-кратная. Посев раннеспелого детерминантного сорта сои Припять проводили в оптимальные сроки (2021 г. – 7–10 мая, 2022 г. – 17–25 мая, 2023 г. – 10–14 мая) черезрядным способом (ширина междурядья 30 см) с нормой высева 0,4 млн/га.

На опытных участках применяли технологии возделывания, отличающиеся степенью интенсификации (по Кирюшину [6]): интенсивная (ИТ), нормальная (НТ), экстенсивная (ЭТ). В связи с особенностями культуры в ЭТ предусматривались некоторые элементы интенсификации – калийное удобрение K₉₀, применение почвенного гербицида Алгоритм (0,4 л/га). В НТ предусматривалось внесение минеральных удобрений в дозах N₃₀₊₁₀₊₈₀P₃₀K₉₀ (фосфорные – локально при посеве). В ИТ применялся более высокий уровень минеральных удобрений N₂₀₊₁₃₀P₆₀K₉₀ (фосфорные – сплошную перед посевом). В НТ и ИТ вносились более эффективные почвенные гербициды Гардо голд (4,0 л/га), Акрис (2,0–2,5 л/га) или по-всходовый гербицид Пульсар (0,75 л/га). В ИТ также дополнительно применялся фунгицид Пиктор Актив (0,4 л/га). Во всех вариантах опыта вносился по-всходовый противозлаковый гербицид Миура (1,0 л/га). Опыт проводился без участия клубеньковых бактерий.

Погодные условия за годы исследований значительно различались и оказывали существенное влияние на рост культурных растений, а также на эффективность действия гербицидов и засоренность посевов (табл. 1).

Наиболее теплообеспеченным был 2023 г., но и в другие годы сумма активных температур за период вегетации сои превышала требования раннеспелых сортов сои. Негативное влияние на развитие сои в 2022 г. оказали раннеосенние заморозки (9–11 сентября).

Условия влагообеспеченности в первой половине вегетации в 2021 г. можно охарактеризовать как засушливые (количество осадков за июнь–июль составило 69 мм) и благоприятные для сои во второй половине вегетации, когда за август выпало 100 мм осадков, что позволило растениям сохранить высокое количество семян в бобах и сформировать выполненные семена.

Несмотря на то, что в 2022 г. за период май–сентябрь выпало максимальное количество осадков (460 мм), данный год являлся наименее благоприятным по влагообеспеченности: большое количество осадков в мае существенно задержало сроки сева (особенно на дерново-подзолистой среднесуглинистой и торфяно-глеевой почвах), острая засуха в августе ухудшила условия формирования и налива семян. В 2023 г. при минимальном количестве осадков (293 мм) для сои сложились благоприятные условия как для формирования бобов (сумма осадков за июнь–июль 149 мм), так и для формирования семян (сумма осадков за август 85 мм), однако сентябрьская засуха ограничила налив семян.

Таким образом, 2022 г. можно охарактеризовать как неблагоприятный для возделывания сои, 2023 г. – как нормальный (равномерное распределение осадков за период вегетации сои), 2021 г. – как близкий к благоприятному (повышенное выпадение осадков во второй половине вегетации сои) (табл. 1).

**Характеристика погодных условий периода вегетации
в годы проведения исследований**

Месяц	Декада	Сумма активных температур, °С			Сумма осадков, мм			*ГТК		
		2021 г.	2022 г.	2023 г.	2021 г.	2022 г.	2023 г.	2021 г.	2022 г.	2023 г.
Май	I	84,5	83,5	75	14	0	15	–	–	0
	II	129	110,5	126	48	35	8	–	–	1,3
	III	145	115	145	2	65	0	–	–	1,1
Июнь	I	163,5	171	143	6	5	10	1,7	0	2,0
	II	180,5	170	196	20	15	50	3,7	3,2	0,6
	III	226,5	206	206	26	30	17	0,1	5,7	0
Июль	I	221,5	198	176	5	25	26	0,4	0,3	0,7
	II	248	160	195	0	40	13	1,1	0,9	2,5
	III	224	192	208	12	24	33	1,1	1,5	0,8
Август	I	173	212	204	28	3	65	0,2	1,3	1,5
	II	182	220	198	26	5	9	0	2,5	0,7
	III	161	229	224	46	1	11	0,5	1,3	1,6
Сентябрь	I	127	122	151	14	0	0	1,6	0,1	3,2
	II	115	97	160	54	65	10	1,4	0,2	0,5
	III	77,5	97	150	45	20	0	2,9	0	0,5
Сумма		2616	2529	2782	371	460	293	1,4	1,4	1,1

*ГТК – гидротермический коэффициент увлажнения Селянинова.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Главным критерием оценки пригодности почв для возделывания той или иной культуры является ее продуктивность. В наших опытах в среднем за три года при различных уровнях интенсификации возделывания на дерново-подзолистой среднесуглинистой почве получено от 21,5 до 36,5 ц/га семян сои, на дерново-подзолистой связносупесчаной почве – 8,8–18,4 ц/га.

В среднем за 2022–2023 гг. на дерново-подзолистой среднесуглинистой почве получено 17,5–36,2 ц/га семян сои в зависимости от интенсивности технологии возделывания, на дерново-подзолистой связносупесчаной почве – 6,7–19,4 ц/га, на торфяно-глеевой – 15,2–27,5 ц/га (табл. 2).

Схемой опыта предусматривалось, что на урожайность семян будут оказывать влияние следующие факторы: «погодные условия» (равные для всех опытных участков), «почвенные условия» (агрохимические и агрофизические свойства почв различных типов и разновидностей) и «технология возделывания» (уровень минерального питания, защита посевов от сорняков и болезней).

Дисперсионный анализ показал, что варьирование урожаев семян средне-раннего сорта Припять объяснялось погодными условиями на 46 %, почвенными условиями – на 33% и технологиями возделывания – на 21 %.

Таблица 2

Урожайность семян сои при различных уровнях интенсификации возделывания, ц/га

Техно- логия	2021 г.		2022 г.			2023 г.		
	ДПсугл*	ДПсуп	ДПсугл	ДПсуп	ТБ	ДПсугл	ДПсуп	ТБ
ИТ*	37,3	16,5	33,0	16,8	18,9	39,3	21,9	26,0
НТ	40,0	14,2	27,3	13,5	25,6	33,2	15,6	29,3
ЭТ	29,5	13,0	14,5	5,5	16,8	20,4	7,8	13,5
НСР ₀₅	4,2	3,1	2,7	2,3	3,4	3,4	2,7	3,1

*наименования технологий и разновидностей почв опытных участков приведены в тексте.

Установлено, что фактор «почвенные условия» оказывает следующее влияние на рост и развитие растений сои сорта Припять:

– на дерново-подзолистой связносупесчаной почве продолжительность вегетации уменьшилась по сравнению с дерново-подзолистой среднесуглинистой почвой на 14–18 дней, главным образом по причине сокращения периода налива семян после длительных засушливых периодов в летний период;

– на торфяно-глеевой почве по сравнению с дерново-подзолистой среднесуглинистой почвой продолжительность вегетации в 2022 г. сократилась на 12 дней по причине ранних осенних заморозков на опытном участке, в 2023 г. – на 11 дней из-за сокращения периода налива семян в условиях засухи в сентябре;

– растения сои на дерново-подзолистой среднесуглинистой почве достигали высоты 87–108 см и посевы ежегодно полегали при всех технологиях возделывания. На дерново-подзолистой связносупесчаной и торфяно-глеевой почвах высота растений к уборке составляла 37–57 см и 60–87 см соответственно, посевы были без полегания, либо частично полёгшими.

Засоренность посевов являлась важным фактором, лимитирующим урожайность сои при ЭТ. При этом, в условиях дерново-подзолистой связносупесчаной почвы при численности сорных растений в фазе цветения 33–70 шт./м² (с массой сухого вещества 24,6–90,0 г/м²) посевы сои обнаруживали острое азотное голодание, чего не было заметно в условиях дерново-подзолистой среднесуглинистой почвы даже при большей засоренности (36–76 шт./м² с массой сухого вещества 84,8–140,8 г/м²).

Также в связи с недостаточной эффективностью почвенных гербицидов урожайность семян на торфяно-глеевой почве в варианте с ИТ существенно уступала варианту с НТ, несмотря на более высокий уровень минерального питания.

Наименьшее влияние погодных условий на урожайность семян за годы исследований отмечено на дерново-подзолистой среднесуглинистой почве, где коэффициент вариации урожаев составил 26,1 %. На дерново-подзолистой связносупесчаной почве данный показатель достиг 34,9 %. Коэффициент вариации урожайности для торфяно-глеевой почвы не рассчитывался ввиду двухлетних данных, но на этом типе почв прослеживаются довольно высокая стабильность урожаев в варианте с НТ, где эффективность борьбы с сорняками была наилучшей.

Дерново-подзолистые среднесуглинистые почвы обладают высокими влагоёмкостью и запасом элементов питания, что обеспечивает не только получение высокого потенциала продуктивности в благоприятные годы, но и снижает негативное воздействие

стрессоров (засуха, сорняки). В наших опытах на данной разновидности почв масса 1000 семян сорта Припять достигала 154–177 г и была в 1,2–1,3 раза выше, чем на дерново-подзолистой связносупесчаной почве. Расчеты показали, что на данной разновидности почвы условия влагообеспеченности в августе (период формирования и начала налива семян) оказывают существенное влияние на урожайность сои. Так, в вариантах с ИТ и НТ отмечена тесная корреляция между урожайностью и количеством выпавших осадков за август ($r = 0,80 \dots 0,89$), в то время как с суммой осадков за весь вегетационный период урожайность оказалась малосвязанной ($r = -0,37$). Поэтому на данном типе почв перспективно возделывание более позднеспелых сортов, которые формируют большее количество семян на единице площади и в годы с высокой теплообеспеченностью обладают наибольшей продуктивностью.

На дерново-подзолистой связносупесчаной почве в вариантах ИТ и НТ за три года исследований был получен практически равный урожай семян 13,5–15,6 ц/га за исключением варианта ИТ в 2023 г. (урожайность 21,9 ц/га). На данной разновидности почвы отмечается тесная зависимость урожайности семян от количества выпавших осадков только при ЭТ (за август $r = 0,83$, за август – II декаду сентября $r = 0,93$), тогда как при других технологиях корреляция составляла $r = 0,31 \dots 0,65$. Кроме того, ввиду низкой влагоемкости и небольшого корнеобитаемого слоя почвы у дерново-подзолистой связносупесчаной слабоглееватой почвы существенное влияние на урожайность оказывают стрессы (почвенная засуха даже при кратковременном отсутствии дождей, возможно наличие подвижного алюминия в почве).

Торфяно-глеевые почвы отличаются высокой влагоемкостью, в следствие чего в наших опытах в вариантах с НТ, где была достигнута наилучшая эффективность защиты посевов от сорняков, на данном типе почвы получена урожайность семян от 25,6 ц/га в засушливом 2022 г. до 29,3 ц/га в более благоприятном 2023 г.

Простым показателем, характеризующим уровень плодородия почвы применительно для конкретной культуры, является цена 1 балла пашни. В наших опытах на наиболее плодородной дерново-подзолистой среднесуглинистой почве в вариантах с ИТ, НТ и ЭТ в среднем получено 62, 57 и 36 кг семян сои на 1 балл плодородия почвы, на дерново-подзолистой связносупесчаной почве получено 59, 46 и 28 кг/балл, на торфяно-глеевых почвах – 77, 94 и 52 кг/балл (табл. 3).

Таблица 3

Цена 1 балла пашни при различных уровнях интенсификации возделывания сои, кг семян/балл

Техно-логия	2021 г.		2022 г.			2023 г.		
	ДПсугл	ДПсуп	ДПсугл	ДПсуп	ТБ	ДПсугл	ДПсуп	ТБ
ИТ	63	53	56	54	65	67	71	90
НТ	68	46	46	44	88	56	50	101
ЭТ	50	42	25	18	58	35	25	47

Обращает внимание, что как в резко засушливом 2022 г., так и в более благоприятном 2023 г. окупаемость 1 балла у минеральных дерново-подзолистой среднесуглинистой почвы и дерново-подзолистой связносупесчаной почвы при ИТ и НТ была практически равной. При экстенсивных технологиях наибольшая окупаемость 1 балла пашни была получена на дерново-подзолистой среднесуглинистой почве, особенно в засушливом 2022 г.

Максимальная окупаемость 1 балла пашни урожаем семян сои получена на торфяно-глеевых почвах. Высокая влагоемкость, позволяющая эффективно использовать выпадающие осадки, а также высокое количество минерализованного азота, доступного для растений сои во второй половине лета, позволяют получать до 100 кг семян на 1 балл пашни при уровне интенсификации соответствующем НТ.

ВЫВОДЫ

Почвенно-климатические условия центральной части Беларуси по условиям теплообеспеченности (сумма активных температур 2500–2800 °С) позволяют выращивать раннеспелые сорта сои с потенциалом продуктивности до 40 ц/га.

Дерново-подзолистые среднесуглинистые почвы с уровнем кислотности $pH > 5,6$ и с индексом окультуренности выше 0,9 являются высокопригодными для возделывания сои. Потенциал продуктивности сорта Припять при ИТ и НТ составляет от 27 ц/га (засушливый год) до 33–40 ц/га (нормальный и благоприятный год). Цена 1 балла пашни составляет 46–56 кг семян в засушливый год и 68 кг семян – в благоприятный год. Урожайность семян ограничивается засоренностью при неудовлетворительной эффективности гербицидов и развитием болезней при отказе от внесения фунгицидов. При избыточном выпадении осадков в период прорастания семян и развития всходов возможно сильное фитотоксическое действие почвенных гербицидов.

Дерново-подзолистые связносупесчаные слабogleеватые почвы с уровнем кислотности $pH > 6,2$ и с индексом окультуренности выше 0,9 являются мало пригодными для возделывания сои. Потенциал продуктивности сорта Припять при ИТ и НТ составляет от 13,5 ц/га (засушливый год) до 15,6–21,9 ц/га (нормальный и благоприятный год). Цена 1 балла пашни в засушливый год составляет 44–54 кг семян и в благоприятный год – 50–71 кг семян. Урожайность семян ограничивается дефицитом влаги в период цветения – формирования бобов (июль–август).

Торфяно-глеевые почвы с уровнем кислотности $pH > 5,1$ и индексом окультуренности выше 0,5 являются пригодными для возделывания сои. Потенциал продуктивности сорта Припять при ИТ и НТ составляет от 25 ц/га (засушливый год) до 29 ц/га (нормальный год). Цена 1 балла пашни семян в засушливый год составляет 88 кг и в нормальный год – 90–101 кг семян. Урожайность семян существенно ограничивается засоренностью при неудовлетворительной эффективности гербицидов.

В климатических условиях центральной части Беларуси на дерново-подзолистых среднесуглинистых почвах для более полного использования ресурсов тепла и влаги перспективно возделывание более продуктивных среднеспелых сортов сои. Ввиду опасности раннеосенних заморозков на торфяно-глеевых почвах целесообразно возделывание ранних и раннеспелых сортов сои. На дерново-подзолистых связносупесчаных почвах возможно возделывание только высокоадаптивных сортов сои.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Агроэкологическая оценка земель, проектирование адаптивно-ландшафтных систем земледелия и агротехнологий: методическое руководство ; под ред. В. И. Кирюшина и А. Л. Иванова. – М. : Росинформагротех, 2005. – 784 с.

2. Азарёнок, Т. Н. Территориальные особенности размещения посевов и анализ урожайности сои в Республике Беларусь / Т. Н. Азарёнок, О. В. Матыченкова, О. В. Дыдышко [и др.] // Почвоведение и агрохимия. – 2024. – № 1. – С. 7–12.

3. Богатырев, Л. Г. Оценка почвы земель (основные показатели и критерии): монография / Л. Г. Богатырёв и др. – М. : Макспресс, 2017. – 192 с.

4. Глазунов, Г. П. Структура базы данных агроэкологической оценки земель / Г. П. Глазунов, Н. В. Афонченко, А. И. Санжаров // Достижения науки и техники АПК. – 2015. – № 8. – С. 72–76.

5. Зеленцов, С. В. Некоторые аспекты устойчивости растений к отрицательным температурам на примере сои и масличного льна / С. В. Зеленцов // Масличные культуры. – 2018. – № 2. – С. 55–70.

6. Кирюшин, В. И. Методология комплексной оценки сельскохозяйственных земель / В. И. Кирюшин // Почвоведение. – 2020. – № 7. – С. 871–879.

7. Организационно-технологические нормативы возделывания зерновых, зернобобовых, крупяных культур, технических и кормовых растений: сб. отрасл. регл. / РУП «Научно-практический центр НАН Беларуси по земледелию». – Минск : ИВЦ Минфина, 2022. – 530 с.

8. Рожков, В. А. Опыт разработки национальной системы оценки пригодности земель // Бюл. почв. ин-та. – 2014. – № 76. – С. 33–51.

9. Цытрон, Г. С. Агропроизводственная группировка почв Беларуси по их пригодности для возделывания основных сельскохозяйственных культур / Г. С. Цытрон, Л. И. Шибут // Почвоведение и агрохимия. – 2010. – № 2. – С. 7–18.

THE INFLUENCE OF TECHNOLOGY INTENSIFICATION ON THE ASSESSMENT OF SOIL SUITABILITY FOR SOYBEAN CULTIVATION

V. A. Radounya, V. N. Khaletsky, T. N. Azaronak, O. V. Matychenkova

Summary

Three intensification options were used (intensive, normal and extensive technologies) for assessing the suitability of soils for soybean cultivation. The research was conducted in the climatic conditions of the central part of Belarus in 2021–2023. It was found that the most suitable for soybean cultivation are sod-podzolic medium loamy soils with a productivity potential of 27–40 c/ha under normal and intensive technologies, peat-gley soils (25–29 c/ha) are suitable, and sod-podzolic cohesive loamy soils (15,6–21,9 c/ha) are not suitable. The average price of 1 point of arable land on mineral soils with intensive and normal technologies was 46–62 kg, with extensive technology – 28–36 kg; on peat-gley soil – 77–94 kg and 52 kg respectively.

Поступила 28.10.24

ФОРМИРОВАНИЕ ПОЧВОЗАЩИТНЫХ КОМПЛЕКСОВ НА ПОЧВАХ РАЗНОЙ СТЕПЕНИ ЭРОЗИОННОЙ ОПАСНОСТИ

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

¹Институт почвоведения и агрохимии, г. Минск, Беларусь

²Национальная академия наук Беларуси, г. Минск, Беларусь

ВВЕДЕНИЕ

Наиболее масштабным видом деградации почв на сельскохозяйственных землях Беларуси является эрозия. Вклад водной эрозии в разрушение почв составляет 56 %, дефляции – 28 %, а химической и физической – 12 и 4 % соответственно [1].

Всего в республике эрозии почв подвержено 473,3 тыс. га сельскохозяйственных земель, которые приурочены в основном к пахотным землям (361,7 тыс. га). Наибольшие площади эродированных почв сконцентрированы в Витебской, Гродненской, Минской и Могилевской областях [2].

Проявление эрозии обусловлено совокупным влиянием многих природных и антропогенных факторов и в значительной степени зависит от способности самой почвы противостоять воздействию дождевых капель и водному потоку. На территории Республики Беларусь средние темпы увеличения площади эродированных пахотных земель при традиционном ведении сельского хозяйства, а не почвозащитном земледелии составляют 139,4 га в год [3, 4].

Смыв гумуса и элементов минерального питания, ухудшение водно-физических и биологических свойств эродированных почв приводят к снижению их плодородия и производительной способности. Установлено, что в результате эрозионных процессов приводят к потерям до 240,0 кг/га гумуса, до 10,0 кг/га подвижного фосфора и калия [5].

В условиях Беларуси средние недоборы урожая зерновых культур и рапса составляют на слабоэродированных почвах до 15 %, среднеэродированных – до 30 %, сильноэродированных – до 45 %, пропашных культур – 20, 40, 60 соответственно, многолетних трав – 5, 18, 30 % [6–8].

Главным фактором, обуславливающим необходимость формирования почвозащитных комплексов на эродированных почвах, является экономическая целесообразность их применения. Ущерб от эрозионной деградации в отдельных районах республики составляет несколько миллионов рублей, достигая максимума (более 5 млн руб.) в Мстиславском районе Могилевской области [1].

В республике ранее разработаны различные элементы противоэрозионных систем земледелия, установлены почвозащитные коэффициенты культур и обработок почвы, предложены агротехнологические группировки эродированных почв. При этом следует отметить, что недостаточно полно раскрыт вопрос формирования почвозащитных комплексов в производственных условиях.

Цель исследований – обобщение и актуализация всех ранее предложенных противоэрозионных мер, и разработка универсального практикоориентированного подхода в формировании почвозащитных комплексов для склоновых земель.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Объектом исследований выступали эродированные супесчаные и суглинистые почвы сельскохозяйственных земель республики. В качестве исходных материалов использовались результаты научно-исследовательских работ лаборатории агрофизических свойств и защиты почв от эрозии Института почвоведения и агрохимии за период 1996–2022 гг. В ходе работы применялся комплекс аналитических методов, в том числе методы экспертных оценок и математической статистики. Прогнозирование интенсивности эрозионных процессов выполнено согласно методическим указаниям [9].

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В исследованиях, ранее проведенных в лаборатории агрофизических свойств и защиты почв от эрозии, были определены почвозащитные коэффициенты сельскохозяйственных культур, обработок почвы, систем удобрения, а также их комплексов. Установлено, что наиболее эффективным способом минимизации негативного влияния эрозии является насыщение севооборотов многолетними травами и применение безотвальных чизельных обработок на глубину 30–35 см [10–12].

На основании этих данных проведены агротехнологические группировки и разработаны рекомендации. Наиболее полными и научно обоснованными являются группы земель, предложенные А.Ф. Чернышом, основные принципы выделения которых следующие: степень эрозионной деградации, особенности рельефа и количественные показатели. Выделенные группы являются основой адаптивно-ландшафтного подхода в противоэрозионной организации территории [13–14]. Однако следует отметить две ключевые проблемы в активном использовании их на практике. Первая заключается в трудности выделения групп для специалиста без достаточного уровня подготовки в сфере почвоведения, эрозиоведения или географии почв, а также высокий уровень мозаичности почвенного покрова склоновых земель (рис. 1).

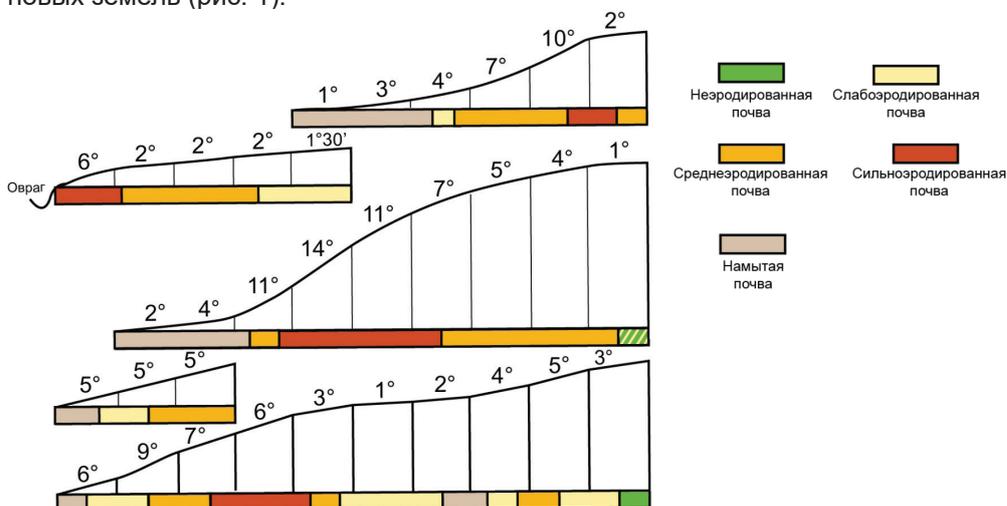


Рис. 1. Распределение почв разной степени эродированности на склонах различной формы [4 с доработкой авторами]

Как видно из рисунка 1, на склонах зачастую происходит чередование почв различной степени эродированности, что делает выделение агротехнологических групп затруднительным.

Второй проблемой применения групп является устоявшаяся практика ведения растениеводства в республике: выделенные в хозяйствах элементарные и рабочие участки включают почвы различной степени эродированности в различных пропорциях.

Для решения данных проблем на основании почвозащитных способностей сельскохозяйственных культур и количественных показателей потенциальных потерь почвы предлагается группировка эродированных почв по степени эрозионной опасности (табл.1).

Таблица 1

Коэффициенты почвозащитной способности (K_3) сельскохозяйственных культур

Группы культур	Сельскохозяйственные культуры	K_3
Зябь	Без посевов	0,00
Пропашные	Картофель, сахарная свёкла, кукуруза, корнеплоды	0,08
Яровые зерновые, зернобобовые, яровой рапс	Яровая пшеница, яровой ячмень, яровое тритикале, овес, горох, люпин, яровой рапс	0,36
Однолетние травы	Горохо-, пелюшко-овсяные смеси	0,36
Озимые зерновые и рапс	Озимая рожь, озимая пшеница, озимое тритикале, озимый ячмень, озимый рапс	0,89
Многолетние травы 1-го года пользования	Клевер, люцерна, галега, бобово-злаковые травосмеси	0,92
Многолетние травы второго и последующих годов пользования	Клевер, люцерна, галега, бобово-злаковые травосмеси	0,98

Ключевым параметром группировки является минимизация интенсивности эрозионных процессов до предельно допустимого уровня 2,0 т/га в год [15].

Для разделения пахотных склоновых земель по степени эрозионной опасности использован показатель суммарной доли средне- и сильноэродированных почв на территории рабочего участка, поскольку именно на этих почвах наиболее затруднительно достижение допустимых показателей смыва почвы. Расчеты потенциального смыва моделировались с условием комбинирования в почвенном покрове незэродированных и слабоэродированных почв (потенциальный смыв 2,5 т/га) и средне- и сильноэродированных (потенциальный смыв 12,5 т/га) для зяби и различных почвозащитных севооборотов.

В результате расчетов потенциального смыва почвы установлены три степени эрозионной опасности земель и критерии их выделения (табл. 2).

На землях, характеризующихся низкой эрозионной опасностью, возможно возделывание пропашных культур и кукурузы, однако оптимальным является исключение их из севооборотов. Поскольку данные культуры не только способствуют развитию водно-эрозионных процессов, но обуславливают смещение и разрушение плодородного горизонта в ходе основной обработки почвы [3, 4, 16], а также приводят к потерям почвы в ходе уборки урожая, которые достигают 2,2 т/га для картофеля и до 5,0 т/га для сахарной свеклы [17].

Таблица 2

Степени эрозионной опасности земель и критерии их выделения

Степень эрозионной опасности	Доля незэродированных и слабоэродированных почв, %	Доля средне- и сильно-эродированных почв, %	Культуры, допустимые для возделывания
Низкая	90–100	0–10	все*
Средняя	40–89	11–60	все, кроме пропашных и кукурузы
Высокая	менее 40	более 60	многолетние травы с минимальной долей зерновых, рапса и однолетних трав

* допустимы все группы культур, однако оптимальным для защиты почвы от эрозионной деградации является исключение пропашных культур.

При использовании почвозащитных обработок почвы возможно несколько улучшить почвозащитный эффект агрофона и допустить увеличение доли средне- и сильноэродированных почв в критерии определения эрозионной опасности, однако применение безотвальных чизельных обработок на глубину 30–35 см на территории республики ограничено, поэтому использование их при прогнозировании потенциального смыва лишено смысла.

Наибольшее распространение на склоновых землях из культур, обладающих низкой почвозащитной способностью, имеют сахарная свёкла и кукуруза. И, если возделывание первой обусловлено высокой рентабельностью и необходимостью получения сырья для сахарной промышленности, то на ограничение возделывания второй указывают не только защита почвы от деградации, но экономические факторы. Эколого-экономический ущерб при возделывании многолетних трав меньше, чем от кукурузы [1, 5], урожайность многолетних бобовых трав на склоновых землях выше [18, 19], а себестоимость ниже [19, 20]. Единственная причина допустимости возделывания кукурузы на эродированных почвах это то, что наряду с бобовыми травами, кукуруза является основой кормовой базы для животноводства, т. к. первые обогащают рацион белком, а вторая – углеводами, энергией, без которых ухудшается использование протеина [19]. Следует отметить, что наиболее

рациональным путем решения этой проблемы является увеличение урожайности кукурузы и размещение её посевов преимущественно на незероэродированных почвах.

На основании почвозащитной способности культур и предложенной градации земель по степени эрозионной опасности разработаны примерная структура посевных площадей (табл. 3).

Норматив почвозащитной способности севооборота (H_{30}) для земель с низкой степенью эрозионной опасности должен быть 0,44 и менее в зависимости от доли средне- и сильноэродированных почв, для земель со средней – 0,45–0,78, с высокой – 0,79 и выше.

На основании проведенных исследований и литературных данных [11, 21] предлагаем типовые почвозащитные комплексы севооборотов и обработок почвы для земель разной степени эрозионной опасности (табл. 4).

Таблица 3

Структуры посевных площадей и их допустимость на землях разной степени эрозионной опасности

Соотношение культур, %					Степень эрозионной опасности земель
Пропашные, кукуруза	Яровые зерновые, зернобобовые и рапс	Озимые зерновые и рапс	Однолетние травы	Многолетние травы	
33,3	33,3	33,3	0,0	0,0	низкая*
33,3	16,7	33,3	16,7	0,0	низкая
33,3	16,7	16,7	16,7	16,7	низкая
16,7	16,7	33,3	33,3	0,0	низкая
0,0	16,7	50,0	33,3	0,0	средняя
0,0	33,3	50,0	16,7	0,0	средняя
0,0	33,3	33,3	16,7	16,7	средняя
0,0	16,7	33,3	16,7	33,3	средняя
0,0	0,0	50,0	33,3	16,7	средняя
0,0	16,7	50,0	16,7	16,7	средняя
0,0	16,7	33,3	16,7	33,3	средняя
0,0	0,0	33,3	0,0	33,3	высокая
0,0	16,7	16,7	0,0	66,6	высокая
0,0	16,7	0,0	0,0	83,3	высокая
0,0	0,0	16,7	0,0	83,3	высокая

* на землях низкой эрозионной опасности можно также использовать структуры, рекомендованные для земель средней и сильной степени опасности, а на землях средней – сильной.

**Типовые почвозащитные комплексы для земель,
разной степенью эрозионной опасности**

Тип севооборота	Чередование культур в севообороте	Прием обработки почвы под культуру	Система обработки в севообороте
Земли с низкой эрозионной опасностью			
Зерно-травяно-пропашной	1. Озимая пшеница + поживные	Безотвальная, минимальная	Отвально-безотвальная
	2. Картофель	Отвальная вспашка	
	3. Яровой ячмень + поживные	Безотвальная, минимальная	
	4. Кукуруза на зеленую массу	Отвальная вспашка	
	5. Озимая тритикале + поживные	Отвальная вспашка	
	6. Пелюшко-овсяная смесь на зеленую массу	Безотвальная, минимальная	
Зерно-пропашной	1. Озимый рапс на семена	Безотвальная, минимальная	Отвально-безотвальная
	2. Сахарная свёкла	Отвальная вспашка	
	3. Овес	Безотвальная, минимальная	
	4. Озимая рожь + поживные	Безотвальная, минимальная	
	5. Кукуруза на зерно	Отвальная вспашка	
	6. Озимая рожь на зеленую массу + поукосные	Безотвальная, минимальная	
Земли со средней эрозионной опасностью			
Зерно-травяной	1. Озимая тритикале	Безотвальная, минимальная	Безотвально-отвальная
	2. Овес с подсевом бобово-злаковых трав	Безотвальная, минимальная	
	3–4. Бобово-злаковые травы	–	
	5. Озимая пшеница + поживные	Отвальная вспашка	
	6. Пелюшко-овсяная смесь на зеленую массу	Безотвальная, минимальная	
	Зерно-травяной	1. Озимая рожь + поживные	
2. Яровой ячмень с подсевом многолетних трав		Отвальная вспашка	
3–4. Бобово-злаковые травы		–	
5. Озимая пшеница		Отвальная вспашка	
6. Горох (пелюшка) с овсом на зеленую массу		Безотвальная, минимальная	

Продолжение таблицы 4

Тип севооборота	Чередование культур в севообороте	Прием обработки почвы под культуру	Система обработки в севообороте
Земли с высокой эрозионной опасностью			
Травяно-зерновой	1. Озимая рожь с подсевом многолетних бобовых трав	Отвальная вспашка	Отвальная
	2–6. Многолетние бобовые травы	–	
Травяно-зерновой	1. Озимая рожь с подсевом многолетних бобово-злаковых трав	Безотвальная, минимальная	Безотвально-отвальная
	2–3 Многолетние Бобово-злаковые травы	–	
	4. Озимая пшеница	Отвальная вспашка	
	5. Горох (пелюшка) с овсом на зеленую массу	Безотвальная, минимальная	
	6. Озимый ячмень	Безотвальная, минимальная	

Как указывалось ранее, с повышением степени эрозионной опасности рекомендуется увеличение доли озимых и многолетних трав, исключение пропашных культур в севооборотах, а также, по возможности, применение минимальных обработок почвы.

ВЫВОДЫ

Установление степени эрозионной опасности почв склоновых пахотных земель базируется на учете удельного веса средне- и сильноэродированных почв и величины потенциального смыва почвенного мелкозема в результате эрозионных процессов.

Структура посевных площадей и типы почвозащитных севооборотов определяются на основе расчетов потенциальных потерь почвы при различном сочетании культур. Для снижения потерь почвы до предельно допустимого уровня, при формировании почвозащитного комплекса на эрозионноопасных землях необходимо учитывать потенциальную интенсивность эрозии, порядок чередования сельскохозяйственных культур в севообороте, характер основной обработки почвы и возможность её минимизации.

На землях с низкой эрозионной опасностью допустимо возделывать все группы сельскохозяйственных культур, на землях со средней степенью необходимо исключать из севооборота пропашные, а на землях с сильной – максимизировать долю многолетних трав.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Оценка и прогноз эколого-экономического ущерба в результате эрозии почв (на примере Мстиславского района) / А. М. Устинова, В. Б. Цырибко, И. А. Логачев [и др.] // Почвоведение и агрохимия. – 2023. – № 2(71). – С. 24–33.

2. Почвы сельскохозяйственных земель Республики Беларусь: практ. пособие; под ред. Г. И. Кузнецова, Н.И. Смяна. – Минск : Оргстрой, 2001. – 432 с.
3. Заславский, М. Н. Эрозиоведение : учебник для студентов геогр. и почв. спец. вузов / М. Н. Заславский. – М. : Высшая школа, 1983. – 320 с.
4. Жилко, В. В. Эродированные почвы Белоруссии и их использование / В. В. Жилко. – Минск : Ураджай, 1976. – 168 с.
5. Методика оценки и прогноза эколого-экономических потерь в результате эрозии почв на основе определения утраченного почвенного плодородия, прямых потерь продукции и снижения экономических результатов производства / В. Б. Цырибко, А. М. Устинова, С. А. Касьянчик [и др.] ; Нац. акад. наук Беларуси, Ин-т почвоведения и агрохимии. – Минск : Институт системных исследований в АПК НАН Беларуси, 2024. – 24 с.
6. Система нормативных показателей для прогноза и оценки эколого-экономических потерь в результате эрозионных процессов / А. М. Устинова, В. Б. Цырибко, И. А. Логачев [и др.] // Почвоведение и агрохимия. – 2023. – № 1(70). – С. 7–15.
7. Продуктивность однолетних и многолетних трав на дерново-подзолистых почвах разной степени эродированности (результаты длительных полевых опытов) / Н. Н. Цыбулько, А. М. Устинова, А. В. Юхновец [и др.] // Почвоведение и агрохимия. – 2022. – № 1(68). – С. 31–39.
8. Влияние эродированности дерново-подзолистых почв на продуктивность сельскохозяйственных культур (результаты длительных полевых опытов) / Н. Н. Цыбулько, А. М. Устинова, А. В. Юхновец [и др.] // Почвоведение и агрохимия. – 2021. – № 2(67). – С. 7–17.
9. Методические указания по прогнозированию водно-эрозионных и дефляционных процессов на обрабатываемых землях Беларуси / Ин-т почвоведения и агрохимии. – Минск, 2006. – 44 с.
10. Нормативные требования к использованию различных типов земель, основанные на почвозащитной способности возделываемых культур, систем удобрения и приемов обработки почвы, в репрезентативных районах трех почвенно-экологических провинций Беларуси в зависимости от агроэкологического состояния земель / Н. Н. Цыбулько, А. М. Устинова, В. Б. Цырибко [и др.] ; Нац. акад. наук Беларуси, Ин-т почвоведения и агрохимии. – Минск : Институт системных исследований в АПК НАН Беларуси, 2020. – 28 с.
11. Типовые ресурсосберегающие и почвозащитные системы севооборотов и структуры посевных площадей, адаптированные к районам проявления эрозии и избыточного увлажнения почв на основе агроэкологической оценки земель / Н. Н. Цыбулько, Т. Н. Азаренок, Л. И. Шибут [и др.]; Нац. акад. наук Беларуси, Ин-т почвоведения и агрохимии. – Минск : Институт системных исследований в АПК НАН Беларуси, 2020. – 19 с.
12. Цыбулько, Н. Н. Противоэрозионная эффективность основной обработки почв / Н. Н. Цыбулько // Земледелие и защита растений. – 2018. – № 5(120). – С. 6–12.
13. Черныш, А. Ф. Экологически безопасное использование эрозионноопасных земель / А. Ф. Черныш, В. А. Горкунов, А. Э. Дубовик // Почвенные исследования и применение удобрений. – 2004. – Вып. 28. – С. 34–50.
15. Методические указания по проектированию почвозащитной системы земледелия с контурно-мелиоративной организацией территории в разных ландшафтных зонах Республики Беларусь / Ин-т почвоведения и агрохимии, Белорус. гос. проект.

ин-т по землеустройству, Белорус. гос. ун-т; под общ. ред. А. Ф. Черныша. – Минск, 1997. – 43 с.

16. Деградация почв сельскохозяйственных земель Беларуси: виды и количественная оценка / А. Ф. Черныш, А. М. Устинова, В. Б. Цырибко [и др.] // Почвоведение и агрохимия. – 2016. – № 2(57). – С. 7–18.

17. Tillage erosion: a review of controlling factors and implications for soil quality / K. Van Oost, G. Govers, S. De Alba [et al.] // Progress in Physical Geography Earth and Environment – 2006. – № 2. – P. 443–466.

18. Panagos, P. Soil loss due to crop harvesting in the European Union: A first estimation of an underrated geomorphic process / P. Panagos, P. Borrelli, J. Poesen // Science of the Total Environment – 2019. – № 664. – P. 487–498.

19. Логачёв, И. А. Влияние агрофизических и агрохимических свойств на противозерозионную стойкость дерново-подзолистых почв, сформированных на лессовидных и моренных суглинках : автореф. дис. ... канд. с.-х. наук : 06.01.03 / Логачёв Илья Александрович ; Ин-т почвоведения и агрохимии. – Минск, 2024. – 22 с.

20. Тиво, П. Ф. Урожайность многолетних трав и кукурузы в Поозерье / П. Ф. Тиво, Л. А. Саскевич, Е. А. Бут // Земледелие и защита растений. – 2018. – № 3. – С. 3–7.

21. Шундалов, Б. М. Системная интенсификация производства и себестоимость продукции кормовых культур / Б. М. Шундалов // Аграрная экономика. – 2020. – № 7. – С. 59–72.

22. 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, А. Н. Червань, А. М. Устинова [и др.] ; Нац. акад. наук Беларуси, Ин-т почвоведения и агрохимии. – Минск: Институт системных исследований в АПК НАН Беларуси, 2020. – 47 с.

FORMATION OF SOIL PROTECTION COMPLEXES ON SOILS WITH VARYING DEGREES OF EROSION HAZARD

V. B. Tsyrybka, H. M. Ustsinava, I. A. Lahachou,
A. V. Yukhnovets, S. A. Kasyanchik

Summary

The article presents criteria for establishing the degree of erosion hazard and principles for forming soil protection systems on erosion-hazardous lands. Determining the degree of erosion hazard is based on considering the component composition of moderately and highly eroded soils and the amount of potential loss of fine soil as a result of erosion processes. The structure of sown areas and types of soil protection crop rotations are determined based on calculations of potential soil losses with different crop rotation options.

Based on the conducted research, it has been established that on lands with low erosion hazard, it is permissible to cultivate all groups of agricultural crops, on lands with an average degree, it is necessary to exclude row crops from crop rotation, and on lands with a strong degree, the share of perennial grasses should be maximized

Поступила 18.11.24

ПРИМЕНЕНИЯ ГЕОСТАТИСТИЧЕСКОГО ПОДХОДА ПРИ УЧЕТЕ ВНУТРИПОЛЬНОЙ НЕОДНОРОДНОСТИ ПОЧВЕННОЙ КИСЛОТНОСТИ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ИЗВЕСТКОВАНИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ЗЕМЕЛЬ

М. В. Воробей, А. Л. Киндеев

Белорусский государственный университет, г. Минск, Беларусь

ВВЕДЕНИЕ

В Беларуси при проведении агрохимических обследований сельскохозяйственных земель с одного элементарного участка обычно берут 20–35 проб, суммарная масса которых составляет 0,6 кг, на их основе формируется смешанный образец [1]. Этот подход широко применялся во второй половине XX века, когда в стране проводились масштабные почвенные и агрохимические исследования. В результате таких работ было установлено, что 83,0 % пахотных земель требуют известкования. В течение последующих 40 лет в почвы Беларуси было внесено около 150 млн т CaCO_3 , что в среднем составило 15–20 т/га. К концу 2010-х годов лишь 5,2 % пахотных земель имели уровень pH ниже 5,0 [2]. Однако в дальнейшем государственное финансирование на мероприятия по химической мелиорации сократилось, и за последние 10–15 лет достигнутый результат стал постепенно снижаться. В настоящее время вновь возникает необходимость проведения таких работ, но с применением современных технологий, включающих методы точного земледелия, дистанционного зондирования и геоинформационных систем.

С 2014 по 2023 гг. площадь сельскохозяйственных земель в Беларуси сократилась с 8726,4 тыс. га до 8036,3 тыс. га [3, 4], что отражает значительные изменения в землепользовании, вызванные процессами урбанизации, индустриализации и природоохранными мерами. В этих условиях обеспечение продовольственной безопасности требует повышения эффективности использования оставшихся сельскохозяйственных угодий. Одним из ключевых направлений для этого является увеличение урожайности, что можно достичь за счёт рационального управления земельными ресурсами. Внедрение методов геостатистики, позволяющих моделировать и анализировать пространственную неоднородность почвенных свойств, может существенно помочь в этом процессе. Такие методы дают возможность более точно определить участки с различными потребностями в удобрениях и корректировке кислотности, что способствует оптимизации агротехнологических мероприятий и повышению продуктивности сельского хозяйства.

Кислотность почвы является одним из ключевых показателей ее плодородия, оказывая значительное влияние на состояние почвенной среды, рост и развитие сельскохозяйственных культур. Она играет важную роль в определении доступности питательных веществ для растений, так как уровень кислотности напрямую влияет на усвояемость различных микро- и макроэлементов. При слишком высоких или низких значениях pH некоторые элементы, такие как фосфор, кальций и магний, могут стать менее доступными для корневой системы растений, что снижает эффективность использования удобрений [5]. Таким образом, правильное управление кислотностью почвы является важным фактором для повышения продуктивности сельского хозяйства.

Одним из современных подходов к анализу пространственного распределения агрохимических свойств, в том числе и почвенной кислотности, на локальном уровне является использование методов геостатистики, как одной из технологий точного земледелия. Геостатистика представляет собой аналитический инструмент, основанный на теории вероятностей, который позволяет моделировать пространственные и временные процессы, описывая их с помощью математико-статистических показателей. Такой подход дает возможность выявлять закономерности распределения данных и проводить их классификацию, что способствует наиболее точному прогнозированию и интерпретации результатов.

Интерполяционные поверхности, полученные при применении методов геостатистики представляют собой наименьшую несмещенную погрешность [6], т. е. прогноз имеет минимальные ошибки. Использование таких картограмм вместе с точным позиционированием сельскохозяйственной техники позволяет вносить средства химизации с минимальными расходами на проведения химической мелиорации, в том числе и известкования. При этом работ в данной области в Республике Беларусь проводится недостаточно для того, чтобы говорить о повсеместном переходе на такие системы земледелия. Исходя из чего, целью данного исследования является анализ целесообразности применения геостатистического подхода при учете внутрипольной неоднородности почвенной кислотности при проведении известкования.

Преобладающее количество исследований в области применения геостатистических методов для моделирования свойств почвенного покрова проводится за рубежом – в Европе, Америке, Азии и Австралии. В то же время в России и Беларуси использование этих методов остается ограниченным, что затрудняет переход на системы точного земледелия. Тем не менее, любые работы в этом направлении, проводимые в отечественном почвоведении, имеют существенный научный и практический потенциал, способствуя развитию аграрного сектора.

МЕТОДЫ И ОБЪЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Объектом исследования являются почвы рабочего участка, находящегося вблизи деревни Милевцы, ОАО «Кошелево-Агро» Новогрудского района Гродненской области. Предметом исследования является внутрипольная неоднородность почвенной кислотности. Почвы не однородны по типу и генезису почвообразующих пород: дерново-подзолистые и дерново-подзолистые заболоченные, большая часть рабочего участка моренного происхождения, однако северо-западная часть имеет лессовидное подстиление, также присутствуют мелко-контурные ареалы дерново-карбонатных почв. По гранулометрическому составу, на большей части территории, преобладают связно-супесчаные почвы, среднее содержание гумуса – 1,5 %. Участок расположен на склоне и имеет сложный рельеф, перепад высот составляет 38 м, общая площадь – 180,7 га.

В целях изучения целесообразности учета внутрипольной неоднородности кислотности использовались картограмма кислотности почв и почвенная карта М 1 : 10 000, полученные по запросу в ОАО «Кошелево-Агро». Также в ходе работы с помощью таблицы 1 были рассчитаны возможные затраты на проведение известкования по установленному в Республике Беларусь агрохимическому обследованию сельскохозяйственных земель и геостатистическому методу.

Дозы известковых мелиорантов (т/га CaCO₃) для известкования кислых почв пахотных земель (фрагмент) [7]

Группы почв	Содержание гумуса, %	рН солевой вытяжки					
		≤ 4,25	4,26–4,50	4,51–4,75	4,76–5,00	5,01–5,25	5,26–5,50
Песчаные	≤ 1,5	5,0	4,5	4,0	3,5	3,0	2,5
	1,51–3,0	5,5	5,0	4,5	4,0	3,5	3,0
	>3,0	6,0	5,5	5,0	4,5	4,0	3,5
Рыхло-супесчаные	≤ 1,5	5,5	5,0	4,5	4,0	3,5	3,0
	1,51–3,0	6,0	5,5	5,0	4,5	4,0	3,5
	> 3,0	6,5	6,0	5,5	5,0	4,5	4,0
Связно-супесчаные	≤ 2,0	6,5	6,0	5,5	5,0	4,5	4,0
	> 2	7,5	7,0	6,5	6,0	5,5	4,5

Для картографирования кислотности почвы с использованием геостатистических методов необходимо следующее: произвести отбор проб и лабораторный анализ; проанализировать пространственное распределение полученных данных с помощью показателей описательной статистики и произвести подбор математической модели вариограммы к эмпирическим данным для оценки пространственной зависимости между значениями кислотности почвы; провести кросс-валидацию полученных результатов и составить картографических материал на основе получившихся моделей вариограмм и их ошибок.

Отбор образцов проводился в середине сентября, после уборки урожая озимой тритикале. Образцы отбирались лопатой на глубине 0–20 см по заранее созданной сетке точек с шагом 70 м (рис.1).

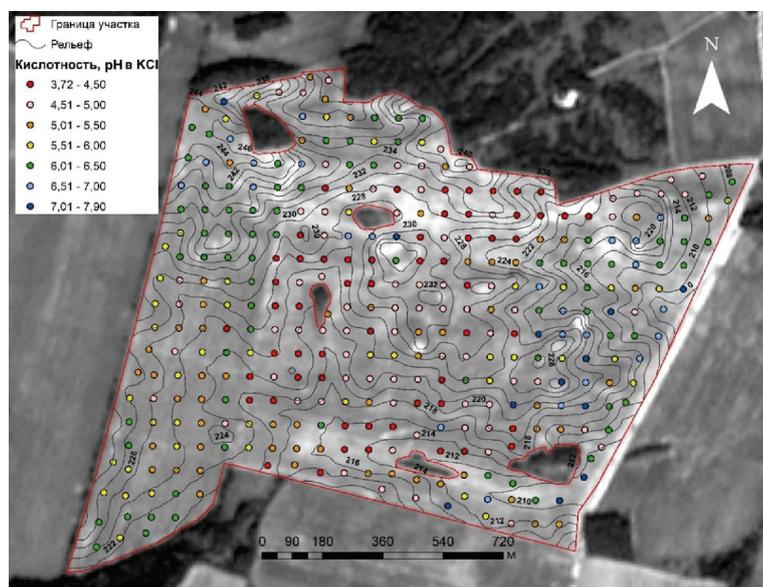


Рис.1. Места отбора почвенный образцов и распределение рН

Всего было отобрано 343 образца, их можно прировнять к 343 уколам бура, что соответствует плотности пробоотбора около 2 образцов на 1 га. Для данного исследования определение pH солевой вытяжки проводилось по методу ЦИНАО (ГОСТ 26483) с использованием pH-метра-милливольтметра pH-150M. Экспериментальные данные были занесены в таблицы Excel, где был проведен статистический анализ их распределения. Все процедуры по построению вариограмм и интерполяции выполнялись в программном обеспечении компании ESRI ArcGIS Pro в модуле «Geostatistical Analyst», также для облегчения последующих расчетов эффективности внесения мелиоранта по классическому агрохимическому обследованию сельскохозяйственных земель был использован модуль «выявления изменений».

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

По результатам статистической обработки данных была построена гистограмма распределения данных и получены показатели описательной статистики, на основании которых можно констатировать отклонение от нормального распределения ряда данных (рис. 2, табл. 2).

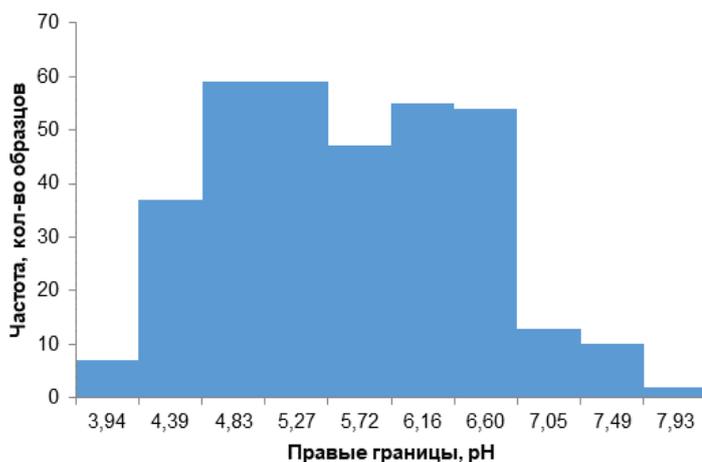


Рис.2. Гистограмма распределения почвенной кислотности

По гистограмме можно определить сконцентрированное «ядро» данных в диапазонах от 4,84 до 6,60 pH_{KCl} , что предварительно указывает на отклонение по эксцессу, а отсутствие островершинных пиков в данном, говорит об отрицательном значении данного показателя. Не столько очевидно отклонение ряда данных по коэффициенту асимметрии – предварительно можно констатировать незначительное преобладание щелочных почв (pH более 7,0) в ряде данных над очень сильно кислыми (pH менее 4,0).

Для доказательств выявленных особенностей распределения значений кислотности были рассчитаны показатели описательной статистики, в том числе эксцесс и коэффициент асимметрии со своими среднеквадратическими ошибками, позволявшие точно определить отсутствие или наличие отношения от нормального распределения.

Статистические параметры рабочего участка

Показатель	Значение
Количество отобранных образцов	343
Средний показатель pH_{KCl}	5,42
Максимальное значение pH_{KCl}	7,90
Минимальное значение pH_{KCl}	3,72
Мода	6,10
Медиана	5,34
Среднее квадратическое отклонение	0,87
Дисперсия	0,76
Коэффициент вариации pH , %	16,1
Асимметрия (А)	0,21
Ошибка асимметрии (mas)	0,13
Экссесс (Е)	-0,73
Ошибка эксцесса (mE)	0,26

В связи с тем, что асимметрия выходит за пределы своей ошибки подтверждается правосторонняя асимметрия, об этом также говорят значение моды и медианы, 6,1 и 5,34 соответственно [8]. Значительно (практически в 3 раза) отклонение эксцесса (-0,73) от своей ошибки (+/-0,26), что подтверждает выдвинутый тезис о сглаженности значений кислотности (табл. 2). В связи с выявленным отклонением от нормального распределения pH_{KCl} и чувствительностью вариограмм к выбросам в данных было использовано логарифмическое преобразование данных для приближения к нормальному распределению данных [9].

Среднее значение кислотности полученных образцов 5,42, данный показатель незначительно ниже средней кислотности пахотных земель РБ [10]. Для выборки характерен большой разброс значений – от 3,72 до 7,90, благоприятными же значениями для выращивания тритикале являются значение 5,5–6,5.

Важной составляющей в анализе пространственной структуры данных является выявление детерминированной компоненты варьирования, что выражается в наличии общих почвенно-геохимических условий и направленностью перераспределения химических элементов на всей территории. Линия наилучшего соответствия (полином) проведена через проецируемые точки, показывая тренды в определенных направлениях – ось X отражает направление север-юг, а ось Y – запад-восток (рис. 2). Если бы линии были параллельны осям X (зеленая линия) или Y (синяя линия), это означало бы, что трендов нет [9]. Данные направления (тренды) могут быть описаны через регрессионные (линейные, параболические, синусоидные) графики и уравнения, которые автоматически добавляются в итоговую модель.

При анализе трендов на данной территории было выявлено пространственные зависимости (рис. 3), описываемые полиномом второго порядка (имеет параболическую форму), что также можно заметить на рисунке 1. На западе и востоке значение кислотности имеет более высокие значения, чем в центральной части, где сосредоточены очень кислые почвы, тем самым образуя параболу.

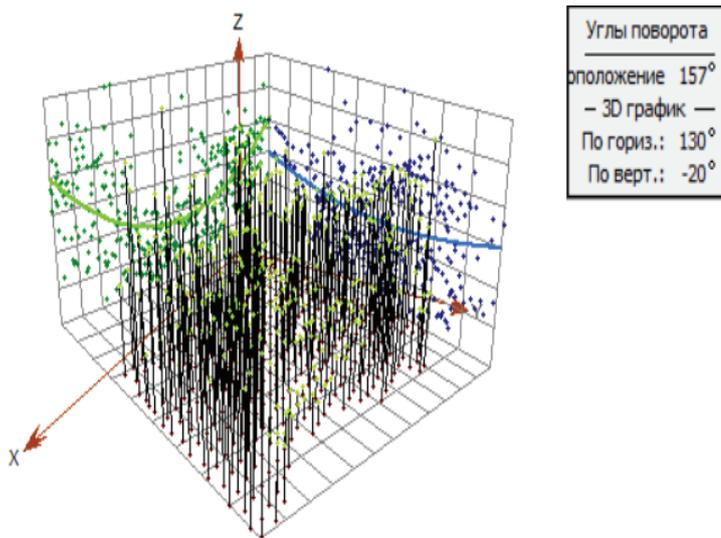


Рис.3. Линии пространственных трендов данных

На основе проанализированных данных можно построить экспериментальную вариограмму или же облако точек вариограммы. Однако экспериментальная вариограмма представляет собой дискретный набор точек, который нельзя подать на вход алгоритму для построения картограммы. Для того чтобы подать на вход алгоритму необходима теоретическая вариограмма. Теоретическая вариограмма – это математическая функция, которая аппроксимирует экспериментальную вариограмму [11]. При правильном подборе теоретической вариограммы, она будет описывать поведение используемых данных.

При подборе теоретической вариограммы были использованы экспоненциальная модель и модель J-Бесселя (рис. 4).

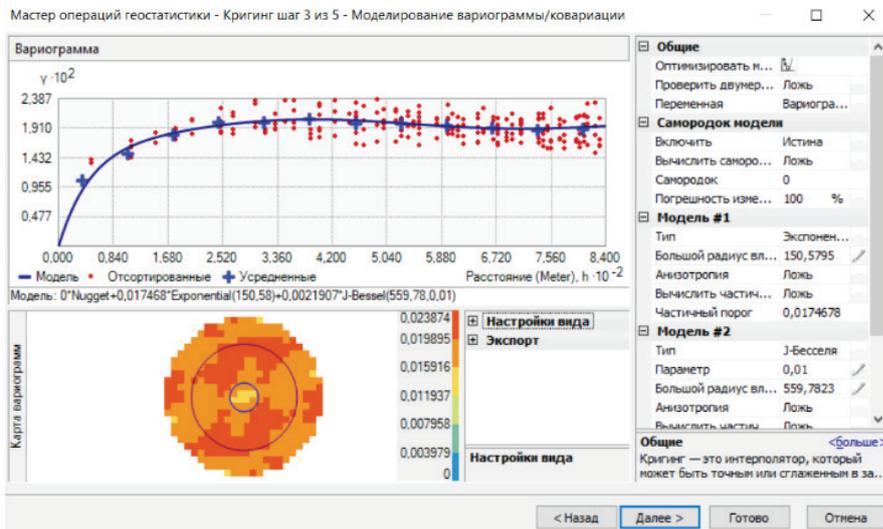


Рис.4. Теоретическая вариограмма

Выбор двух моделей обусловлен сложностью пространственного распределения показателей кислотности: использование одной модели оказалось недостаточным для точного описания распределения данных. Применение обеих моделей позволяет более корректно и точно учитывать большой и малый радиус влияния, что повышает точность интерполяции и улучшает качество пространственного моделирования. Эффект самородка (Nugget effect) – это выброс, который может включать такие атрибуты, как погрешности измерения или пространственные источники вариации на расстояниях [6], для данной вариограммы равен 0, это говорит о высокой точности, подобранной вариограммы.

В результате всех операций была получена картограмма кислотности (рис. 5). При визуальном анализе можно наблюдать параболическое распределение данных, это выражено более близкими значениями почвенной кислотности к нейтральной, на периферии участка и более кислыми почвами в центральной части – это заметно в направлениях юго-запад северо-восток и северо-запад юго-восток. Также на рабочем участке повсеместно наблюдаются мелко-контурные районы с нейтральной кислотной средой, их наличие связано с близким залеганием карбонатных пород. При этом классический метод сглаживает эти особенности, генерализируя данные и игнорируя мелкомасштабные вариации (рис. 6).

Стоимость отбора проб и лабораторного анализа по определению кислотности на 12.01.2023 г. составляет 7,50 руб. и 2,05 руб. соответственно, за один смешанный образец или же за один элементарный участок. Но при дальнейших подсчётах следует учитывать, что в стоимость отбора одного смешанного образца входят порядка 30 уколов буром. Поэтому для рабочего участка состоящего из 30 элементарных участков для целей отбора проб пришлось бы отобрать 900 уколов буром. Для отбора проб и лабораторного анализа в целях геостатистического метода было затрачено почти в 3 раза больше средств нежели классическим методом (табл. 3).

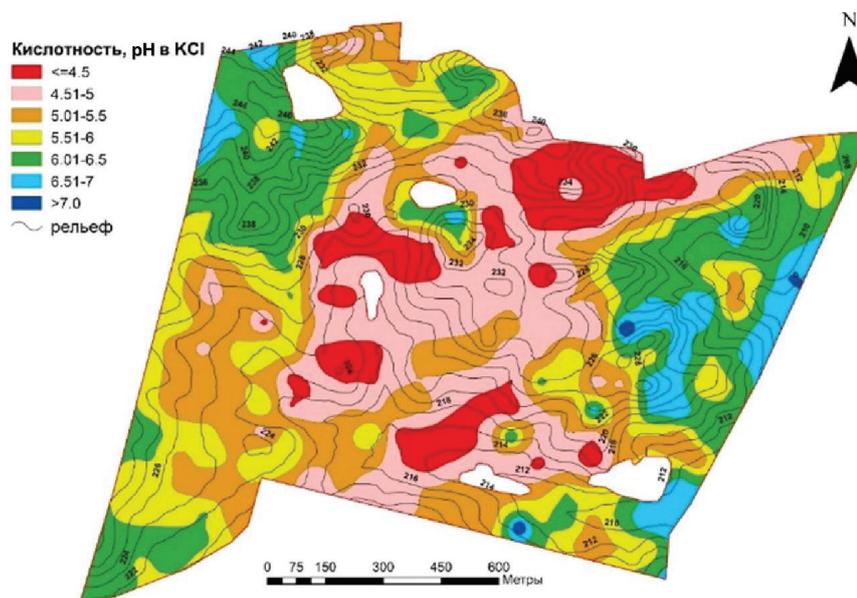


Рис.5. Картосхема кислотности, построенная с применением методов геостатистики

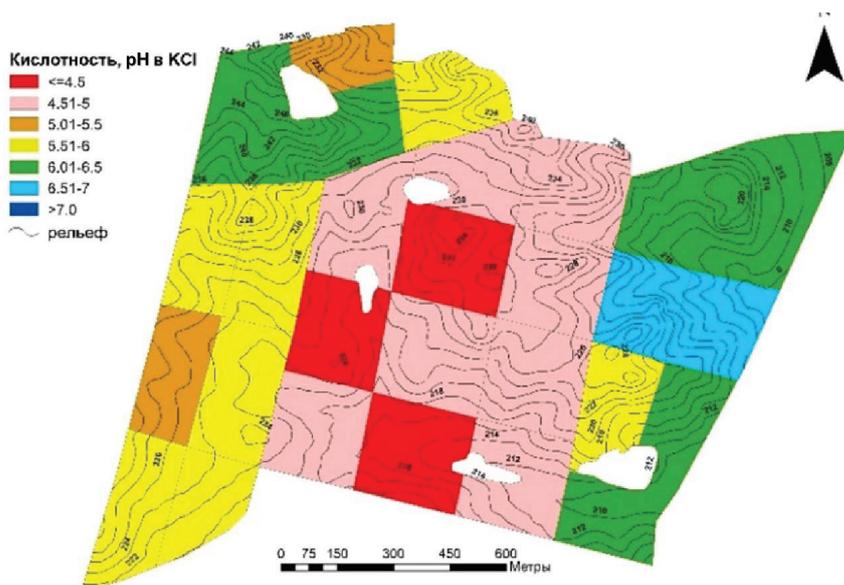


Рис. 6. Картограмма кислотности, построенная классическим методом

Таблица 3

Стоимость отбора и лабораторных анализов проб по двум методам

Показатель	Классическим методом	Геостатистическим методом
Количество проб, шт.	900	343
Стоимость отбора проб, руб.	225	86
Стоимость лабораторных анализов, руб.	62	703
Итоговая стоимость, руб.	287	789

На 12.01.2023 г. стоимость внесения 1 т CaCO_3 составляла 86 руб. [12], включая закупку, транспортировку и внесение. Указанная стоимость является усредненной и рассчитана приблизительно на основании доступных данных, что следует учитывать при интерпретации полученных результатов. Расчет доз внесения CaCO_3 выполнен по данным таблицы 1.

Затраты на внесения мелиоранта при применении геостатистического метода по сравнению с классическим методом увеличилась на 457 руб., или на 1,2 %, также обрабатываемая площадь увеличилась на 6,5 га (табл. 4). Однако с помощью инструмента «выявления изменений» и таблицы 1 было определено, что из 461,5 т CaCO_3 , внесенных по классическому методу, 127 т, или 27,5 % были потрачены на переизвесткование почв. Данный инструмент анализировал разницу между двумя картограммами кислотности, созданными для классического и геостатистического методов, что позволило выявить зоны избыточного и недостаточного внесения мелиоранта. Внесение слишком большого количества извести может привести к чрезмерному повышению pH почвы (ее подщелачиванию). Это в свою очередь

приведет к дефициту микроэлементов, таких как железо, марганец, медь и цинк, которые плохо усваиваются при высоком pH. Помимо этого, рабочий участок не будет произвесткован в полном объеме, там, где он в этом нуждается, а это потребует дополнительно 132,3 т мелиоранта.

Таблица 4

Затраты на проведение известкования по двум методам

Затраты на известкование по классическому способу агрохимического обследования						
Группа почв	Гумус, %	pH _{KCl}	CaCO ₃ , т/га	Площадь, га	CaCO ₃ , т	Затраты, руб.
Связносупесчаные	1,01–1,5	<= 4,5	6,25	21,5	134,4	11558
Связносупесчаные	1,01–1,5	4,51–5	5,25	49,8	261,5	22489
Песчаные	1,01–1,5	4,51–5	3,75	7,2	27,0	2322
Связносупесчаные	1,01–1,5	5,01–5,5	4,25	4,5	19,1	1643
Рыхлосупесчаные	1,01–1,5	5,01–5,5	3,25	6,0	19,5	1677
Почвы, не нуждающиеся в известковании				91,7	–	–
Сумма				180,7	461,5	39689
Затраты на известкование по агрохимическому обследованию с применением геоestatистических методов						
Связносупесчаные	1,01–1,5	< 4,25	6,5	4,3	28	2408
Связносупесчаные	1,01–1,5	4,25–4,5	6,0	12,2	73,2	6295
Песчаные	1,01–1,5	4,25–4,5	4,5	0,8	3,6	310
Связносупесчаные	1,01–1,5	4,51–4,75	5,5	18,2	100,1	8609
Песчаные	1,01–1,5	4,51–4,75	4,0	0,5	2,0	172
Связносупесчаные	1,01–1,5	4,76–5	5,0	20,7	103,5	8901
Песчаные	1,01–1,5	4,76–5	4,0	0,1	0,4	34
Рыхлосупесчаные	1,01–1,5	4,76–5	3,5	0,4	1,4	120
Связносупесчаные	1,01–1,5	5,01–5,25	4,5	16,5	74,3	6390
Песчаные	1,01–1,5	5,01–5,25	3,5	1,3	4,6	396
Рыхлосупесчаные	1,01–1,5	5,01–5,25	3,0	0,7	2,1	181
Связносупесчаные	1,01–1,5	5,26–5,5	4,0	14,4	57,6	4954
Песчаные	1,01–1,5	5,26–5,5	3,0	5,0	15,0	1290
Рыхлосупесчаные	1,01–1,5	5,26–5,5	2,5	0,4	1,0	86
Почвы, не нуждающиеся в известковании				85,2	–	–
Сумма				180,7	466,8	40146

В итоге для проведения известкования, на данном рабочем участке, на проведение работ по известкованию, пришлось бы затратить 39689 руб. и 40146 руб., в пересчете на рубли за гектар – 220 руб./га и 222 руб./га для классического и геостатистического методов соответственно. При этом детальный учет кислотности позволит через несколько лет выровнять значения pH на данной территории, что приведет к увеличению урожайности, и как следствие – прибыли. Кроме этого, при использовании установленных способов внесения средств химизации в стране, различия в значениях кислотности почвы на данном участке, будет увеличиваться, что приведет к снижению общей урожайности с рабочего участка.

ВЫВОДЫ

Применение геостатистических методов помогает отобразить обстановку на рабочем участке, максимально приближенную к реальному, с учетом всех пространственных вариаций кислотности почвы. На интерполяционной карте четко видны мелко-контурные участки с нейтральной кислотностью, которые сформировались в результате подщелачивания карбонатными породами, создавая локализованные «самородки». В отличие от этого, классический метод сглаживает эти особенности, генерализируя данные и игнорируя мелкомасштабные вариации.

Затраты на отбор проб и лабораторные анализы увеличились бы на 502 руб. или же 2,75 раза для геостатистического метода, а общие затраты на проведение работ по известкованию с учетом закупки, транспортировки и внесения, а также отбора проб и лабораторных анализов составили 39 976 руб. и 40 935 руб., в пересчете на рубли за гектар – 221 руб./га и 227 руб./га соответственно для классического и геостатистического методов. Однако из 39976 руб., потраченных по классическому методу, эффективно было бы использовано лишь 72,5 %, в то время как оставшаяся часть была бы потрачена на переизвесткование, которое не только неэффективно расходует денежные средства, но и может негативно сказаться на состоянии растительности. Кроме того, несмотря на затраченные средства, на рабочем участке останется дефицит в 132,3 т CaCO₃, необходимых для полноценного известкования почвы, если следовать инструкции по известкованию кислых почв сельскохозяйственных земель.

Несмотря на более высокие затраты в 959 руб., для данного рабочего участка предусмотрено в перспективе внесение мелиоранта по картограммам кислотности, построенным по методу геостатистики. Это поможет его вносить не только эффективно количественно (в необходимом объеме), но и качественно (в нужном месте), что в итоге приведет к выравниванию неоднородности почвенной кислотности.

Также важно отметить, что каждый отдельно взятый рабочий участок уникальный и распределение почвенных свойств в данном масштабе не может быть с высокой точностью экстраполировано на участки, где исследования не проводились. Проводимые ранее опыты на территории Беларуси на отдельно взятых участках показывали по сравнению с установленным методом агрохимического обследования значительное снижение затрат с 420 т до 210 т доломитовой муки, что на 12.01.2023 г. составляло бы снижение затрат с 36120 руб. до 18060 руб. для рабочего участка размером 106 га [13] и с 17588 до 13099 руб. для рабочего участка размером 119,7 га (без учета отбора образцов и лабораторных анализов) [14].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Клебанович, Н. В. Почвоведение и земельные ресурсы : учеб. пособие / Н. В. Клебанович. – Минск: БГУ, 2013. – 343 с.
2. Клебанович, Н.В. География кислотности пахотных почв Беларуси / Н. В. Клебанович // Химия. Биология. География. – Минск : БГУ, 2006. – С. 92–97.
3. Сельское хозяйство Республики Беларусь. Статистический сборник [сайт] / Национальный статистический комитет РБ, Гос. Комитет по имуществу РБ, 2023 – Минск, 2023. – URL: https://www.belstat.gov.by/ofitsialnayastatistika/publications/izdania/public_brochures/index_77214/ (дата обращения: 01.11.2024).
4. Сельское хозяйство Республики Беларусь. Статистический сборник [сайт] / Национальный статистический комитет РБ, Гос. Комитет по имуществу РБ, 2019 – URL: Минск, 2019. – https://www.belstat.gov.by/ofitsialnayastatistika/publications/izdania/public_compilation/index_14022/?sphrase_id=2114195 (дата обращения: 01.11.2024).
5. Шашко, Ю. К. Плодородие почв – основа продовольственной безопасности государства: Материалы VI съезда Белорусского общества почвоведов и агрохимиков, Минск, 21 июля 2022 г. / Ю. К. Шашко [и др.] // Институт почвоведения и агрохимии, Белорусское общество почвоведов и агрохимиков – Минск, 2022. – С. 54–58.
6. Кынышев, С. К. Основные элементы и понятия геостатистики / С. К. Кынашев, С. А. Баранов. – Республика Казахстан, 2015 г. – 15 с.
7. Инструкция по известкованию кислых почв сельскохозяйственных земель / В. В. Лапа, Г. В. Пироговская, И. М. Богдевич [и др.]. – Минск : Ин-т почвоведения и агрохимии, 2019. – 31 с.
8. Чертко, Н. К. Математические методы в географии : уч.-метод. пособие / Н. К. Чертко, А. А. Карпиченко. – Минск : Белорусский государственный университет, 2009. – С. 10–38.
9. Клебанович, Н. В. Геостатистический анализ при картографировании пространственной неоднородности влажности и кислотности почв / Н. В. Клебанович, А. Л. Киндеев, А. А. Сазонов // Геосферные исследования. – 2021. – С. 80–91.
10. Клебанович, Н. В. Известкование почв Беларуси / Н. В. Клебанович, Г. В. Васильюк. – Минск : Белорусский государственный университет 2003. – 322 с.
11. Моделирование оптимальной теоретической вариограммы мощности пласта на основе группового учета аргументов / Д. Н. Шурыгин, С. В. Власенко, Д. С. Шастик [и др.] // Известия вузов. Северо-Кавказский регион. Технические науки. – 2014 г. – № 4. – С. 76–78.
12. Интернет-магазин доломитовой продукции [сайт] / ОАО «Доломит» – URL: <https://dolomit.by/shopper/catalog/> (дата обращения: 12.01.2023).
13. Киндеев А. Л. Перспективные направления геостатистического анализа и стохастического моделирования с учетом экономических издержек при точном земледелии / А. Л. Киндеев // Вестник Московского университета. Серия 17: Почвоведение. – 2022. – № 2. – С. 59–70.
14. Воробей, М. В. Геостатистический анализ внутриверхневой неоднородности почвенной кислотности для проведения работ по известкованию / М. В. Воробей, А. Л. Киндеев // Почвоведения и агрохимия. – 2024. – № 1(72). – С. 27–34.

**APPLICATION OF GEOSTATISTICAL APPROACH IN ACCOUNTING
FOR INTRA-FIELD HETEROGENEITY SOIL ACIDITY IN LIMING
OF AGRICULTURAL LANDS**

M. V. Vorobei, A. L. Kindeev

Summary

The article presents the main stages of mapping agrochemical properties of soils by geostatistical method on the example of soil acidity. The comparison of costs for carrying out works on liming of arable land by classical and geostatistical method of mapping soil acidity on the example of JSC «Koshelevo-Agro» is carried out. The following were taken into account: cost of sampling and laboratory analysis; costs of liming.

The total cost of liming works, including procurement, transportation and application, as well as sampling and laboratory analyses, was 39976 BYN for the classical method and 40935 BYN for the geostatistical method, which is 959 BYN more. However, using the classical method, only 72,5 % of the amount spent would have been effectively utilized.

Поступила 11.11.24

ЗЕМЕЛЬНЫЕ И ПОЧВЕННЫЕ РЕСУРСЫ ЭКВАТОРИАЛЬНОЙ ГВИНЕИ

Ю. К. Шашко, Т. Н. Азарёнок, О. В. Матыченкова,
С. В. Дыдышко, Г. Г. Карпович

Институт почвоведения и агрохимии, г. Минск, Беларусь

ВВЕДЕНИЕ

Устойчивое развитие растениеводства, как важнейшей отрасли сельскохозяйственного производства, в республике Экваториальная Гвинея наряду с экономическими факторами, существенно ограничено отсутствием научных представлений об актуальном состоянии почвенно-земельных ресурсов.

Республика Экваториальная Гвинея (РЭГ), одна из трех африканских Гвиней, омывается водами Гвинейского залива и располагается в тропическом поясе земледелия. На севере граничит с Камеруном, на востоке и юге – с Габоном. Общая площадь территории страны – 28052 км². Административное деление 7 провинций. Включает материковую часть Рио-Муни (Мбини) (26 тыс. км²), протянувшуюся на 130 км вдоль побережья и на 300 км вглубь материка и 5 островов общей площадью около 2 тыс. км², крупнейшим из которых является остров Биоко вулканического происхождения (до 1973 г. Фернандо-По) в заливе Биафра. На острове представлены 2 провинции: Северный Биоко, площадью 776 км² с административным центром г. Малабо, являющийся центром Островного региона и Южный Биоко, площадью 1241 км² с административным центром г. Луба (рис. 1, 2). Материковая часть Экваториальной Гвинеи – Рио-Муни по рельефу представлена нагорьем высотой 600–900 м (вершины до 1500 м), вдоль побережья Атлантического океана окаймленное низменной равниной [1–3].



Рис. 1. Картограмма
расположения республики
Экваториальная Гвинея [1, 2]



Рис. 2. Административное
деление республики
Экваториальная Гвинея [1, 2]

Сельское хозяйство (включая лесное хозяйство и рыболовство) в структуре ВВП республики занимает 2,6–2,7 %, тогда как в 1970 г. его удельный вес составлял 15,1 %. Стоимость продукции сельского хозяйства РЭГ в 2022 г. равнялась 0,3 млрд \$ США (161-е место в мире), что на 75–96 % ниже соответствующего показателя стран-соседей – Габона и Камеруна. В расчете на душу населения – 180,5 \$ США занимает 172-е место в мире, что на 33–64 % ниже соответствующего показателя в Камеруне и Габоне соответственно. Доля сельского хозяйства Экваториальной Гвинеи в мире по состоянию на 2022 г. составляла 0,0069 %, в Африке – 0,066 %, в Центральной Африке – 0,71 % [4–8].

В РЭГ сельскохозяйственное производство носит экстенсивный характер и основано на архаичных системах земледелия с низкой продуктивностью [9, 10]. Производство растениеводческой продукции представлено в 2-х направлениях: для собственного потребления, с последующей продажей излишков на внутреннем рынке, и для экспорта. Население занимается выращиванием маниока (кассавы), батата, ямса, маланги, кукурузы, плодов древесных культур – бананов, кокосовой и масличной пальмы, овощей (томатов, баклажанов, капусты, салата, фасоли и бамии (фото 5)). Фрукты (ананасы, манго, папайя, авокадо, апельсины, мандарины) производятся для собственного потребления (фото 1–6). Излишки продукции продаются на местных рынках и покрывают спрос только во время сбора урожая.



Фото 1. Корнеплоды маниока (кассавы)



Фото 2. Корнеплоды батата



Фото 3. Корнеплоды ямса



Фото 4. Растение маланга



Фото 5. Плоды бамии



Фото 6. Плоды ананасов

Сельскохозяйственный сектор исторически был известен производством какао: в 1960-х гг. в стране производилось более 36 тыс. т какао, однако в 2015–2017 гг. ежегодное производство какао-бобов (по технологическим и экологическим причинам) снизилось до 4,5–6 тыс. т, а внешнеторговое значение этой продукции фактически достигло наименьшей величины (менее 1 % экспорта страны). Наряду с растениеводством, натуральный характер носит и животноводство. К началу 2000-х годов численность крупного рогатого скота выросла до 5,3 тыс. голов; коз – 8,1 тыс. голов; овец – 36,0 тыс. голов, домашней птицы – 300 тыс. Незначительные излишки сельскохозяйственной продукции поступают на городские рынки лишь в ограниченных количествах, что повышает значение внешних источников получения продуктов питания. В настоящее время РЭГ импортирует практически все виды продовольственных товаров: от зерновой и молочной продукции до жиров и масел. В 2018 г. величина продовольственной зависимости РЭГ от импорта оценивалась в 70 %, что свидетельствует об остроте проблемы продовольственной безопасности в стране [10].

Одним из базисов построения системы обеспечения продовольственной безопасности РЭГ может служить формирование службы почвенно-агрохимической поддержки и ведения растениеводства в республике для развития отраслевой специализации страны. Разработка научно-методических основ по созданию почвенно-агрохимической службы для увеличения плодородия сельскохозяйственных земель, урожайности возделываемых культур, должна основываться на актуальных показателях агроэкологического состояния земельных и почвенных ресурсов республики. Поэтому цель исследования – дать характеристику современного состояния земельных и почвенных ресурсов РЭГ на основании показателей их агроэкологического состояния.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объектом исследования являются земельные участки, расположенные в 4-х провинциях РЭГ (Южный Биoko, Литорал, Центро-Сур и Велен-Нзас) (фото 7), подобранные в результате маршрутных исследований на островной и материковой частях. Выбор участков был проведен по следующим критериям: максимально выровненный рельеф, наличие пресной воды для полива, наличие недалеко расположенных населенных пунктов для обеспечения необходимым персоналом.

Данные участки могут быть использованы для проведения научных опытов по повышению плодородия почв и изучения адаптационного потенциала традиционных и новых сельскохозяйственных культур, а также в качестве территориального базиса для размещения сельскохозяйственного производства растениеводческой продукции на постоянной основе.

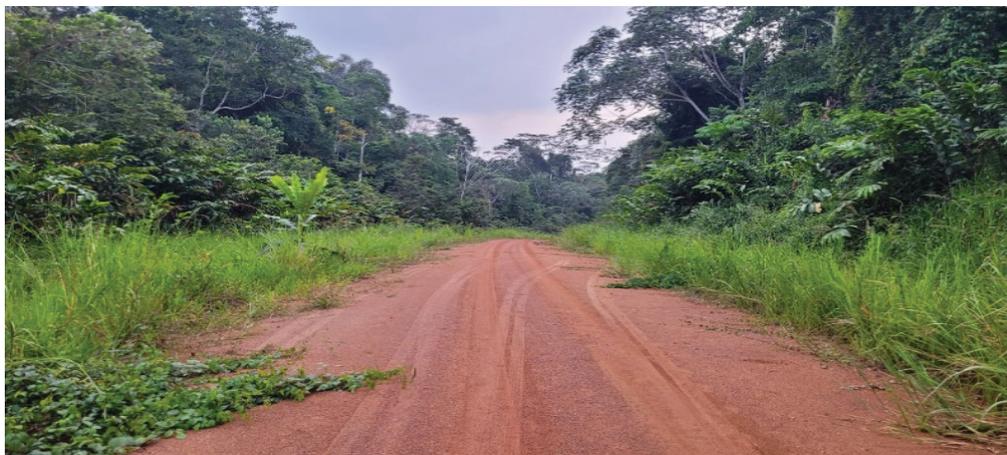


Фото 7. Провинция Центр-Сур, центр материковой Экваториальной Гвинеи

Климат исследуемой территории – экваториальный, жаркий и постоянно влажный. Среднегодовая температура составляет +25–26 °С, с незначительными сезонными колебаниями (на побережье острова Биоко, на нагорьях – 17–21 °С). Среднегодовая сумма осадков – 1200–1500 мм. На островах достигает 2500–4000 мм. Дождливый сезон длится до 160 дней (апрель–июнь, октябрь, ноябрь). Влажность воздуха в течение года не менее 80 %. Среднегодовой коэффициент увлажнения на большей части территории не ниже 1,5, в сухие зимние месяцы – 0,7–0,8. Продолжительность дня в течение года изменяется в пределах 10,5–13,5 часов, что имеет важное значение для процессов фотосинтеза. Климат является благоприятным для получения 4-х урожаев в год [1–3].

Согласно существующей в Республике Беларусь методике [11] на объектах исследования были отобраны образцы (пробы) почв. Отбор проводился на о. Биоко, в выложенных частях склона вулкана (пика Биао), близ населенного пункта Мусола (8 проб), на материковой части в провинциях Литорал (пос. Мумбе, юго-западная часть РЭГ), Центр-Сур (центральная часть РЭГ) и в провинции Веле-Нзас (восточная часть РЭГ) (13 проб).

Аналитические исследования показателей кислотности, содержания общего азота, гумуса, подвижных форм фосфора, калия, меди, цинка, железа, тяжелых металлов (кобальта, никеля, хрома, свинца) выполнялись согласно принятым методам в Республике Беларусь, имеющим ГОСТ [11, 12].

Исследования выполнены с применением аналитического, статистического методов, метода экспертных оценок. Статистическая обработка проводилась в программе Microsoft Office Excel, пакет «Анализ данных». Фотографии № 7–12 выполнены доктором сельскохозяйственных наук, профессором Ю. К. Шашко при проведении маршрутных исследований в Экваториальной Гвинеи в декабре 2023 г.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОСУЖДЕНИЕ

Земельные ресурсы выступают в качестве территориального базиса для размещения хозяйственных комплексов, объектов инфраструктуры и расселения людей, являются главным средством сельскохозяйственного производства.

Анализ структуры земельного фонда РЭГ показал, что большую ее часть – 2 448 765 га (87,3 %) занимают лесные земли (табл. 1). Это один из самых высоких показателей в мире – 7-е место. На одного жителя Экваториальной Гвинеи приходится 1,5 га леса, что выше мирового значения (0,52 га) [4–8].

Таблица 1

Состояния земельного фонда Экваториальной Гвинеи [4–8] в 2021–2022 гг.

Категории	Количественное значение
Земельная площадь, га	2805000
Лесная площадь, га	2437545
Лесистость, (%)	87,3
Обеспеченность лесной территории на 1 чел., га	1,5
Освоенность, %	3,7
Обеспеченность с.-х. земель на 1 чел., га	0,06
Удельный вес пахотных земель, %	1,9
Удельный вес многолетних лугов и пастбищ, %	1,7

В структуре земельного фонда РЭГ на сельскохозяйственные земли приходится лишь 103785 га, или 3,7 % (среднемировое значение 36,1 %) от земельной площади. Удельный вес сельскохозяйственных земель, приходящийся на 1 жителя страны составляет 0,06 га (среднемировое значение – 1,6 га). В структуре сельскохозяйственных земель на пахотные земли приходится 53295 га (51,4 %), к ним относятся земли под временные сельскохозяйственные культуры, временные луга на покос или пастбища, земли под коммерческие и приусадебные огороды, а также временно не обрабатываемые (менее пяти лет). Среди них 41000 га отведена для посева сезонных сельскохозяйственных культур с вегетационным циклом менее года, которые необходимо вторично сеять или садить после уборки урожая. Земли, заброшенные в результате сменной культивации, не входят в эту категорию. Земли под паром, которые не засеиваются один или несколько вегетационных периодов составляют 6295 га. Однолетние луга и пастбища, на которых временно (менее 5 лет) выращивают травянистые кормовые культуры на покос или для пастбища, занимают 6000 га.

Земли под многолетними культурами, на которых обрабатываются долгосрочные культуры, не требующие пересадки в течение нескольких лет (какао и кофе, другие деревья и кустарники) занимают 47685 га (45,9 % сельскохозяйственных земель). Многолетние луга и пастбища, которые используются более 5 лет для выращивания травянистых кормовых культур (культурных или дикорастущих) занимают 2805 га. На прочие земли приходится 252450 га, или 9,0 %. На всю посевную площадь вносится лишь 18,4 кг/га минеральных удобрений, а общая площадь земель, оборудованных для орошения составляет всего 1000 га.

В РЭГ государство гарантирует крестьянам право собственности на их земли. После принятия декларации о независимости в 1968 г. плантации испанских колонизаторов (7000 шт.) перешли в государственное управление. Зброшенные земли можно купить, уплатив только 10 % рыночной цены за участок правительству республики. Покупатель должен представить план освоения земли, выполнить его в течение пяти лет и не продавать ее третьему лицу. Если эти условия не выполнены, земля возвращается государству. Сельскохозяйственные земли, которые находятся в собственности государства, могут быть предоставлены во временное или постоянное пользование физическим и юридическим лицам. Любое иностранное лицо, заинтересованное в приобретении земли, должно получить согласие президента. В стране также принят закон о регулировании охраны загрязнения окружающей среды в целях обеспечения качества воздуха, воды и почв, который обязывает Министерство охраны окружающей среды классифицировать и выделять охраняемые зоны: природные парки, природные резерваты, памятники природы, охраняемые ландшафты и научные резерваты [13].

Согласно почвенно-географическому районированию, территория Экваториальной Гвинеи относится к Африканскому приэкваториальному сектору влажно-лесных красно-желтых ферралитных и альферритных почв, Конго-Гвинейской почвенной области, Гвинейской почвенной зоне и подобласти [14]. Наибольшее распространение в РЭГ получили 4 почвенные разновидности: красно-желтые ферралитные, желтые ферралитные местами с горизонтами латерита, вулканические пепловые, мангровые болотные и солончаковые почвы (рис. 3).

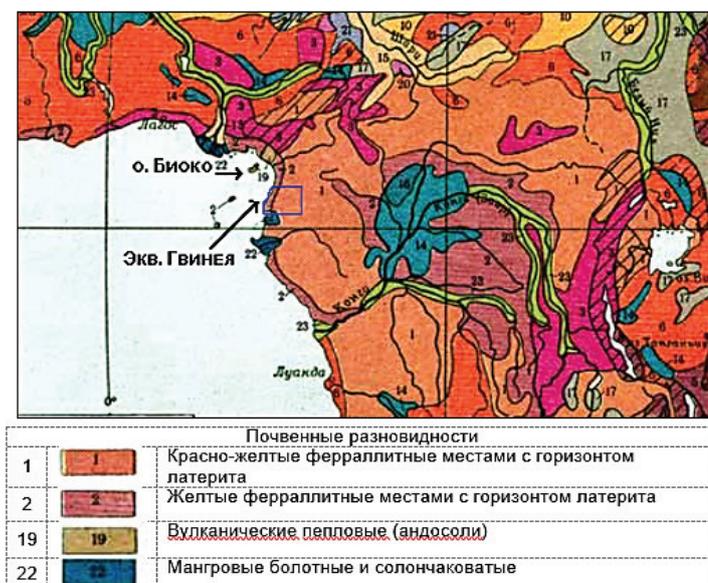


Рис. 3. Почвы Экваториальной Гвинеи [14]

На исследуемых земельных участках материковой части РЭГ, включающей провинции Литорал, Центрo-Сур и Веле-Нзас, получили распространение красно-желтые и желтые ферралитные почвы. Их формирование происходит в условиях хорошего дренажа, на древних ферралитных и аллитных корках выветривания,

под влиянием процесса тропической ферралитизации, приуроченного к породам богатым соединениями железа и алюминия, но обедненных кварцем. Это процесс глубокого преобразования минеральной части почвы, при котором происходит распад первичных минералов и образование вторичных алюминия и железа в форме подвижных гидратов оксидов железа и алюминия [15–18].

В почвенном профиле красно-желтых и желтых ферралитных почв (в системе WRB Ferralsols [19, 20]) выделяется горизонт лесной подстилки мощностью от до 3–5 см, состоящий из сухих листьев, корневищ травянистых и кустарниковых растений. В виду складывающихся уникальных почвенно-биологических условий изучаемой территории (высокая биогенность и минерализация органического вещества), гумусовый горизонт почв развит слабо. Его средняя мощность – 9–12 см. До глубины 5–7 см имеет темно-серую или коричневую окраску, мелкокомковатую или капролитовую структуру (фото 8). Переходный горизонт АВ окрашен в бурый, желтовато- или красновато-бурый цвет (фото 9, 10), в верхней части преимущественно мелкокомковатой, а в нижней части – крупнокомковатой непрочной структуры. Цветовая гамма горизонта обусловлена наличием пленок гетита и гематита на гранях структурных отдельностей из-за дегидратации гидратов оксида железа вследствие проявляющихся процессов физического и химического выветривания.

Общая мощность переходного горизонта может достигать 25–50 см. Ниже по профилю располагается метаморфический горизонт (B_m) с максимальным содержанием ила, мощностью 80–100 см буровато-красного или буровато-желтого цвета, ореховатой структуры, пронизанный корнями и ходами насекомых. Книзу окраска горизонта становится более яркой и на глубине 120 см переходит в почвообразующую породу [15, 16].



Фото 8. Капролитовая структура гумусового горизонта красно-желтых ферралитных почв



Фото 9. Поверхностные горизонты красно-желтых ферралитных почв близ г. Мумбе в провинции Литорал (юго-западная часть материковой Экваториальной Гвинеи)



Фото 10. Поверхностные горизонты желтых ферралитных почв в провинции Веле-Нзас (восточная часть материковой Экваториальной Гвинеи)

В почвах наблюдаются скопление округлых железистых конкреций размером 3–5 мм. Повышенное конкрециообразование связано с протеканием процесса латеритизации, изменением их окислительно-восстановительного потенциала

вследствие смены характера увлажнения в течение года, привноса соединений железа почвенными растворами, под влиянием поверхностного оглеения и бокового стока. В условиях кислой почвенной среды происходит растворение, сегрегация и дегидратация оксидов железа с формированием новообразований как по всей толще почвы, так и в отдельных частях профиля в виде прослоек. Новообразования представлены в виде отдельных или сильно сцементированных, плотных стяжений-нодулей от красноватого до черного цвета различного диаметра, необратимо затвердевающих при контакте с воздухом. Могут занимать до 40 % объема горизонта. Наличие горизонтов с железистыми конкрециями позволяет диагностировать их как «латеритизированные».

По данным маршрутного обследования установлено, что почвы материковой части РЭГ сильнокислые. Показатели кислотности pH_{KCl} изменяются от 3,73 до 4,20 единиц (табл. 2).

Таблица 2

Показатели агроэкологического состояния красно-желтых и желтых ферралитных почв материковой части Экваториальной Гвинеи

№ пробы	pH_{KCl}	Гумус, %	$N_{общ.}$, %	Подвижные формы, мг/кг													
				P_2O_5	K_2O	CaO	MgO	Cu	Zn	Mn	Fe	Ni	Co	Cr	Cd	Pb	
1	4,20	1,92	0,14	4	41	589	143	4,6	1,6	6,0	79,4	нпо ¹	4,6	нпо	0,4	0,3	
3	4,10	1,87	0,12	4	25	133	35	2,2	0,8	3,2	256,7	0,4	1,4	3,0	нпо	0,5	
4	3,95	2,88	0,17	3	44	125	42	3,0	1,4	3,3	211,4	нпо	2,7	нпо	нпо	0,3	
5	4,08	1,20	0,09	4	48	218	59	1,3	3,4	6,1	124,1	3,2	1,6	4,5	нпо	1,5	
7	3,89	2,11	0,16	4	41	245	59	4,1	5,2	12,2	112,2	3,4	2,6	нпо	0,8	1,9	
8	3,73	3,17	0,21	3	43	195	53	1,0	0,7	3,1	261,2	нпо	2,4	0,3	нпо	нпо	
9	3,84	5,59	0,15	3	51	195	44	2,2	1,9	3,6	217,9	0,6	3,5	0,5	0,2	1,0	
10	3,75	1,90	0,13	4	25	135	33	1,1	1,7	1,1	313,7	0,2	1,2	0,4	нпо	1,0	
11	3,99	2,91	0,19	5	85	639	147	2,8	6,1	6,1	377,3	5,8	2,8	9,5	1,1	1,1	
12	3,88	4,09	0,25	4	60	252	82	2,2	3,4	4,2	222,8	0,7	1,3	нпо	нпо	1,3	
13	4,16	1,58	0,11	4	19	221	50	3,8	6,6	6,1	53,5	7,7	3,2	нпо	1,3	нпо	
14	4,13	2,10	0,17	5	49	326	89	4,0	1,0	16,1	90,4	нпо	2,8	нпо	нпо	0,5	
15	4,03	2,01	0,17	4	108	349	148	6,4	2,0	4,0	55,7	0,6	1,8	нпо	нпо	1,5	
Среднее значение	3,98	2,56	0,16	4	49	279	76	3,0	2,8	5,8	182,8	2,5	2,5	3,0	0,8	1,0	
Min значение	3,73	1,20	0,09	3	19	125	33	1,0	0,7	1,1	53,5	0,2	1,2	0,3	0,2	0,3	
Max значение	4,20	5,59	0,25	5	108	639	148	6,4	6,6	16,1	377,3	7,7	4,6	9,5	1,3	1,9	
Стандартная ошибка среднего (m)	0,04	0,33	0,01	–	7	45	12	0,4	0,6	1,1	29,0	0,9	0,3	1,5	0,2	0,2	

¹ ниже порога определения прибора.

Содержание гумуса в гумусовом горизонте изменяется от 5,59 % («очень высокое») в его поверхностной части до 1,20 % («низкое») в нижней части. Гумус имеет фульватный состав [16]. Почвы этого типа характеризуются невысокой емкостью поглощения оснований – от 10–13 мг-экв. на 100 г почвы в верхнем горизонте до 2–3 мг-экв. на 100 г почвы в горизонте Вm. Среди поглощенных оснований преобладает алюминий, на который приходится 60–80 % суммы поглощенных катионов. В небольших количествах присутствует поглощенный водород. В результате промывного типа водного режима на исследуемой территории, в почвах происходит интенсивный вынос оснований (Ca, Mg, K) и ила по профилю, степень насыщенности основаниями низкая.

Показатели содержания подвижного фосфора крайне низкие – 3–4 мг/кг. Это объясняется тем, что почвы характеризуются высоким содержанием оксидов железа и алюминия, а в кислой среде, в почвенно-поглощающем комплексе анионы фосфорной кислоты утрачивают обменную способность, образуя нерастворимые фосфаты алюминия и железа. Показатели подвижного калия в почвах изменяются от 19 мг/кг до 108 мг/кг, что и соответствует «очень низким» и «низким» значениям. Содержание общего азота в верхнем горизонте почв характеризуется как «очень низкое» и «низкое» (значения изменяются от 0,09 % до 0,25 %).

Обеспеченность обменными формами кальция «очень низкая» и «низкая». Значения изменяются в диапазоне от 125 мг/кг до 639 мг/кг почвы. Показатели содержания обменного магния в поверхностных горизонтах почв – 33–148 мг/кг, что соответствует грациям «очень низкого» и «среднего содержания». В отобранных пробах были проведены исследования на содержание тяжелых металлов. Анализ данных таблицы 2 позволил установить, что среднее содержание подвижных форм меди – 3,0 мг/кг в исследуемых почвах соответствует значениям ПДК, принятых в республике [12]. Однако в 30 % отобранных образцов содержание меди превышало ПДК в 1,3–2,1 раза. Содержание подвижных форм цинка и марганца в отобранных образцах почв не превышало ПДК. Исследуемые почвы характеризуются повышенным содержанием подвижного железа: уже в верхних горизонтах значения изменяются от 53 мг/кг до 377,3 мг/кг. В отдельных образцах (№ 3, 8, 10, 11) содержание подвижного железа соответствует уровню токсической концентрации (более 251 мг/кг). Содержание подвижного никеля в верхних горизонтах почв не превышает установленное значение ПДК – 5,0 мг/кг, однако в пробе № 13 содержание никеля превысило ПДК в 1,5 раза (7,7 мг/кг). Показатели содержания кобальта и свинца в почве находятся в пределах ПДК. Однако в изучаемых почвах содержание подвижного кадмия изменяется в диапазоне значений, соответствующих грациям «повышенное» и «очень высокое содержание» (0,2–1,3 мг/кг почвы).

Почвы характеризуются малой водоудерживающей способностью, хорошей водопроницаемостью, поэтому считаются менее уязвимыми к развитию эрозионных процессов, по сравнению с другими почвами тропиков.

Урожайность культур на красно-желтых и желтых ферраллитных почвах ограничивается из-за дефицита макро- и микроэлементов (цинка, марганца, меди, бора, молибдена). Территория РЭГ входит в ареал почв с дефицитом цинка, недостаток которого особенно сказывается для цитрусовых, бананов, масличной пальмы, арахиса. Эти же культуры в первую очередь реагируют и на низкое содержания магния. Несмотря на бедность питательными элементами используются преимущественно под плантации кофе, какао, бананов [15–18].

Для исследуемых почв остро стоит проблема необменной сорбции фосфора (более 85 % фосфатов недоступны растениям). При продолжительном земледельческом использовании, трудности, связанные с химическими особенностями этих почв, могут быть преодолены внесением удобрений (фосфатов). Для обеспечения растений кальцием и повышения pH необходимо проводить известкование (доломитом или гипсом) [19]. На основании имеющихся опытных данных на почвах такой же типовой принадлежности, установлено, что комплексное применение азотных, фосфорных и калийных удобрений может обеспечивать прибавку урожайности маниока на 77 %, ямса на 23 %, бананов на 300–416 % по сравнению с полученной урожайностью на таких же почвах без удобрений [16].

После введения почв в сельскохозяйственный оборот, необходимы меры, предохраняющие их поверхность от сильного перегрева, вызывающего быструю минерализацию органических веществ и очень сильную дегидратацию окислов железа, прочно цементирующих глинистые частицы почвы в агрегаты. Почвы приобретают «псевдопесчаный» характер, адсорбционные и водоудерживающая способность их понижается, что отрицательно сказывается на плодородии. Для восполнения и сохранения в почвах гумуса и предотвращения его потерь от эрозии, необходим посев почвозащитных и сидеральных культур [15–18, 20, 21].

В результате маршрутного исследования в провинции Южный Биоко (на о. Биоко) диагностировано распространение вулканических пепловых почв (по WRB Andosols [15, 16]). Формирование этих почв происходит на вулканических пеплах и других эффузивных материалах в условиях гористого и холмистого рельефа и под лесной, травянистой, травянисто-кустарниковой растительностью, корни которых скрепляют вулканические пеплы в плотную, хорошо выраженную дернину. Вулканические почвы развиваются в результате альфегумусового почвообразовательного процесса. Быстрое выветривание пористого субстрата приводит к накоплению устойчивых органо-минеральных соединений и образованию слабоокристаллизованных минералов аллофанов.

Морфологический профиль вулканических пепловых почв состоит из гумусово-аккумулятивных горизонтов и гумусово-иллювиального горизонта (фото 11). Верхние горизонты имеют темно-бурый цвет. Образующиеся при гумификации растительных остатков фульвокислоты разлагают вулканический материал и частично нейтрализуются освобождающимися при этом оксидами железа и алюминия. Наиболее подвижные фракции фульватов железа и алюминия вымываются в глубокие части профиля, образуя иллювиально-гумусовый горизонт, а менее подвижные ульматы железа остаются в верхнем гумусовом горизонте, придавая ему бурю окраску [15].

Перемещающиеся вниз по профилю в органо-минеральных формах железа и алюминия, аккумулируются в заметных количествах, что проявляется наличием железистых или органо-железистых пленок и железистых новообразований в нижней части профиля (фото 12).



Фото 11. Репрезентативный почвенный профиль вулканических пепловых почв (Andosols) в провинции Южный Биоко



Фото 12. Железистые новообразования в вулканической пепловой почве (с глубины 0,58 м)

Вулканические пеплы, состоящие из минерального материала, выпадая на поверхность земли, образуют присыпки в поверхностные горизонты почв, омолаживая их, часто перекрывая, прерывая на время процесс почвообразования и, переводя поверхностные органоминеральные горизонты в состояние погребенных [22]. Захоронение гумусовых горизонтов способствует их сохранности, поэтому в этих почвах содержание гумуса во всем профиле очень высокое. Это подтверждается и данными почвенно-агрохимических анализов. Среднее содержание гумуса «очень высокое» – 8,76 % (диапазон значений в пробах от 4,09 % до 16,63 %) (табл. 3), по составу – фульватный ($C_{гк}/C_{фк}$ 0,2–0,3) [15].

Гранулометрический состав почв преимущественно суглинистый, иногда песчаный с примесью крупнообломочного и пористого материала. Верхние органоминеральные горизонты имеют мелкокомковатую (крупитчатую структуру), которая при высыхании становится порошкообразной. Вулканические почвы характеризуются рыхлым сложением, малым объемным весом (0,5–0,9 г/см³), высокой пористостью и влагоемкостью, что обеспечивают быстрое впитывание осадков и минимизирует развитие эрозии на них [19].

В зависимости от состава магмы вулкана, образующийся пепел, как почвообразующая толща, содержит различное количество питательных веществ, которое подвержено динамике вследствие процессов эрозии и выветривания [22]. Высокое содержание гумуса и наличие органоминеральных соединений, обуславливает очень высокую емкость поглощения в исследуемых почвах (30–60 мг-экв. на 100 г почвы). В составе ЕКО катионы алюминия и водорода составляют 50 %. В составе

поглощенных анионов преобладает анион фосфорной кислоты (PO_4^{3-}), что приводит к связыванию фосфора в труднодоступные органо-минеральные комплексы с участием алюминия и железа [15–18].

Верхние горизонты этого типа почв характеризуются кислой реакцией (pH_{KCl} 5,36). Диапазон показателей кислотности изменяется от 4,38 («сильнокислые») до 6,13 единиц («близкие к нейтральным») (табл. 3). Среднее значение общего азота в верхних горизонтах «высокое».

Содержание подвижных форм фосфора и калия существенно различается в виду не систематического внесения удобрений. Содержание подвижного фосфора в отобранных пробах составило 55 мг/кг («очень низкое») и изменяется от 9,8 до 298,4 мг/кг. Обеспеченность подвижными формами калия «очень высокая»: среднее содержание – 403 мг/кг, а диапазон значений изменяется от 82,4 до 758,1 мг/кг.

Таблица 3

Показатели агроэкологического состояния вулканических пепловых почв островной части Экваториальной Гвинеи (о. Биoko)

№ пробы	pH_{KCl}	Гумус, %	$N_{общ}$, %	Подвижные формы												
				P_2O_5	K_2O	CaO	MgO	Cu	Zn	Mn	Fe	Ni	Co	Cr	Cd	Pb
1	5,24	7,08	0,39	10	288	2252	947	49,5	37,8	103,0	44,7	2,6	5,0	5,9	0,3	нпо
2	5,85	16,63	1,00	10	802	4903	1467	22,4	56,8	103,3	7,5	11,8	11,0	8,0	0,6	0,1
3	5,68	4,09	0,13	18	502	1976	783	123,8	71,4	142,4	102,3	6,9	6,8	2,7	0,4	0,3
4	6,13	7,28	0,48	298	309	4455	1128	78,5	46,3	93,6	33,0	4,7	7,3	8,3	0,4	0,7
5	4,38	9,20	0,54	16	154	336	83	97,6	14,1	39,8	70,4	2,5	3,2	6,6	нпо	0,7
6	4,87	7,23	0,32	14	328	1399	542	23,8	23,2	132,3	80,6	2,9	6,8	4,0	нпо	0,1
7	4,78	11,60	0,77	67	758	2306	959	19,5	66,3	67,1	44,3	2,1	5,6	4,1	0,2	0,1
8	5,98	6,94	0,37	10	82	2576	887	487,9	77,8	211,0	32,8	7,5	9,5	3,7	нпо	0,1
Среднее значение	5,36	8,76	0,50	55	403	2525	850	112,9	49,2	111,6	52,0	5,1	6,9	5,4	0,4	0,3
Min значение	4,38	4,09	0,13	10	82	336	83	19,5	14,1	39,8	7,5	2,1	3,2	2,7	0,2	0,1
Max значение	6,13	16,63	1,00	298	802	4903	1467	487,9	77,8	211,0	102,3	11,8	11,0	8,3	0,6	0,7
Стандартная ошибка среднего (m)	0,23	1,35	0,10	35	93	532	144	55,3	8,1	18,4	10,8	1,2	0,9	0,7	0,1	0,1

Вулканические почвы характеризуются высокими средними значениями содержания обменного кальция (2525 мг/кг) и обменного магния (850 мг/кг). Как уже отмечалось выше, микро- и макроэлементный состав вулканических почв определяется составом выпадающих на поверхность земли вулканических пеплов. В момент извержения вулканические пеплы обладают высокой сорбционной способностью. Благодаря этому в процессе извержения и далее при движении от источника до места выпадения пеплы могут сорбировать на своей поверхности химические вещества из газовой тучи, в том числе микроэлементы, которые позже определяют химический состав формирующихся в них почв.

Установлено, что в исследуемых вулканических почвах содержание подвижной меди в 6,5–126,6 раз превышает показатели ПДК [12], аналогичная тенденция наблюдается для цинка – в 4,7–25,9 раза и марганца – в 0,4–2,1 раза. Среднее содержание подвижного железа в верхних горизонтах почвы составляет 52,0 мг/кг и изменяется от 7,5 мг/кг до 102,3 мг/кг. Значения не превышают уровень токсической концентрации (> 251,0 мг/кг). Содержание подвижных форм никеля изменяется от 2,1 до 11,8 мг/кг и в 50 % почвенных проб превышает допустимые значения ПДК в 1,2–3,0 раза. Показатели содержания подвижных форм кобальта изменяются от 3,2 до 11,8 мг/кг (62 % почвенных проб имеют превышение ПДК в 1,2–2,2 раза). Содержание хрома в этих же горизонтах в среднем составляет 5,4 мг/кг, изменяясь от 2,7 до 8,3 мг/кг (в 38 % почвенных проб показатели превышают ПДК в 1,3–4,1 раза). Практически во всех отобранных образцах установлено превышение значений ОДК по содержанию кадмия (табл. 3).

Низкое содержание подвижного фосфора, повышенная кислотность требует проведения агромелиоративных работ по улучшению их агрономических свойств. Набор выращиваемых культур на них самый различный – сахарный тростник, табак, батат, какао, кофе, овощи.

Вдоль побережья Гвинейского залива на территории РЭГ получили распространение мангровые кислые сульфатные болотно-солончаковые почвы. Мангровые почвы образуются под мангровой растительностью в прибрежных районах, затопляемых приливыми водами океана, на аллювиально-морских отложениях и представляют собой своеобразные солончаковые болота. Уровень воды в таких почвах обычно находится на глубине 10–30 см от поверхности. Их профиль слабо дифференцирован. Гумусовый горизонт небольшой мощности, темно-бурого цвета, с заметным переходом в серую или оливково-серую бесструктурную влажную илистую массу. На глубине 17–20 см быстро просачивается вода. В связи с высокой биологической продуктивностью мангровых зарослей, почвы характеризуются высоким содержанием гумуса – от 3 до 8 %. В условиях восстановительной среды при обилии разлагающихся растительных остатков в присутствии сернокислых солей, содержащихся в морской воде, сероводород вступает в реакцию с закисным железом и в результате в почве образуется черный коллоидный осадок сернистого железа (гидротроиллит). По мере смены восстановительной стадии на окислительную, почвы утрачивают черный цвет и приобретают бурые и красноватые тона. Реакция почвенного раствора – кислая или слабокислая, в связи с чем, мангровые почвы относят к кислым сульфатным и сульфато-хлоридным солончакам. В составе почвенно-поглощающего комплекса преобладают магний и кальций, присутствует обменный водород. Количество подвижных форм алюминия и железа колеблется в зависимости от длительности затопления (табл. 4).

Таблица 4

Физико-химические свойства мангровых типичных почв [24]

Глубина, см	С, %	N _{общ} , %	рН Н ₂ O	Поглощенные катионы, мг-экв/100 г почвы			Подвижные оксиды, %		
				Ca ²⁺	Mg ²⁺	H ⁺	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	SiO ₂
Мангровая типичная почва									
0–18	2,30	0,15	4,0	6,6	17,1	0,3	1,9	0,2	0,2
18–38	2,04	0,14	4,0	6,1	18,7	0,4	1,3	0,5	0,2
38–76	2,12	0,11	4,5	4,6	19,4	0,7	1,6	0,4	0,2
76–103	–	–	5,0	5,6	17,8	0,9	1,1	0,2	0,2

В мангровых почвах преобладает сульфатно-магниевое-натриевое засоление. Протекающие процессы осолонцевания, высокая кислотность вызывают необходимость проведения работ по известкованию. Содержание подвижных форм калия и фосфора в мангровых почвах сильно варьирует. Эти почвы могут использоваться для возделывания риса после проведения агрономических работ [15, 23, 24].

ВЫВОДЫ

В структуре земельного фонда лесные земли занимают наибольшую площадь, характеризуются высокой степенью лесистости территории РЭГ (87,3 %). Сельскохозяйственные земли, различающиеся по своим природным особенностям, занимают лишь 3,7 % территории страны, что свидетельствует о низкой степени сельскохозяйственной освоенности РЭГ. Пахотные земли, наиболее ценная и интенсивно эксплуатируемая часть земельных ресурсов, систематически обрабатываемая занимает лишь 1,9 % территории Экваториальной Гвинеи.

На основании проведенных маршрутных исследований на территории РЭГ установлено, что красно-желтые и желтые ферралитные почвы характеризуются повышенной кислотностью, повышенным содержанием гумуса, крайне низким содержанием подвижных форм кальция, магния, фосфора и калия. Содержание общего азота в верхних горизонтах почв характеризуется как «очень низкое» и «низкое». Отличительной особенностью почв является повышенное содержание подвижных форм железа, высокое содержание кадмия. Для восполнения и сохранения в почвах гумуса и предотвращения его потерь от эрозии необходим посев почвозащитных и сидеральных культур.

Содержание макро- и микроэлементов в вулканических почвах определяется химическим составом выпавших пеплов и интенсивностью процессов выветривания. Характеризуются различными показателями кислотности, содержания подвижных форм калия, высоким содержанием гумуса, общего азота, высоким содержанием подвижных форм кальция и магния. Однако в верхних горизонтах почвы содержание подвижных меди, цинка, марганца превышает показатели ПДК. В отдельных пробах содержание подвижных форм никеля, кобальта, хрома превышает значения ПДК в 1,2–4,1 раза. Практически во всех отобранных образцах установлено превышение значений ОДК по содержанию кадмия.

Для исследуемых почв (как красно- и желтых ферралитных, так и вулканических пепловых) из-за особенностей химического состава почв остро стоит проблема

необменной сорбции фосфора, что указывает на первоочередную необходимость внесения фосфорных удобрений. Промывной тип водного режима, высокое содержание в составе ППК катионов алюминия и водорода требуют проведения работ по известкованию почв в целях обеспечения благоприятной реакции почвенной среды для выращивания сельскохозяйственных культур.

При проведении широкого комплекса агрономелиоративных работ мангровые болотно-солончаковые почвы могут служить для выращивания риса.

Применение комплекса агрономелиоративных мероприятий, включающих применение макро- и микроудобрений, известкование, обработку почв, строительство оросительных систем (для дождевания почв в сухой, хотя и непродолжительный период), применение средств защиты культур может служить научной основой получения стабильных и высоких урожаев традиционных культур в Экваториальной Гвинее, а сведения об агроэкологическом состоянии почв являются основополагающими в изучении адаптационного потенциала возможных новых сельскохозяйственных культур на территории РЭГ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Экваториальная Гвинея [сайт]. – URL: <https://ru.wikipedia.org> (дата обращения: 28.04.2024).
2. Экваториальная Гвинея – подробная информация о стране [сайт]. – URL: <https://wikiway.com/equatorial-guinea> (дата обращения 28.04.2024).
3. Большая Российская энциклопедия 2004–2017 // Экваториальная Гвинея [сайт]. – URL: <https://old.bigenc.ru> (дата обращения: 02.05.202).
4. Мировая и региональная статистика // Экваториальная Гвинея [сайт]. – URL: <https://ru.knoema.com/atlas> (дата обращения: 02.05.2024).
5. Мировая и региональная статистика // Земельные ресурсы [сайт]. – URL: <https://ru.knoema.com/atlas>. – Дата доступа: 02.05.2024.
6. Сельское, лесное и рыбное хозяйство Экваториальной Гвинеи [сайт]. – URL: <https://be5.biz/makroekonomika/agriculture/gq> (дата обращения: 03.05.2024).
7. Forest-cover country 2024 [сайт]. – URL: <https://worldpopulationreview.com/country-rankings/forest-cover-by-country> (дата обращения: 02.05.2024).
8. Глобальная оценка лесных ресурсов [сайт]. – URL: <https://www.fao.org/forest-resources-assessment/2020/ru> (дата обращения: 03.05.2024).
9. Матвеева, Н. Ф. Проблемы аграрного сектора в нефтедобывающих странах Африки: Экваториальная Гвинея / Н. Ф. Матвеева // Ученые записки Института Африки РАН № 1(50). – 2020. – С. 38–47.
10. Сельское хозяйство республики Экваториальная Гвинея / Дель Пилар Б.Р.М., А. В. Шитикова [сайт]. – URL: <https://elib.timacad.ru> (дата обращения: 02.05.2024).
11. Методика крупномасштабного агрохимического и радиационного обследования почв сельскохозяйственных земель Республики Беларусь / И. М. Богдевич, В. В. Лапа, Н. Н. Цыбулько [и др.]; Нац. акад. наук Беларуси, Институт почвоведения и агрохимии». – Минск : Институт системных исследований в АПК НАН Беларуси, 2020. – 48 с.
12. Перечень предельно допустимых концентраций (ПДК) и ориентировочно допустимых концентраций (ОДК) химических веществ в почве. Гигиенические нормативы 2.1.7.12-1-2004 / Министерство здравоохранения Республики Беларусь. – 2004. – 31 с.

13. Крассов, О. Земельное право в странах Африки / О. Крассов. – Норма, 2022. – С. 279–281.
14. Фридланд, В. М. Физико-географический очерк. Почвы / В. М. Фридланд // Энциклопедический справочник «Африка» [сайт]. – URL: <https://africa.academic.ru> (дата обращения: 02.05.2024).
15. Глазовская, М. А. Почвы Мира. Основные семейства и типы почв / М. А. Глазовская. – М : Изд-во Московского университета, 1972. – С. 43–46.
16. Глазовская, М. А. Почвы Зарубежных стран. География и сельскохозяйственное использование / М. А. Глазовская. – М : Мысль, 1975. – С. 180–191.
17. Зонн, С. В Тропическое почвоведение: учебное пособие / С. В. Зонн. – М. : Изд-во УДН, 1986. – 400 с.
18. Почвоведение: учебник / Л. Г. Богатырев [и др.] : в 2 ч.; ч. 2: Типы почв, их география и использование. – М. : Высшая школа. – 1988. – 367 с.
19. Мировая коррелятивная база почвенных ресурсов: основа для международной классификации и корреляции почв. – М. : Товарищество научных изданий КМК, 2007. – 278 с.
20. Guidelines for Soil Description and Classification Central and Earsten European Students Version / M. Świtoniak, C Kabala, A. Karklins [et al.]. – Tourin, 2018. – P. 113, 129, 133, 182–183.
21. Плодородие и использование почв тропических и субтропических стран. – М. : Почвенный ин-т им. В. В. Докучаева РАСХН, 1997. – 118 с.
22. Захарихина, Л. В. Особенности строения профилей вулканических почв в условиях высотной поясности Камчатки / Л. В. Захарихина, Ю. С. Литвиненко // Почвоведение. – № 6. – 2013. – С. 643–644.
23. Добровольский, В. В. География почв с основами почвоведения / В. В. Добровольский. – М. : Просвещение, 1967. – С. 308–312.
24. Наумов, В. Д. Почвы тропиков и субтропиков: учебник / В. Д. Наумов; Российский государственный аграрный университет; МСХА им. К. А. Тимирязева. – М. : РГАУ-МСХА им. К. А. Тимирязева, 2022. – 223 с. [сайт]. – URL: <http://elib.timacad.ru> (дата обращения: 30.04.2024).

LAND AND SOIL RESOURCES OF EQUATORIAL GUINEA

**Y. K. Shashko, T. N. Azaronak, O. V. Matychenkova,
S. V. Dydysenko, G. G. Karpovich**

Summary

The article presents an analysis of statistical data characterizing the land fund of Equatorial Guinea, examines the features of the country's soil cover. Information is provided on the morphological structure and agroecological state of red- and yellow-ferralite, volcanic ash soils in terms of acidity, total nitrogen content, humus, mobile forms of phosphorus, potassium, calcium, magnesium, copper, zinc, iron. Data on the content of heavy metals (cobalt, nickel, chromium, lead) in the upper horizons of soils are presented. The results of the study can be applied to the study of the adaptive potential of crops in Equatorial Guinea.

Поступила 28.10.24

2. ПЛОДОРДИЕ ПОЧВ И ПРИМЕНЕНИЕ УДОБРЕНИЙ

УДК 631.82:631.11

ДИНАМИКА СОДЕРЖАНИЯ АЗОТА, ФОСФОРА И КАЛИЯ В РАСТЕНИЯХ ЯРОВОЙ ПШЕНИЦЫ В ТЕЧЕНИЕ ВЕГЕТАЦИИ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ УСЛОВИЙ ПРОИЗРАСТАНИЯ

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

ВВЕДЕНИЕ

На первом месте в ряду неблагоприятных факторов, вызывающих заболевания растений и человека, стоит нарушение питания. Для сельскохозяйственных культур сбалансированное минеральное питание макро- и микроэлементами определяет их развитие, устойчивость к неблагоприятным условиям среды, урожайность и качество продукции.

В природе каждого растения заложена его способность усваивать из внешней среды элементы питания, характерные для всего растительного мира, но в определенном соотношении и в типичной для каждого вида динамике в течение вегетационного периода [1].

Урожайность и качество растительной продукции обеспечиваются необходимым уровнем, соотношением и доступностью элементов питания в почве. В то же время наличие достаточного количества питательных веществ в почве не дает гарантии их попадания в растения. Усвояемость элементов питания культурами зависит от многих факторов как внутренних, так и внешних.

Более полное и точное представление о потребности растений в элементах питания дает не почвенный анализ, а изучение динамики морфологических, биометрических и химических показателей растений в течение онтогенеза при разных уровнях обеспеченности почвенным питанием [2, 3].

По химическому составу нормально развитых высокоурожайных растений можно определить оптимальное количество и качественное соотношение основных элементов питания в растениях по фазам развития. Это дает возможность уточнить необходимый и более эффективный состав видов удобрений и систему их применения с учетом потребности в них растений по периодам формирования урожая, а тем самым направленно повлиять на этот процесс [4].

В последние годы в Беларуси все более значительное место в обеспечении населения продовольственным зерном занимает яровая пшеница. Поэтому изучение в течении вегетации изменений содержания основных элементов питания (азот, фосфор, калий) в растениях яровой пшеницы современных сортов интенсивного типа в зависимости от условий произрастания является актуальным и определило цель наших исследований.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Анализ динамики содержания основных элементов питания (азот, фосфор, калий) в растениях яровой пшеницы в основные фазы роста и развития проведен на основании данных опытов, проводившихся в разные годы на опытных полях РУП «Институт почвоведения и агрохимии» в ОАО «Гастелловское» Минского района на высококультуренной дерново-подзолистой легкосуглинистой почве, с яровой пшеницей сорт Сударыня (2018–2020 гг.), Монета (2021–2022 гг.) и Мадонна (2022–2023 гг.).

Агрохимическая характеристика пахотного слоя почвы: pH_{KCl} – 6,0–6,5, содержание гумуса – 2,0–2,6 %, подвижные соединения фосфора – 700–1000 мг/кг почвы, калия – 250–340 мг/кг почвы.

Площадь делянок в полевых опытах составляла 24–36 м², повторность вариантов – 4-кратная.

Агротехника возделывания яровой пшеницы – общепринятая для Республики Беларусь, включающая интегрированную систему защиты растений от сорной растительности, вредителей и болезней [5].

Для диагностики питания растений яровой пшеницы в вариантах без внесения удобрений и с применением полного минерального удобрения отбирали растительные пробы (все растения) в следующие фазы: 1 узел, флаг-лист, колошение и молочная спелость.

В растительных образцах из одной навески после мокрого озоления по методу ЦИНАО (1976) определяли: содержание общего азота – индофенольным методом и фосфора – ванадомолибдатным методом фотоколориметрически; содержание калия – на пламенном фотометре.

На инфракрасном спектрофотометре «Infraneo» – содержание протеина и клейковины в зерне.

Дисперсионный и корреляционный анализ экспериментальных данных выполнен согласно методике полевого опыта Б. А. Доспехова [6] с использованием соответствующих программ пакета MSExcel.

Значительное влияние на поглощение элементов питания, химический состав растений и в конечном итоге на продуктивность оказывают метеорологические условия вегетационного периода.

2018–2023 гг. различались по гидротермическим условиям. Количество осадков за вегетационный период яровой пшеницы изменялось от 178 мм в 2019 г. до 296 мм в 2021 г. Как видно на рисунке 1 условия увлажнения при прохождении основных фенологических фаз в годы исследования сильно различались. Так в 2018 г. при суммарном количестве осадков за вегетацию 242 мм 79 % из них пришлось на период колошение–молочная спелость, в 2023 г. при сумме 283 мм 76 % выпало в период от молочной спелости культуры до уборки.

Данные за 6 лет исследований свидетельствуют, что существенная связь между количеством осадков за вегетацию культуры и урожайностью зерна в удобренных вариантах отсутствует. В то же время установлена достоверная сильная связь между данными показателями в критический период – от посева до колошения ($R^2 = 0,84$). Так в 2018 и 2023 гг. яровая пшеница в период посев–колошение испытывала значительный недостаток влаги (выпало 39–48 мм осадков), что и определило низкую продуктивность культуры в эти годы (на уровне 44 ц/га зерна

при применении полной минеральной системы удобрения) (рис. 2). В 2019 г. при самой низкой за годы исследования сумме осадков за вегетацию распределение влаги было более равномерное, за период от посева до колошения выпало 79 мм осадков, в результате было получено 57 ц/га зерна.

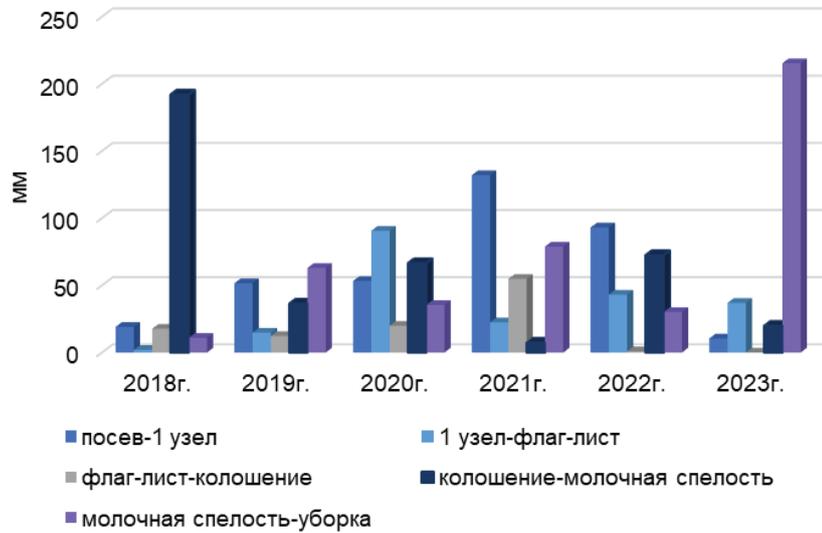


Рис. 1. Количество осадков за вегетационные периоды яровой пшеницы 2018–2023 гг.

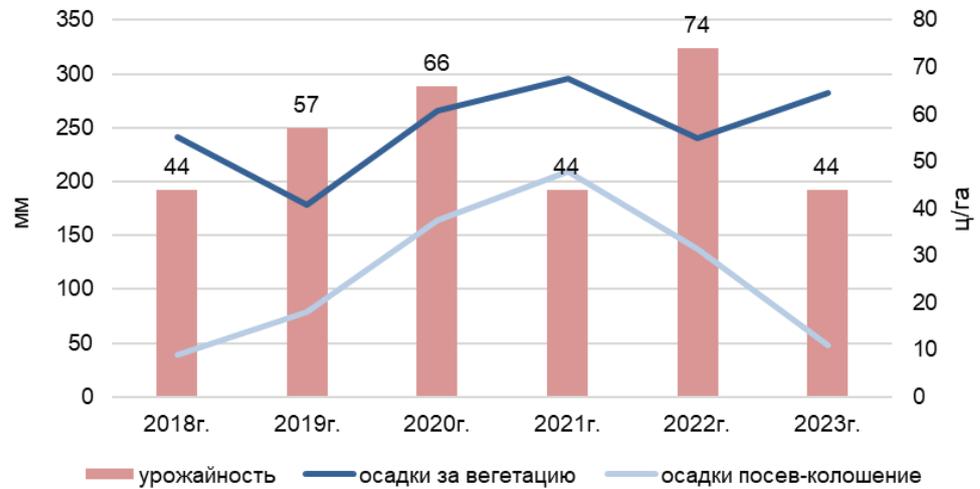


Рис. 2. Связь урожайности зерна яровой пшеницы в удобренных вариантах с количеством осадков за различные периоды вегетации

Согласно уравнению регрессии ($y = -0,0033x^2 + 0,8471x + 13,339$) наибольшая продуктивность яровой пшеницы формировалась при количестве осадков в период от посева до колошения на уровне 125–130 мм. Как снижение, так и повышение количества осадков от данного уровня сопровождалось снижением урожайности зерна. Наиболее близкое к оптимальному количество осадков и относительно равномерное их выпадение отмечалось в 2022 г. (137,2 мм), в результате в этом году было получено 74 ц/га зерна яровой пшеницы сорт Монета.

В 2020 г. при количестве осадков за вегетацию 266 мм и 164 мм за период посев–колошение урожайность зерна составила 66 ц/га.

Переувлажнение посевов, отмечавшееся в 2021 г., когда за период от посева до первого узла выпало 132 мм осадков (45 % от суммы за период вегетации), также негативно сказалось на продуктивности культуры, при применении полной минеральной системы удобрения было получено 44 ц/га зерна.

Температурный режим в меньшей степени влиял на производственные процессы яровой пшеницы. Для большинства растений при достаточном освещении и удовлетворительном обеспечении водой благоприятна температура воздуха от 15 до 30 °С. При этом, считается, что температура ниже 10 °С отрицательно влияет на поступление всех минеральных элементов в корни [7].

За годы исследования неблагоприятные условия для поступления элементов питания в растения яровой пшеницы складывались в период от посева до формирования первого узла в 2020 и 2021 гг., когда средние температуры воздуха составляли 8,2 и 9,8 °С соответственно (рис. 3). В 2022 г. в этот период средние температуры воздуха были близки к неблагоприятным, составив 10,8 °С.

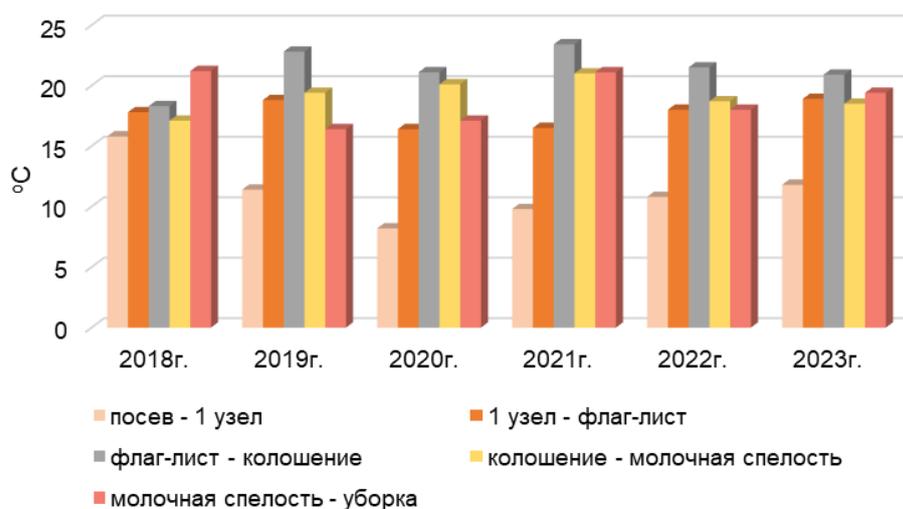


Рис. 3. Температурный режим вегетационных периодов яровой пшеницы 2018–2023 гг.

Наиболее высокие температуры, за исключением 2018 г., отмечались в период от флаг-листа до колошения, наиболее жаркие условия в этот период наблюдались в 2019 (22,8 °С) и 2021 гг. (23,4 °С).

Самым теплым был 2018 г., когда средняя температура за период вегетации яровой пшеницы составила 18,1 °С, наиболее холодным – 2020 г. со средней температурой 13,2 °С.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Химический состав растений – величина лабильная. Она зависит от многих одновременно действующих факторов: почвенных и погодных условий, системы удобрения, сорта.

Влияние почвенных условий на усвоение элементов минерального питания проявляется через содержание и соотношение ионов в почвенной среде.

Сравнительный анализ содержания основных элементов питания по основным этапам роста и развития растений яровой пшеницы в вариантах без внесения удобрения в опытах с оптимальными показателями, приводимыми В. В. Церлинг [2], показал, что в наших исследованиях содержание азота в течение вегетации в растениях яровой пшеницы ниже, содержание фосфора на уровне или выше, калия – выше оптимального (табл. 1).

Таблица 1

Динамика содержания основных элементов питания в растениях яровой пшеницы по фазам роста и развития, % в абс. сух. в-ве

Год	Вариант	N				P ₂ O ₅				K ₂ O			
		1*	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Сударыня													
2018	Без удобрений	2,36	0,48	1,43	1,39	0,93	0,56	0,53	0,74	5,44	2,78	1,67	1,54
	N ₁₅₀ P ₃₀ K ₉₀	2,42	0,72	2,01	1,99	1,00	0,52	0,55	0,77	5,33	3,13	2,55	1,54
2019	Без удобрений	3,26	1,91	1,30	0,89	0,89	0,61	0,70	0,64	5,58	3,55	2,75	1,51
	N ₁₅₀ P ₃₀ K ₉₀	4,00	2,64	2,02	1,12	0,97	0,71	0,83	0,59	6,58	4,76	3,34	1,39
2020	Без удобрений	3,12	1,70	1,30	1,11	0,87	0,75	0,87	0,79	4,75	3,96	2,60	1,48
	N ₁₅₀ P ₃₀ K ₉₀	3,81	2,72	1,84	1,70	1,06	0,83	1,00	0,95	4,71	4,78	3,35	1,81
Монета													
2021	Без удобрений	4,11	2,23	2,18	1,22	1,09	0,73	0,62	0,64	5,55	3,87	2,89	1,79
	N ₁₅₀ P ₃₀ K ₆₀	4,17	2,80	2,46	1,64	1,12	0,91	0,57	0,70	5,81	4,77	3,41	2,42
2022	Без удобрений	2,91	1,21	0,88	0,81	0,95	0,72	0,60	0,49	5,22	3,39	2,63	1,69
	N ₁₅₀ P ₃₀ K ₆₀	4,85	1,99	1,58	1,57	1,32	0,97	0,73	0,61	6,65	5,47	4,03	2,90
Мадонна													
2022	Без удобрений	2,47	–	1,17	–	1,01	–	0,85	–	4,51	–	2,16	–
	N ₁₅₀ P ₇₀ K ₁₂₀	3,82	–	2,10	–	1,39	–	0,86	–	6,54	–	4,10	–
2023	Без удобрений	1,93	–	1,43	–	1,06	–	0,88	–	2,92	–	2,30	–
	N ₁₅₀ P ₇₀ K ₁₂₀	2,11	–	1,97	–	0,98	–	0,93	–	2,98	–	2,35	–
Оптимальное по Церлинг В.В.		3,6– 4,4		2,5– 3,0		0,7– 0,9		0,5– 0,7		3,0– 4,8		2,5	
V, %		27,9	44,5	26,9	28,2	14,4	19,8	20,8	18,5	22,4	21,4	24,5	26,7

* 1 – 1 узел, 2- флаг-лист, 3 – колосшение, 4 – молочная спелость.

Полученные данные могут свидетельствовать о том, что в условиях очень высокого содержания в почве подвижных форм фосфора и калия в растения поступает большее их количество, чем на почвах, менее обеспеченных данными элементами. В то же время азот является элементом, находящимся в минимуме в данной почве. Поэтому при применении полного минерального удобрения в наибольшей степени повышалось содержание в растениях азота. Наблюдаемое при этом повышение (не всегда достоверное) содержания калия и в меньшей степени фосфора связано, вероятно, с установлением сбалансированности питания в результате применения азотных удобрений.

Тем не менее, необходимо отметить, что даже при внесении высоких доз азотных удобрений (150 кг д.в./га) содержание азота в растениях яровой пшеницы в фазе колошения не достигало нижней границы оптимального по В. В. Церлинг.

Оптимальным уровнем содержания в растениях питательных веществ считается такой, при котором получают высокий урожай хорошего качества. В наших исследованиях в 2020 и 2022 гг. при содержании азота в растениях яровой пшеницы в фазе колошения на уровне 1,84 % (сорт Сударыня) и 1,58 % (сорт Монета), что на 0,66–0,92 % меньше нижней границы оптимального, было получено соответственно 65,9 и 74,2 ц/га зерна с содержанием сырого белка 13,6–14,4 %, клейковины – 30,2–36,3 % (табл. 2).

Оптимальные уровни питания, приводимые В. В. Церлинг разрабатывались для сортов с продуктивностью 45–50 ц/га. Современные же высокопродуктивные сорта формируют высокую урожайность (до 100 и более ц/га) при меньших затратах азота [8], также у них улучшен отток питательных веществ в зерно [9]. Таким образом, можно говорить о том, что для исследуемых современных сортов яровой пшеницы оптимальным уровнем содержания азота в растениях в фазе колошения является 1,60–1,80 %, при котором возможно получение урожайности зерна на уровне 65–75 ц/га.

В исследованиях [10, 11], проводившихся с яровой пшеницей на дерново-подзолистой легкосуглинистой среднекультуренной почве, содержание азота в надземной части растений в фазе колошения также не достигало оптимальных значений по В. В. Церлинг и было на уровне 1,50–1,60 %, урожайность зерна в результате составила 49–54 ц/га.

Полученные нами данные позволили также выявить, что различные исследуемые сорта неодинаково реагировали на условия выращивания. В 2022 г. в условиях опыта урожайность зерна сорта Монета составила 52,4–74,5 ц/га, сорта Мадонна – 35,7–59,4 ц/га. В химическом составе растений в течение вегетации также отмечены различия. В варианте без удобрений на протяжении вегетации у сорта Монета содержание калия было выше, а фосфора ниже, чем у сорта Мадонна. При внесении удобрений эти показатели были близкими. В наибольшей степени на протяжении вегетации различалось содержание азота. И если в фазе 1-го узла лучшие показатели по содержанию данного элемента отмечались у сорта Монета, то к колошению ситуация диаметрально изменилась.

Оценка концентрации элемента без анализа массы растений не является объективной. В фазе 1-го узла у сорта Монета более высоким значениям концентрации азота соответствовало и более высокое, чем у сорта Мадонна, накопление биомассы. К фазе колошения биомасса растений яровой пшеницы сорта Монета на 18 % в варианте с применением удобрений и на 66 % в варианте без удобрений

была выше, чем у сорта Мадонна (табл. 2). Поэтому более низкие концентрации азота у растений сорта Монета логично объяснить эффектом разбавления.

Таблица 2

Накопление биомассы растениями яровой пшеницы по фазам роста и развития, урожайность зерна и его качество

Год	Вариант	Накопление биомассы, ц/га сухого в-ва				Урожайность зерна, ц/га (14 % влажность)	Сырой белок, % в сухом в-ве	Клейковина, % в сухом в-ве
		1 узел	Флаг-лист	Колошение	Молочная спелость			
Сударыня								
2018	Без удобрений	8,0	32,6	32,8	53,6	33,8	11,9	25,2
	N ₁₅₀ P ₃₀ K ₉₀	10,1	44,6	36,8	68,2	44,4	16,6	41,0
2019	Без удобрений	9,9	30,0	35,6	59,7	43,3	9,6	18,0
	N ₁₅₀ P ₃₀ K ₉₀	13,6	48,4	51,4	94,8	57,2	14,2	29,4
2020	Без удобрений	8,8	26,9	53,5	88,9	55,4	10,3	19,1
	N ₁₅₀ P ₃₀ K ₉₀	9,9	44,2	78,0	105,6	65,9	13,6	30,2
Монета								
2021	Без удобрений	7,1	16,5	40,9	53,2	33,2	11,1	23,3
	N ₁₅₀ P ₃₀ K ₆₀	8,2	28,2	51,6	67,0	43,5	15,9	38,3
2022	Без удобрений	6,5	50,0	56,6	87,3	52,4	10,2	23,2
	N ₁₅₀ P ₃₀ K ₆₀	9,5	61,0	95,8	116,0	74,2	14,4	36,3
Мадонна								
2022	Без удобрений	5,2	–	34,4	–	35,7	10,1	19,7
	N ₁₅₀ P ₇₀ K ₁₂₀	9,1	–	81,0	–	59,4	14,5	33,6
2023	Без удобрений	4,7	–	19,3	–	31,9	11,7	24,2
	N ₁₅₀ P ₇₀ K ₁₂₀	7,3	–	22,1	–	43,8	17,5	42,0

Полученные данные для двух сортов яровой пшеницы, возделываемых в одинаковых погодных условиях, показывают, что между урожайностью с одной стороны и содержанием азота и накоплением биомассы с другой в начальный период роста (фаза 1-го узла) отмечается прямая зависимость. К фазе колошения между урожайностью и накоплением биомассы связь прямая, с содержанием азота – обратная.

Эти выводы подтверждаются корреляционным анализом данных для трех сортов за 2018–2023 гг. исследований. Между количеством биомассы и урожайностью зерна в фазы 1-го узла и флаг-листа установлена слабая прямая связь. В фазе колошения ($r\ 0,89$; $y = 0,5157x + 22,739$) и молочной спелости ($r\ 0,99$; $y = 0,59x + 3,466$) связь тесная прямая.

Содержание азота в растениях яровой пшеницы в вариантах с применением полного минерального удобрения в фазы первого узла и колошения является статистически достоверным признаком, определяющим величину урожайности зерна данной культуры. При этом в фазе первого узла между содержанием азота и урожайностью отмечается прямая связь ($r\ 0,83$), в колошение установлена обратная связь ($r\ -0,78$) между этими показателями. В фазе флагового листа в силу

значительного влияния экстремальных погодных условий, отмечавшихся в годы проведения исследований, корреляционные зависимости не были установлены.

Таким образом, еще одним фактором, существенно влияющим на химический состав растений яровой пшеницы в течение вегетации и на урожайность являются погодные условия и в первую очередь условия увлажнения.

Проявление крайне неблагоприятных засушливых условий, которые наблюдались в 2018 г. в период первый узел–флаг-лист отразилось на химическом составе растений. Концентрация азота в растениях, отобранных в фазе флаг-листа, составила 0,48–0,72 %, что в 2,5–4,6 раза ниже, чем в другие годы исследования. Содержание калия (2,78–3,13 %) и фосфора (0,52–0,56 %) снизилось в меньшей степени, в 1,1–1,9 раза. К фазе колошения условия увлажнения все еще были критическими, но содержание азота значительно увеличилось, что может быть связано с реутилизацией элементов питания из отмерших побегов. Об отмирании побегов свидетельствуют данные о количестве биомассы, которая в варианте с применением полного минерального удобрения снизилась на 7,8 ц/га (табл. 2).

В 2023 г. неблагоприятные условия наблюдались с момента посева, что отразилось в значительном сокращении количества как азота, так и калия в растениях, отобранных в фазе 1-го узла. Содержание фосфора оставалось на уровне годов с благоприятными условиями.

В 2021 г. получение урожая на уровне 2018 и 2023 г. было обусловлено избыточным увлажнением в начальный период вегетации, содержание элементов питания при этом было выше или на уровне благоприятных годов исследования. Высокую концентрацию элементов питания в растениях яровой пшеницы в этом году, кроме как условиями увлажнения, которые благоприятно влияли на поступление элементов питания, можно объяснить замедленными темпами накопления биомассы по сравнению, например, с благоприятным 2022 г.

Таким образом, можно отметить значительное влияние условий увлажнения на концентрацию элементов питания в растениях яровой пшеницы, что подтверждает и корреляционный анализ, который показал, что в вариантах с применением полного минерального удобрения содержание основных элементов питания в фазы от первого узла до молочной спелости имело существенную криволинейную связь с количеством осадков, выпавших в период от посева до анализируемой фазы (η 0,81-0,99). Достоверная связь не установлена для содержания фосфора в фазе 1 узла (η 0,74) и колошения (η 0,60), а также азота в колошение (η 0,74). Можно отметить, что в фазе 1-го узла наибольшее содержание азота и калия отмечалось при сумме осадков 97–99 мм за период, при дальнейшем повышении количества осадков их содержание снижалось. В фазе флаг-листа максимальные величины накопления данных элементов установлены при сумме осадков 110–130 мм. В молочную спелость при повышении количества осадков от 210 до 230 мм содержание азота в растениях яровой пшеницы повышалось, содержание калия – снижалось. Содержание фосфора во все фазы при увеличении количества осадков повышалось.

Таким образом, наиболее надежным диагностическим признаком минерального питания яровой пшеницы при возделывании ее на дерново-подзолистой суглинистой высокообеспеченной фосфором и калием почве, является содержание азота. Этот показатель является и наиболее изменчивым в зависимости от условий года и системы удобрения, коэффициент вариации по фазам развития

изменялся в пределах от 26,9 до 44,5 %. Содержание калия по годам исследования варьировалось несколько меньше при коэффициенте вариации 21,4–26,7 %. Наиболее стабильным был показатель содержания фосфора в растениях яровой пшеницы – коэффициент вариации 14,4–20,8 %.

Для того чтобы установить обеспеченность растений питательными веществами, кроме концентрации определенного элемента в растении необходимо также учитывать соотношение их в растении – отношение одного элемента к другому или процентной доли отдельного элемента в сумме питательных веществ, принимаемой за 100 %. Сбалансированное уравновешенное питание растений соответствует оптимальному соотношению питательных веществ.

Показатели долей азота и калия в сумме $N + P_2O_5 + K_2O$ более стабильны по годам, чем показатели содержания данных элементов: коэффициент вариации для доли азота в наших исследованиях не превышал 28,6 %, калия – 14,5 %. Для фосфора вариабельность была на уровне рассчитанной для концентрации элемента – 21,2 % (табл. 3).

Таблица 3

Динамика относительного содержания основных элементов питания в сумме $N + P_2O_5 + K_2O$ в растениях яровой пшеницы по фазам роста и развития, % от суммы

Год	Вариант	1 узел			Флаг-лист			Колошение			Молочная спелость		
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Сударыня													
2018	Без удобрений.	27	11	62	12	15	73	39	15	46	38	20	42
	N ₁₅₀ P ₃₀ K ₉₀	28	11	61	16	12	72	39	11	50	46	18	36
2019	Без удобрений.	34	9	57	31	10	59	27	15	58	29	21	50
	N ₁₅₀ P ₃₀ K ₉₀	35	8	57	32	9	59	33	13	54	36	19	45
2020	Без удобрений.	36	10	54	26	12	62	27	18	55	33	23	44
	N ₁₅₀ P ₃₀ K ₉₀	40	11	49	33	10	57	30	16	54	38	21	41
Монета													
2021	Без удобрений.	38	10	52	32	11	57	38	11	51	33	18	49
	N ₁₅₀ P ₃₀ K ₆₀	38	10	52	33	11	56	38	9	53	34	15	51
2022	Без удобрений.	32	10	58	23	13	64	21	15	64	27	16	57
	N ₁₅₀ P ₃₀ K ₆₀	38	10	52	24	11	65	25	11	64	31	12	57
Мадонна													
2022	Без удобрений.	31	13	56	–	–	–	28	20	52	–	–	–
	N ₁₅₀ P ₇₀ K ₁₂₀	32	11	57	–	–	–	30	12	58	–	–	–
2023	Без удобрений.	33	18	49	–	–	–	31	19	50	–	–	–
	N ₁₅₀ P ₇₀ K ₁₂₀	35	16	49	–	–	–	37	18	45	–	–	–
V, %		12,7	9,4	7,7	28,6	15,0	9,8	20,9	21,2	10,5	15,7	17,9	14,5

В растениях яровой пшеницы в сумме $N + P_2O_5 + K_2O$ наибольшая доля принадлежит калию, в зависимости от условий выращивания и фазы развития культуры она изменялась в пределах от 36 до 73 %. На втором месте находится азот с показателем 12–46 %, на третьем – фосфор с показателем 8–23 %. Если анализировать

по фазам развития культуры, то наибольшая доля калия в сумме $N + P_2O_5 + K_2O$ устанавливалась к фазе флагового листа (62 % в среднем за годы исследования), наименьшие значения характерны для молочной спелости яровой пшеницы.

Доля фосфора за вегетацию повышалась в среднем от 11 % в фазе 1-го узла до 18 % к молочной спелости.

В отношении доли азота можно отметить минимум, который наблюдался в фазе флагового листа (26 %), в другие фазы она варьировалась в пределах 32–35 %.

Существенные изменения в соотношении основных элементов питания в растениях яровой пшеницы наблюдались по годам исследований.

Влияние отдельных факторов на доли элементов питания в сумме $N + P_2O_5 + K_2O$ было несколько иным, чем в отношении концентрации данных элементов.

Так если при внесении полного минерального удобрения содержание основных элементов питания практически всегда увеличивалось, то в соотношении установлено увеличение доли азота и снижение при этом долей фосфора и калия.

Если в отношении концентрации диагностическим показателем, прогнозирующим урожайность зерна яровой пшеницы, являлось содержание азота, то в соотношении элементов в сумме $N + P_2O_5 + K_2O$ достоверные связи урожайности отмечены с долей азота и калия в растениях в фазе колошения. При этом между долей азота в растениях в удобренных вариантах в эту фазу с конечной продуктивностью установлена обратная связь ($r = -0,98$), с долей калия – прямая ($r = 0,84$). Повышение доли азота в растениях в эту фазу на 1 %, согласно уравнению регрессии $y = -2,3032x + 131,82$, приводило к снижению урожайности на 2,30 ц/га, повышение доли калия на 1 % приводило к повышению урожайности зерна на 1,70 ц/га (уравнение регрессии $y = 1,7023x - 36,44$).

Необходимо отметить, что между долей азота в фазе колошения и содержанием сырого белка в зерне пшеницы установлена сильная прямая связь – $r = 0,77$, то есть с увеличением доли азота в растениях в фазе колошения содержание белка в зерне повышается. Для концентрации азота такой связи с содержанием белка установлено не было.

Так же, как и для содержания основных элементов питания, для их долей в сумме $N + P_2O_5 + K_2O$ установлена связь с количеством осадков за период до наступления анализируемой фазы. Наиболее тесные зависимости обнаружены в фазе колошения – для азота ($\eta = 0,95$) и калия ($\eta = 0,82$) и молочной спелости – для азота ($\eta = 0,88$), фосфора ($\eta = 0,94$) и калия ($\eta = 0,98$).

Если на концентрацию азота в растениях яровой пшеницы в фазе 1-го узла существенное влияние оказывало количество осадков, то относительное содержание данного элемента значительно зависело от средних температур за период от посева до 1 узла. Обнаружена обратная зависимость между данными показателями ($r = -0,89$, $y = -1,5663x + 52,73$). То есть, чем ниже были температуры в данный период, тем больше накапливалось азота по отношению к калию и фосфору. Так в 2020 и 2021 гг. средние температуры воздуха были ниже 10 °С, в 2022 г. – 10,8 °С, в результате в 2020–2022 гг. доля азота в сумме $N + P_2O_5 + K_2O$ в удобренных вариантах составила 38–40 %, тогда как в другие годы не превышала 35 %. Возможным объяснением этого может служить то, что в условиях низких температур (ниже 10 °С) нарушается поглощение элементов питания в следующем убывающем ряду $PO_4 > NO_3 > Cl > K > Mg > NH_4$ [12], то есть наиболее доступным остается аммонийный азот.

В последующие фазы, когда температурный режим был благоприятным, корреляционных зависимостей не установлено.

Соотношение элементов питания в сумме $N + P_2O_5 + K_2O$, в первую очередь доли азота и калия, изменялось также и в зависимости от сорта яровой пшеницы. Существенные различия в данном показателе, наблюдавшиеся в 2022 г. между сортами Монета и Мадонна в фазы 1-й узел и колошение (табл. 3) обусловили в дальнейшем и значительные различия в величине урожайности зерна.

ВЫВОДЫ

Обобщение данных, полученных в опыте, позволило определить показатели и их параметры, при которых на дерново-подзолистой легкосуглинистой высокообеспеченной фосфором и калием почве возможно получение урожайности зерна яровой пшеницы на уровне 60–75 ц/га с содержанием белка 14–16 % и клейковины 29–38 % (табл. 4).

Таблица 4

Параметры содержания элементов питания и накопления биомассы растениями яровой пшеницы для получения урожайности зерна 60–75 ц/га с содержанием белка 14–16 % и клейковины 29–38 %

Показатель	1 узел	Флаг-лист	Колошение	Молочная спелость
Содержание N, %	3,80–4,90	2,00–2,70	1,60–2,10	1,60–1,70
Содержание P_2O_5 , %	0,95–1,40	0,70–1,00	0,70–1,00	0,60–0,95
Содержание K_2O , %	4,70–6,70	4,80–5,50	3,30–4,10	1,40–2,90
Соотношение N : P_2O_5 : K_2O	38–40:8–11: 49–57	24–33:9–11: 57–65	25–33:11–16: 54–64	31–38:12–21: 41–57
Накопление биомассы, ц/га	9,5–13,5	45–60	60–95	95–120

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Влияние условий внешней среды на усвоение растениями элементов питания [сайт]. – URL: https://studbooks.net/76156/agropromyshlennost/vliyanie_usloviy_vneshney_sredy_usvoenie_rasteniyami_elementov_pitaniya (дата обращения: 23.04.2024).
2. Церлинг, В. В. Агрохимические основы диагностики минерального питания сельскохозяйственных культур / В. В. Церлинг. – М. : Наука, 1978. – 216 с.
3. Магницкий, К. П. Диагностика потребности растений в удобрениях / К. П. Магницкий. – М. : Московский рабочий, 1972. – 271 с.
4. Сабинин, Д. А. Избранные труды по минеральному питанию растений / Д. А. Сабинин. – М. : Наука, 1971. – 512 с.
5. 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.

6. 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.

7. Ягодин, Б. А. Агрохимия: учебник / Б. А. Ягодин, П. М. Смирнов, А. В. Петербургский. – М. : Агропромиздат, 1989. – 639 с.

8. Зерновые культуры / Д. Шпаар [и др.] ; под общ. ред. Д. Шпаара. – Минск : ФУАинформ, 2000. – 421 с.

9. Более 40 новых сортов зерновых [сайт] // Газета наука. – 2019. – № 13. – URL: <http://gazeta-navuka.by/novosti/1651-bolee-40-novykh-sortov-zernovykh> (дата обращения: 13.02.2024).

10. Вильдфлуш, И. Р. Динамика накопления элементов питания яровой пшеницей в зависимости от сорта и удобрений / И. Р. Вильдфлуш, Е. И. Коготько // Вестник БГСХА : науч.-метод. журн. – 2021. – №3. – С. 117–121.

11. Коготько, Е. И. Урожайность и качество зерна яровой пшеницы в зависимости от сорта, удобрений, росторегуляторов и инокулянта / Е. И. Коготько, И. Р. Вильдфлуш // Земледелие и растениеводство – 2020. – № 6. – С. 23–28.

12. Михайлова, Л. А. Агрохимия : курс лекций: в 3 ч. Ч 1: Удобрения: виды, свойства, химический состав / Л. А. Михайлова; М-во с.-х. РФ, федеральное гос. бюджетное образоват. учреждение высшего образования «Пермская гос. с.-х. акад. им. акад. Д. Н. Прянишникова». – Пермь : ИПЦ «Прокрость», 2015. – 426 с.

DYNAMICS OF NITROGEN, PHOSPHORUS AND POTASSIUM CONTENT IN SPRING WHEAT PLANTS DURING THE GROWING SEASON DEPENDING ON GROWING CONDITIONS

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

Summary

The article presents the results of studying the dynamics of the content of the main nutritional elements (nitrogen, phosphorus, potassium) in spring wheat plants during the growing season depending on the growing conditions. It has been established that under conditions of high content of available phosphorus and potassium in the soil, the main indicator determining the yield of spring wheat grain is the nitrogen content in plants. Grain yield at the level of 60–75 c/ha with a protein content of 14–16 % and gluten of 29–38% is formed with the nitrogen content in spring wheat plants – in the phase of 1 node 3,80–4,90 %, in the flag leaf phase – 2,00–2,70 %, heading – 1,60–2,10 %, milk ripeness – 1,60–1,70 %.

Поступила 29.11.24

АКТИВНОСТЬ ГИДРОЛИТИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ЦИКЛАХ УГЛЕРОДА И АЗОТА ПРИ РАЗНЫХ СПОСОБАХ ОСНОВНОЙ ОБРАБОТКИ И УДОБРЕНИЯ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТЫХ ПОЧВ

Н. А. Михайловская, Т. М. Серая, Е. Н. Богатырева, С. В. Дюсова

Институт почвоведения и агрохимии, г. Минск, Беларусь

ВВЕДЕНИЕ

Каталитическая способность почв обусловлена функционированием ферментов, постоянно поступающих в почву из разных источников. Основными продуцентами ферментов являются микроорганизмы [1–7]. В почву поступают также ферменты микроорганизмов, растений и почвенной фауны. Благодаря каталитической активности сложные биохимические процессы в почвах протекают с высокой скоростью [1–5].

Ферменты – важнейшие метаболиты микроорганизмов, представляющие сложные белковые структуры, способные значительно ускорять химические реакции. Основу микробного метаболизма составляет деятельность ферментов, катализирующих все биохимические реакции в живых системах [1, 8, 9].

Ферментативная активность почвы включает функционирование внутриклеточных и внеклеточных ферментов. Внутриклеточные ферменты ассоциированы с живыми клетками микроорганизмов. Внеклеточные ферменты выделяются живыми микробными клетками или поступают в почву после их отмирания. В классических исследованиях J. Skujins [1], В. Ф. Купревича и Т. А. Щербаковой [2], A. D. MacLaren [3], J. N. Ladd [4], S. A. Boyd [5], M. A. Tabatabai [6], показано, что эти ферменты адсорбируются минеральными (глинистыми минералами) и органическими (гуминовыми и нуклеиновыми кислотами, полисахаридами) компонентами почвы. Имобилизация на перечисленные матрицы способствует стабилизации ферментов [3, 5–10]. Они аккумулируются в почве и формируют ферментный запас, который является результатом ежегодного развития микроорганизмов в почве. Стабилизированные таким образом внеклеточные ферменты составляют значительную часть общего ферментного запаса почвы, они устойчивы к протеолизу, защищены от инактивации, длительно сохраняют свою активность и функционируют при неблагоприятных условиях, когда микробная деятельность обычно угнетена [7–15].

Исследования по ферментативной активности позволяют получать информацию об интенсивности ключевых биохимических процессов, определяющих способность почвы выполнять функции минерализации и гумификации органических веществ. В основе деструкционных и синтетических функций почвы лежит биохимическая активность, реализуемая за счет действия ферментов.

Цель исследований – оценить активность гидролитических ферментов в циклах углерода и азота при разных способах основной обработки дерново-подзолистых почв.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Биохимические исследования проведены в двух стационарных полевых экспериментах Института почвоведения и агрохимии на дерново-подзолистых супесчаной (ПРУП «Э/б им. Котовского») и легкосуглинистой почвах (ОАО «Гастелловское»), заложенных в 2019 г. Схемы полевых экспериментов представлены в таблицах 1, 2. Исследования проведены в севообороте: озимая пшеница – горох – озимая рожь – кормовые бобы – кукуруза. Среднегодовые дозы удобрений на супесчаной почве на начало 2023 г. составили: $N_{93}P_{58}K_{108}$, подстилочный навоз КРС – 20 т/га, солома – 3,5 т/га, КАС по соломе – N_{23} ; на начало 2024 г. – $N_{78}P_{59}K_{111}$, подстилочный навоз КРС – 35 т/га, солома – 2,9 т/га, КАС по соломе – N_{31} ; на легкосуглинистой почве на начало 2023 г. – $N_{103}P_{22}K_{70}$, подстилочный навоз КРС – 20 т/га, солома – 4,2 т/га, КАС по соломе – N_{25} ; на начало 2024 г. $N_{85}P_{21}K_{99}$, подстилочный навоз КРС – 35 т/га, солома – 3,5 т/га, КАС по соломе – N_{31} .

Почвенные образцы для выполнения биохимических исследований в 2023 г. отобраны в весенний период до посева кормовых бобов, в 2024 г. – до посева кукурузы, отборы проведены в оптимальные сроки [9, 15]. Почвенные образцы высушены до воздушно-сухого состояния и просеяны (сито 2 мм). В воздушно-сухих почвенных образцах определены инвертазная и уреазная активность.

Наиболее удобные и широко используемые колориметрические методики определения активности почвенных гидролитических ферментов, инвертазы и уреазы, были разработаны Т. А. Щербаковой [13].

Методика определения инвертазной активности в почвенных образцах. Навески предварительно просеянной воздушно-сухой почвы (5 г) помещают в колбы Эрленмейера емкостью 100 мл, прибавляют 5 мл фосфатного буфера (рН 4,9), 15 мл 8% раствора сахарозы и 3 капли толуола в качестве антисептика. В контрольные колбы вместо сахарозы вносят 15 мл воды и тщательно перемешивают. Экспозиция в термостате 4 часа при 37 °С. После инкубации в термостате содержимое колб фильтруют через бумажный фильтр. В пробирки вносят по 1 мл фильтрата и по 2 мл индикатора. В контрольную пробирку приливают 1 мл воды и 2 мл индикатора. Пробирки нагревают на кипящей водяной бане в течение 5–10 мин. и быстро охлаждают под струей холодной воды. В контрольных колбах развивается желтая окраска, в испытуемых образцах – красно-коричневая за счет образования 3-амино-5-нитросалициловой кислоты. Доводят объем до 10 мл дистиллированной водой, перемешивают. Образцы колориметрируют при $\lambda = 540$ нм против контроля (зеленый светофильтр, кювета 5 мм).

Для приготовления фосфатного буфера с рН 4,9 готовят следующие растворы: 23,87 г $Na_2HPO_4 \cdot 12H_2O$ в 1000 мл воды и 9,08 г KH_2PO_4 в 1000 мл воды. Растворы смешивают в соотношении: 1 мл раствора Na_2HPO_4 и 99 мл раствора KH_2PO_4 .

Приготовление индикатора: В мерную колбу на 100 мл вносят 0,5 г 3,5-динитросалициловой кислоты (ДНС) и немного дистиллированной воды. Затем в колбу при перемешивании прибавляют раствор щелочи (1,6 г NaOH в 20 мл воды). После растворения ДНС в колбу вносят 30 г сегнетовой соли и доводят объем до 100 мл.

Расчет активности инвертазы производят по калибровочной кривой, составленной с чистой глюкозой. Активность выражают в мг глюкозы на 1 кг почвы за 4 часа (37 °С) по формуле: $K \cdot 20 \cdot 1000 \cdot E_x / \text{навеска почвы (г)}$, где $E_x = E - (E_{\text{контр}} + E_{\text{сах}})$; $E_{\text{сах}} 0,011$; K – коэффициент, вычисленный по калибровочному графику, 20 – разбавление.

Методика определения уреазной активности в почвенных образцах.

В конические колбы с притертыми пробками вносят предварительно просеянную воздушно-сухую почву (5 г), приливают по 20 мл буферного раствора с мочевиной (2 г мочевины растворяют в 100 мл фосфатного буфера с pH 6,7). Для сдерживания роста микроорганизмов в реакционную смесь прибавляют 3 капли толуола. Колбы помещают в термостат на 4 часа при 37 °С. В контрольные колбы с почвой приливают по 20 мл буфера, не содержащего ферментный субстрат (мочевину). После экспозиции в каждую колбу вносят по 1 мл 50 % водного раствора трихлоруксусной кислоты (ТХУ) и 40 мл 1N раствора хлорида калия (KCl). Колбы встряхивают на качалке в течение 5 минут и отфильтровывают почву через складчатые бумажные фильтры.

В мерные колбы объемом 50 мл вносят по 2 мл фильтрата, дистиллированную воду до половины объема колбы, по 2 мл 50 % раствора сегнетовой соли и по 2 мл реактива Несслера ($K_2[HgI_4] + KOH$), перемешивая после внесения каждого реактива. Содержимое колб доводят до метки дистиллированной водой. В контрольные колбы вместо фильтрата вносят 2 мл воды.

Количество аммонийного азота ($N-NH_4^+$) определяют колориметрически (против контроля) через 30 мин. после прибавления реактива Несслера при $\lambda = 400$ нм (фиолетовый светофильтр), кювета 20 мм.

Приготовление фосфатного буферного раствора. Исходные растворы: 23,87 г $Na_2HPO_4 \cdot 12H_2O$ в 1000 мл дистиллированной воды и 9,08 г KH_2PO_4 в 1000 мл дистиллированной воды. Соотношение исходных растворов для приготовления 500 мл фосфатного буфера (pH 6,7): 216 мл раствора Na_2HPO_4 и 284 мл раствора KH_2PO_4 .

Расчет уреазной активности проводят по калибровочной кривой, составленной на чистый хлорид аммония, и выражают в мг аммонийного азота ($N-NH_4^+$) на 1 кг почвы за 4 часа (37 °С). Активность уреазы = $[(E_{\text{опыт}} - E_{\text{контр}}) \cdot K \cdot 30] / \text{навеска почвы (г)}$, где K – коэффициент, вычисленный по калибровочному графику (0,14), 30 – разбавление; $E_{\text{опыт}}$ – оптическая плотность опытного образца; $E_{\text{контр}}$ – оптическая плотность контрольного образца.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В почвах присутствуют представители всех классов известных современной энзимологии ферментов. Наиболее значимую роль играют 2 класса – гидролитические и окислительные ферменты, выполняющие критические функции – минерализацию и гумификацию органических веществ [1, 8, 9].

Гидролитические ферменты обеспечивают ускоренное протекание сложных многостадийных процессов минерализации сложных по химическому составу органических соединений и высвобождение усвояемых элементов питания [1, 9, 13, 15]. По значимости можно выделить ключевые гидролитические ферменты, связанные с разложением наиболее распространенных в почве форм нахождения основных биогенных элементов, углерода и азота.

Активность гидролитических процессов в цикле углерода при разных способах основной обработки и удобрения дерново-подзолистых почв. Преобладающие формы органического углерода в почвах – это поли- и олигосахариды, их минерали-

зация – самый масштабный деструкционный процесс [9, 13, 15]. На этом основании интенсивность минерализации в цикле углерода целесообразно оценивать по гидролитической деградации поли- и олигосахаридов. В результате многостадийного гидролиза целлюлозы в почву поступают олигосахариды и низкомолекулярные сахара, усвояемые структурные единицы.

В почвенной энзимологии в качестве диагностических показателей активности многостадийных процессов минерализации используется активность ферментов завершающих стадий гидролиза [12, 14]. Для характеристики активности минерализации в цикле С наиболее объективным критерием является активность инвертазы, широко распространенной во всех типах почв. Аргументами в пользу применения инвертазной активности в качестве диагностического показателя являются ее критическая роль в высвобождении низкомолекулярных сахаров и тесная положительная корреляция с содержанием гумуса и водорастворимого органического вещества в почве (рис. 1, 2).

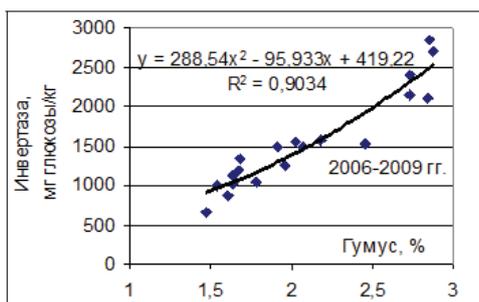


Рис. 1. Взаимосвязь активности инвертазы с содержанием гумуса в дерново-подзолистой супесчаной почве

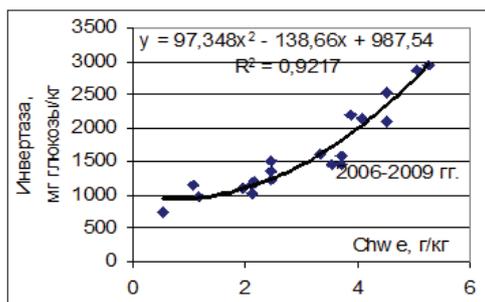


Рис. 2. Взаимосвязь активности инвертазы с водорастворимым ОР (C hwe), в дерново-подзолистой супесчаной почве

Проведены двухлетние биохимические исследования в стационарных полевых экспериментах на дерново-подзолистых супесчаной и легкосуглинистой почвах. Сравнительный анализ двухлетних экспериментальных данных по инвертазной активности позволяет отметить, что обработка почвы дискованием (8–12 см) активизирует процессы минерализации полисахаридов в цикле углерода на дерново-подзолистой супесчаной и легкосуглинистой почвах по сравнению с отвальной вспашкой (табл. 1–3).

В среднем за 2 года исследований наиболее высокие показатели активности инвертазы при отвальной вспашке и при дисковании регистрируются при использовании соломы в сочетании с КАС + NPK, биопрепаратом Жыцень, а также в сочетании с NPK на дерново-подзолистой супесчаной и легкосуглинистой почвах NPK (табл. 3).

Закономерности варьирования показателей инвертазной активности показывают, что способ основной обработки почвы более значимо активизирует минерализацию в цикле С на дерново-подзолистой супесчаной почве и менее значимо – на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве при одинаковой системе удобрения сельскохозяйственных культур (табл. 3).

Таблица 1

Ферментативные показатели скорости минерализации в цикле углерода при разных способах обработки и удобрения дерново-подзолистых почв (2023 г.)

Вариант	Дерново-подзолистая супесчаная почва		Дерново-подзолистая легкосуглинистая почва	
	вспашка (20 см)	дискование (8–12 см)	вспашка (20 см)	дискование (8–12 см)
	Инвертаза, мг глюкозы/кг почвы			
НПК	2019	2160	2957	3810
ПН КРС 40 т/га + РК	2200	2344	3052	3874
Солома + НПК	2354	2507	3141	4107
Солома + Жыцень + НПК	2551	2766	3880	4383
Солома + КАС + РК	2411	2500	3182	4050
НСП ₀₅ фактор А (обработка)	94		86	
Фактор В (удобрения)	149		132	

Таблица 2

Ферментативные показатели скорости минерализации в цикле углерода при разных способах обработки и удобрения дерново-подзолистых почв (2024 г.)

Вариант	Дерново-подзолистая супесчаная почва		Дерново-подзолистая легкосуглинистая почва	
	вспашка (20 см)	дискование (8–12 см)	вспашка (20 см)	дискование (8–12 см)
	Инвертаза, мг глюкозы/кг почвы			
НПК	1392	1677	1570	1899
ПН КРС 60 т/га + НПК	1641	1749	1702	1971
Солома + НПК	1721	1843	1833	2106
Солома + Жыцень + НПК	1561	1774	1598	1795
Солома + КАС+ НПК	1748	2077	2134	2332
НСП ₀₅ фактор А (обработка)	55		27	
Фактор В (удобрения)	87		44	

Таблица 3

Ферментативные показатели скорости минерализации в цикле углерода при разных способах обработки и удобрения дерново-подзолистых почв (2023–2024 гг.)

Вариант	Дерново-подзолистая супесчаная почва		Дерново-подзолистая легкосуглинистая почва	
	вспашка (20 см)	дискование (8–12 см)	вспашка (20 см)	дискование (8–12 см)
	Инвертаза, мг глюкозы/кг почвы			
НПК	1706	1919	2264	2855
ПН КРС + НПК	1921	2047	2377	2923
Солома + НПК	2038	2175	2487	3107
Солома + Жыцень + НПК	2056	2270	2739	3089
Солома + КАС + НПК	2080	2289	2658	3191
НСП ₀₅ фактор А (обработка)	73		52	
Фактор В (удобрения)	103		98	

Установленные закономерности варьирования ферментативных показателей свидетельствуют, что способ основной обработки почвы оказывает более значимое действие на скорость минерализации полисахаридов в цикле углерода дерново-подзолистой супесчаной почвы и менее значимое – на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве при одинаковой системе удобрения сельскохозяйственных культур.

Влияние способа основной обработки дерново-подзолистых почв на активность гидролитических процессов в цикле азота. В цикле азота универсальным деградационным процессом является аммонификация, в результате которой азот, входящий в состав органических соединений, переходит в доступную форму. Известно, что основная часть почвенного азота находится в форме сложных органических соединений. На разных этапах многостадийного процесса аммонификации в почве функционируют специфические гидролитические ферменты. В результате действия протеолитических ферментов образуются полипептиды, пептиды и аминокислоты. На последующих этапах гидролиза, под действием амидогидролаз и дезаминаз, азот органических соединений переходит в минеральную форму. Таким образом, активность целого ряда гидролитических ферментов – протеаз, пептидаз, дезаминаз и амидогидролаз определяет динамику азота в почве [8, 9, 13, 15]. На завершающих стадиях процесса аммонификации, обеспечивающих непосредственное поступление в почву легкодоступного аммония, действуют гидролитические ферменты, амидогидролазы, к которым относится уреазы.

По результатам исследований Д. Г. Звягинцева, установлено, что в качестве диагностического показателя способности почвы накапливать минеральный азот наиболее целесообразно использовать активность ферментов завершающих стадий аммонификации, когда в почву поступает конечный продукт – аммоний [9, 12]. Важным аргументом в пользу применения уреазной активности в качестве ключевого диагностического показателя является ее критическая роль в высвобождении неорганического азота, который может быть непосредственно ассимилирован растениями и микроорганизмами.

Аргументами в пользу применения уреазной активности в качестве диагностического показателя являются ее критическая роль в высвобождении неорганического азота и тесная положительная корреляция с содержанием гумуса и водорастворимого органического вещества в почве (рис. 3, 4).

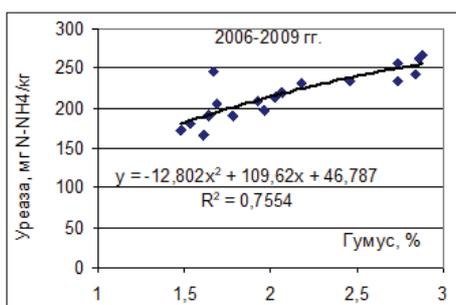


Рис. 3. Взаимосвязь активности уреазы с содержанием гумуса в дерново-подзолистой супесчаной почве

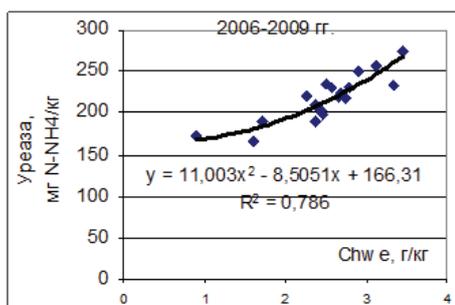


Рис. 4. Взаимосвязь активности уреазы с водорастворимым ОВ (С hwe), в дерново-подзолистой супесчаной почве

На основании сравнительного анализа двухлетних экспериментальных данных по уреазной активности установлено влияние способа основной обработки дерново-подзолистых почв и удобрения на активность гидролитических процессов в цикле азота (табл. 4–6).

Таблица 4

Ферментативные показатели скорости минерализации в цикле азота при разных способах обработки дерново-подзолистых почв (2023 г.)

Вариант	Дерново-подзолистая супесчаная почва		Дерново-подзолистая легкосуглинистая почва	
	вспашка (20 см)	дискование (8–12 см)	вспашка (20 см)	дискование (8–12 см)
	Уреаза, мг N-NH ₄ ⁺ /кг почвы			
НПК	232	264	251	269
ПН КРС + НПК	262	274	259	259
Солома + НПК	256	253	246	242
Солома + Жыцень + НПК	255	257	235	232
Солома + КАС + НПК	264	281	238	252
НСП ₀₅ фактор А (обработка)	6		3	
Фактор В (удобрения)	7		5	

Таблица 5

Ферментативные показатели скорости минерализации в цикле азота при разных способах обработки дерново-подзолистых почв (2024 г.)

Вариант	Дерново-подзолистая супесчаная почва		Дерново-подзолистая легкосуглинистая почва	
	вспашка (20 см)	дискование (8–12 см)	вспашка (20 см)	дискование (8–12 см)
	Уреаза, мг N-NH ₄ ⁺ /кг почвы			
НПК	146	156	165	196
ПН, 40т/га + НПК	195	201	230	240
Солома + НПК	147	153	204	219
Солома + Жыцень + НПК	148	164	185	203
Солома + КАС + НПК	159	178	210	228
НСП ₀₅ фактор А (обработка)	3		3	
Фактор В (удобрения)	4		5	

Таблица 6

Ферментативные показатели скорости минерализации в цикле азота при разных способах обработки дерново-подзолистых почв (2023–2024 гг.)

Вариант	Дерново-подзолистая супесчаная почва		Дерново-подзолистая легкосуглинистая почва	
	вспашка (20 см)	дискование (8–12 см)	вспашка (20 см)	дискование (8–12 см)
	Уреаза, мг N-NH ₄ ⁺ /кг почвы			
НПК	189 (100 %)	210 (100 %)	208 (100 %)	231 (100 %)
ПН КРС + НПК	229 (121 %)	238 (113 %)	245 (118 %)	250 (108 %)
Солома + НПК	190 (101 %)	213 (101 %)	225 (108 %)	233 (101 %)
Солома + Жыцень + НПК	202 (107 %)	212 (101 %)	210 (101 %)	238 (103 %)
Солома + КАС + НПК	212 (112 %)	230 (110 %)	224 (108 %)	240 (104 %)

Применение минеральных удобрений, подстилочного навоза КРС и соломы стимулирует процессы минерализации в цикле азота на дерново-подзолистых супесчаной и легкосуглинистой почвах при использовании отвальной вспашки (20 см) и дискования (8–12 см).

Минимизация основной обработки дерново-подзолистых почв за счет применения дискования приводит к повышению активности минерализации азотсодержащих органических соединений в цикле N: на 10–13 % на дерново-подзолистой супесчаной почве и на 4–8 % на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве по сравнению с вариантом NPK (табл. 6).

В среднем за 2 года исследований наиболее высокие показатели уреазной активности как при отвальной вспашке, так и при дисковании регистрируется на вариантах с внесением подстилочного навоза КРС в сочетании с NPK на дерново-подзолистой супесчаной и легкосуглинистой почвах NPK.

Закономерности варьирования показателей уреазной активности показывают, что способ основной обработки почвы более значимо действует на активность минерализации в цикле азота в дерново-подзолистой супесчаной почве и менее значимо – в дерново-подзолистой легкосуглинистой почве при одинаковой системе удобрения сельскохозяйственных культур.

Анализ двухлетних экспериментальных данных по уреазной активности показал, что минимизация обработки почвы за счет применения дискования (8–12 см) вместо вспашки активизирует минерализационные процессы в цикле азота. Наиболее активное протекание процессов аммонификации обеспечивает применение подстилочного навоза КРС в сочетании с NPK.

ВЫВОДЫ

Проведена оценка активности гидролитических ферментов в циклах углерода и азота при разных способах основной обработки и удобрения дерново-подзолистых супесчаной и легкосуглинистой почв. Активность гидролитических ферментов инвертазы и уреазы служит диагностическим показателем скорости процессов разложения полисахаридов и органических азотсодержащих соединений, в результате которых высвобождаются моносахариды и минеральный азот, доступные для растений и почвенной микрофлоры. Сравнительный анализ двухлетних экспериментальных данных показал, что минимизация основной обработки дерново-подзолистых почв за счет применения дискования (8–12 см) стимулирует минерализацию в циклах углерода и азота. Применение минеральных удобрений, подстилочного навоза КРС, соломы в сочетании с NPK, КАС и биопрепаратом жыцень также усиливает процессы минерализации в циклах C и N на дерново-подзолистых супесчаной и легкосуглинистой почвах. Наиболее высокий уровень инвертазной активности (цикл C) отмечается при использовании соломы в сочетании с NPK, КАС и биопрепаратом жыцень; уреазной активности (цикл N) – при внесении подстилочного навоза КРС в сочетании с NPK. Закономерности варьирования показателей инвертазной и уреазной активности показывают, что способ основной обработки почвы более значимо действует на активность минерализации в циклах C и N в дерново-подзолистой супесчаной почве и менее значимо – в дерново-подзолистой легкосуглинистой почве при одинаковой системе удобрения сельскохозяйственных культур.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Купревич, В. Ф. Почвенная энзимология / В. Ф. Купревич, Т. А. Щербакова. – Минск : Наука и техника, 1966. – 274 с.
2. Skujins, J. History of abiotic soil enzyme research / J. Skujins In: R.G. Burns, Editor // *Soil Enzymes*, Academic Press, New York (1978). – P. 1–49.
3. McLaren, A. D. Soil as a system of humus and clay immobilized enzymes / A. D. McLaren // *Chemica Scripta*. – 1975. – Vol. 8. – P. 97–99.
4. Ladd, J. N. Origin and range of enzymes in soil / J. N. Ladd // *Soil Enzymes*; Ed. R. G. Burns. – Academic Press, London, 1978. – P. 51–96.
5. Tabatabai, M. A. Enzymes / M. A. Tabatabai // *Methods of soil analysis. Part 2. Microbiological and biochemical properties* / Eds. R. W. Weaver [et al.]. – Soil Science Society of America, Madison, 1994. – P. 775–833.
6. Boyd, S. A. Enzyme interactions with clays and clay-organic matter complexes / S. A. Boyd, M. M. Mortland // *Soil Biochemistry*. – New York: Marcel Dekker, 1990. – P. 1–28.
7. Dick, R. P. Enzymes in the Environment: Activity, Ecology & Applications / R. P. Dick // Granada, Spain, 1999. – P. 164.
8. Звягинцев, Д. Г. Биологическая активность почв и их диагностика / Д. Г. Звягинцев // *Проблемы и методы биологической диагностики и индикации почв*. – М. : Наука, 1976. – С. 175–190.
9. Звягинцев, Д. Г. Биология почв / Д. Г. Звягинцев, И. Л. Бабьева, Г. М. Зенова. – МГУ, 2005. – 445 с.
10. Dick, R. P. Soil enzyme activities as indicators of soil quality / R. P. Dick // *Defining Soil Quality for a Sustainable Environment*; Eds. J. W. Doran [et al.]. – Soil Science Society of America, Madison, 1994. – P. 107–124.
11. Speir, T. W. Hydrolytic Enzyme Activities to Assess Soil Degradation and Recovery / T. W. Speir, D. J. Ross // *Enzymes in the environments: activity, ecology and applications*; Eds. R. G. Burns, R. P. Dick. – 2002. – P. 407–431.
12. Звягинцев, Д. Г. Биологическая активность почв и шкалы для оценки некоторых ее показателей / Д. Г. Звягинцев // *Почвоведение*. – 1978. – № 6. – С. 48–52.
13. Щербакова, Т. А. Ферментативная активность почв и трансформация органического вещества / Т. А. Щербакова. – Минск : Наука и техника, 1983. – 221 с.
14. Хазиев, Ф. Х. Методы почвенной энзимологии / Ф. Х. Хазиев. – М. : Наука, 1990. – 189 с.
15. Карягина, Л. А. Микробиологические основы повышения плодородия почв / Л. А. Карягина. – Минск : Наука и техника, 1983. – 182 с.

**ACTIVITY OF HYDROLYTIC PROCESSES IN C AND N CYCLES
UNDER DIFFERENT METHODS OF BASIC SOIL TILLAGE AND
FERTILIZATION**

N. A. Mikhailouskaya, T. M. Seraya, E. N. Bogatyreva, S. V. Djusova

Summary

Experimental data on hydrolytic enzymes (invertase and urease) activities have shown that minimization of basic tillage of Luvisol sandy soil and Luvisol light loamy soil as well as application of mineral fertilizers, litter manure of cattle, straw with NPK,

CAS and biopreparation Zyten resulted in stimulation mineralization possesses in C and N cycles as compared with moldboard plowing. High levels of invertase (cycle C) activity were observed under application of straw with NPK, CAS and biopreparation Zyten. High levels of urease (cycle N) activity was observed under application of litter manure of cattle with NPK. Method of basic tillage more intensive effect on mineralization activity in C and N cycles in Luvisol sandy soil as compared with Luvisol light loamy soil under similar fertilization.

Поступила 21.11.24

УДК 631.8:633.33:631.442

ЭФФЕКТИВНОСТЬ СИСТЕМ УДОБРЕНИЯ КОРМОВЫХ БОБОВ НА ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ СУПЕСЧАНОЙ ПОЧВЕ

**Т. М. Серая, Е. Н. Богатырева, А. Л. Новик, Т. М. Кирдун,
Ю. А. Симанкова, А. М. Устинова, М. М. Торчило**

Институт почвоведения и агрохимии, г. Минск, Беларусь

ВВЕДЕНИЕ

Одной из важнейших проблем животноводства Республики Беларусь является дефицит растительного белка в кормовом рационе. В 1 кормовой единице по нормам должно содержаться 105–115 г сырого белка. Фактически содержание белка в кормах, заготавливаемых в Беларуси, составляет 75–80 г/к. е., или около 75 % нормы, что приводит к значительному перерасходу зерновых культур или другого корма с невысоким содержанием белка [1–4].

Большой интерес в качестве источника протеина представляют кормовые бобы с содержанием сырого белка в зерне, в зависимости от сорта, погодных условий и технологии возделывания, от 25 до 35 %. Кормовые бобы относятся к биологически ценным кормам. В 1 кг зерна содержится 1,16–1,29 кормовых единиц и 230–300 г переваримого протеина. В белке семян бобов основную часть (50–78 %) занимает водорастворимая фракция. Переваримость зерна составляет 86 %, зеленой массы – 72 %. В протеине бобов содержатся ценные аминокислоты (тирозин, триптофан, лизин, аргинин, гистидин, метионин), водорастворимые углеводы и сравнительно немного антипитательных веществ (гликозидов, танинов, ингибиторов, протеаз), большое количество минеральных веществ (калий, натрий, кальций, фосфор, магний, железо, сера, марганец, кобальт, медь, цинк). Семена богаты витаминами С, В1, В2, РР, Е, ниацином, рибофлавином, каротином, аскорбиновой кислотой, тиамин [4–6].

Кормовые бобы обладают высоким потенциалом урожайности, характеризуясь довольно большими её колебаниями. Стабильность урожая зависит от биологических особенностей сорта, его адаптации к определенным условиям, технологии возделывания [4, 7].

Также бобы могут сыграть значительную роль не только в укреплении кормовой базы, но и в восстановлении почвенного плодородия. Кормовые бобы, как и другие бобовые культуры, способны усваивать атмосферный азот благодаря симбиозу корневых систем с клубеньковыми бактериями. Уровень симбиотической фиксации атмосферного азота у кормовых бобов при оптимальных условиях составляет 70–80 % от общей потребности их в азоте. По фиксации азота воздуха кормовые бобы занимают второе место после клевера и в среднем оставляют около 200 кг азота на гектар и являются хорошим предшественником [5, 8].

В Государственный реестр сортов Республики Беларусь на 2024 г. включено 10 сортов кормовых бобов. В республике кормовые бобы возделываются на небольших площадях: в 2020 г. под кормовыми бобами было занято всего 1,2 тыс. га. Одной из причин этого является отсутствие адаптированной для условий республики технологии возделывания, позволяющей максимально реализовать генетический потенциал сортов кормовых бобов [9].

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Научные исследования по разработке обоснованных доз и сроков применения удобрений под кормовые бобы в зависимости от способа основной обработки почвы проводили в 2023–2024 гг. на опытных полях РУП «Институт почвоведения и агрохимии», расположенных в ПРУП «Э/б имени Котовского» Узденского района. Почва опытного участка среднекультуренная дерново-подзолистая супесчаная со слабокислой и близкой к нейтральной реакцией почвенной среды, средним и повышенным содержанием гумуса, подвижных форм фосфора и калия.

Опыт проводили в двух полях, на каждом поле в двух блоках: в 1-м блоке в качестве основной обработки почвы применяли вспашку на глубину 20 см, во 2-м блоке – дискование на глубину 10–12 см. Повторность вариантов – 4-кратная, размер делянки – 32 м², учетная – 24 м².

Объект исследования – сорт кормовых бобов Трампет.

Предшественник кормовых бобов – озимая рожь.

После уборки предшественника солому измельчали и равномерно распределяли по делянкам, затем, согласно схеме опыта, вносили микробиологическое удобрение Жыцень в дозе 3 л/га или компенсирующую дозу азота (N₃₁) в виде КАС и задисковывали. Через неделю в 1-м блоке провели вспашку, во 2-м – дискование в один след.

В конце сентября перед зяблевой обработкой почвы внесен подстилочный навоз КРС в дозе 40 т/га, P₆₀K₁₂₀ или K₁₂₀ согласно схеме опыта, после чего в 1-м блоке провели вспашку, во 2-м – дискование в один след. В середине октября была проведена обработка почвы (дискование) с целью уничтожения проростков сорняков.

В ранневесенний период при прогреве почвы до 5 °С производили поделяночный отбор почвенных образцов для определения содержания минерального азота (N-NO₃⁻ и N-NH₄⁺) в почве. А затем осуществляли внесение минеральных удобрений согласно схеме опыта (N₃₀P₆₀K₁₂₀, P₆₀K₁₂₀, P₄₀K₉₀ (по навозу), N₃₀ и N₃₀P₆₀) с последующей заделкой дисками.

Посев кормовых бобов осуществляли 17.04.2023 и 27.03.2024 с нормой высева 650 тыс. всхожих семян на гектар, ширина междурядий – 12 см. Система защиты

кормовых бобов от сорной растительности, вредителей и болезней – общепринятая для Республики Беларусь.

Статистическую обработку результатов осуществляли согласно методике полевого опыта Б. А. Доспехова с использованием MS Excel 2010. Вычисление обобщенного среднесуточного НСР производили по В. И. Короневскому [10, 11].

Метеорологические условия 2023 и 2024 гг. отличались как от среднесуточных, так и между собой, что дало возможность всесторонне оценить эффективность различных удобрений.

Среднемесячная температура апреля в 2023 г. превысила многолетний показатель на 1,8 °С. Температурный фон в мае характеризовался холодными условиями в первой декаде (7,6 °С) и значительным повышением среднесуточных температур во второй и третьей декадах до 14,5–15,4 °С. В июне было тепло и среднемесячная температура превысила норму на 1,7 °С. Июль был близок по тепловому режиму к климатической норме. Температуры августа превышали норму на 3,8 °С.

Обильные осадки в марте 2023 г., составившие 222 % нормы, обеспечили достаточную влагообеспеченность почвы, однако к посеву яровых культур уровень влагозапасов в почве снизился в результате недостатка осадков в апреле (20 мм, 57 % от нормы). В мае ситуация продолжала ухудшаться, в этом месяце выпало всего 3 мм осадков (ГТК 0,2). Со второй половины июня начали проходить дожди, но в целом количество осадков за июнь-сентябрь было ниже среднесуточных значений. Лишь в августе количество осадков приближалось к норме, но необходимо отметить неравномерность их выпадения – 83 % из 77 мм осадков выпали в первой декаде месяца. В целом период с засушливыми условиями, когда отсутствовали эффективные осадки (более 5 мм в сутки) составил 79 дней (с 1 апреля по 18 июня). Дефицит воды вызвал задержку роста и развития растений, нарушение минерального питания, что в значительной степени повлияло на продуктивность кормовых бобов.

В 2024 г. весна началась на 8–12 дней раньше среднесуточных сроков. В марте среднесуточная температура воздуха была на 3,1 °С, в апреле – на 1,6 °С, в мае – на 0,9 °С выше климатической нормы. В целом сумма положительных температур за март-июль составила 2119,4 °С, что на 288 °С выше среднесуточных значений, сумма осадков за этот период составила 314 мм при климатической норме 290 мм.

Отсутствие эффективных осадков в мае 2024 г. способствовало снижению влажности почвы под кормовыми бобами к концу месяца до 14,3 %, т. е. в этот период влажность супесчаной почвы была оптимальной (68 % от ППВ). В начале июня влажность почвы составила 16,5 % или 78 % от ППВ, что свидетельствует об избытке влаги. К концу июня влажность снизилась до 13,2 % (63 % от ППВ), т. е. была близкой к оптимальной. В июле содержание влаги в почве продолжило уменьшаться, и к концу 2-й декады наблюдался сильный дефицит влаги для нормального развития бобов – всего 30 % от ППВ. При таком дефиците влаги на супесчаной почве при высоких температурах воздуха (≥ 30 °С) растения кормовых бобов в течение нескольких дней почернели и прекратили вегетацию, что отрицательно повлияло на массу 1000 зерен и способствовало недобору урожая кормовых бобов.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В проведенных нами исследованиях за 2023–2024 гг. установлено, что на дерново-подзолистой супесчаной почве урожайность кормовых бобов по годам, в связи с разными погодными условиями и, в первую очередь, влажностью почвы, значительно отличалась. Установлено, что рост и развитие кормовых бобов в большой степени зависел от режима влагообеспеченности растений в течение вегетации. Для реализации потенциальной продуктивности растений влажность почвы в течение вегетации должна быть в диапазоне 60–100 % ППВ (предельной полевой влагоемкости). При влажности, равной 100 % ППВ, капилляры почвы заполнены водой и соединены, крупные поры, которые составляют более половины всех пор почвы, заняты воздухом. Корни растений при этом не испытывают кислородной недостаточности. Корневой волосок, нашедший капилляр, может брать из него воду в течение всего периода своей жизни (5–20 дней). Влажность выше 100 % ППВ избыточна, так как воздух вытесняется водой, и корни испытывают кислородное голодание.

По мере испарения воды с поверхности почвы и использования ее вегетирующими растениями влажность пахотного слоя почвы постоянно снижается, и на определенном этапе единая водно-капиллярная система разрушается, капилляры почвы разрываются (влажность разрыва капилляров – ниже 60 % ППВ). Когда влажность почвы опускается ниже влажности разрыва капилляров, корневой волосок, нашедший обрывок капилляра, быстро высасывает из него воду и отмирает. Продолжительность функционирования корневой волоска сокращается с 10–15 до 3–4 суток или даже несколько часов. Растение вынуждено образовывать все новые и новые корневые волоски для поиска новых обрывков капилляров с водой. При влажности почвы – 45–50 % ППВ растение тургоресцентно и внешне не обнаруживает признаков водного стресса, однако большая часть фотоассимилятов идет на образование все новых мелких корешков и корневых волосков, уменьшается накопление надземной массы вегетативных и генеративных органов. При дальнейшем снижении влажности почвы до 25–35 % ППВ накопление надземной массы почти прекращается, все ассимиляты направляются на рост мелких корней для поиска воды.

Влажность пахотного слоя в период сева кормовых бобов составляла 18,6 и 19,5 % или 89 и 93 % от полной полевой влагоемкости, что незначительно выше оптимальных параметров (табл. 1). К началу мая влажность практически не изменилась и составила 20,1 и 19,2 % (96 и 91 % от ППВ) и на протяжении всего месяца влажность почвы находилась в оптимальных пределах для нормального развития растений как в 2023 г., так и в 2024 г.

В 2023 г. с середины июня растения начали ощущать недостаток влаги. Наибольший дефицит влаги отмечался в первой половине июня (29–33 % от ППВ), когда значения влажности снизились до уровня влажности завядания.

В 2024 г. в июне влажность почвы была оптимальной. В июле содержание влаги уменьшалось и к середине месяца наблюдался сильный дефицит. При таком дефиците влаги на супесчаной почве и высокими температурами воздуха (≥ 30 °С) растения кормовых бобов в течение нескольких дней почернели и прекратили вегетацию.

В погодных условиях 2023 г. урожайность зерна комовых бобов за счет эффективного плодородия почвы в блоке вспашки составила 16,0 ц/га, в 2024 г. была практически в 2 раза выше – 31,9 ц/га (табл. 2).

Таблица 1

Влажность пахотного слоя (0–20 см) дерново-подзолистой супесчаной почвы

Дата	ППВ, %	2023 г.		2024 г.	
		влажность, %	% от ППВ	влажность, %	% от ППВ
12.04	21	18,6	89	19,5	93
02.05	21	20,1	96	19,2	91
10.05	21	16,6	79	18,0	86
28.05	21	16,4	78	14,3	68
11.06	21	13,8	66	16,5	78
28.06	21	9,2	44	13,2	63
09.07	21	6,0	29	11,4	54
19.07	21	7,0	33	6,3	30
30.07	21	9,7	46	14,5	69
09.08	21	14,8	70	13,9	66

Таблица 2

Влияние удобрений на урожайность зерна кормовых бобов на среднекультуренной дерново-подзолистой супесчаной почве, 2023–2024 гг., ц/га

Вариант	Урожайность зерна, ц/га			Прибавка, ц/га		Содержание белка, % среднее за 2 года	Сбор белка, кг/га
	2023 г.	2024 г.	среднее	к контролю	к вспашке		
Вспашка							
Без удобрений (контроль 1)	16,0	31,9	24,0	–	–	27,1	560
P ₆₀ K ₁₂₀	16,1	40,0	28,1	4,1	–	27,6	666
N ₃₀ P ₆₀ K ₁₂₀	19,8	39,0	29,4	5,4	–	28,7	727
ПН КРС, 40 т/га + P ₄₀ K ₉₀	16,8	40,2	28,5	4,5	–	28,3	694
N ₃₀ P ₆₀ K ₁₂₀ + Mo _{0,05} B _{0,05}	20,2	39,4	29,8	5,8	–	28,2	722
Солома + N ₃₀ P ₆₀ K ₁₂₀	18,9	39,1	29,0	5,0	–	27,6	690
Солома + Жыцень, 3 л/га + N ₃₀ P ₆₀ K ₁₂₀	20,2	39,4	29,8	5,8	–	27,7	709
Солома + N _{31(КАС)} * + N ₃₀ P ₆₀ K ₁₂₀	20,9	38,7	29,8	5,8	–	28,1	720
P ₆₀ K ₁₂₀ (осень) + N ₃₀	18,4	39,9	29,2	5,2	–	27,0	677
K ₁₂₀ (осень) + N ₃₀ P ₆₀	18,6	40,0	29,3	5,3	–	27,8	701
Дискование							
Без удобрений (контроль 2)	16,1	30,6	23,4	–	-0,6	26,2	528
N ₃₀ P ₆₀ K ₁₂₀	20,5	38,4	29,5	6,1	0,1	28,0	710
N ₃₀ P ₆₀ K ₁₂₀ + Mo _{0,05} B _{0,05}	24,3	39,3	31,8	8,4	2,0	29,1	761
Солома + Жыцень, 3 л/га + N ₃₀ P ₆₀ K ₁₂₀	23,6	42,5	33,1	9,7	3,3	27,5	752
Солома + N _{31(КАС)} * + N ₃₀ P ₆₀ K ₁₂₀	24,5	42,7	33,6	10,2	3,8	28,0	797
P ₆₀ K ₁₂₀ (осень) + N ₃₀	20,6	40,2	30,4	7,0	1,3	26,1	754
НСР ₀₀₅ (удобрения)	1,6	2,6	2,2**			2,1,	
НСР ₀₀₅ (обработка почвы)	1,4	2,4	2,0**			1,8	

* компенсирующая доза азота, среднее за 2023–2024 гг.

** обобщенное среднее многолетнее НСР по Короневскому В. И.

По-разному работали и удобрения: внесение $P_{60}K_{120}$ в 2023 г. было неэффективным, в 2024 г. прибавка составила 8,1 ц/га (+25 % к контролю). Внесение N_{30} на фоне $P_{60}K_{120}$ в вегетационный период с достаточным увлажнением (2024 г.) не оказало существенного влияния на урожайность, в то время как в сильно засушливом 2023 г. прибавка составила 3,7 ц/га (+23 %). Это связано с тем, что при снижении влажности почвы ниже влажности разрыва капилляров растения затрачивают много углеводов на симбиотическую фиксацию азота воздуха, т. е. при низкой влажности почвы необходимость формирования мелких корешков отвлекает углеводы от клубеньков, и из-за недостатка энергии симбиотическая фиксация азота воздуха сначала снижается, а потом прекращается совсем. Начинается отмирание клубеньков и в результате в варианте без внесения азотных удобрений бобовые культуры испытывают недостаток азота и, соответственно, формируется более низкая урожайность. Таким образом, при нормальных условиях увлажнения в 2024 г. растениям кормовых бобов было достаточно симбиотически фиксированного азота, в отличие от 2023 г.

Внесение с осени под вспашку подстилочного навоза КРС в дозе 40 т/га и весной под культивацию $P_{40}K_{90}$ по сравнению с контролем в 2023 г. было неэффективным, в 2024 г. увеличило урожайность зерна на 8,3 ц/га, что было на уровне варианта с внесением $P_{60}K_{120}$.

В вариантах, где была запахана солома предшественника (озимая рожь) урожайность в среднем за 2 года была на уровне варианта с внесением $N_{30}P_{60}K_{120}$, т. е. солома в блоке вспашки не оказала существенного влияния на урожайность зерна кормовых бобов, как в 2023 г. так и в 2024 г. независимо от того, запахивали солому в чистом виде, вносили компенсирующую дозу азота или целлюлозоразлагающее удобрение Жыцень. Не оказало существенного влияния на урожайность осеннее внесение фосфорных и калийных удобрений по сравнению с весенним их внесением (табл. 2).

Некорневая обработка посевов кормовых бобов в фазу бутонизации микроудобрением с биостимулятором МикроСтим-Молибден, Бор ($Mo_{0,05}B_{0,05}$) на фоне $N_{30}P_{60}K_{120}$ не оказало достоверной прибавки урожая.

В блоке дискования в неудобренном варианте в среднем за два года исследованной получено 23,4 ц/га зерна кормовых бобов. Минеральные удобрения ($N_{30}P_{60}K_{120}$) обеспечили рост урожайности на 6,1 ц/га (+26 % к контролю). Существенная прибавка к минеральному фону получена за счет заделки соломы предшественника, обработанной микробным удобрением Жыцень (+3,6 ц/га) и азотным удобрением КАС (+4,1 ц/га).

В среднем за 2023–2024 гг. урожайность зерна кормовых бобов в блоке дискования от урожайности в аналогичных вариантах в блоке вспашки существенно отличалась только в вариантах с заделкой соломы, обработанной препаратом Жыцень или КАС: в блоке дискования была на 3,3 и 3,8 ц/га выше.

Содержание сырого протеина в зерне кормовых бобов в погодных условиях вегетационного периода 2023 г. в вариантах без удобрений составило 26,4–26,5 %, в удобренных вариантах в зависимости от системы удобрения изменялось от 27,4 % до 30,2 % при среднем показателе 29,0 %; в 2024 г. в вариантах без удобрений было 26,2–27,5 %, в удобренных вариантах – от 26,2 % до 28,6 % при среднем показателе 27,1 %. Максимальный сбор белка в среднем за 2 года получен в блоке дискования в вариантах с некорневыми обработками микроудобрениями на фоне

$N_{30}P_{60}K_{120}$ (761 кг/га) и при внесении $N_{30}P_{60}K_{120}$ по фону соломы с компенсирующей дозой азота (797 кг/га) (табл. 2).

Урожайность соломы в среднем за 2 года в блоках дискования и вспашки составила на неудобренных вариантах 9,9 и 10,8 ц/га при соотношении солома/зерно 0,4–0,5. При этом в удобренных вариантах урожайность соломы колебалась от 9,9 до 19,6 ц/га при соотношении солома/зерно 0,4–0,6.

Для расчета доз внесения удобрений под планируемый урожай сельскохозяйственных культур необходимо знать удельный (нормативный) вынос питательных элементов с 1 т основной и соответствующим количеством побочной продукции. Так как кормовые бобы культура новая для республики и ранее нормативы выноса для условий Республики Беларусь не разрабатывались, установление содержания элементов питания в зерне и соломе данной культуры, вынос их с урожаем является весьма актуальным.

Для расчета нормативного выноса выполнен химический анализ образцов зерна и соломы кормовых бобов урожая 2023 и 2024 годов. Установлено, что на дерново-подзолистой супесчаной почве в погодных условиях 2023 г. содержание азота в зерне изменялось: от 4,22 % до 4,83 %, фосфора – от 0,99 % до 1,13 %, калия – от 1,32 % до 1,58 %, кальция – от 0,09 % до 0,15 %, магния – 0,08–0,09 %; в условиях 2024 г.: содержание азота было в пределах 4,14–4,58 %, фосфора – 0,71–1,04 %, калия – 1,59–1,72 %, кальция – 0,09–0,12 %, магния – 0,17–0,19 %.

В соломе кормовых бобов в 2023 г. содержалось: 1,01–1,29 % азота, 0,19–0,25 % фосфора, 1,92–3,26 % калия, 0,48–0,70 % кальция и 0,10–0,16 % магния; в 2024 г.: азота – 0,53–0,72 %, фосфора – 0,16–0,33 %, калия – 1,30–2,37 %, кальция – 0,45–0,74 %, магния – 0,12–0,23 %.

На основании урожайности, химического состава зерна и соломы рассчитан хозяйственный и удельный вынос элементов питания с урожаем кормовых бобов. Установлено, что на среднекультуренной дерново-подзолистой супесчаной почве в 2023 г., с длительным бездождным периодом во время вегетации, урожайность зерна была в пределах 16,0–24,5 ц/га, хозяйственный вынос составил 64–111 кг азота, 16–24 кг фосфора и 29–62 кг калия. В 2024 г. при более благоприятных условиях увлажнения сформирована урожайность зерна 30,6–42,7 ц/га, хозяйственный вынос составил 115–171 кг азота, 26–33 кг фосфора и 58–107 кг калия. Не смотря на большую разницу в данных хозяйственного выноса по годам, удельный вынос был близким (табл. 3). Так, в среднем за 2 года с 1 т зерна кормовых бобов и соответствующим количеством побочной продукции вынесено 42,1 кг азота, 9,0 кг фосфора, 21,8 кг калия.

Из микроэлементов на дерново-подзолистой супесчаной почве в зерне содержится больше всего цинка – 25,98 мг/кг и марганца – 16,81 мг/кг, меди было на уровне 5,98 мг/кг, бора – 4,27 мг/кг, кобальта – 2,28 мг/кг. В соломе кормовых бобов больше всего содержалось марганца 54,38 мг/кг, затем бора – 14,16 мг/кг, цинка – 5,88 мг/кг, меди – 3,00 мг/кг и кобальта – 0,30 мг/кг. Содержание серы в зерне кормовых бобов составило 0,12 %, в соломе – 0,06 %.

**Удельный вынос элементов питания при возделывании кормовых бобов
на среднекультуренной дерново-подзолистой супесчаной почве (кг/т)**

Вариант	N			P ₂ O ₅			K ₂ O		
	2023	2024	сред- нее	2023	2024	сред- нее	2023	2024	сред- нее
Вспашка									
Без удобрений	40,6	40,8	40,7	10,0	8,4	9,2	18,2	19,8	19,0
N ₃₀ P ₆₀ K ₁₂₀	42,7	41,5	42,1	10,0	7,4	8,7	19,8	22,4	21,1
P ₆₀ K ₁₂₀	43,8	43,3	43,6	9,2	8,3	8,8	19,9	22,7	21,3
ПН КРС, 40 т/га	46,9	40,6	43,8	10,9	7,3	9,1	26,8	22,4	24,6
N ₃₀ P ₆₀ K ₁₂₀ + Mo _{0,05} B _{0,05}	44,0	40,8	42,4	9,7	7,3	8,5	20,5	20,9	20,7
Солома + N ₃₀ P ₆₀ K ₁₂₀	44,4	39,6	42,0	9,6	7,7	8,7	19,5	20,9	20,2
Солома + Жыцень, 3 л/га + N ₃₀ P ₆₀ K ₁₂₀	42,6	41,1	41,9	10,0	8,5	9,3	21,4	20,6	21,0
Солома + N ₄₆ (КАС) + N ₃₀ P ₆₀ K ₁₂₀	43,5	39,6	41,6	10,2	7,8	9,0	19,2	19,6	19,4
P ₆₀ K ₁₂₀ осенью + N ₃₀	44,9	38,3	41,6	11,0	6,7	8,9	24,2	19,9	22,1
K ₁₂₀ осенью + N ₃₀ P ₆₀	46,5	39,1	42,8	9,9	8,9	9,4	22,1	21,0	21,6
Дискование									
Без удобрений	40,0	38,6	39,3	9,8	10,2	10,0	18,3	18,9	18,6
N ₃₀ P ₆₀ K ₁₂₀	44,0	40,3	42,2	9,4	9,7	9,6	21,6	21,8	21,7
N ₃₀ + P ₆₀ K ₁₂₀ осенью	45,8	39,9	42,9	9,7	7,5	8,6	23,1	26,7	24,9
N ₃₀ P ₆₀ K ₁₂₀ + Mo _{0,05} B _{0,05}	43,3	39,0	41,2	10	7,6	8,8	25,5	24,2	24,9
Солома + Жыцень, 3 л/га + N ₃₀ P ₆₀ K ₁₂₀	45,7	40,3	43,0	9,7	6,9	8,3	24,5	24,2	24,4
Солома + N ₄₆ (КАС) + N ₃₀ P ₆₀ K ₁₂₀	44,8	40,1	42,5	9,6	7,9	8,8	24,0	23,6	23,8
Среднее	44,0	40,2	42,1	9,9	8,0	9,0	21,8	21,9	21,8

В среднем по опыту на дерново-подзолистой супесчаной почве удельный вынос микроэлементов с урожаем кормовых бобов составил: Cu – 6,4 г/т, Zn – 24,8 г/т, Mn – 37,6 г/т, B – 9,7 г/т, Co – 2,1 г/т, S – 1,3 кг/т.

ВЫВОДЫ

В результате проведенных исследований установлено, что на дерново-подзолистой супесчаной почве урожайность зерна кормовых бобов в большей степени зависела от погодных условий в период вегетации, чем от применяемых систем удобрения. Погодные условия вегетационного периода в 2024 г. были более благоприятными для роста и развития растений и в среднем по опыту способствовали формированию урожайности зерна на 97 % выше, чем в 2023 г.

За счет эффективного плодородия почвы в среднем за 2 года по вспашке и дискованию получено 24,0 и 23,4 ц/га зерна соответственно. Благодаря применению удобрений урожайность зерна кормовых бобов по сравнению с контролем возросла в блоке вспашки в среднем на 5,2 ц/га, в блоке дискования – на 8,3 ц/га.

Солома предшественника (озимая рожь) в блоке вспашки не оказала существенного влияния на урожайность зерна кормовых бобов, как в 2023 г. так и в 2024 г. независимо от того, запахивали солому в чистом виде, вносили компенсирующую дозу азота или целлюлозоразлагающее удобрение Жыцень. В блоке дискования за счет заделки соломы предшественника, обработанной микробным удобрением Жыцень и азотным удобрением КАС обеспечена прибавка урожайности к минеральному фону на 3,6 ц/га и 4,1 ц/га соответственно.

Сроки внесения фосфорных и калийных удобрений (осеннее или внесение) не оказали существенного влияния на урожайность кормовых бобов.

В удобренных вариантах с традиционной обработкой почвы урожайность зерна была в среднем на 2,1 ц/га ниже, чем в аналогичных вариантах с поверхностной обработкой почвы.

Максимальный сбор белка получен в блоке дискования в вариантах с некорневой обработкой микроудобрением с биостимулятором МикроСтим-Молибден, Бор на фоне $N_{30}P_{60}K_{120}$ (761 кг/га) и при внесении $N_{30}P_{60}K_{120}$ по фону соломы с компенсирующей дозой азота (797 кг/га).

Разработаны нормативы выноса основных элементов питания урожаем зерна кормовых бобов, которые составили 42,1 кг/т азота, 9,0 кг/т фосфора и 21,8 кг/т калия.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Заяц, Л. К. Решение проблем производства кормового белка – важнейший резерв укрепления аграрной экономики / Л. К. Заяц // Земледелие и защита растений. – 2017. – № 1. – С. 3–5.
2. Привалов, Ф. И. Проблема белка для республики первоочередна и решаема собственными ресурсами / Ф. И. Привалов // Земледелие и растениеводство. – 2022. – № 2(141). – С. 2.
3. Запрудский, А. А. Эффективность возделывания кормовых бобов на зерно и зеленую массу при различных сроках посева в условиях Центральной части Беларуси / А. А. Запрудский // Зернобобовые и крупяные культуры. – 2021. – №2 (38) – С. 59–65.
4. Шор, В. Ч. Расширение посевных площадей под зернобобовыми культурами – один из факторов решения проблемы дефицита кормового белка в концентрированных и зеленых кормах / В. Ч. Шор, М. Н. Крицкий, М. В. Евсеенко // Земледелие и растениеводство. – 2022. – № 2(141). – С. 5–9.

5. Магомедов, К. Г. Кормовые бобы высокобелковая кормовая культура: монография / К. Г. Магомедов, Ж. М. Вологирова. – Литерс, 2021. – 270 с.

6. Агротехнологические особенности возделывания зернобобовых культур: коллективная монография; под ред. И. Н. Романова. – М. : Издательство «Научный консультант», 2018. – 116 с.

7. Таланов, И. П. Значение кормовых бобов в воспроизводстве почвенного плодородия серых лесных почв / И. П. Таланов, Ф. Ш. Фасхутдинов // Агрохимикаты в XXI веке: теория и практика применения: материалы Междунар. науч.-практ. конф., Нижний Новгород, 31 мая – 2 июня 2017 г. / Нижегород. гос. с.-х. акад.; под общ. ред. В. И. Титовой. – Н. Новгород: Нижегородская ГСХА, 2017. – С. 198–201.

8. Инокуляция семян кормовых бобов как прием, способствующий улучшению diaзотрофности культуры, повышению продуктивности и качества урожая / В. М. Кухарчик, Л. С. Рутковская, А. Р. Рыбак [и др.] // Зернобобовые и крупяные культуры. – 2019. – № 4(32) – С. 81–86.

9. Государственный реестр сортов сельскохозяйственных растений [сайт] // Инспекция по охране сортов растений. – 2024. – URL: <http://sorttest.by/registry.php> (дата обращения: 22.10.2024).

10. Доспехов, Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований) / Б. А. Доспехов. – Москва : Агропромиздат, 1985. – 351 с.

11. Короневский, В. И. К методике статистической обработки данных многолетних полевых опытов / В. И. Короневский // Земледелие. – 1985. – № 11. – С. 56–57.

EFFECTIVENESS OF FERTILIZER SYSTEMS FOR BROAD BEANS ON SODDY-PODZOLIC SANDY LOAM SOIL

**T. M. Seraya, E. N. Bohatyrova, A. L. Novik, T. M. Kirdun,
Yu. A. Simankova, H. M. Ustsinava, M. M. Torchilo**

Summary

The article presents the data on the development of reasonable doses and terms of application of fertilizers for feed beans, depending on the method of basic treatment of soil. The influence of fertilizer systems and weather conditions on grain yield and the removal of nutrients on sod-podzolic sandy loam soil has been established.

The weather conditions of the growing season of forage beans in 2024 were more favorable for the growth and development of plants and contributed to the formation of grain yields on average 97% higher than in 2023. Due to the use of fertilizers, the grain yield of forage beans increased by an average of 5,2 c/ha in the plowing block, in the block disking – by 8,3 c/ha. The standards for the removal of the main elements of nutrition by the grain harvest of feed beans have been developed, which amounted to 42,1 kg/t of nitrogen, 9,0 kg/t of phosphorus and 21,8 kg/t of potassium.

Поступила 29.11.24

ВЛИЯНИЕ АЗОТНЫХ, МЕДНЫХ, МАРГАНЦЕВЫХ И ЦИНКОВЫХ УДОБРЕНИЙ НА УРОЖАЙНОСТЬ И КАЧЕСТВО ОЗИМОГО ЯЧМЕНЯ И ВЫНОС ЭЛЕМЕНТОВ ПИТАНИЯ НА ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ СУПЕСЧАНОЙ ПОЧВЕ

М. В. Рак, Е. Н. Пукалова, С. Г. Кудласевич, Л. Н. Гук
Институт почвоведения и агрохимии, г. Минск, Беларусь

ВВЕДЕНИЕ

Минеральное питание – одно из основных регулируемых факторов, используемых для целенаправленного управления ростом и развитием растений с целью создания высокого урожая хорошего качества [1, 2]. Для сбалансированного питания растений озимого ячменя в целях повышения урожайности и качества зерна особенно важен дифференцированный подход к применению макро- и микроудобрений с учетом обеспеченности почвы доступными формами элементов. При возделывании этой культуры по современным технологиям с ростом урожайности озимого ячменя увеличивается вынос элементов минерального питания, включая микроэлементы, усиливается подвижность питательных веществ, что приводит к необходимости изменения состава применяемых удобрений. В связи с вышеуказанным еще много нерешенных проблем, в частности, необходимо определение потребности растений в элементах минерального питания и разработки нормативов выноса макро- и микроэлементов, что позволит снизить затраты на минеральные удобрения при возделывании этой культуры. При этом важно определить влияние разных доз азотных, медных, марганцевых и цинковых удобрений на фоне внесения фосфорных и калийных удобрений на урожайность и качество зерна озимого ячменя. Общий вынос элементов минерального питания основной и побочной продукцией растений зависит не только от биологии растений, но от уровня получаемых урожаев и интенсивности применения агрохимических средств. Поэтому показатели выноса элементов достаточно динамичная величина, которая зависит не только от типа почв, но и от уровней получаемых урожаев и биологических особенностей культур [3–8].

Отметим, что для повышения эффективности азота, фосфора и калия в технологии возделывания озимого ячменя большое значение имеет внесение микроэлементов. 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. Эффективность микроудобрений также во многом зависит от содержания доступных форм микроэлементов в почве. По данным крупномасштабного обследования почв пашни Беларуси средневзвешенное содержание подвижной меди составляет 1,76 мг/кг, цинка – 2,99 мг/кг почвы, что свидетельствует об определенном недостатке этих микроэлементов для сельскохозяйственных культур [9–10]. Низкое содержание подвижных форм микроэлементов в почве зачастую является фактором, лимитирующим формирование урожая

сельскохозяйственных культур и качества продукции. Особенно это актуально для почв легкого гранулометрического состава, где потребность растений в микроэлементах и роль сбалансированности минерального питания возрастает в условиях интенсивных технологий, направленных на формирование высокопродуктивных посевов. Поэтому определение роли и места макро- и микроэлементов в минеральном питании озимого ячменя актуально и имеет практическую значимость.

Цель исследований – установить влияние разных доз и сроков применения азотных, медных, марганцевых и цинковых удобрений, на урожайность, качество и вынос элементов питания урожаем озимого ячменя на дерново-подзолистой супесчаной почве.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования с озимым ячменем проводились в 2023–2024 гг. на дерново-подзолистой супесчаной почве в РУП «Экспериментальная база им. Котовского» Узденского района. Агрохимическая характеристика пахотного слоя дерново-подзолистой супесчаной почвы: pH_{KCl} – 5,9 гумус – 2,3 %, P_2O_5 – 240, K_2O – 217, В – 0,3, Cu – 1,6, Zn – 2,8, Mn – 3,0, S – 3,3 мг/кг почвы. Опыт с ячменем (сорт Буслик) включает варианты с применением в некорневую подкормку возрастающих доз и сочетаний меди, марганца и цинка на двух уровнях азотного питания на фоне внесения фосфорно-калийных удобрений.

Схема опыта:

- | | |
|---|---|
| 1. Вариант без удобрений | 6. Фон 1 + $Cu_{0,05}Mn_{0,05} + Cu_{0,05}Mn_{0,05}$ |
| 2. $P_{75}K_{150}$ – фон | 7. $N_{120}P_{75}K_{150}$ – фон 2 |
| 3. $N_{90}P_{75}K_{150}$ – фон 1 | 8. Фон 2 + $Cu_{0,05}Mn_{0,05}$ |
| 4. Фон 1 + $Cu_{0,05}Mn_{0,05}$ | 9. Фон 2 + $Cu_{0,05}Mn_{0,05}Zn_{0,075}$ |
| 5. Фон 1 + $Cu_{0,05}Mn_{0,05}Zn_{0,075}$ | 10. Фон 2 + $Cu_{0,05}Mn_{0,05} + Cu_{0,05}Mn_{0,05}$ |

Дозы микроэлементов даны в кг/га д.в.

Фосфорные и калийные удобрения под озимый ячмень внесены до посева с заделкой под культивацию в форме суперфосфата аммонизированного, хлористого калия. Азотные подкормки проведены в начале возобновления активной вегетации (КАС) и в стадию первого узла (карбамид). На первом уровне (фон 1) дробное внесение азота составило N_{50+40} , на втором уровне (фон 2) – в дозе N_{70+50} . Микроудобрения внесены в некорневую подкормку в стадии первого узла. В варианте 6,10 микроудобрения внесены двукратно: осенью (фаза кущения) и весной (в стадии первого узла). Микроудобрение МикроСтим-Медь Л, МикроСтим-Марганец и МикроСтим-Цинк вносили в некорневые подкормки озимого ячменя согласно схеме опыта. Расход рабочего раствора 200 л/га.

Общая площадь делянок 30 м², повторность – 3-кратная. Предшественник – озимый рапс. Норма высева – 4,0 млн всхожих семян на 1 га.

Период исследований 2023–2024 гг. отличался от среднемноголетних значений по температурному режиму и влагообеспеченности. Весна 2023 г. оказалась засушливой и формирование урожайности ячменя проходило в условиях жаркой и сухой погоды. Гидротермический коэффициент в мае составил 0,2, при сред-

немноголетней норме 1,8, в июне – 0,8, при среднемноголетней норме 1,4 соответственно. При этом в июле количество выпавших осадков составило 153,6 % от среднемноголетнего показателя.

В вегетационный период 2024 г., растения озимого ячменя развивались в условиях избыточного увлажнения на фоне повышенных температур. ГТК в весенне-летний период вегетации озимого ячменя составил 2,4, при среднемноголетних показателях ГТК 1,8. Возобновление весенней вегетации 2024 г. происходило в условиях избыточного увлажнения. В апреле сумма осадков за месяц на 157,6 % превысила среднемноголетний показатель. Дальнейшее формирование урожайности ячменя проходило в условиях жаркой и умеренно влажной погоды. Гидротермический коэффициент в мае составил 1,4, при среднемноголетней норме 1,8, в июне – 1,5, при среднемноголетней норме 1,4 соответственно. В последний месяц вегетации (июль) сумма осадков составила 172,3 % от среднемноголетнего показателя, при отклонении температуры на 1,1 °С выше нормы.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты исследований показали, что на формирование урожайности и качества зерна озимого ячменя существенную роль оказывает применение азотных, медных, марганцевых и цинковых удобрений. Так, при возделывании озимого ячменя на дерново-подзолистой супесчаной почве внесение азотных удобрений на фоне $P_{75}K_{150}$ повышало урожайность зерна на 47,3–58,2 %. Прибавка урожайности зерна от двукратной азотной подкормки в дозе N_{50+40} составила 17,0, в дозе N_{70+50} – 20,9 ц/га. С повышением дозы азотных удобрений с N_{90} до N_{120} урожайность зерна увеличилась на 3,9 ц/га (рис., табл. 1).

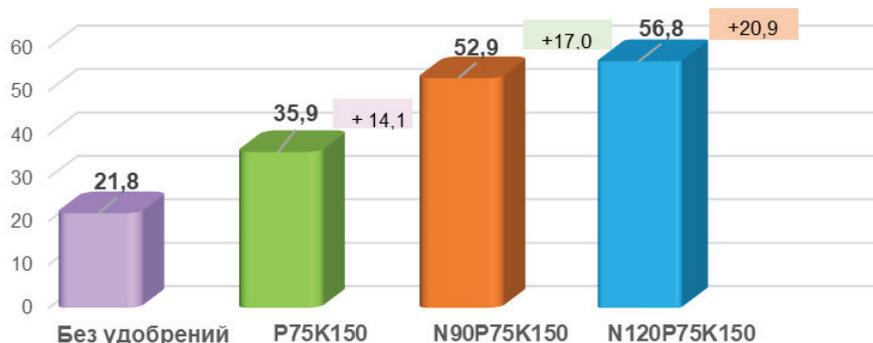


Рис. Влияние азотных удобрений на урожайность зерна озимого ячменя

Прибавка урожайности зерна от азотной подкормки составила 17,0 и 20,9 ц/га, при урожайности 52,9 и 56,8 ц/га. С увеличением дозы азотных удобрений с N_{90} до N_{120} урожайности зерна увеличилась на 3,9 ц/га.

Некорневые подкормки озимого ячменя микроудобрениями МикроСтим на фоне минерального питания $N_{90}P_{75}K_{150}$ повышали урожайность зерна на 4,6–5,5 ц/га, или на 8,7–10,4 %. На фоне минерального питания $N_{120}P_{75}K_{150}$, наряду с повышением урожайности озимого ячменя, отмечается снижение эффективности некорневых подкормок микроэлементами на 6,7–7,4 %, что составляет 3,8–4,2 ц/га (табл. 1.)

Отмечается, что азотные удобрения увеличили содержания белка в зерне на 1,6–2,4 %, сбор белка – на 1,8–2,7 ц/га. При увеличении дозы азотных удобрений с N_{90} до N_{120} на фоне $P_{75}K_{150}$, содержание сырого белка в зерне ячменя повышалось на 0,8 %, сбор сырого белка с гектара на 0,9 ц. Внесение микроудобрений МикроСтим с содержанием меди, марганца и цинка повышало содержание белка в зерне на 0,2–0,9 %, сбор белка – на 0,4–1,1 ц/га (табл. 1).

Таблица 1

Влияние макро- и микроудобрений на урожайность и качество озимого ячменя

Вариант	Урожайность зерна, ц/га			Прибавка к фону 1,2, ц/га	(среднее 2023–2024 гг.)	
	2023 г.	2024 г.	средняя		белок, %	сбор белка, ц/га
1. Вариант без удобрений	18,0	25,6	21,8	–	7,2	1,4
2. $P_{75}K_{150}$ – Фон	33,4	38,4	35,9	–	9,0	2,8
3. $N_{90}P_{75}K_{150}$ – фон 1	48,7	57,1	52,9	–	10,6	4,6
4. Фон 1 + $Cu_{0,05}Mn_{0,05}$	52,5	63,2	57,8	4,9	11,5	5,7
5. Фон 1 + $Cu_{0,05}Mn_{0,05}Zn_{0,075}$	51,0	64,1	57,5	4,6	11,3	5,6
6. Фон 1 + $Cu_{0,05}Mn_{0,05} + Cu_{0,05}Mn_{0,05}$	53,0	63,8	58,4	5,5	11,3	5,6
7. $N_{120}P_{75}K_{150}$ – фон 2	51,1	62,5	56,8	–	11,4	5,5
8. Фон 2 + $Cu_{0,05}Mn_{0,05}$	54,3	67,5	60,9	4,1	11,7	6,2
9. Фон 2 + $Cu_{0,05}Mn_{0,05}Zn_{0,075}$	53,2	68,0	60,6	3,8	11,6	5,9
10. Фон 2 + $Cu_{0,05}Mn_{0,05} + Cu_{0,05}Mn_{0,05}$	55,1	67,0	61,0	4,2	11,7	6,2
HCP_{05}	1,8	2,4	2,3	–	–	0,63

Для формирования урожая зерна и соломы озимого ячменя в разной степени использовались питательные вещества. В зерне накапливается больше азота, а в соломе – калия, из микроэлементов в зерне больше цинка, в соломе марганца (табл. 2). В среднем за два года в контрольном варианте зерно и солома содержали в сухом веществе 1,25 % азота, 0,46 % фосфора, 0,49 % калия, 0,05 % кальция, 0,20 % магния, 0,13 % серы и 0,33 % азота, 0,07 % фосфора, 1,15 % калия, 0,17 % кальция, 0,23 % магния, 0,11 % серы соответственно (табл. 2).

На фоне внесения минеральных удобрений $N_{120}P_{75}K_{150}$ содержание азота, фосфора и калия в зерне и соломе ячменя выше, чем на фоне $N_{90}P_{75}K_{150}$. Так, в вариантах с применением $N_{90}P_{75}K_{150}$ и $N_{120}P_{75}K_{150}$ в сравнении с вариантом без удобрений, содержание основных элементов питания в зерне ячменя возросло: азота – на 0,39 и 0,53 %, фосфора – на 0,12 и 0,17 %, калия – на 0,09 и 0,13 % соответственно. Повышение дозы вносимого азота с 90 кг/га до 120 кг/га увеличивала концентрацию элемента в растениях ячменя с 1,64 до 1,78 %. Содержание калия, кальция и магния в зерне озимого ячменя изменялось не значительно на всех исследуемых вариантах опыта.

Некорневые подкормки растений озимого ячменя медью, марганцем и цинком также повышали содержание микроэлементов в продукции в сравнении с фоновыми вариантами. В среднем за два года в фоновых вариантах зерно и солома содержали: 1,4–1,5 мг/кг меди, 10,4–10,7 мг/кг цинка, 8,3–8,8 мг/кг марганца и 1,4 мг/кг меди, 2,3 мг/кг цинка, 11,9–12,4 мг/кг марганца соответственно. Под влиянием

некорневых подкормок ячменя медью содержание элемента в зерне увеличивалось до 1,6–1,7 мг/кг, в соломе до 1,7–1,9 мг/кг сухой массы. Применение цинковых удобрений повышало содержание цинка в зерне до 10,8–11,8 мг/кг, в соломе – до 3,0–3,4 мг/кг сухой массы. Некорневое внесение марганца в подкормку ячменя способствовало увеличению его содержания в зерне до 9,0–9,5 мг/кг, в соломе – до 15,8–19,2 мг/кг сухой массы (табл. 2).

Таблица 2

Содержания макро- и микроэлементов в зерне и соломе озимого ячменя (среднее 2023–2024 гг.)

Варианты	N _{общ.}	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO	SO ₃	Cu	Zn	Mn
	% сухой массы						мг/кг сухой массы		
1. Вариант без удобрений	<u>1,25*</u> 0,33	<u>0,46</u> 0,07	<u>0,49</u> 1,15	<u>0,05</u> 0,17	<u>0,20</u> 0,23	<u>0,13</u> 0,11	<u>1,1</u> 1,0	<u>9,7</u> 2,2	<u>7,7</u> 11,1
2. P ₇₅ K ₁₅₀ – Фон	<u>1,32</u> 0,43	<u>0,54</u> 0,10	<u>0,55</u> 1,41	<u>0,07</u> 0,18	<u>0,21</u> 0,24	<u>0,14</u> 0,11	<u>1,3</u> 1,7	<u>7,4</u> 2,2	<u>6,6</u> 11,1
3. N ₉₀ P ₇₅ K ₁₅₀ – фон 1	<u>1,64</u> 0,37	<u>0,58</u> 0,09	<u>0,58</u> 1,50	<u>0,07</u> 0,18	<u>0,22</u> 0,24	<u>0,20</u> 0,12	<u>1,4</u> 1,4	<u>10,4</u> 2,3	<u>8,3</u> 11,9
4. Фон 1 + Cu _{0,05} Mn _{0,05}	<u>1,80</u> 0,49	<u>0,60</u> 0,11	<u>0,60</u> 1,62	<u>0,08</u> 0,17	<u>0,22</u> 0,25	<u>0,16</u> 0,12	<u>1,7</u> 1,8	<u>11,8</u> 2,8	<u>9,5</u> 14,9
5. Фон 1 + Cu _{0,05} Mn _{0,05} Zn _{0,075}	<u>1,8</u> 0,54	<u>0,59</u> 0,10	<u>0,59</u> 1,57	<u>0,08</u> 0,19	<u>0,22</u> 0,26	<u>0,20</u> 0,12	<u>1,6</u> 1,4	<u>10,4</u> 3,0	<u>8,8</u> 19,2
6. Фон 1 + Cu _{0,05} Mn _{0,05} +Cu _{0,05} Mn _{0,05}	<u>1,76</u> 0,54	<u>0,65</u> 0,11	<u>0,61</u> 1,56	<u>0,07</u> 0,20	<u>0,23</u> 0,26	<u>0,15</u> 0,13	<u>1,6</u> 1,5	<u>10,2</u> 2,6	<u>8,8</u> 12,3
7. N ₁₂₀ P ₇₅ K ₁₅₀ – фон 2	<u>1,78</u> 0,38	<u>0,63</u> 0,11	<u>0,62</u> 1,61	<u>0,07</u> 0,19	<u>0,23</u> 0,24	<u>0,17</u> 0,12	<u>1,5</u> 1,4	<u>10,7</u> 2,3	<u>8,8</u> 12,4
8. Фон 2 + Cu _{0,05} Mn _{0,05}	<u>1,83</u> 0,56	<u>0,65</u> 0,13	<u>0,61</u> 1,64	<u>0,07</u> 0,20	<u>0,23</u> 0,26	<u>0,16</u> 0,13	<u>1,7</u> 1,7	<u>10,1</u> 3,4	<u>8,6</u> 15,8
9. Фон 2 + Cu _{0,05} Mn _{0,05} Zn _{0,075}	<u>1,81</u> 0,42	<u>0,67</u> 0,12	<u>0,62</u> 1,59	<u>0,07</u> 0,19	<u>0,22</u> 0,26	<u>0,16</u> 0,14	<u>1,6</u> 1,9	<u>10,8</u> 2,9	<u>9,0</u> 13,1
10. Фон 2 + Cu _{0,05} Mn _{0,05} +Cu _{0,05} Mn _{0,05}	<u>1,83</u> 0,43	<u>0,66</u> 0,12	<u>0,65</u> 1,66	<u>0,05</u> 0,20	<u>0,25</u> 0,24	<u>0,20</u> 0,12	<u>1,6</u> 1,7	<u>10,6</u> 2,4	<u>9,0</u> 13,3

*содержание элементов: над чертой – в зерне, под чертой – в соломе.

При разработке системы удобрения большой значение имеет вынос элементов питания урожаем сельскохозяйственных культур. С повышением продуктивности посевов, а, следовательно, и отчуждения элементов питания урожаем, пропорционально возрастает необходимость применения удобрений с целью компенсации их дефицита в почве [9]. Исходя из экспериментальных данных урожайности зерна и соломы озимого ячменя, химического состава основной и побочной продукции, рассчитан общий и удельный вынос элементов питания озимым ячменем (табл. 3).

При оценке общего и удельного выноса установлено, что за период вегетации с урожаем озимого ячменя в большей мере отчуждается азот и калий и сравнительно меньше – фосфор, кальций, магний и сера. Из микроэлементов с урожаем ячменя больше выносятся марганца, меньше – цинка, а самое низкое значение характерно для меди. На фоне внесения минеральных удобрений N₁₂₀P₇₅K₁₅₀ вынос элементов питания выше, чем на фоне N₉₀P₇₅K₁₅₀.

Общий (кг, г/га) и удельный (нормативный) (кг, г/т) вынос элементов питания озимым ячменем на дерново-подзолистой супесчаной почве (среднее 2023–2024 гг.)

Урожайность, ц/га		Вынос	N общ.	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO	SO ₃	Cu	Zn	Mn
зерно	солома		кг						г		
Вариант – N ₉₀ P ₇₅ K ₁₅₀											
52,9	94,8	общий	104,1	33,6	146,0	17,5	29,1	18,7	17,5	65,6	132,5
		удельный	19,7	6,3	27,6	3,3	5,5	3,5	3,3	12,4	25,1
Вариант – N ₉₀ P ₇₅ K ₁₅₀ + Cu _{0,05} Mn _{0,05}											
57,8	99,6	общий	130,5	39,0	164,7	18,2	31,9	18,0	23,5	82,1	171,9
		удельный	22,6	6,8	28,5	3,1	5,5	3,1	4,1	14,2	29,7
Вариант – N ₉₀ P ₇₅ K ₁₅₀ + Cu _{0,05} Mn _{0,05} Zn _{0,075}											
57,5	97,8	общий	133,5	37,4	158,3	19,6	32,3	19,8	19,4	76,1	201,3
		удельный	23,2	6,5	27,5	3,4	5,6	3,4	3,4	13,2	35,0
Вариант – N ₉₀ P ₇₅ K ₁₅₀ + Cu _{0,05} Mn _{0,05} + Cu _{0,05} Mn _{0,05}											
58,4	99,8	общий	133,7	39,9	161,2	20,3	33,3	18,4	20,6	73,0	147,3
		удельный	22,9	6,8	27,6	3,5	5,7	3,2	3,5	12,5	25,2
Вариант – N ₁₂₀ P ₇₅ K ₁₅₀											
56,8	105,1	общий	120,6	40,0	172,3	20,2	32,4	18,9	19,7	72,6	152,5
		удельный	21,2	7,0	30,3	3,6	5,7	3,3	3,5	12,8	26,8
Вариант – N ₁₂₀ P ₇₅ K ₁₅₀ + Cu _{0,05} Mn _{0,05}											
60,9	108,9	общий	147,1	43,8	182,7	22,0	35,8	20,3	24,5	84,0	189,6
		удельный	24,1	7,2	30,0	3,6	5,9	3,3	4,0	13,8	24,1
Вариант – N ₁₂₀ P ₇₅ K ₁₅₀ + Cu _{0,05} Mn _{0,05} Zn _{0,075}											
60,6	107,9	общий	132,5	43,2	176,6	20,9	35,0	21,0	25,6	82,6	165,6
		удельный	21,9	7,1	29,1	3,4	5,8	3,5	4,2	13,6	21,9
Вариант – N ₁₂₀ P ₇₅ K ₁₅₀ + Cu _{0,05} Mn _{0,05} + Cu _{0,05} Mn _{0,05}											
61,0	109,0	общий	135,4	45,1	186,7	20,9	35,1	21,5	24,0	77,6	169,0
		удельный	22,2	7,4	30,6	3,4	5,8	3,5	3,9	12,7	27,7
В среднем общий			128,9	39,6	166,0	19,8	32,8	19,3	21,5	76,6	165,8
В среднем удельный			22,2	6,9	28,9	3,4	5,7	3,4	3,7	13,2	28,5

Таким образом, при возделывании озимого ячменя на дерново-подзолистой супесчаной почве удельный вынос элементов питания в среднем составляет: 22,2 кг азота, 6,9 кг фосфора, 28,9 кг калия, 3,4 кг кальция, 5,7 кг магния, 3,4 кг серы, 28,5 г марганца, 13,2 г цинка и 3,7 г меди на 1 т зерна с соответствующим количеством соломы.

ВЫВОДЫ

1. При возделывании озимого ячменя на дерново-подзолистой супесчаной почве двукратная азотная подкормка в дозах N₅₀₊₄₀ и N₇₀₊₅₀, на фоне внесения P₇₅K₁₅₀ повышает урожайность зерна на 17,0 и 20,9 ц/га, содержание белка на 1,6 и 2,4 % при урожайности 52,9 и 56,8 ц/га соответственно. Эффективным приемом повышения

урожайности озимого ячменя является некорневая подкормка растений медными и марганцевыми удобрениями, обеспечивающая прибавки зерна 3,8–5,5 ц/га.

2. По содержанию в зерне озимого ячменя макроэлементы располагаются в порядке убывания: $N > K > P > Mg > S > Ca$, микроэлементы – $Zn > Mn > Cu$. В соломе озимого ячменя макроэлементы по степени снижения их содержания образуют следующий ряд $K > N > Mg > Ca > S > P$, микроэлементы – $Mn > Zn > Cu$. В зерне накапливается больше азота, фосфора и цинка, в соломе – калия и марганца. На фоне внесения минеральных удобрений в дозе $N_{120}P_{75}K_{150}$ содержание азота, фосфора, калия, цинка и марганца в зерне и соломе ячменя выше, чем на фоне – $N_{90}P_{75}K_{150}$.

3. На дерново-подзолистой супесчаной почве в среднем удельный вынос элементов питания озимым ячменем составляет: азота – 22,2 кг, фосфора – 6,9 кг, калия – 28,9 кг, кальция – 3,4 кг, магния – 5,7 кг, серы – 3,4 кг, марганца – 28,5 г, цинка – 13,2 г и меди – 3,7 г на 1 т зерна с соответствующим количеством соломы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Научные системы ведения сельского хозяйства Республики Беларусь / В. Г. Гусаков, В. И. Бельский, И. И. Крупко [и др.]; редкол.: В. Г. Гусаков (гл. ред) [и др.] / Нац. акад. наук Беларуси, М-во сел. хоз-ва и продовольствия Респ. Беларусь. – Минск : Беларуская навука, 2020. – 683 с.
2. Ягодин, Б. А. Агрохимия: учебник / Б. А. Ягодин; под ред. Б.А. Ягодина. – М. : Колос, 2002. – 584 с.
3. Лапа, В. В. Продуктивность сельскохозяйственных культур и применение минеральных удобрений в Республике Беларусь / В. В. Лапа, Е. Г. Мезенцева, О. Г. Кулеш // Почвоведение и агрохимия. – 2020. – № 1(64). – С. 7–14.
4. Озимый ячмень: основные элементы агротехники / А. А. Зубкович, Л. А. Булавина, Т. М. Булавина [и др.] // Земледелие и защита растений. – 2018. – Приложение к № 4. – С. 23–26.
5. Булавина, Т. М. Совершенствование основных элементов технологии возделывания озимого ячменя / Т. М. Булавина // Земледелие и защита растений. – 2015. – № 2. – С. 68–72.
6. Озимый ячмень: сорт, удобрение, урожай: монография / А. С. Ерешко, В. Б. Хронок, Р. Г. Бершанский [и др.]. – зерноград : ФГБОУ ВПО АЧГАА, 2013. – 134 с.
7. Шпока, Е. И. Влияние комплексного применения макро- и микроудобрений на урожайность и вынос элементов питания ячменем при возделывании на дерново-подзолистой супесчаной почве / Е. И. Шпока // Почвоведение и агрохимия. – 2012. – № 2(49). – С. 128–134.
8. Нормативы возмещения выноса элементов питания для расчета доз удобрений под сельскохозяйственные культуры / В. В. Лапа, Н. Н. Семененко, М. В. Рак [и др.]. – Минск : Институт почвоведения и агрохимии, 2017. – 39 с.
9. Рак, М. В. Жидкие комплексные микроудобрения МикроСтим в технологии возделывания сельскохозяйственных культур / М. В. Рак // Земледелие и защита растений. – 2018. – Приложение к № 2(117). – С. 53–55.
10. Агрохимическая характеристика почв сельскохозяйственных земель Республики Беларусь (2017–2020 гг.) / И. М. Богдевич, В. В. Лапа, М. В. Рак [и др.] ; под общ. ред. И. М. Богдевича ; Ин-т почвоведения и агрохимии. – Минск : Институт

**THE INFLUENCE OF NITROGEN, COPPER, MANGANESE AND ZINC
FERTILIZERS ON THE YIELD AND QUALITY OF WINTER BARLEY
AND THE REMOVAL OF NUTRIENTS ON SOD-PODZOLIC
SANDY LOAM SOIL**

M. V. Rak, E. N. Pukalova, S. G. Kudlasevich, L. N. Guk

Summary

The article presents the results of research on the effect of nitrogen, copper, manganese and zinc fertilizers on the yield and quality of winter barley when cultivated on sod-podzolic sandy loam soil. The data of nutrients removing with the winter barley harvest are presented. It has been established that an effective method for increasing the yield of winter barley is foliar feeding of plants with copper and manganese against the background of the application of mineral fertilizers.

Поступила 29.11.24

К ВОПРОСУ О РОЛИ АГРОХИМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ СУПЕСЧАНОЙ ПОЧВЫ В ФОРМИРОВАНИИ УРОЖАЙНОСТИ ЗЕЛЕННОЙ МАССЫ СОРГО ЗЕРНОВОГО

Г. В. Седукова

Институт радиобиологии НАН Беларуси, г. Гомель, Беларусь

ВВЕДЕНИЕ

Являясь ценной пищевой и кормовой культурой, сорго, в силу своих биологических особенностей, способно сформировать достаточно высокие урожаи зеленой массы и зерна. Более чем в 80 странах мира возделывают сорго. В некоторых странах данной культуре принадлежит доминирующая роль. Самые большие посевные площади расположены в Индокитае (27 млн га), Африке (15,5 млн га), Северной и Южной Америке (4,5–5 млн га). В России во времена СССР посевные площади сорго занимали 110–140 тыс. га. После распада страны площади под сорго были сокращены [1].

В настоящее время сорго возделывается в 14 регионах Российской Федерации. Около 31,5 % от общих посевных площадей сорго в России сосредоточено в Ростовской области. Крупные посевные площади находятся также в Саратовской, Волгоградской, Оренбургской и Самарской областях. На территории России в Государственный реестр селекционных достижений включены более 40 сортов сорго, допущенных к использованию [2].

Ценность культуры возрастает в районах, в которых другие основные культуры не обеспечивают высоких урожаев из-за засушливого климата. Отличительной особенностью сорго является теплолюбивость, очень высокая засухоустойчивость. Последние исследования показали, что за десятилетие (2009–2018 гг.) отмечается рост температуры воздуха в весенний и летний периоды по всем областям Беларуси. Особенно активно данный процесс наблюдается в Гомельской области [3]. За указанное выше десятилетие в Гомельской области отмечаются самые высокие средние температуры за весенний (8,8 °С) и летний (19,5 °С) периоды [4].

Изменение климатических условий обуславливает снижение урожайности распространенных сельскохозяйственных культур в южном регионе страны. Следовательно, возникает необходимость посевов культур, способных выдерживать высокие температуры воздуха и недостаточное увлажнение почвы. Целесообразно вводить в севооборот культуры, использовать которые возможно, по мере необходимости как на зерно, так и на зеленую массу. В качестве таковой культуры рассматривается сорго зерновое. Генетический потенциал культуры проявляется при возделывании на почвах с оптимальными агрохимическими показателями.

Для установления отзывчивости изучаемой культуры на изменение агрохимических показателей почв проведены научные исследования, результаты которых представлены в статье.

МЕТОДИКА И ОБЪЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования проводились в 2021–2023 гг. на дерново-подзолистых супесчаных почвах в Брагинском и Ветковском районах Гомельской области. Опыты проводились в 3-кратной повторности с общей площадью делянок 10 м², учетной – 4 м². Для оценки влияния агрохимических показателей почвы на урожайность зеленой массы культуры в исследованиях, результаты которых представлены в данной статье, использованы варианты без внесения удобрений. Таким образом оценивалась урожайность, полученная за счет плодородия почвы. Для анализа отбирались сопряженные пробы почвы и растений сорго. Учет урожайности зеленой массы сорго зернового (Славянское поле СЛВ 15) проводили в фазу начала выметывания (НВМ) (первая фаза укосной спелости) и в фазу молочно-восковой спелости (МВС) (вторая фаза укосной спелости). Уборку урожая осуществляли поделочно со взвешиванием зеленой массы с учетной площади. Зеленую массу, убранную в фазу НВМ, используют в качестве зеленых кормов в летний период, убранную в фазу МВС – как в качестве подкормки, так и для заготовки кормов на зимне-стойловый период.

Почва пахотного горизонта характеризовалась различными агрохимическими показателями. Содержание гумуса в пахотном горизонте почвы полевых экспериментов изменялось в широком диапазоне – от 1,5 до 3,6 %. Интервал вариабельности обменной кислотности почвы составил 5,2–7,1 ед. Содержание подвижных форм калия (K₂O) варьировало от 46 до 432 мг/кг почвы, фосфора (P₂O₅) – от 130 до 468 мг/кг почвы. Широкий диапазон варьирования агрохимических показателей обеспечил возможность изучения реакции культуры при возделывании на почвах, относящихся к разным группам обеспеченности K₂O и P₂O₅ и градаций по уровню гумусированности и кислотности [5], а также установить их роль в формировании продуктивности зеленой массы сорго зернового и количественные параметры изменения урожайности.

Агрохимические показатели почвы определяли по общепринятым методикам: обменная кислотность – потенциметрическим методом [6], содержание гумуса – по Тюрину в модификации ЦИНАО [7], подвижных форм фосфора и калия – по методу Кирсанова в модификации ЦИНАО [8].

Вегетационные периоды в годы проведения исследований характеризовались недостаточным количеством осадков. Гидротермический коэффициент (ГТК), определяющий условия увлажнения в период роста и развития растений, составлял в первый год исследований 1,3, во второй – 0,9, в третий – 0,8. В соответствии с классификацией зон увлажнения по ГТК сорго зерновое возделывалось в засушливых условиях (слабозасушливые в 2021 г. и засушливые в 2022 и 2023 гг.).

Роль агрохимических показателей в формировании урожайности зеленой массы культуры в разные фазы укосной спелости выполняли путем множественной корреляции. Оценку тесноты связи проводили по частным (r) и множественному (R) коэффициентам корреляции.

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

Урожайность зеленой массы сорго зернового в фазу НВМ изменялась от 175 до 427 ц/га и среднем за годы исследований находилась на уровне 322 ц/га. Урожайность зеленой массы в фазу МВС в 1,4 раза выше, чем в первую укосную спелость. Интервал варибельности сбора зеленой массы во вторую укосную спелость составил 269–635 ц/га. Усредненное значение урожайности зеленой массы сорго зернового в фазу МВС зерна находилась на уровне 457 ц/га. Различия между урожайностью в фазу НВМ и фазой МВС изменялись от 95 до 208 ц/га и в среднем составили 135 ц/га.

В результате проведения корреляционного анализа, где в качестве резуль- тативного признака выступила урожайность сорго зернового в фазы НВМ и МВС, а в качестве факториальных – обменная кислотность, содержание гумуса, содержание подвижных форм калия и фосфора, установлены частные и множественный коэффициенты корреляции. Частные коэффициенты корреляции (r), свидетель- ствуют о степени сопряженности двух показателей, а множественный (R) – между совокупностью показателей.

Определено, что между урожайностью зеленой массы и агрохимическими показателями почвы существует высокая связь (рис. 1).

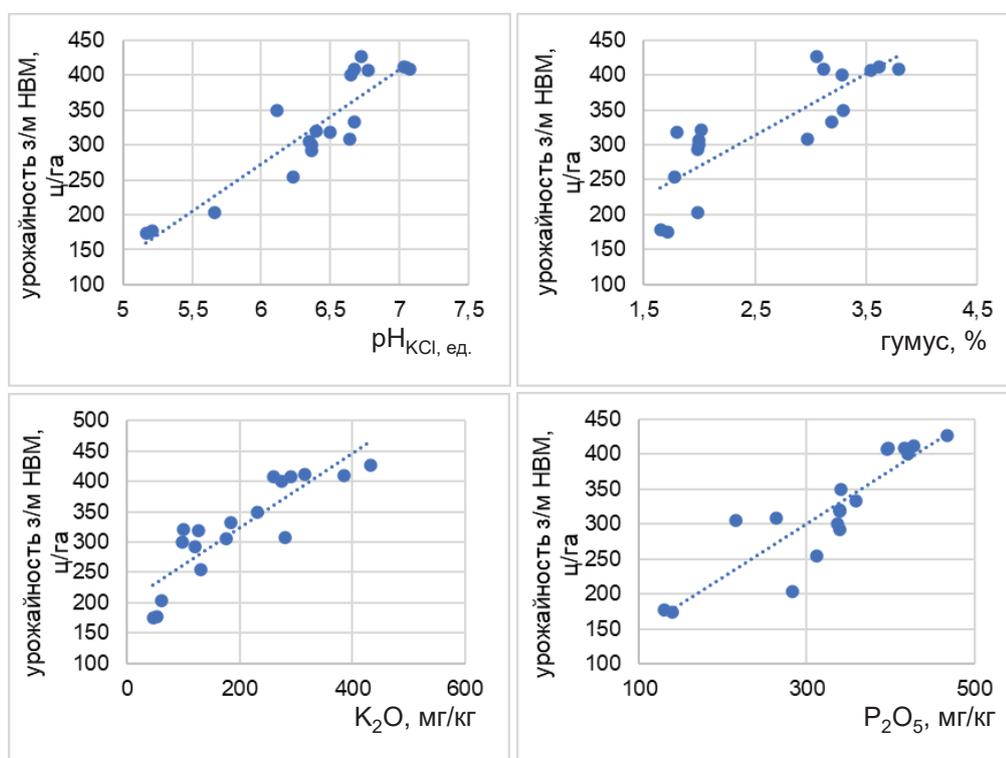


Рис. 1. Связь урожайности зеленой массы в фазу начала выметывания метелки сорго зернового с агрохимическими показателями почвы

Коэффициенты корреляции r , показывающие связь между урожайностью зеленой массы культуры в фазу НВМ и агрохимическими показателями почвы, а также уравнения регрессии, описывающие данные зависимости представлены в таблице 1.

Таблица 1

Показатели, характеризующие связь между урожайностью зеленой массы сорго зернового в фазу НВМ и агрохимическими показателями почвы

Показатель	Коэффициент корреляции	Уравнение регрессии
pH_{KCl}	0,90	$y = 135,75x - 541,75$
Содержание K_2O	0,87	$y = 0,61x + 201,38$
Содержание P_2O_5	0,89	$y = 0,77x + 69,09$
Содержание гумуса	0,83	$y = 87,86x + 93,83$

На основании анализа представленных уравнений регрессии парной корреляции свидетельствует о том, что при изменении кислотности на 0,1 ед. урожайность зеленой массы НВМ культуры увеличится на 13,6 ц/га. При повышении K_2O и P_2O_5 на 10 мг/кг почвы урожайность повысится на 6,1 ц/га и 7,7 ц/га соответственно. Увеличение содержания гумуса в почве на 0,1 % обеспечит рост сбора зеленой массы в первую укосную спелость сорго на 8,8 ц/га.

Между урожайностью зеленой массы в фазу МВС и агрохимическими показателями также прослеживается высокая корреляционная зависимость (рис. 2, табл. 2).

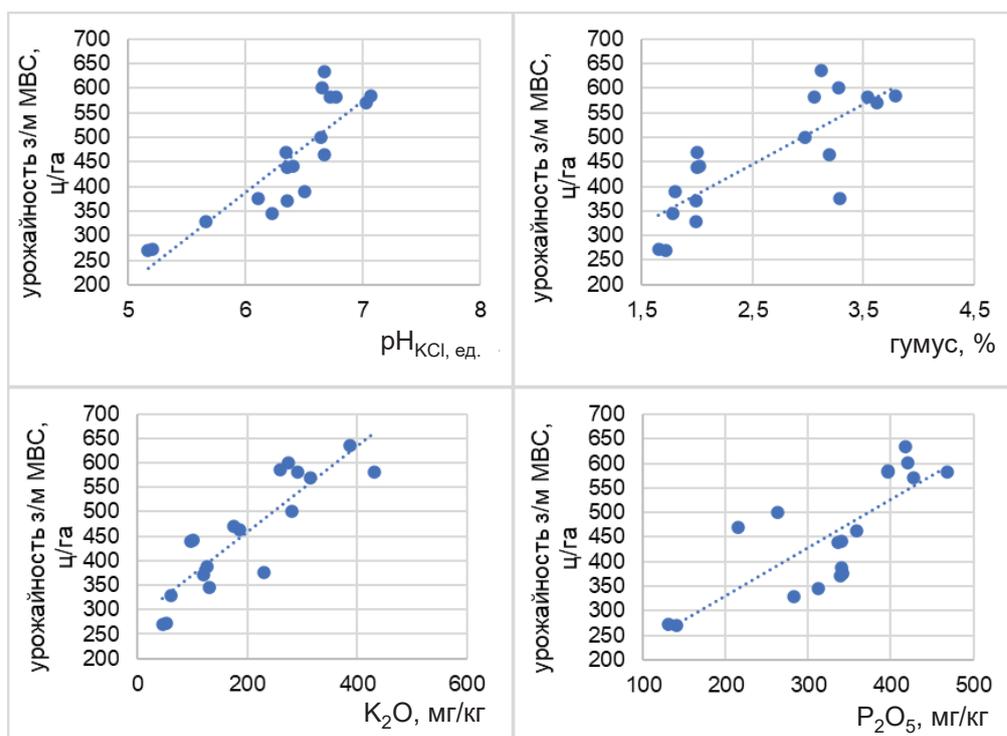


Рис. 2. Связь урожайности зеленой массы в фазу молочно-восковой спелости зерна сорго зернового с агрохимическими показателями почвы

Таблица 2

Показатели, характеризующие связь между урожайностью зеленой массы сорго зернового в фазу МВС и агрохимическими показателями почвы

Показатель	Коэффициент корреляции	Уравнение регрессии
pH _{KCl}	0,86	$y = 187,00x - 733,35$
Содержание K ₂ O	0,88	$y = 0,88x + 282,23$
Содержание P ₂ O ₅	0,79	$y = 0,98x + 135,25$
Содержание гумуса	0,80	$y = 122,05x + 139,49$

Анализ уравнений регрессии парной корреляции свидетельствует о том, что при увеличении значения pH на 0,1 ед. урожайность зеленой массы МВС культуры вырастет на 18,7 ц/га. При повышении K₂O на 10 мг/кг почвы урожайность повысится на 8,8 ц/га. При повышении P₂O₅ на 10 мг/кг почвы урожайность повысится на 8,8 ц/га. Увеличение гумусированности почвы на 0,1 % обеспечит рост сбора зеленой массы в данную фазу развития сорго на 12,2 ц/га.

Проведя анализ множественной корреляционной связи, установлены уравнения регрессии, описывающие изменение урожайности (y) в разные фазы укосной спелости при варьировании всех изучаемых показателей. Так, уравнения множественной корреляции имеют следующий вид:

- в фазу НВМ: $y = -162,956 + 50,499 \text{ pH} + 0,206 \text{ K}_2\text{O} + 0,251 \text{ P}_2\text{O}_5 + 15,509 \text{ гумус}$;
- в фазу МВС: $y = -304,433 + 99,792 \text{ pH} + 0,478 \text{ K}_2\text{O} - 0,019 \text{ P}_2\text{O}_5 + 14,480 \text{ гумус}$.

Используя выше представленные уравнения регрессии, рассчитаны количественные параметры изменения урожайности сорго зернового при изменении показателей, характеризующих основные агрохимические свойства почвы. Так, при одновременном повышении уровня гумусированности почвы на 0,1 %, содержания в почве K₂O и P₂O₅ на 20 мг/кг почвы и подщелачивании на 0,1 ед. урожайность зеленой массы в фазу НВМ увеличится на 16 ц/га, в фазу МВС зерна – на 21 ц/га. При сохранении уровня содержания гумуса, подвижных форм калия и фосфора в почве, но изменении pH_{KCl} на 0,1 ед. рост урожайности в фазу НВМ составит 5 ц/га, в фазу МВС – 10 ц/га. При сохранении кислотности почвы и содержания в ней K₂O и P₂O₅, но изменение гумусированности на 0,1 % рост урожайности в фазу НВМ составит 2 ц/га, в фазу МВС – всего 1,5 ц/га. Увеличение содержания K₂O на 10 мг/кг почвы при неизменных остальных показателях способствует повышению урожайности зеленой массы в первую укосную спелость на 2 ц/га, во вторую – на 5 ц/га. Увеличение содержания подвижных форм фосфора на 10 мг/кг почвы при сохранении остальных показателей обеспечит рост урожайности зеленой массы в первую укосную спелость на 3 ц/га, и останется без изменений во вторую фазу укосной спелости.

Установленные уравнения регрессии позволяют выполнить прогноз урожайности зеленой массы сорго зернового в разные фазы уборочной спелости при возделывании культуры на дерново-подзолистых супесчаных почвах с различными агрохимическими показателями.

Для проверки правильности прогноза выполнена сравнительная оценка фактической и прогнозной урожайности зеленой массы (рис. 3).

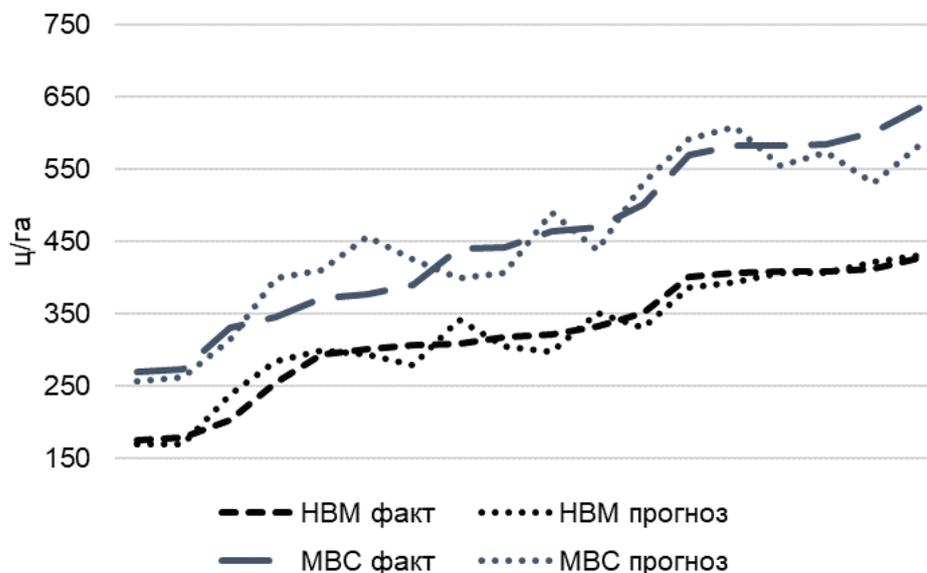


Рис. 3. Графическое представление фактической и прогнозной урожайности зеленой массы сорго зернового

Точность прогноза урожайности зеленой массы в фазу НВМ при варьировании агрохимических показателей почвы составила 95 %, в фазу МВС зерна – 92 %, что позволяет утверждать об адекватности модели и возможности ее использования для определения наиболее вероятных значений изучаемого параметра.

Согласно прогнозным расчетам, оптимизация агрохимических показателей почвы (pH_{KCl} близкая к нейтральной, содержание гумуса, подвижных форм фосфора и калия – повышенное) обеспечит рост сбора зеленой массы в фазу НВМ с гектара посевов 200 ц/га, по сравнению с урожайностью изучаемой культуры на почвах со среднекислой реакцией среды и остальными агрохимическими показателями, входящими в группу с низким содержанием. Рост сбора зеленой массы с гектара посевов в фазу МВС, при указанных выше условиях возделывания культуры, составит 254 ц/га.

ВЫВОДЫ

На урожайность зеленой массы сорго зернового существенное влияние оказывают основные агрохимические показатели дерново-подзолистой супесчаной почвы. Установлена высокая корреляционная связь между урожайностью зеленой массы в фазу начала выметывания и в фазу молочно-восковой спелости зерна с основными агрохимическими показателями дерново-подзолистой супесчаной почвы.

Проведенный анализ множественной корреляционной связи позволил установить уравнения регрессии, описывающие изменение урожайности в разные фазы укосной спелости при варьировании агрохимических показателей почвы:

– в фазу начала выметывания: $y = -162,956 + 50,499 pH + 0,206 K_2O + 0,251 P_2O_5 + 15,509$ гумус;

– в фазу молочно-восковой спелости: $y = -304,433 + 99,792 pH + 0,478 K_2O - 0,019 P_2O_5 + 14,480$ гумус.

Это позволило определить количественные параметры изменения урожайности зеленой массы сорго зернового в разные фазы укосной спелости при варьировании обменной кислотности, уровня гумусированности, содержания подвижных форм фосфора и калия. Наибольшее изменение в сборе зеленой массы культуры с единицы площади обуславливает варьирование обменной кислотности почвы.

Установленные уравнения регрессии позволяют выполнить прогноз урожайности зеленой массы сорго зернового в разные фазы уборочной спелости при возделывании культуры на дерново-подзолистых супесчаных почвах с различными агрохимическими показателями. Проведенная проверка фактической и прогнозной урожайности зеленой массы сорго показала, что точность прогноза в фазу НВМ составила 95 %, в фазу МВС зерна – 92 %.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алабушев, А. В. Технологические приемы возделывания и использования сорго / А. В. Алабушев. – Ростов-на-Дону, 2007. – 224 с.
2. Абрамова, А. В. Перспективы и проблемы использования сорго для создания безглютеновой продукции / А. В. Абрамова, Т. В. Меледина, Р. А. Фёдорова // Известия СПбГАУ. – 2016. – № 42. – С.72–77.
3. Мельник, В. И. Основные результаты мониторинга изменения климата на территории Республики Беларусь / В. И. Мельник // Актуальные научно-технические и экологические проблемы сохранения среды обитания : сборник научных статей Международной научно-практической конференции, Брест, 6–8 апреля 2016 г. : в 2 частях / Министерство образования Республики Беларусь, Брестский государственный технический университет, Брестский областной комитет природных ресурсов и охраны окружающей среды, Брестмелиоводхоз; под ред. А. А. Волчека [и др.]. – Брест : БрГТУ, 2016. – Часть 1. – С. 230–237.
4. Оценка влагозапасов и повторяемости почвенных засух на территории белорусского Полесья в период современного потепления климата / В. И. Мельник, И. В. Буяков, Н. Г. Пискунович [и др.] // Природные ресурсы. – 2020. – № 2. – С.104–114.
5. Справочник агрохимика / В. В. Лапа, Н. Н. Цыбулько, М. В. Рак [и др.]; Ин-т почвоведения и агрохимии; под ред. В. В. Лапа. – Минск : ИВЦ Минфина, 2021. – 260 с.
6. ГОСТ 26483-85. Почвы. Приготовление солевой вытяжки и определение рН по методу ЦИНАО. – Введ. 01.07.1986. – М. : Изд-во стандартов, 1987. – 4 с.
7. ГОСТ 26212-91. Почвы. Определение органического вещества в модификации ЦИНАО. – Введ. 01.07.1993. – М. : Изд-во стандартов, 1992. – 6 с.
8. ГОСТ 26207-91. Почвы. Определение подвижных соединений фосфора и калия по методу Кирсанова в модификации ЦИНАО. – Введ. 01.07.1993. – М. : Изд-во стандартов, 1992. – 6 с.

**TO THE QUESTION OF THE ROLE OF AGROCHEMICAL INDICATORS
OF SOD-PODZOLIC SANDY LOAM SOIL IN THE FORMATION OF THE
PRODUCTIVITY OF GREEN MASS OF GRAIN SORGHUM**

G. V. Sedukova

Summary

The article presents data on the yield of green mass of grain sorghum harvested in the phase of the beginning of panicle and milky-wax ripeness of grain. The variability of the yield of green mass is shown with varying the main agrochemical parameters of sod-podzolic sandy loam soil. The regression equations are presented that describe the pair and multiple correlation of the yield of green mass in both phases of mowing maturity with the exchangeable acidity of the soil, the content of humus, mobile forms of potassium and phosphorus. The quantitative parameters of the change in yield with an increase in the level of soil humus content, the content of P_2O_5 and K_2O , and a decrease in the reaction of the soil environment are given.

Поступила 01.11.24

ИОНООБМЕННЫЕ СУБСТРАТЫ БИОНА С НОВЫМИ АНИОНООБМЕННЫМИ КОМПОНЕНТАМИ

Л. Н. Шаченкова, А. П. Езубец, Н. В. Вонсович

Институт физико-органической химии НАН Беларуси, г. Минск, Беларусь

ВВЕДЕНИЕ

Ионообменные субстраты представляют собой смеси природных и/или синтетических ионитов, содержащих в оптимальной пропорции полный набор макро- и микроэлементов, необходимый растениям. Все эти элементы химически связаны с ионитами и не могут быть вымыты деионизованной водой. Они выделяются по «запросу» растения в обмен на ионизированные корневые метаболиты (HCO_3^- , H^+ , органические ионы) и, в меньшей степени, за счет гидролиза слабоосновных групп ионитов и образующейся угольной кислоты из растворенного CO_2 воздуха. Растения хорошо растут на чистом субстрате, который не вызывает корневого ожога, и это отличает его от всех известных видов удобрений. Ионитные почвы имеют строго определенный и легко контролируемый химический состав, легко регенерируются и стерилизуются [1, 2].

В институте физико-органической химии Национальной академии наук Беларуси разработана технология получения ионитных субстратов, различающихся компонентным составом (типом ионитов и соотношением содержания питательных элементов). Например, в состав субстрата БИОНА-111® (ТУ РБ 100185198.063-2002) входит сульфокатионит КУ-2 (новое название ТОКЕМ-100) и анионит ЭДЭ-10П, содержащий разные по силе функциональные группы (четвертичные, третичные и вторичные аминогруппы). Ионитный субстрат БИОНА-111® нашел применение в сельскохозяйственной биотехнологии для получения посадочного материала элитных растений из клеточных и тканевых культур [3–6], для адаптации микроклонов растений в условиях *ex vitro* [7–10], для интенсификации роста рассады и черенкования сельскохозяйственных культур [11].

В настоящее время сырьевая база для получения ионитных субстратов существенно изменилась по сравнению с субстратами, разработанными до 2000 г. Появились новые аниониты торговой марки ТОКЕМ, а некоторые иониты прежних марок (АН-2ФН, ЭДЭ-10П) перестали выпускаться промышленностью в требуемых количествах.

Цель настоящей работы состояла в том, чтобы исследовать возможность использования новых анионообменных материалов для получения ионообменных субстратов. Было необходимо определить количественные характеристики их состава (полный запас питательных веществ, рабочую емкость по доступным для растений анионам) и водоудерживающую способность; получить с использованием этих анионитов новые варианты ионитных почв; определить pH и состав равновесного раствора, образующегося при контакте субстрата с водой; провести предварительные биологические испытания новых субстратов по выращиванию нескольких видов растений в лабораторных условиях.

МЕТОДЫ И ОБЪЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Объектом исследования являлись коммерчески доступные слабоосновные аниониты: АН-31, ТОКЕМ-320 и ТОКЕМ-400. Краткая характеристика их свойств приведена в таблице 1.

Таблица 1

Характеристика анионитов, используемых в качестве компонентов субстратов

Техническое название	Способ получения	Строение элементарного звена	Структура	Матрица	Функциональная группа	Ионная форма	Полная статическая обменная емкость, мэкв/г ионита в Н/ОН-форме	Набухание в дистиллированной воде, г H ₂ O/г ионита, pH
ЭДЭ-10П	Поликонденсация		Гелевая	Этиленамин-эпихлоргидриновая	-NRH -NR ₂ -NR ₃ ⁺ X ⁻	Хлоридная	8,02	1,0; pH 3,2
АН-31			Гелевая	Этиленамин-эпихлоргидриновая	-NRH -NR ₂	Хлоридная	9,54	1,2; pH 4,0
ТОКЕМ-320	Полимеризация		Макропористая	Стирол-дивинилбензольная	-NR ₂	Хлоридная	4,91	1,1; pH 5,8
ТОКЕМ-400			Гелевая	Акрил-дивинилбензольная	-NR ₂	Свободное основание	5,27	1,4; pH 9,2

R – алифатический фрагмент.

Величину набухания ионов определяли весовым методом: набухший в дистиллированной воде ион центрифугировали в лабораторной центрифуге (4000 об/мин.) в течение 15 мин. Значение набухания (W , г H_2O /г) рассчитывали, как отношение массы воды к массе сухого ионита.

Полную статическую обменную емкость (ПОЕ, мэкв/г) анионитов определяли по общепринятой методике [12].

Рабочую емкость, реализуемую ионитом по доступным для растений анионам, определяли в динамическом режиме. Питательный раствор насыщения готовили из солей калия (нитрат, сульфат и дигидрофосфат), $pH \approx 6,5$, суммарная концентрация анионов в растворе 20 мэкв/л: $NO_3^- = 16$, $SO_4^{2-} = 3$ и $H_2PO_4^- = 1$ мэкв/л. Свежеприготовленный раствор пропускали через навеску ионита (1 г), помещенную в колонку с пористым дном, до момента достижения равенства pH и концентраций всех ионов на входе и выходе из колонки. После этого ионит центрифугировали 15 мин. при 4000 об/мин. для удаления физического избытка раствора. Далее проводилось полное вытеснение сорбированных ионов раствором 0,4 н $(NH_4)_2CO_3$, объем элюата – 200 мл. Аликвоту элюата досуха выпаривали на водяной бане, растворяли полученный осадок в дистиллированной воде и анализировали полученный раствор методом капиллярного электрофореза. Содержание анионов рассчитывали в мили-эквивалентах на грамм сухого анионита в Н/ОН-форме.

Используя полученные данные по поглощению анионитами элементов минерального питания из питательного раствора в динамических условиях, были рассчитаны солевые составы реагентной смеси для получения новых вариантов субстратов БИОНА. В качестве катионного компонента использовали сульфокатионит ТОКЕМ-100 со следующим ионным составом: $K^+ - 0,71$, $Mg^{2+} - 0,55$, $Ca^{2+} - 3,84$ мэкв/г. Этот же катионит входит в состав субстрата БИОНА-111®. Количество и перечень вводимых микроэлементов (Fe, Na, Mn, Cu, Co, Ni, Zn, B, Mo) также соответствовали субстрату БИОНА-111®.

Физико-химические характеристики полученных субстратов (полная влагоемкость, объемный вес влажного образца, набухание) изучали по методикам [13]. Для получения водных вытяжек 10 г субстрата настаивали в 20 мл воды (минской водопроводной системы или дистиллированной) и выдерживали в течение 24 ч. при периодическом перемешивании. Полученный раствор анализировали методом капиллярного электрофореза.

Для количественного определения содержания биоэлементов в субстратах необходимо было вытеснить их в раствор. Для этого навески катионита и анионита, выделенные из субстрата помещали в колонки, снабженные пористым дном и краном, и пропускали через них раствор 0,5 н соляной кислоты (для катионитов) или раствор 0,4 н $(NH_4)_2CO_3$ (для анионитов). Из полученных растворов (элюатов) отбирали аликвоту (20 мл) и досуха выпаривали на водяной бане. Сухую смесь солей разбавляли дистиллированной водой (20 мл), и проводили анализ раствора методом капиллярного электрофореза. Содержание каждого биоэлемента выражали в граммах на килограмм сухого субстрата.

Сравнительные биологические испытания новых субстратов проводили в лабораторных условиях относительно контрольного образца БИОНА-111®. Для освещения использовали лампы с уровнем освещенности ~ 5000 Лк при длительности светового периода 18 ч. Температуру воздуха поддерживали на уровне 20–22 °С. Полив осуществляли дистиллированной или водопроводной водой в поддон.

Для испытания чистых 100 %-х субстратов использовали стандартные кас-сетты-рассаdницы с емкостью ячеек 50 см³ и высотой 50 мм, загрузка влажного субстрата – 40 г. В случае 2–20 %-х объёмных добавок ионитных субстратов использовали черные пластиковые вегетационные сосуды объемом 250 см³. Питательные среды получали путем механического смешивания влажных субстратов (5–50 г на вазон) и коммерческого инертного песка фракции 0,8–1,2 мм или почвогрунта для выращивания овощных и цветочных культур «Универсальный» серии «Гаспадар» (ТУ ВУ 690700870.004-2009).

Экспериментальные культуры: салат листовой *Lactuca sativa* L., райграс пастбищный *Lolium perenne* L., перец стручковый *Capsicum annuum* L., земляника лесная *Fragaria vesca* L., томаты вишневидные *Lycopersicon cerasus* L., бархатцы мелкоцветные *Tagetes patula* L.

Продуктивность испытываемых образцов субстратов оценивали по количеству сырой и сухой биомассы растений (салат и райграс) в конце вегетации с единицы веса субстрата ($G_{\text{биомассы}}/G_{\text{субстрата}}$). Эта величина меньше полной продуктивности, так как не учитывает массу корневой системы и остающихся после среза нижних частей стеблей растений (~ 1 см). Содержание воды и количество нитратов в зеленой биомассе определяли стандартными методами [14].

В качестве основной характеристики растений томатов выбрали объём кроны, измерение которого проводили согласно методике, описанной в статье [14]. Землянику, бархатцы и перцы оценивали по внешнему виду.

При изготовлении субстратов и их испытаниях в биологических экспериментах контроль параметров производили с помощью следующих приборов: рН-метра HANNA 213 (измерение величины рН), кондуктометра HANNA EC214 (измерение удельной электропроводности – УЭП), системы капиллярного электрофореза «Капель 104-Т» (определение концентрации макроэлементов в растворах), нитрат-селективного электрода ЭМ-NO₃-07СР с иономером И-160МП (определение концентрации NO₃⁻).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Исследуемые в данной работе аниониты являются слабоосновными. В таблице 1 представлено строение их элементарных звеньев с функциональными группами. Выбор этих анионитов обоснован тем, что все они содержат третичные аминогруппы (–NR₂), обладающие высоким сродством к нитрату, который является наиболее потребляемым анионом в процессе питания растения и лимитирует биологическую продуктивность субстрата [2].

Анионит ЭДЭ-10П, используемый для получения субстрата БИОНА-111®[®], содержит три типа протонирующихся аминогрупп, соответствующих сильно-, средне- и слабоосновным обменным центрам, удерживающим анионы. АН-31 по способу получения (поликонденсация) и структуре (гелевая) аналогичен ЭДЭ-10П. Аниониты марки ТОКЕМ получают полимеризационным способом [15], их полная статическая обменная емкость на 3–4 мэкв/г меньше чем у поликонденсационных ионитов (табл. 1). Величины набухания анионитов в дистиллированной воде составляют 1,0–1,4 г/г.

В таблице 2 представлен анионный состав ионитов равновесных питательному раствору с рН = 6,5 и общей концентрацией анионов 20 мэкв/л: NO₃⁻ = 16, SO₄²⁻ = 3,

$H_2PO_4^- = 1$. Наибольшая рабочая емкость (сумма удерживаемых анионов, Σ) оказалась у анионита АН-31 – 4,74 мэкв/г. У ионита ТОКЕМ-320 эта величина наименьшая, однако он удерживает наибольшее количество азота. Запас питательных элементов и их распределение в анионите ТОКЕМ-400 практически такой же, как и у ЭДЭ-10П.

Таблица 2

Анионный состав анионитов при насыщении их питательным раствором

Анионит	Содержание анионов, мэкв/г				Относительные эквивалентные доли		
	NO_3^-	SO_4^{2-}	$H_2PO_4^-$	Σ	NO_3^-	SO_4^{2-}	$H_2PO_4^-$
ЭДЭ-10П	1,22	2,73	0,22	4,17	0,29	0,66	0,05
АН-31	1,03	3,16	0,55	4,74	0,22	0,66	0,12
ТОКЕМ-320	2,59	0,90	0,07	3,56	0,73	0,25	0,02
ТОКЕМ-400	1,28	2,72	0,29	4,29	0,30	0,63	0,07

Солевым методом в статических условиях получено три новых субстрата, отличающихся анионообменным компонентом: БИОНА-111/А31 (ТОКЕМ-100 + АН-31), БИОНА-111/А320 (ТОКЕМ-100 + ТОКЕМ-320), БИОНА-111/А400 (ТОКЕМ-100 + ТОКЕМ-400). Их основные характеристики (объемный вес влажного образца и набухание) приблизительно одинаковые и схожи с БИОНА-111® (табл. 3). Общее содержание биоэлементов в новых субстратах на 5–30 % больше, чем в БИОНА-111® (табл. 4). Наибольшее количество азота выявлено в субстрате БИОНА-111/А320, однако он содержит наименьшее количество фосфора.

Для изучения влияния новых ионитных субстратов на рост и развитие растений был проведен ряд биологических экспериментов по выращиванию растений разных культур на этих субстратах и их добавках к бесплодному инертному песку при поливе водопроводной или дистиллированной водой.

В таблице 5 приводится рН, удельная электропроводность (УЭП) и ионный состав поливной воды исходной и приведенной в равновесие с экспериментальными образцами субстратов.

Таблица 3

Основные характеристики образцов субстратов, отличающихся анионитной составляющей, в сочетании с катионитом ТОКЕМ-100

Субстрат	Анионитный компонент	Полная влагоемкость, % воды во влажном образце	Объемный вес влажного образца, г/мл	Набухание, г H_2O /г
БИОНА-111®	ЭДЭ-10П	47,0	0,74	0,89
БИОНА-111/А31	АН-31	47,6	0,68	0,86
БИОНА-111/А320	ТОКЕМ-320	47,3	0,63	0,89
БИОНА-111/А400	ТОКЕМ-400	52,7	0,67	0,92

Содержание биоэлементов в сухих субстратах

Элемент	Содержание элементов в субстратах, г/кг			
	БИОНА-111®	БИОНА-111/А31	БИОНА-111/А320	БИОНА-111/А400
Азот	11,47	14,74	21,21	10,55
Фосфор	6,35	8,80	1,27	4,52
Калий	9,97	13,40	11,38	13,78
Кальций	27,65	37,17	31,56	38,22
Магний	2,38	3,19	2,71	3,28
Сера	15,26	18,08	8,2	20,10
Σ	73,07	95,38	76,56	90,44

Таблица 5

Равновесный состав воды, используемой для полива растений, и растворов, образующихся при контакте образцов субстратов (10 г) с поливной водой (20 мл)

Субстрат	Концентрация, мэкв/л						рН	УЭП, µS
	K ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺	SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻	H ₂ PO ₄ ⁻		
Водопроводная вода	0	1,2	3,3	0,5	0,2	0	7,7	513
БИОНА-111	7,1	0,9	3,0	1,8	10,9	0,2	6,9	2112
БИОНА-111/А31	9,1	0,9	2,8	0,9	12,3	0,3	6,4	2324
БИОНА-111/А320	9,0	1,0	2,7	0,9	5,7	0,2	6,1	2118
БИОНА-111/А400	5,8	0,3	0,7	0,5	6,4	0,2	6,6	1997
Дистиллированная вода	0	0	0	0	0	0	6,8	2,16
БИОНА-111	4,8	1,8	0,6	0,3	6,2	0,1	6,9	1013
БИОНА-111/А31	5,0	0,3	1,0	0,2	6,8	0,1	6,5	1457
БИОНА-111/А320	3,2	0,2	0,4	0,1	1,9	0,1	6,1	1436
БИОНА-111/А400	1,1	0,1	0,1	0,1	1,2	0,1	6,4	1481

Результаты биологического эксперимента по выращиванию салата листового *Lactuca sativa* L. на чистых 100 %-х субстратах иллюстрируются рисунками 1 и 2. Все новые субстраты не вызывают корневые ожоги и по плодородию находятся на уровне контрольного образца БИОНА-111®. Растения, выросшие на новых субстратах не имели отклонений от растений, выросших на контрольном образце БИОНА-111®. Количество нитратов в листьях растений салата находится в пределах от 300 до 1000 мг/кг зеленой биомассы, что значительно ниже предельно допустимых концентраций нитратов сырого продукта (1500 мг/кг), установленных санитарной службой РБ [16].

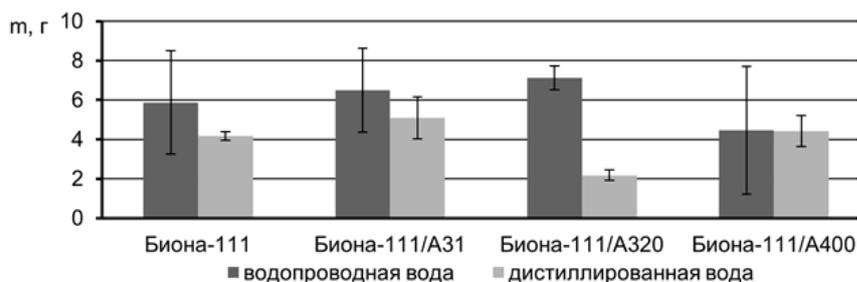


Рис. 1. Средняя биомасса растений салата, выросших на 100 %-х ионитных субстратах при поливе водопроводной и дистиллированной водой. Вазоны V = 50 см³, срок выращивания – 30 дней

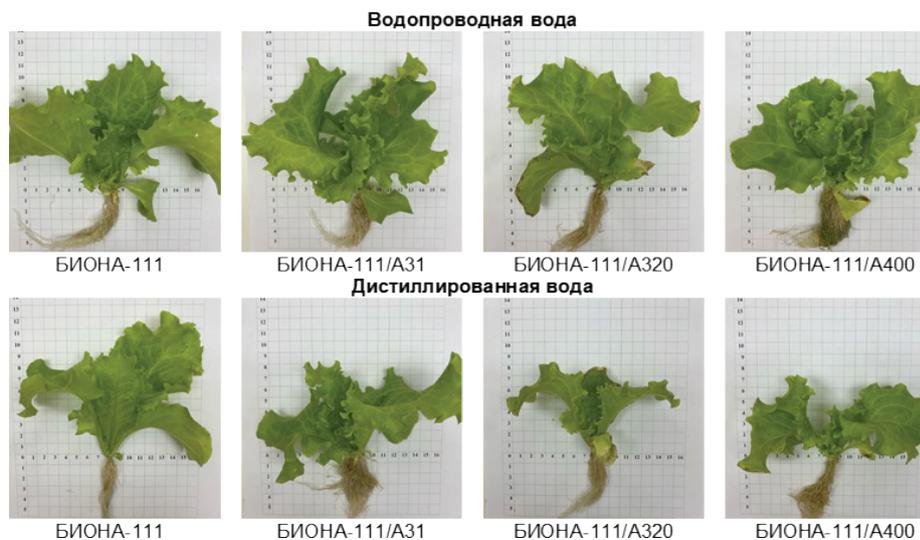


Рис. 2. Фотографии растений салата, выросших на 100 %-х ионитных субстратах при поливе водопроводной и дистиллированной водой. Вазоны V = 50 см³, срок выращивания – 30 дней

Для установления ресурса новых субстратов был проведен биологический эксперимент по выращиванию райграса пастбищного *Lolium perenne* L. в условиях ограниченного питания. Выращивание проводили на смеси бесплодного кварцевого песка с 2 %-й (по объему) добавкой влажного ионитного субстрата (5 г на 250 см³). В каждый вазон высаживались 36 семян. Для определения запаса питательных веществ до полного истощения полив осуществлялся водопроводной и дистиллированной водой. В ходе эксперимента было проведено 4 вегетации растений. Одна вегетация составила 30 суток. По окончании каждой вегетации измеряли среднюю высоту, проводили срез на уровне 1 см выше точки роста и определяли вес сырой и сухой массы надземной части растений.

Высота растений первой вегетации во всех случаях была приблизительно одинаковой и составила 31–42 см. В последующих вегетациях этот показатель значительно уменьшался, как и продуктивность субстратов. На рисунке 3 представлена зависимость продуктивности всех испытанных субстратов от вегетации.

Использование 2 %-й объемной добавки ионитных субстратов к песку, что в пересчете равно 2,2–2,5 г абсолютно сухого субстрата, оказалось достаточным для выращивания только одной вегетации растений. В последующих вегетациях наблюдается значительное уменьшение продуктивности субстратов. Биомасса растений, полученная в последних вегетациях отличается низким процентным содержанием воды, что также свидетельствует о снижении уровня питательных веществ в субстратах (табл. 6).

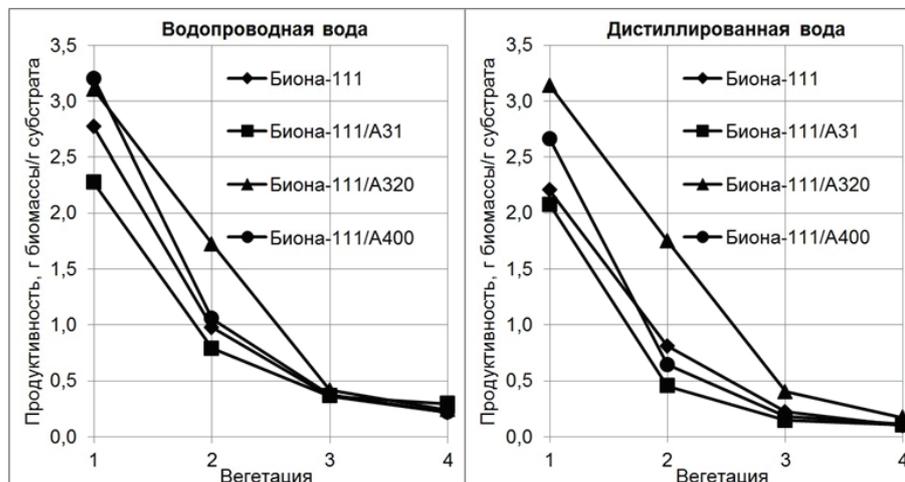


Рис. 3. Зависимость продуктивности субстратов от вегетации при выращивании райграса на песке с 2 %-й добавкой субстратов на вазон $V = 250 \text{ см}^3$ при поливе водопроводной и дистиллированной водой

Таблица 6

Урожай райграса, полученный за 4 вегетации в пересчете на 1 г абсолютно сухого субстрата, и процентное содержание воды в зеленой биомассе растений в каждой вегетации

Субстрат	Водопроводная вода					Дистиллированная вода				
	Урожай, г/г	Содержание воды в биомассе, %				Урожай, г/г	Содержание воды в биомассе, %			
		1	2	3	4		1	2	3	4
БИОНА-111	4,33	86,24	83,93	82,95	81,93	3,33	85,32	76,20	73,26	73,21
БИОНА-111/А31	3,73	86,30	83,74	82,79	81,21	2,78	85,83	75,71	72,09	72,66
БИОНА-111/А320	5,48	90,09	86,07	82,91	81,00	5,46	88,09	84,22	74,94	74,04
БИОНА-111/А400	4,86	86,96	83,13	82,49	81,17	3,60	89,65	78,19	72,02	72,00

В таблице 6 представлены величины условного урожая (сырая биомасса на г субстрата), полученного за 4 вегетации со всех испытанных субстратов при поливе водопроводной и дистиллированной водой. Самый лучший результат продемонстрировал субстрат БИОНА-111/А320. Причем биомасса райграса, выросшего на этом субстрате, практически не зависит от состава поливной воды (рис. 3). Плодородие остальных новых субстратов находится на уровне контрольного

образца БИОНА-111®. Рисунок 4 отображает средние значения общей сырой биомассы растений райграса, выросших на песке с 2 %-ми добавками разных субстратов. Количество нитратов в зеленой биомассе находилось в пределах допустимой нормы [16].

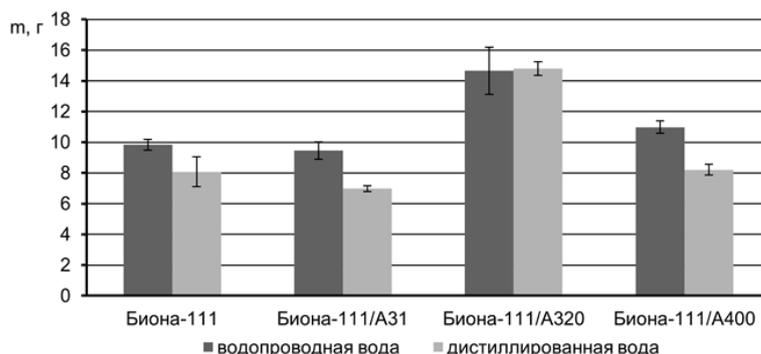


Рис. 4. Среднее значение общей биомассы растений райграса, выросших на песке с 2 %-й добавкой субстратов на вазон $V = 250 \text{ см}^3$ при поливе водопроводной и дистиллированной водой за 4 вегетации

Кроме этого на 2 %-й объемной добавке субстратов была проверена возможность выращивания растений земляники лесной *Fragaria vesca* L. и перца стручкового *Capsicum annuum* L. Все исследуемые субстраты оказали положительное влияние для растений земляники на развитие компактных кустов, с объёмом кроны около 700 см^3 , на которых за период роста 120 дней сформировалось 10–15 крупных, очень ароматных, сладких ягод конической формы. У растений перца, росших на питательных грунтах с добавками исследуемых субстратов, на 50-й день роста были прямые стебли высотой 12–16 см и крупные листья, что свидетельствует о хорошем развитии растений.

Результаты биологических экспериментов по выращиванию томатов вишневидных *Lycopersicon esculentum* L. и бархатцев мелкоцветных *Tagetes patula* L. на питательных средах с 20 %-й объемной добавкой субстратов к инертному песку представлены на рисунках 5 и 6.

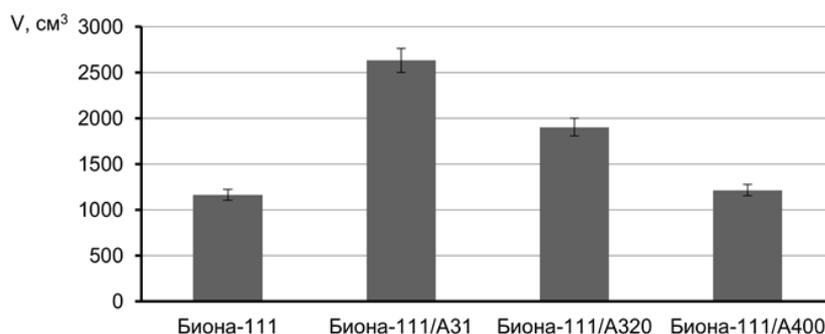


Рис. 5. Среднее значение объёма кроны томатов на 40-й день роста в вазонах $V = 250 \text{ см}^3$ с 20 %-й добавкой субстратов к песку при поливе водопроводной водой



Рис. 6. Фотографии бархатцев на 90-й день роста в вазонах $V = 250\text{см}^3$ с 20%-й добавкой субстратов к песку при поливе водопроводной водой

Самое высокое значение объема кроны томатов наблюдалось после выращивания на субстратах БИОНА-111/А31 и БИОНА-111/А320. Плодородие БИОНА-111/А400 относительно томатов находится на уровне контрольного образца БИОНА-111®.

Выращивание бархатцев мелкоцветных на всех изученных в работе ионообменных субстратах было эффективным. Добавка 20 % к песку позволяет выращивать растения более 90 дней при регулярном поливе водопроводной водой без внесения дополнительных питательных веществ (рис. 6).

В эксперименте с 2 %-й объемной добавкой субстратов к коммерческому питательному почвогрунту «Универсальный» серии «Гаспалдар», ионный состав водной вытяжки которого представлен в таблице 7, все субстраты продемонстрировали положительный эффект на развитие густой размашистой кроны томатов, по сравнению с растениями, которые росли на почвогрунте без добавки питательных субстратов. Объем кроны томатов, росших на питательных средах с добавкой ионитных субстратов на 50-й день роста колебался в пределах $1200\text{--}1500\text{ см}^3$ (рис. 7, 8), что в 40 раз больше объема кроны томатов, росших на почвогрунте без добавок.

Таблица 7

Равновесный состав раствора, образующегося при контакте образца почвогрунта «Универсальный» серии «Гаспалдар» (5 г) с поливной водой (40 мл)

Показатель	Концентрация, мэкв/л							рН	УЭП, μS
	NH_4^+	K^+	Mg^{2+}	Ca^{2+}	SO_4^{2-}	NO_3^-	H_2PO_4^-		
Поливная вода	0	0	1,2	3,3	0,5	0,2	0	7,7	513
Почвогрунт «Универсальный» серии «Гаспалдар»	3,0	0,1	1,5	4,6	0,4	4,6	0	6,86	1195

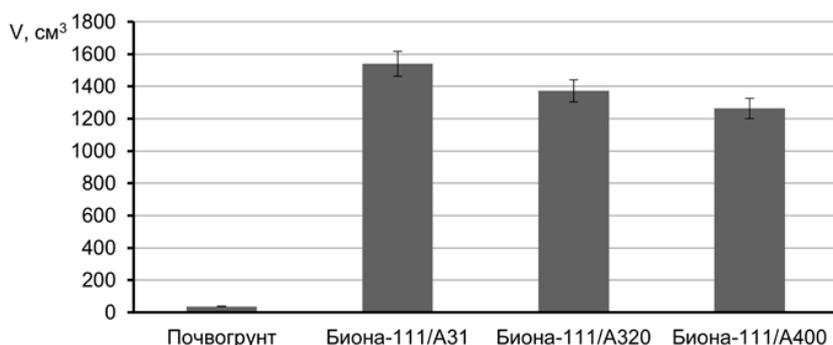


Рис. 7. Среднее значение объема кроны томатов на 50-й день роста (вазоны V = 250 см³ с 2%-й добавкой субстратов к почвогрунту «Универсальный» серии «Гаспадар», полив водопроводной водой)

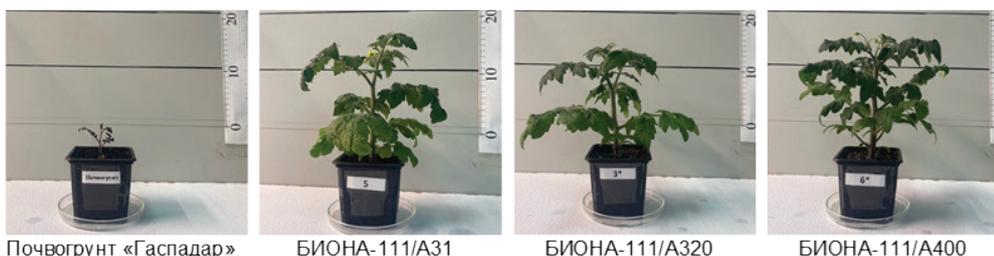


Рис. 8. Фотографии томатов на 50-й день роста (вазоны V = 250 см³ с 2%-й добавкой субстратов к почвогрунту «Универсальный» серии «Гаспадар», полив водопроводной водой)

Аналогичным образом высота растений на 50-й день роста отличалась в три раза в пользу растений, росших с добавками субстратов. Положительный эффект добавки субстратов к почвогрунту стал заметен уже после седьмого дня роста растений. Вероятно, полученные результаты для данного почвогрунта связаны с отсутствием фосфора и низким содержанием калия, что определялось анализом его водной вытяжки (табл. 7).

ВЫВОДЫ

Все исследованные в работе аниониты – АН-31, ТОКЕМ-320 и ТОКЕМ-400 пригодны для использования в качестве анионообменных компонентов субстратов. Растения, выращенные на новых субстратах не имели отклонений от растений выросших на контрольном образце БИОНА-111®.

Эффективно использование небольших добавок (2 %) субстратов БИОНА к бесплодному песку и/или почвогрунту «Гаспадар». Запас питательных веществ субстратов позволяет получить до 6 г сырой биомассы с 1 г сухого субстрата. Наилучший результат показал субстрат с анионитом ТОКЕМ-320, который удерживает наибольшее количество лимитированного элемента – азота.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Красинская, Т. А. Основные характеристики субстратов, применяемых в сельском хозяйстве / Т. А. Красинская, Н. В. Кухарчик // Плодоводство. – 2011. – Т. 23. – С. 402–419.
2. Солдатов, В. С. Ионитные почвы / В. С. Солдатов, Н. Г. Перышкина, Р. П. Хорошко. – Минск: Наука и техника, 1978. – 270 с.
3. БИОНА – зарегистрированный товарный знак ионообменных субстратов для выращивания и размножения растений [сайт] // ГНУ «Институт физико-органической химии НАН Беларуси». – URL: <https://ifoch.by/research/biona/> (дата обращения: 24.06.2024).
4. Колбанова, Е. В. Клональное микроразмножение смородины черной сорта Дабрадзья / Е. В. Колбанова // Плодоводство. – 2016. – Т. 28, № 1. – С. 162–169.
5. Изучение эмбриогенной способности различных генотипов озимого рапса в культуре *in vitro* / Е. Н. Куликович, Я. Э. Пилюк, Н. Л. Ермоленко [и др.] // Земледелие и селекция в Беларуси. – 2021. – Т. 57. – С. 371–377.
6. Куликович, Е. Н. Оценка эффективности использования различных видов эксплантов гороха посевного при микрклональном размножении в культуре *in vitro* / Е. Н. Куликович, Н. Л. Ермоленко, Е. Н. Барчевская // Земледелие и селекция в Беларуси. – 2023. – № 59. – С. 302–309.
7. Красинская, Т. А. Адаптационный процесс растений-регенерантов, выращенных в культуре *in vitro*, в условиях *ex vitro* и способы его улучшения / Т. А. Красинская, Н. В. Кухарчик, М. С. Кастрицкая // Плодоводство. – 2010. – Т. 22, № 1. – С. 309–320.
8. Рундя, А. П. Влияние субстрата на адаптацию сортов вишни *ex vitro* / А. П. Рундя, Т. Н. Виск, Н. В. Кухарчик // Плодоводство. – 2018. – Т. 30, № 1. – С. 99–103.
9. Бободжанова, Х. И. Оценка эффективности ризогенеза *in vitro* и адаптации *ex vitro* сортов винограда таджикской селекции / Х. И. Бободжанова, Н. В. Кухарчик // Вестник БГСХА. – 2022. – № 2. – С. 105–111.
10. Изучение генетического полиморфизма у клонированных форм межвидовых гибридов овса методом электрофореза авенинов / Е. Н. Куликович, Е. Л. Долгова, И. Н. Саница [и др.] // Земледелие и селекция в Беларуси. – 2021. – № 57. – С. 308–315.
11. Подлужный, Г. И. Использование ионообменных субстратов при выращивании оздоровленных рассады и миниклубней картофеля / Г. И. Подлужный, Т. В. Подлужная // Пути интенсификации земледелия в условиях загрязнения Могилевской области: науч. тр. / Акад. аграр. наук Респ. Беларусь, Могилев. обл. комитет по с.-х. и продовольствию, Могилев. гос. обл. с.-х. опыт. станция; редкол.: Г. М. Пишходский [и др.]. – Дашковка, 1998. – С. 44–48.
12. Полянский, Н. Г. Методы исследования ионитов / Н. Г. Полянский, Г. В. Горбунов, Н. А. Полянская. – М.: Химия, 1976. – 208 с.
13. Кидин, В. В. Практикум по агрохимии: уч. пособ. / В. В. Кидин, И. П. Дерюгин. – М.: Колос, 2008. – 599 с.
14. Солдатов, В. С. Динамика роста растений томата на смесях цеолитного субстрата и верхового торфа / В. С. Солдатов, А. П. Езубец // Почвоведение и агрохимия. – 2021. – № 1. – С. 161–171.

15. Каталог продукции для водоподготовки в энергетике [сайт] // ТОКЕМ. – 2018. – 63 с. – URL: <https://www.tokem.ru/images/products/energy.pdf> (дата обращения: 24.06.2024).

16. Об утверждении Санитарных норм и правил «Требования к продовольственному сырью и пищевым продуктам», Гигиенического норматива «Показатели безопасности и безвредности для человека продовольственного сырья и пищевых продуктов» и признании утратившими силу некоторых постановлений Министерства здравоохранения Республики Беларусь [Электронный ресурс] : постановление Министерства здравоохранения РБ, 21 июня 2013 г., № 52 // Министерство антимонопольного регулирования и торговли Республики Беларусь. – URL: <https://mart.gov.by/files/live/sites/mart/files/documents/НПА/Постановление%20МЗ%20от%2021.06.2013%20№%2052.pdf> (дата обращения: 30.05.2024).

ION EXCHANGE BIONA SUBSTRATES WITH NEW ANION EXCHANGE COMPONENTS

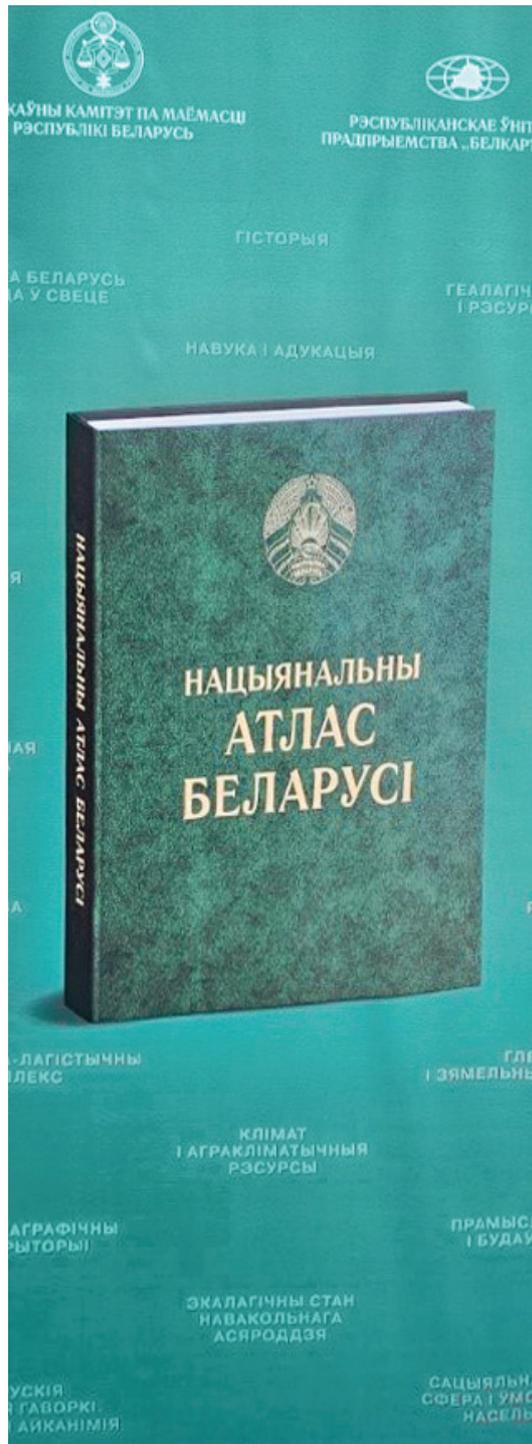
L. N. Shachenkova, H. P. Yezubets, N. V. Vansovich

Summary

The article presents the results of a study of the possibility of using new industrial ion exchangers such as TOKEM and AN-31 as carriers of anions of nutritional elements for plants. Their working exchange capacity for anions of the main nutrients (NO_3^- , SO_4^{2-} , $\text{H}_2\text{PO}_4^-/\text{HPO}_4^{2-}$) and water-holding capacity were determined. Using anion exchangers AN-31, TOKEM-320, TOKEM-400 and cation exchanger TOKEM-100, three variants of ion-exchange substrates were obtained. The quality of the obtained substrates was assessed in preliminary laboratory experiments on growing leaf lettuce *Lactuca sativa* L., perennial ryegrass *Lolium perenne* L., capsicum *Capsicum annuum* L., wild strawberry *Fragaria vesca* L., cherry tomatoes *Lycopersicon cerasus* L. and marigold *Tagetes patula* L. on 100 % substrates and their mixtures with infertile sand or soil for growing vegetable and flower crops. The fertility of substrates was assessed by the amount of fresh and dry biomass per gram of substrate. It has been established that all the studied anion exchangers are useful for producing ion-exchange substrates with fertility at the level of the previously developed BIONA-111® substrate.

Поступила 30.08.24

ПОЧВЫ И ЗЕМЕЛЬНЫЕ РЕСУРСЫ В НОВОМ НАЦИОНАЛЬНОМ АТЛАСЕ БЕЛАРУСИ



Национальный атлас Беларуси – это фундаментальное картографическое произведение, учебное пособие, служащее информационно-методической основой для проведения отраслевых и междисциплинарных научных исследований.

В 2024 г. ученые 3-х подразделений Института почвоведения и агрохимии (сектора агропочвоведения, цифрового картографирования и оценки почв, заведующий, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент Т. Н. Азарёнок), лаборатории мониторинга почв и экологии (заведующий, доктор сельскохозяйственных наук, профессор Ю. В. Путятин), лаборатории органического вещества почвы (заведующий, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент Т. М. Серая), под научной редакцией академика В. В. Лапы и ответственного редактора раздела, директора Института почвоведения и агрохимии доктора сельскохозяйственных наук, профессора Ю. К. Шашко, разработали и представили картографический материал по разделу «Почвы и земельные ресурсы» для нового Национального атласа Беларуси, презентация которого состоялась 26 сентября в Национальной библиотеке Беларуси.

Для подготовки разделы были использованы материалы научных исследований Института почвоведения и агрохимии, а также Государственного комитета по имуществу Республики Беларусь.

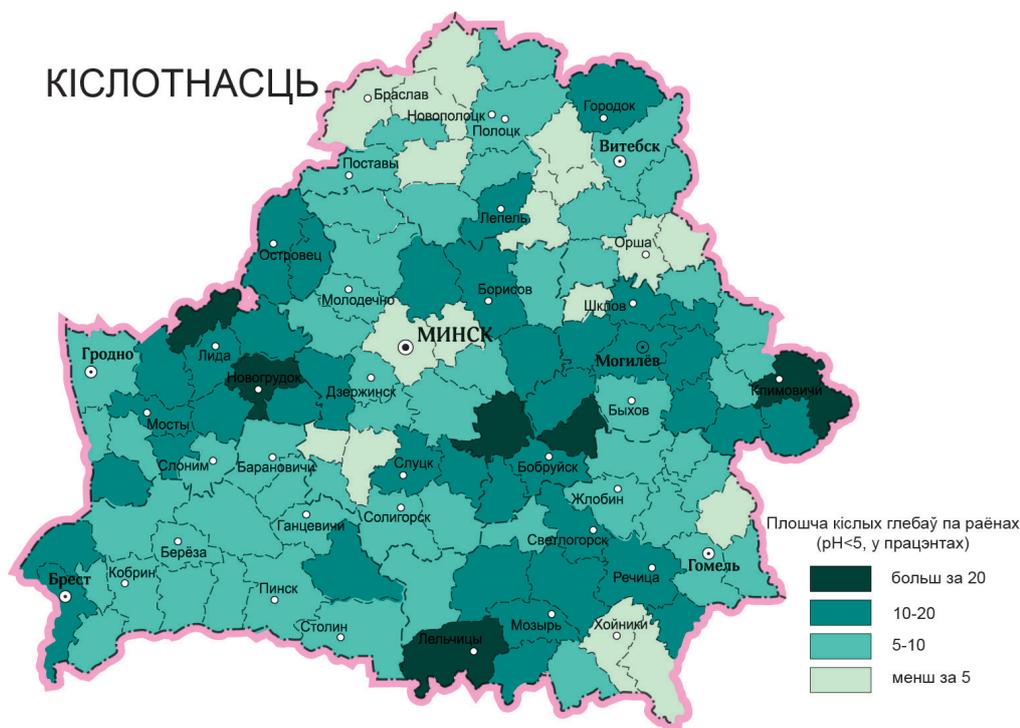
Раздел содержит очерк, в котором приведены сведения о земельном фонде республики, составе, свойствах, почв Беларуси, их плодородии и экологическом состоянии. Он включает 40 карт (М 1:1250000–1:600000),

отражающих опыт работ ученых Института в области мелкомасштабной картографии и генерализации пространственных и содержательных характеристик, качественных и количественных показателей. Карты выполнены в электронном виде, в масштабе издания, на картографической основе с требуемой полнотой и детальностью. При создании карт раздела использованы и статистические материалы, полученные по результатам проведения крупномасштабных почвенных и почвенно-агрохимических обследований, опубликованные в справочниках, а также данные Национального статистического комитета на последнюю дату их создания.

Впервые представлены 26 репрезентативных фотографий почв сельскохозяйственных и лесных земель, отражена таксономия почв республики в международной системе WRB.

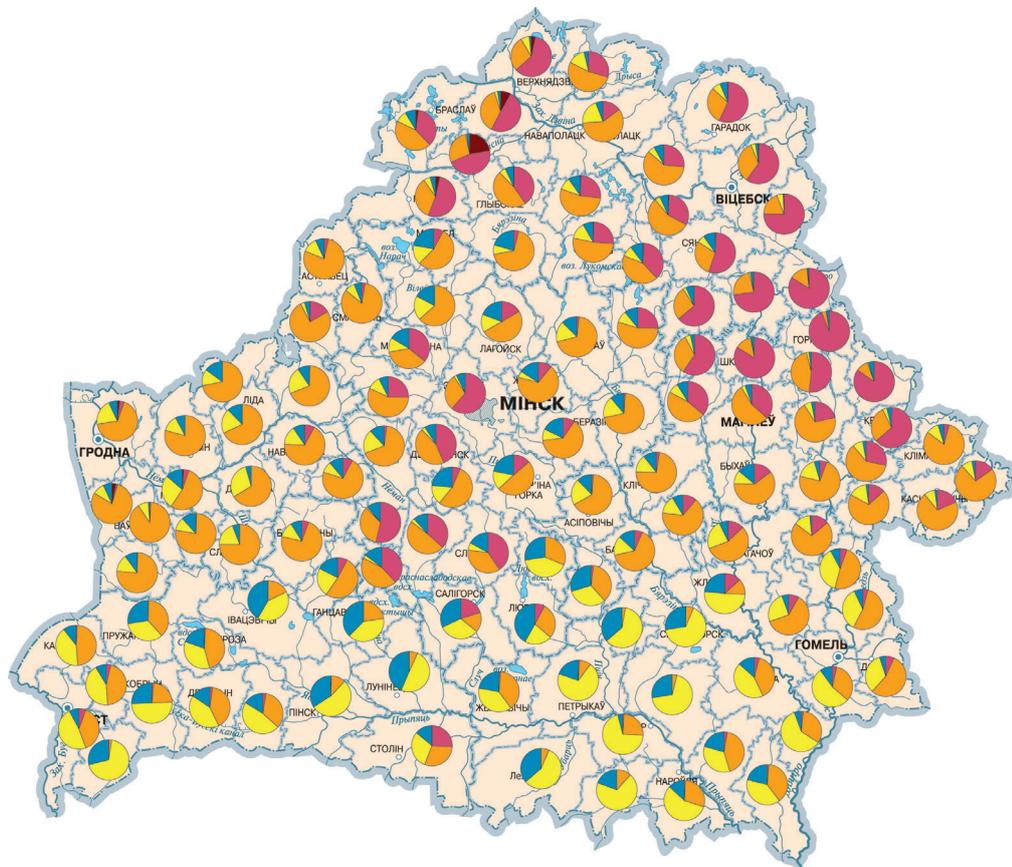
Для Национального атласа учеными Института впервые разработаны 14 карт: распространения деградированных почв, завалуненности и контурности пахотных земель, содержания органического углерода, радиоактивного загрязнения сельскохозяйственных земель Cs^{137} и Sr^{90} , карты распределения пригодных почв для выращивания сельскохозяйственных культур (озимой пшеницы, озимого тритикале, ячменя, озимого рапса, льна-долгунца, сахарной свеклы, кукурузы, люцерны).

Полиграфическая версия атласа создана на белорусском языке, а в 2025 г. предусмотрено создание Атласной информационной системы (электронной версии) на русском языке.



масштаб 1:6 000 000

ГРАНУЛАМЕТРЫЧНЫ САСТАЎ ГЛЕБАЎ СЕЛЬСКАГАСПАДАРЧЫХ ЗЯМЕЛЬ

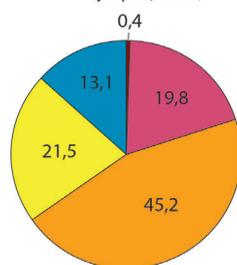


маштаб 1:3 000 000

Грануламетрычны састаў глебаў сельскагаспадарчых зямель (у працэнтах)

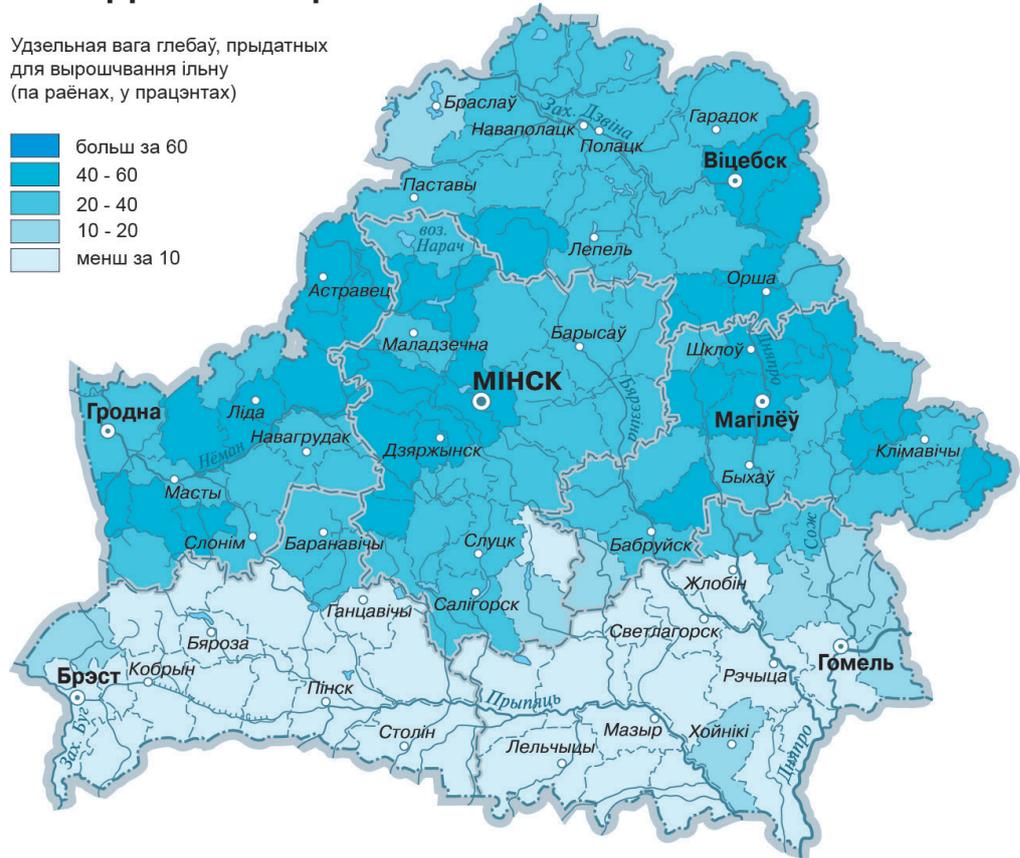
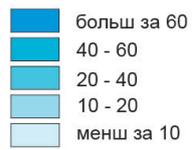
- Гліністыя і цяжкасугліністыя
- Сярэдне- і лёгкасугліністыя
- Супясчаныя
- Пясчаныя
- Тарфяныя

ГРАНУЛАМЕТРЫЧНЫ САСТАЎ ГЛЕБАЎ СЕЛЬСКАГАСПАДАРЧЫХ ЗЯМЕЛЬ ПА РЭСПУБЛІЦЫ (у працэнтах)



ЛЁН-ДАЎГУНЕЦ

Удзельная вага глебаў, прыдатных для вырошчвання ільну (па раёнах, у працэнтах)



маштаб 1:6 000 000

3. ЮБИЛЕИ

РОГОВОЙ ПАВЕЛ ПРОКОФЬЕВИЧ

(к 130-летию со дня рождения выдающегося ученого Беларуси)



Павел Прокофьевич Роговой – один из ведущих почвоведов Белорусской ССР, заслуженный деятель науки, академик АН БССР, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, лауреат Государственной премии БССР.

П. П. Роговой родился в 1895 г. в крестьянской семье в д. Навиловка Ветковского района Гомельской области. После окончания начальной школы и четырех классов городского училища П. П. Роговой в 1911 г. поступает в учительскую семинарию, которую окончил в 1915 г. В этом же году П. П. Роговой был призван в армию, а затем работал учителем начальной школы в селе Рысково Рогачевского уезда Гомельской губернии.

Летом 1918 г. он поступает на сельскохозяйственный факультет Петровской (ныне Тимирязевской) сельскохозяйственной академии. Еще будучи студентом, Павел Прокофьевич увлекся научно-исследовательской работой и специализировался по почвоведению и агрохимии под руководством В. Р. Вильямса, А. Н. Соколовского, Д. Н. Прянишникова,

А. Г. Дояренко и других выдающихся ученых. Летом 1922 г. он провел исследования почв первой в Белоруссии опытной станции в Банцеровщине. Это по существу были первые исследования почв в БССР. В 1923 г. после окончания Тимирязевской сельскохозяйственной академии П. П. Роговой был назначен ассистентом на кафедру почвоведения во вновь открытом Белорусском институте сельского и лесного хозяйства в г. Минске и ученым секретарем почвенно-геологической комиссии Института белорусской культуры (Инбелкульт), на базе которого была создана впоследствии Академия наук БССР. Эта комиссия в 1924 г. организовала первую Белорусскую конференцию почвоведов и наметила план дальнейших исследований в этом направлении в республике.

В 1925 г. Белорусский и Горецкий сельскохозяйственные институты были реорганизованы в Белорусскую сельскохозяйственную академию в Горках, куда был переведен П. П. Роговой ассистентом кафедры почвоведения, возглавляемой профессором Я. Н. Афанасьевым. Отсюда было снаряжено две экспедиции по исследованию почв в различных районах Беларуси.



дованию почв БССР, которые возглавили ассистенты П. П. Роговой и А. Г. Медведев. Ими были обследованы почвы Белоруссии и составлены для всех десяти бывших тогда округов БССР карты почв. Почвенная карта БССР затем демонстрировалась на первой Всебелорусской сельскохозяйственной выставке в Минске.



В 1937 г. в соответствии с законом о создании водоохранных лесов (1936 г.). Павел Прокофьевич организовал и возглавил почвенно-гидрологическую лабораторию в составе БелНИИЛХа, которая провела на Жорновском, Горецком и Щекотовском стационарах в условиях леса и поля изучение водного режима почво-грунтов. Исследования показали, что водный режим на территории БССР зависит от ряда условий: климата, растительности, рельефа, почвообразующих пород и т. д.

Выявлена большая водорегулирующая, почвозащитная и водоохранная роль лесов, произрастающих на почвах различного механического состава, что фактически является дальнейшим развитием классических исследований в этом направлении основоположника почвенной гидрологии Г. Н. Высоцкого.

Когда началась Великая Отечественная война, П. П. Роговой с Лесотехническим институтом был эвакуирован в г. Свердловск, где в течение трех лет принимал участие в экспедиции по изучению лесов Среднего Урала под руководством академика В. Н. Сукачева. Там же в 1942 г. им успешно защищена докторская диссертация на тему: «Строение и водный режим почво-грунтов БССР и их роль в почвообразовании и плодородии почв».

В 1947 г. П. П. Роговой избирается членом-корреспондентом, а в 1953 г. – академиком АН БССР. Несколько позже ему присваивается звание «Заслуженный деятель науки Белорусской ССР».



В 1957 г. академик АН БССР П. П. Роговой был назначен директором вновь организованного Белорусского научно-исследовательского института почвоведения, который стал не только методическим центром, но и главным исполнителем работ по исследованию и крупномасштабному картированию почв БССР. В течение шести лет были обследованы почвы всех сельскохозяйственных угодий БССР, каждому хозяйству

даны почвенные карты, картограммы агропроизводственной группировки почв, содержания подвижных форм фосфора и калия, известкования и рекомендации мероприятий по рациональному использованию земель.

Многие годы Павел Прокофьевич посвятил изучению водного режима почвогрунтов республики и их роли в почвообразовании и плодородии почв. Выявлена большая водорегулирующая, почвозащитная и водоохранная роль лесов, произрастающих на почвах различного механического состава. Изучение биологии леса проводилось методом стационарных наблюдений и опытов (Жорновский, Горещкий, Щекотовский, Негорельский и др. стационары). На основе многолетних исследований им написана монография «Поймы рек Днепра, Сожи и Припяти и их хозяйственное использование», в которой изложен ряд теоретических вопросов, касающихся генезиса пойменных почв и их использования. Высказанные им идеи о происхождении лессовидных отложений и их свойств, о сезонности подзолообразовательного процесса, о динамике элементов почвенного питания помогли объяснить многие ранее неясные вопросы формирования дерново-подзолистых почв и повышения их плодородия.

Под руководством П. П. Рогового были обследованы почвы вновь присоединенных западных областей БССР, организована работа по обработке и оформлению материалов всех проведенных в республике исследований почв. На основании этих работ в 1949 г. была издана карта почв БССР, а в 1952 г. – монография «Почвы БССР». П. П. Роговой является автором около 100 научных работ по различным вопросам почвоведения, среди которых: «Почвоведение и почвы БССР (со сводной картой почв БССР)» – учебник (1935), Сводная карта почв БССР в масштабе 1:1200 000 (1950), «Водный режим почвогрунтов на территории БССР» (1972).

Павел Прокофьевич отдал много сил и энергии воспитанию специалистов сельского и лесного хозяйства, подготовке молодых ученых почвоведов, многие из которых (более 30 человек) стали кандидатами наук (Туренков Н. И., Юшкевич И. А., Смян Н. И., Ипатьев В. А., Шкуринов П. И., Алейникова О. П., Жигарев П. Ф. и др.).

П. П. Роговым была проведена большая и полезная общественная работа. Он неоднократно избирался депутатом Минского городского Совета, где возглавлял комиссию по озеленению города. По его инициативе произведено



озеленение г. Минска путем пересадки взрослых лип. Он проделал большую организационную работу по выбору места и устройству полей фильтрации канализационных вод города. Павел Прокофьевич являлся председателем Белорусского отделения Всесоюзного общества почвоведов.

Плодотворная научная, педагогическая и общественная деятельность П. П. Рогового высоко оценена правительством. Он награжден орденом Ленина, дважды орденом «Знак почета», медалью «За доблестный труд в Великой Отечественной войне 1941–1945 гг.», Почетными грамотами Президиума Верховного Совета Белорусской ССР.



Мемориальная доска установлена в Минске (пр-т Независимости, д. 17) на доме, где жил П. П. Роговой. В Гомеле в честь П. П. Рогового названа улица. В Белорусском государственном технологическом университете установлена мемориальная доска П. П. Роговому.

РЕФЕРАТЫ

1. ПОЧВЕННЫЕ РЕСУРСЫ И ИХ РАЦИОНАЛЬНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ

УДК 631.459.3

Цырибко В. Б., Устинова А. М., Логачёв И. А., Митькова А. А., Гутько Ф. С..

Оценка противодефляционной устойчивости песчаных и рыхлосупесчаных почв пахотных земель Республики Беларусь // Почвоведение и агрохимия. – 2024. – № 2(73). – С. 7.

В статье дана оценка устойчивости к дефляции песчаных и рыхлосупесчаных почв пахотных земель. Среднее содержание устойчивых агрегатов (крупнее 1,0 мм) в песчаных почвах составляло 10,2–12,8 %, а в рыхлосупесчаных – 31,6–33,8 %. Все изученные песчаные почвы независимо от типовой принадлежности и степени увлажнения обладают неудовлетворительной противодефляционной устойчивостью. Доля рыхлосупесчаных почв с неудовлетворительной устойчивостью составила 95,0 %, а с удовлетворительной – 5,0 %.

На основании проведенной статистической обработки данных о структурном состоянии песчаных и рыхлосупесчаных почв установлено, что содержание устойчивых к дефляции агрегатов не зависит от их типовой принадлежности и степени увлажнения, а обуславливается, в первую очередь, гранулометрическим составом.

Рис. 2. Табл. 2. Библиогр. 7.

УДК 633.494:631.4

Радовня В. А., Халецкий В. Н., Азарёнок Т. Н., Матыченкова О. В. Влияние интенсификации технологии на почвах разной степени пригодности для возделывания сои // Почвоведение и агрохимия. – 2024. – № 2(73). – С. 13.

При оценке пригодности почв для возделывания сои использованы три варианта интенсификации (интенсивная, нормальная и экстенсивная технологии). Исследования проведены в климатических условиях центральной части Беларуси в 2021–2023 гг. Установлено, что наиболее пригодными для возделывания сои являются дерново-подзолистые среднесуглинистые почвы с потенциалом продуктивности при нормальных и интенсивных технологиях 27–40 ц/га, пригодными – торфяно-глеевые почвы (25–29 ц/га), мало пригодными – дерново-подзолистые связносупесчаные слабogleеватые почвы (15,6–21,9 ц/га). Средняя цена 1 балла пашни на минеральных почвах при интенсивных и нормальных технологиях составила 46–62 кг, при экстенсивной технологии – 28–36 кг; на торфяно-глеевой почве – 77–94 кг и 52 кг соответственно.

Табл. 3. Библиогр. 9.

УДК 631.44:631.459.2

Цырибко В. Б., Устинова А. М., Логачев И. А., Юхновец А. В., Касьянчик С. А. Формирование почвозащитных комплексов на почвах разной степени эрозионной опасности // Почвоведение и агрохимия. – 2024. – № 2(73). – С. 21.

В статье представлены критерии для установления степени эрозионной опасности и принципы формирования почвозащитных комплексов на эрозионноопасных землях. Определение степени эрозионной опасности базируется на учете компонентного состава средне- и сильноэродированных почв и величины потенциального смыва почвенного мелкозема в результате эрозионных процессов. Структура посевных площадей и типы почвозащитных севооборотов определяются на основе расчетов потенциальных потерь почвы при различных вариантах чередования культур.

На основании проведенных исследований установлено, что на землях с низкой эрозионной опасностью допустимо возделывать все группы сельскохозяйственных культур, на землях со средней степенью необходимо исключать из севооборота пашные, а на землях с сильной – максимизировать долю многолетних трав.

Табл. 4. Рис. 1. Библиогр. 21.

УДК 631.415:631.821.1

Воробей М. В., Киндеев А. Л. Применения геостатистического подхода при учете внутривольной неоднородности почвенной кислотности при проведении известкования сельскохозяйственных земель // Почвоведения и агрохимия. – 2024. – № 2(73). – С. 30.

В статье представлены основные этапы картографирования агрохимических свойств почв геостатистическим методом на примере почвенной кислотности. Выполнено сравнение затрат на проведение работ по известкованию пахотных земель по классическому и геостатистическому методу картографирования почвенной кислотности на примере ОАО «Кошелево-Агро». При этом учитывались стоимости отбора проб и лабораторного анализа, затраты на проведение известкования.

Общая стоимость работ по известкованию с учетом закупки, транспортировки и внесения, а также отбора проб и лабораторных анализов составила 39 976 руб. для классического и 40935 руб. для геостатистического метода, что на 959 руб. больше. Однако при использовании классического метода только 72,5 % от затраченной суммы были бы эффективно использованы.

Табл. 4. Рис. 6. Библиогр. 14.

УДК 631.45:631.47

Шашко Ю. К., Азарёнок Т. Н., Матыченкова О. В., Дыдышко С. В., Карпович Г. Г. Земельные и почвенные ресурсы Экваториальной Гвинеи // Почвоведение и агрохимия. – 2024 – № 2(73). – С. 42.

В статье представлен анализ статистических данных, характеризующих земельный фонд Экваториальной Гвинеи, рассматриваются особенности почвенного

покрова страны. Приведены сведения о морфологическом строении и агроэкологическом состоянии красно- и желто-ферралитных, вулканических пепловых почв по показателям кислотности, содержания общего азота, гумуса, подвижных форм фосфора, калия, кальция, магния, меди, цинка, железа. Приводятся данные о содержании тяжелых металлов (кобальта, никеля, хрома, свинца) в верхних горизонтах почв. Результаты исследования могут быть применены при изучении адаптационного потенциала сельскохозяйственных культур территории Экваториальной Гвинеи.

Табл. 4. Рис. 3. Фото 12. Библиогр. 24.

2. ПЛОДРОДИЕ ПОЧВ И ПРИМЕНЕНИЕ УДОБРЕНИЙ

УДК 631.82:631.11

Кулеш О. Г., Мезенцева Е. Г., Грачева А. А., Зенькова С. М. Динамика содержания азота, фосфора и калия в растениях яровой пшеницы в течение вегетации в зависимости от условий произрастания // Почвоведение и агрохимия. – 2024. – № 2(73). – С. 58.

Представлены результаты изучения динамики содержания основных элементов питания (азот, фосфор, калий) в растениях яровой пшеницы в течении вегетации в зависимости от условий произрастания. Установлено, что в условиях высокого содержания в почве доступного фосфора и калия основным показателем, определяющим величину урожайности зерна яровой пшеницы, является содержание в растениях азота. Урожайность зерна на уровне 60–75 ц/га с содержанием белка 14–16 % и клейковины 29–38 % формируется при содержании в растениях яровой пшеницы азота – в фазе 1 узла 3,80–4,90 %, в фазе флагового листа – 2,00–2,70 %, колосшения – 1,60–2,10 %, молочной спелости – 1,60–1,70 %.

Табл. 4. Рис. 3. Библиогр. 12.

УДК 631.461

Михайловская Н. А., Серая Т. М., Богатырева Е. Н., Дюсова С. В. Активность гидролитических процессов в циклах углерода и азота при разных способах основной и удобрения дерново-подзолистых почв // Почвоведение и агрохимия. – 2024. – № 2(73). – С. 70.

Сравнительный анализ экспериментальных данных показал, что минимизация основной обработки дерново-подзолистых почв за счет применения дискования (8–12 см) способствует повышению активности минерализации в циклах углерода и азота. Применение минеральных удобрений, подстилочного навоза КРС, соломы в сочетании с NPK, КАС и биопрепаратом Жыцень стимулирует процессы минерализации в циклах С и N на дерново-подзолистых супесчаной и легкосуглинистой почвах. В среднем наибольший уровень инвертазной (цикл С) активности отмечается при использовании соломы в сочетании с NPK, КАС и биопрепаратом Жыцень; уреазной активности (цикл N) – при внесении подстилочного навоза КРС в сочетании с NPK.

Закономерности варьирования показателей инвертазной и уреазной активности показывают, что способ основной обработки почвы более значимо действует на активность минерализации в циклах углерода и азота в дерново-подзолистой супесчаной почве и менее значимо – в дерново-подзолистой легкосуглинистой почве при одинаковой системе удобрения сельскохозяйственных культур.

Табл. 6. Рис. 4. Библиогр. 15.

УДК 631.8:633.33:631.442

Серая Т. М., Богатырева Е. Н., Новик А. Л., Кирдун Т. М., Симанкова Ю. А., Устинова А. М., Торчило М. М. Эффективность систем удобрения кормовых бобов на дерново-подзолистой супесчаной почве // Почвоведение и агрохимия. – 2024. – № 2(73). – С. 79.

В статье представлены данные по разработке обоснованных доз и сроков применения удобрений под кормовые бобы в зависимости от способа основной обработки почвы. Установлено влияние систем удобрения и погодных условий на урожайность зерна и вынос элементов питания на дерново-подзолистой супесчаной почве.

Погодные условия вегетационного периода кормовых бобов в 2024 г. были более благоприятными для роста и развития растений и способствовали формированию урожайности зерна в среднем на 97 % выше, чем в 2023 г. Благодаря применению удобрений урожайность зерна кормовых бобов по сравнению с контролем возросла в блоке вспашки в среднем на 5,2 ц/га, в блоке дискования – на 8,3 ц/га. Разработаны нормативы выноса основных элементов питания урожаем зерна кормовых бобов, которые составили 42,1 кг/т азота, 9,0 кг/т фосфора и 21,8 кг/т калия.

Табл. 3. Библиогр. 11.

УДК 631.8:633.16:631.442

Рак М. В., Пукалова Е. Н., Кудласевич С. Г., Гук Л. Н. Влияние азотных, медных, марганцевых и цинковых удобрений на урожайность и качество озимого ячменя и вынос элементов питания на дерново-подзолистой супесчаной почве // Почвоведение и агрохимия. – 2024. – № 2(73). – С. 89.

В статье представлены результаты исследований по влиянию азотных, медных, марганцевых и цинковых удобрений на урожайность и качество озимого ячменя при возделывании на дерново-подзолистой супесчаной почве. Приведены данные выноса элементов питания с урожаем озимого ячменя. Установлено, что эффективным приемом повышения урожайности озимого ячменя является некорневая подкормка растений медью и марганцем на фоне внесения минеральных удобрений.

Табл. 3. Рис. Библиогр. 10.

УДК 633.17:631.559.2:631.452

Седукова Г. В. К вопросу о роли агрохимических показателей дерново-подзолистой супесчаной почвы в формировании урожайности зеленой массы сорго зернового // Почвоведения и агрохимия. – 2024. – № 2(73). – С. 97.

В статье представлены данные об урожайности зеленой массы сорго зернового, убранной в фазу начала выметывания метелки и молочно-восковой спелости зерна. Показана изменчивость урожайности зеленой массы при варьировании основных агрохимических показателей дерново-подзолистой супесчаной почвы. Представлены уравнения регрессии, описывающие парную и множественную корреляцию урожайности зеленой массы в обе фазы укосной спелости с обменной кислотностью почвы, содержанием гумуса, подвижных форм калия и фосфора. Проведенная проверка фактической и прогнозной урожайности зеленой массы сорго зернового показала, что точность прогноза в фазу НВМ составила 95 %, в фазу МВС зерна – 92 %. Приведены количественные параметры изменения урожайности при повышении уровня гумусированности почвы, содержания P_2O_5 и K_2O , подщелачивании почвенной среды.

Табл. 2. Рис. 3. Библиогр. 8.

УДК 631.589:631.811

Шаченкова Л. Н., Езубец А. П., Вонсович Н. В. Ионообменные субстраты БИОНА с новыми анионообменными компонентами // Почвоведение и агрохимия. – 2024. – № 2(73). – С. 105.

В статье представлены результаты исследования возможности применения в качестве носителей анионов питательных элементов для растений новых промышленных ионитов типа ТОКЕМ и АН-31. Определена их рабочая обменная емкость по анионам основных питательных элементов (NO_3^- , SO_4^{2-} , $H_2PO_4^-/HPO_4^{2-}$) и водоудерживающая способность. С использованием анионитов АН-31, ТОКЕМ-320, ТОКЕМ-400 и катионита ТОКЕМ-100 получено три варианта ионообменных субстратов. Проведена оценка качества полученных субстратов в предварительных лабораторных экспериментах по выращиванию салата листового *Lactuca sativa* L., райграса пастбищного *Lolium perenne* L., перца стручкового *Capsicum annuum* L., земляники лесной *Fragaria vesca* L., томатов вишневидных *Lycopersicon cerasus* L. и бархатцев мелкоцветных *Tagetes patula* L. на 100 %-х субстратах и их смесях с бесплодным песком или почвогрунтом для выращивания овощных и цветочных культур. Оценено плодородие субстратов по количеству свежей и сухой биомассы в расчете на грамм субстрата. Установлено, что все изученные аниониты пригодны для получения ионообменных субстратов, обладающих плодородием на уровне разработанного ранее субстрата БИОНА-111®.

Табл. 6. Рис. 8. Библиогр. 16.

ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ

Научный журнал «Почвоведение и агрохимия», согласно приказу ВАК Республики Беларусь от 06.02.2024 № 30, 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, в редакции постановления ВАК Республики Беларусь от 22.08.2022 № 5) 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 требованиями государственного стандарта СТБ 7.1-2024 «СИБИД. Библиографическая запись. Библиографическое описание. Общие требования и правила составления», утвержденного постановлением Государственного комитета по стандартизации Республики Беларусь от 12 февраля 2024 г. № 10. 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.