

ISSN 0130-8475

Институт почвоведения и агрохимии

ПОЧВОВЕДЕНИЕ И АГРОХИМИЯ

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ

Основан в 1961 г.

**№ 2(57)
Июль – декабрь 2016 г.**

Минск
2016

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 *В.В. ЛАГА*

Редакционная коллегия: М.В. РАК (зам. главного редактора)
А.Ф. ЧЕРНЫШ (зам. главного редактора)
Н.Ю. ЖАБРОВСКАЯ (ответственный секретарь)

Т.Н. АЗАРЕНКО, С.А. БАЛЮК, Н.Н. БАМБАЛОВ, И.М. БОГДЕВИЧ,
И.Р. ВИЛЬДФЛУШ, С.А. КАСЬЯНЧИК, Н.В. КЛЕБАНОВИЧ,
Н.А. МИХАЙЛОВСКАЯ, Г.В. ПИРОГОВСКАЯ,
Ю.В. ПУТЯТИН, Н.Н. СЕМЕНЕНКО, Т.М. СЕРАЯ

ПОЧВОВЕДЕНИЕ И АГРОХИМИЯ

2(57)

Июль – декабрь 2016 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, 62
Тел. (017) 212-08-21, факс (017) 212-04-02
E-mail brissainform@mail.ru

© Республиканское научное
дочернее унитарное предприятие
«Институт почвоведения и агрохимии», 2016

СОДЕРЖАНИЕ

1. ПОЧВЕННЫЕ РЕСУРСЫ И ИХ РАЦИОНАЛЬНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ

- Черныш А.Ф., Устинова А.М., Червань А.Н., Цырибко В.Б., Касьяненко И.И.** Деградация почв сельскохозяйственных земель Беларуси: виды и количественная оценка 7
- Черныш А.Ф., Качков Ю.П., Давыдик Е.Е. Устинова А.М.** Типы сельскохозяйственных земель Белорусской гряды как основа формирования адаптивно-ландшафтных систем земледелия 18
- Матыченкова О.В., Цытрон Г.С., Шульгина С.В., Азаренок Т.Н., Матыченков Д.В.** Экологический паспорт почвы и база данных как информационное обеспечение особой охраны естественных почв Беларуси 32
- Балюк С.А., Лисовой Н.В., Никоненко В.Н., Карацюба Е.В.** Планирование эксперимента и статистическая обработка данных полевого опыта 48
- Бындыч Т.Ю.** О современном подходе к изучению неоднородности почвенного покрова 56

2. ПЛОДОРОДИЕ ПОЧВ И ПРИМЕНЕНИЕ УДОБРЕНИЙ

- Лапа В.В., Кулеш О.Г., Мезенцева Е.Г., Шедова О.А., Симанков О.В.** Агроэкономическая эффективность возделывания ярового ячменя на высоко окультуренной дерново-подзолистой легкосуглинистой почве 68
- Богатырева Е.Н., Серая Т.М., Бирюкова О.М., Кирдун Т.М., Белявская Ю.А., Торчило М.М.** Коэффициенты пересчета зерна и семян в побочную продукцию и содержание основных элементов питания в побочной продукции сельскохозяйственных культур в Республике Беларусь 78
- Рак М.В., Пукалова Е.Н.** Кобальт в почвах и растениеводческой продукции Беларуси и эффективность применения кобальтового удобрения 90
- Пукалова Е.Н.** Эффективность применения микроудобрений при возделывании льна масличного на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве ... 99
- Шемет А.М., Фатеев А.И.** Влияние физических и физико-химических свойств почв на биодоступность микроэлементов 106
- Цыбулько Н.Н., Шашко А.В.** Поступление ^{137}Cs в растения яровой пшеницы и многолетних трав на торфяно-глеевой почве в зависимости от уровней калийного питания 113

Лапа В.В., Михайловская Н.А., Касьянчик С.А., Погирницкая Т.В. Активность оксидаз в высоко окультуренной дерново-подзолистой легкосуглинистой почве при разных уровнях минерального питания сельскохозяйственных культур	124
Кухарчик Н.В. Минеральное питание аронии черноплодной при выращивании на искусственных питательных средах	134
Плиско И.В. Проявление физической деградации пахотных почв Украины и пути ее преодоления (аналитический обзор)	141
Романова Т.А. Информативность почв Беларуси (аналитический обзор) ...	153

ЮБИЛЕИ

Памяти академика НАН Беларуси Николая Ивановича Смеяна (к 85-летию со дня рождения)	157
Рефераты	161
Правила для авторов	167

CONTENTS
1. SOIL RESOURCES AND THEIR RATIONAL USE

Chernysh A.F., Ustinova A.M., Tsyrybko V.B., Chervan A.N., Kas'yanenko I.I. Soil degradation of agricultural lands in Belarus: the types and quantitative assessment	7
Chernysh A.F., Kachkov Yu.P., Davydik E.E., Ustinova A.M. Types of agricultural lands of the Belarusian Ridge as the basis for the formation of adaptive-landscape farming systems	18
Matychenkova O.V., Tsytron G.S., Shulgina S.V., Azarenok T.N., Matychenkov D.V. The ecological passport of soil and a database as the information support for special protection of natural soils of Belarus	32
Baliuk S.A., Lisovoy N.V., Nikonenko V.N., Karatsyuba E.V. Planning of an experiment and statistical processing of field experiment data	48
Byndych T.Yu. On the modern approach to the study of the heterogeneity of soil cover	56

2. SOIL FERTILITY AND FERTILIZATION

Lapa V.V., Kulesh V.G., Mezentseva E.G., Shedava A.A., Simankou A.U. Agroeconomic efficiency of summer barley cultivation on highly cultivated sod-podzolic light loamy soil	68
Bogatyrova E.N., Seraya T.M., Biryukova O.M., Kirdun T.M., Belyavskaya Yu.A., Torchilo M.M. Conversion coefficients of grain and seed in by-products and the content of main nutrients in by-products of agricultural crops in the Republic of Belarus	78
Rak M.V., Pukalova E.N. Cobalt in soils and crop products in Belarus and the efficiency of cobalt fertilizer application	90
Pukalova E.N. Efficiency of microfertilizers in cultivation of oil flax on sod-podzolic light loamy soil	99
Shemet A.M., Fateev A.I. The influence of physical and physico-chemical properties of soil on the bioavailability of trace elements	106
Tsybulka N.N., Shashko A.V. Accumulation of ¹³⁷ Cs in spring wheat and perennial grasses on peaty gley soil depending on potassium nutrition levels	113

Lapa V.V., Mikhailovskaya N.A., Kasyanchyk S.A., Pahirnitskaya T.V. Oxidases activity in highly fertile sod-podzolic light loamy soil under the different levels of crops mineral nutrition	134
Kukharchyk N.V. Mineral nutrition of Aronia melanocarpa Elliot during in vitro cultivation on artificial nutrient medium.....	134
Plisko I.V. The manifestation of physical degradation on arable lands in Ukraine (the literary review).....	141
Romanova T.A. Informative value of soils of Belarus (the literary review)	153

OUR JUBILEES

To the memory of academician of NAS of Belarus Nikolaj Ivanovich Smeyan (to the 85-th birth-day)	157
Summaries	161
Instructions for authors	167

1. ПОЧВЕННЫЕ РЕСУРСЫ И ИХ РАЦИОНАЛЬНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ

УДК 631.434.52

ДЕГРАДАЦИЯ ПОЧВ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ЗЕМЕЛЬ БЕЛАРУСИ: ВИДЫ И КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА

**А.Ф. Черныш, А.М. Устинова, В.Б. Цырибко,
А.Н. Червань, И.И. Касьяненко**

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

ВВЕДЕНИЕ

Рациональное использование почвенных ресурсов и их охрана являются основой стабильного развития агропромышленного комплекса нашей страны. В современных интенсивных условиях использования земель исключительную значимость и актуальность приобретают исследования, направленные на изучение процессов деградации почв агроландшафтов. Это, прежде всего, касается наиболее сложных в экологическом отношении эрозионноопасных и заболоченных территорий.

В связи с принятием мировым научным сообществом парадигмы экологизации хозяйственной деятельности, в том числе и в агропромышленном комплексе, применение новейших методических и технологических разработок должно быть направлено на приведение в соответствие природно-ресурсного потенциала сельскохозяйственных земель и возможной интенсивности их использования. Экологизация означает не только, и не столько проведение природоохранных мероприятий, сколько адаптация системы земледелия к разнообразию почвенно-экологических и климатических условий. Непременным условием разработки современных систем земледелия должно быть многовариантность решений, в том числе и технологических, в зависимости от почвенно-экологических факторов.

В последние годы вопросам изучения деградации почв уделяется большое внимание исследователей России (Г.В. Добровольский, Ф.Р. Зайдельман, М.С. Кузнецов, Г.П. Глазунов) [1–4], Беларуси (Т.А. Романова, Н.Н. Ивахненко, А.Ф. Черныш, В.Б. Цырибко, А.М. Устинова и др.) [5–7], Молдовы (И.А. Крупеников, В.В. Чербарь) [8], Украины (В.В. Медведев) [9]. Механизмам расширения ареалов деградированных почв посвящены работы ученых дальнего зарубежья (Shafiqat, Borrell, Ball) [10–12] и многих других. В Беларуси изучением деградированных почв занимаются ученые РУП «Институт почвоведения и агрохимии». К настоящему времени в институте более широко представлены исследования по изучению закономерностей проявления эрозионной деградации почв, разработке почвозащитных технологий, установлению классификационной принадлежности и кадастровой оценки плодородия деградированных торфяных почв.

Несмотря на наличие разрозненных литературных данных о степени деградации отдельных почвенных разновидностей, в республике пока не существует четко разработанных критериев оценки различных видов и степени деградации почв, позволяющих объективно характеризовать экологическое состояние почвенного покрова. Большинство используемых в настоящее время параметров носит скорее качественный, нежели количественный смысл.

Цель данной работы – выявление видового разнообразия деградации почв и разработка методических подходов количественной оценки различных видов и степени деградации почв Беларуси.

Для осуществления любых почвозащитных и почвовосстановительных мер необходима четкая и дифференцированная система и номенклатура различных типов и видов деградации почв. Должны быть выработаны показатели степени деградации почв и установлены оценочные критерии выделения деградированных почв. При этом необходимо иметь достаточный набор диагностических параметров. Существенное значение имеет также четкое определение типов деградации почвы и оценка влияния почвенного покрова на экологическое состояние других природных сред.

Поэтому объективная диагностика почв, опирающаяся на комплекс количественных параметров, отражающих степень их деградации с целью, последующей разработки способов восстановления свойств деградированных почв и минимизации последствий деградации актуальны, и имеют важное научное и практическое значение.

ОБЪЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В качестве объектов исследований при установлении наиболее распространенных типов и видов деградации почв приняты наиболее распространенные почвы пахотных земель Беларуси.

При разработке количественных критериев эрозионной деградации объектами исследования служили в разной степени эродированные дерново-подзолистые почвы различной степени эродированности, развивающиеся на лессовидных и моренных почвообразующих породах северной и центральной почвенно-экологических провинций Беларуси, представляющие собой единые в геоморфологическом отношении почвенно-эрозионные катены (стационары «Стоковые площадки» Минского района и «Браслав» Браславского района). Кроме того использованы данные, полученные на объектах мониторинга наблюдений в Горецком и Мядельском районах.

При оценке деградации органогенных почв объектами исследований являлись результаты маршрутных исследований на мелиорированных объектах Брестской, Гомельской и Минской областей, а также почвенные разновидности стационарных площадок мониторинговых наблюдений, расположенных на пахотных землях в пределах СПК «Мичуринск» Ивацевичского района, Полесской опытной станции мелиоративного земледелия и луговодства Лунинецкого района (ПОСМЗил), ОАО «Парохонское» Пинского района. Почвенный покров всех стационарных площадок представлен рядом осушенных торфяных, антропогенно-преобразованных торфяно-минеральных и минеральных постторфяных почв.

Количественная оценка производительной способности деградированных почв, определяющих снижение их природно-хозяйственной значимости, устанавливалась на основании опытных данных и учетов урожая сельскохозяйственных культур.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Аналитический обзор понятий и терминов

Понятие «деградация почв» до настоящего времени не имеет четкого определения, однако в него, так или иначе, включаются процессы ухудшения свойств почв и их качества с позиции получения первичной продуктивности сельскохозяйственных культур. Вместе с тем это понятие нуждается в четком общепринятом определении – дефиниции.

В Европейском Почвенном научном центре (г. Вангенгейм, Голландия) в 1988 г. было предложено такое определение: «*Деградация почв* – это совокупность процессов, вызванных деятельностью человека и уменьшающих способность почв к поддержанию жизни людей». Необходимо отметить, что такое определение устанавливает только последствия деградации, но не вскрывает характера и сущности тех процессов, которые ее вызывают.

В изданной в 1994 г. «Методике определения ущерба деградации почв и земель» говорится: «*Деградация почв и земель* представляет совокупность природных и антропогенных процессов, приводящих к изменению функций почв, количественному и качественному ухудшению их состава и свойств и снижению природно-хозяйственной значимости земель» [13]. При таком определении также больше говорится о последствиях деградации, хотя и упоминаются также и изменения функций почв.

Собственно почвенное определение деградации почв было дано М.И. Герасимовой и ее соавторами (2000 г.): «*Деградация почв* – изменение в функционировании почвенной системы, и/или составе и строении твердой фазы почв и/или регуляторной функции почв, имеющие результатом отклонение от экологической нормы и ухудшение параметров важных для функционирования биоты и человека» [14]. Это определение можно считать удачным, но сложность формулировки затрудняет его применение.

Н.Б. Хитров (Почвенный институт им. В.В. Докучаева), давая близкое к этому определение деградации почв, предлагает рассматривать и оценивать ее в пределах каждого элементарного почвенного ареала (ЭПА). Одновременно этот автор вводит ряд понятий, детализирующих проявление деградации, что представляет научное и практическое значение:

- ✓ *степень деградации почвы* – сравнительный уровень выраженности деградации почвы в целом к фиксируемому моменту времени;
- ✓ *скорость деградации почв* – быстрота изменений степени деградации почв;
- ✓ *вид деградации* – группа процессов ухудшения свойств и качества почвы, имеющие одинаковые механизмы осуществления и результаты воздействия;
- ✓ *число совмещенности* – число видов деградации почв, диагностируемых одновременно в одной почве или в пределах одного ЭПА [15].

Известные специалисты по бонитировке почв И.И. Карманов и Д.С. Булгаков приводят следующее определение деградации, подкупающее своей краткостью: «Под *деградацией почв* понимаются процессы и результаты изменения их свойств и естественных режимов, в совокупности приводящие к изменению функций почвы как элемента экологической системы и снижению почвенного плодородия» [16].

И.А. Крупеников считает, что объединение всех видов ухудшения почв термин «деградация» принципиально неправомерно. Он отмечает, что нет ничего общего между химическим загрязнением почв и эрозией, хотя и то и другое означает их ухудшение. Некоторые виды деградации могут быть генетически близки, другие – полностью отличаться друг от друга. Здесь же И.А. Крупеников предлагает следующее определение: «*Деградации почв* представляют собой ухудшение любых биосферно-экологических функций под влиянием ускорения, замедления и искажения естественных элементарных почвенных процессов». Он подчеркивает, что в почве протекает огромное число непрерывных процессов как в органической, так и минеральной ее частях. Кроме того, почва постоянно взаимодействует с атмосферой и гидросферой, компоненты которых постоянно в ней присутствуют в самых различных проявлениях [8].

Крупеников И.А. предлагает выделять типы деградаций черноземных почв, кроме традиционного подхода (констатации), на двух концепциях:

1. Концепция элементарных почвенных процессов (ЭПП) в понимании И.П. Герасимова [17];

2. Концепция биосферно-экологических функций (БЭФ), как они трактовались В.И. Вернадским и В.А. Ковдой и в новейшее время Г.В. Добровольским и Е.Д. Никитиным [1].

По нашему мнению концепция изменения элементарных почвенных процессов при их деградации [18] и концепция изменения биосферно-экологических функций почв в полной мере приемлема и для условий нашей республики при выделении типов и видов деградации почв.

Деградации почв Беларуси многочисленны, обусловлены разными причинами. При этом разные виды деградации часто взаимосвязаны, но иногда и независимы.

Необходимо отметить, что число выделяемых видов деградации различными авторами невелико, а принципы их выделения не полностью изучены и не всегда основаны на какой-либо четко сформулированной концепции.

Один из известных почвоведов нашего времени Ф.И. Козловский с использованием большого материала лабораторных и полевых исследований разделил деградации почв на пять основных типов по изменению их состояния и свойств [19]:

1. Нарушение санитарного состояния почв;
2. Нарушение баланса питательных веществ;
3. Ухудшение водно-воздушного режима;
4. Ухудшение систем обработки почвы;
5. Утрата или ухудшение почвенной биоты.

Такое разделение хотя и правильное, но слишком широкое и далеко не полное.

**Деградации почв
сельскохозяйственных земель Беларуси**

Анализ многочисленных исследований, отечественными и зарубежными исследователями, позволяет сделать вывод о том, что в основу выделения типов и видов деградации обрабатываемых почв Беларуси могут быть положены изменения элементарных почвенных процессов и их сочетаний, а также изменений в негативную сторону биосферно-экологической функций почвы.

Исходя из такой предпосылки, на обрабатываемых землях республики выделяются следующие типы деградации почв (табл. 1).

Таблица 1

Типы и виды деградации почв Беларуси

		Типы деградации				
		I. Физическая	II. Профильная	III. Химическая	IV. Биологическая	V. Биосферно-экологическая
Виды деградации	деструктуризация, дезагрегация	эрозионная плоскостная	гумусовая	дефолиация	внутрипольная (пестрополье)	
	переуплотнение	эрозионная овражная	кальциевая деградация, подкисление	микробиологическая и биохимическая	пространственная	
	дегидролизация (иссушительная деградация)	хаотизация почвенного покрова	снижение содержания основных элементов питания растений	снижение активности мезофауны	ослабление или полная потеря биосферно-экологических функций почвы	
	агротехническая	дефляционная	микроэлементная избыточность и химическое загрязнение, засоление	фитотоксическая (почвоутомление)	снижение или потеря производительности почв	
	аэрологическая	делювиальные наносы	микроэлементная недостаточность			
	нарушение теплового режима		радионуклидное загрязнение			

В свою очередь в пределах отмеченных типов деградации почв выделяется от четырех до семи видов деградации.

Физическая деградация почв включает в себя:

- *деструктуризация, дезагрегация*, т.е. разрушение агрономически ценной структуры при длительной и плохой обработке почвы;
- *переуплотнение* до глубины 0,5 м, приводящее к сокращению порового пространства и фильтрации воды;
- *дегидролизация (иссушительная деградация)* в результате нерациональной изменения уровня грунтовых вод при мелиорации;

➤ *агротехническая* из-за нарушения правил и сроков проведения обработки почвы, приводящая к ухудшению строения пахотного слоя и выпахиванию подпахотного низко плодородного горизонта;

➤ *аэрологическая*, т.е. ухудшение газообмена между атмосферой и почвой, проникновения в нее кислорода и выделения CO_2 из-за переуплотнения;

➤ *нарушение теплового режима* почв в результате осветления верхнего горизонта почв при уменьшении содержания гумуса и органического вещества;

➤ *нарушение водного режима* почв (вторичное заболачивание, подтопление и др.).

В профильной деградации возможно выделение следующих видов:

➤ *эрозионная плоскостная (слабо-, средне-, сильно- и очень сильноэрозионная)* – гидромеханический смыв одного или нескольких горизонтов, а в некоторых случаях выход на поверхность подстилающей почвообразующей породы;

➤ *эрозионная овражная*, т.е. сильное развитие линейной эрозии, приводящее к образованию склоновых оврагов;

➤ *делювиальная*, т.е. погребение гумусового горизонта в результате эрозионных и других процессов;

➤ *дефляционная* – развевание (дефляция) почв под воздействием ветров большой скорости;

➤ *хаотизация почвенного покрова* в результате турбации и горизонтального перемещения под влиянием строительных работ и гидротехнических и т.п.

В химическом типе деградации почв различают такие виды:

➤ *гумусовая*, как результат преобладания разложения гумуса над его ресинтезом;

➤ *снижение содержания основных элементов питания растений*, т.е. преобладание потерь макроэлементов на питание растений без компенсационного его внесения;

➤ *кальциевая деградация, подкисление* – вынос отдельных форм кальция, рост гидрологической кислотности, снижение величины pH;

➤ *микроэлементная недостаточность*;

➤ *микроэлементная избыточность и химическое загрязнение, засоление*, обусловленное промышленно-транспортным загрязнением, в результате функционирования крупных животноводческих комплексов и т.п.;

➤ *радионуклидное загрязнение*, вызванное выбросами радионуклидов.

Биологический тип деградации почв включает в себя:

➤ *дефолиацию* – полное или частичное оголение почвы от растительности в результате проявления других типов и видов деградации;

➤ *снижение активности мезофауны*, т.е. угнетение и подавление мезофауны из-за некоторых видов химической и физической деградации, уменьшение численности и видового разнообразия;

➤ *микробиологическую и биохимическую* – подавление деятельности микроорганизмов, вызванное некоторыми видами химической и физической деградации, снижение видового разнообразия;

➤ *фитотоксическую* (почвоутомление), обусловленную заражением почвы фитогенными микроорганизмами и веществами.

В биосферно-экологическом (общефункциональном) типе деградации почв различают следующие виды:

- *внутрипольная (пестрополье)*, обусловленная неравномерным внесением удобрений, в результате чего поле приобретает пестроту плодородия и урожайности;
- *пространственная*, т.е. усложнение структуры почвенного покрова под влиянием неравномерного развития многих видов деградации;
- *общефункциональная*, обусловленная влиянием нескольких видов деградации, в результате чего резко ослабевают или полностью теряются (исчезают) биосферно-экологические функции почвы;
- *снижение или потеря производительной способности почв.*

Нетрудно заметить, что отдельные виды деградации почв могут проявляться в нескольких или далее во всех типах. Так, эрозия, как основной вид деградации, проявляется как в профильном, так и в физическом, химическом, биологическом и общефункциональном типах.

Имеющиеся данные в Институте почвоведения и агрохимии [5, 6, 7, 20], а также в научной литературе [1,8] позволяют установить пять уровней потерь природно-хозяйственной значимости почв:

нулевой – отсутствие признаков неблагоприятных экологических последствий и ограничений эффективного хозяйственного использования, характеризуется отсутствием ограничений на виды землепользования, рекомендуемые для данного типа земель, и отсутствием достоверного снижения урожайности и качества растениеводческой продукции – по сравнению с эталонами почв данного класса;

слабый – незначительное снижение продуктивности агроценозов, качества производимой продукции или повышение себестоимости производства основных сельскохозяйственных культур (на 10–25 %) по сравнению с соответствующими не деградированными (эталонными) землями, имеющими аналогичное расположение в рельефе и инфраструктуре хозяйства. Использование земель в аграрном производстве без ограничений;

средний – сильное снижение продуктивности или качества основных сельскохозяйственных культур, выращиваемых в данных условиях (на 25–50 %), повышение себестоимости их производства в 1,3–2 раза или снижение санитарно-экологического качества получаемой продукции в 2–3 раза. Использование земель для производства сельскохозяйственной продукции мало эффективно на фоне ухудшения условий обработки почвы и ускорения деградации;

высокий – нецелесообразность использования земель в аграрном производстве вследствие очень сильного снижения продуктивности (и/или качества) основных сельскохозяйственных культур (на 50–75 %), повышение себестоимости их производства в 2–3 раза или снижение санитарно-экологического качества получаемой продукции в 3–10 раз. При этом резко ограничивается набор возможных видов сельскохозяйственных культур;

катастрофический – ограниченность использования территории для жизни человека (например, высокий уровень техногенного загрязнения) и размещения аграрного производства. Продуктивность традиционных сельскохозяйственных культур падает более, чем в 4 раза, или отмечается сильное превышение ПДК в получаемой продукции.

В качестве примера приводим характеристику почв Беларуси по степени их эрозионной деградации (табл. 2).

Таблица 2

Характеристика почв по степени эрозионной деградации

Степень эродированности почв (уровень потерь природно-хозяйственной значимости почв)	Крутизна склона	Смыв почвы, т/га	Характеристика пахотного горизонта почв (Ап)			
			запасы гумуса		плотность, кг.м ⁻³	пористость, %
			т/га	%		
Неэродированная и очень слабоэродированные (<i>нулевой</i>)	до 1 ⁰	< 2,0 (уровень ПДС)	50 и выше	1,6 и выше	1,15 ± 0,14	56
Слабоэродированные (<i>слабый</i>)	1–3 ⁰	2,1–5,0	35–45	1,3 ± 0,04	1,32 ± 0,09	50
Среднеэродированные (<i>средний</i>)	3–5 ⁰	5,1–10,0	20–30	1,0 ± 0,03	1,43 ± 0,08	44
Сильноэродированные (<i>высокий</i>)	5–7	10,1–20,0	10–15	0,7 ± 0,02	1,51 ± 0,11	40
Очень сильноэродированные (<i>катастрофический</i>)	более 7 ⁰	>20,0	< 10	0,5 ± 0,02	1,57 ± 0,09	30

Основными критериями при установлении степени эрозионной деградации являются характеристика пахотного горизонта (профильная деградация), запасы и содержание гумуса (химическая деградация), плотность и пористость (физическая деградация). Определенной степени деградации соответствуют количественные показатели смыва почвы.

Земли, расположенные на склонах с крутизной до 1⁰, – это неэродированные и очень слабоэродированные полнопрофильные почвы (нулевой уровень). Пахотный горизонт этих почв не нарушен. Смыв почвенного мелкозема не превышает 2,0 т/га, что соответствует уровню предельно допустимого смыва для дерново-подзолистых почв Беларуси. Запасы гумуса в пахотных горизонтах этих почв составляют 50 т/га и более. Они характеризуются благоприятными агрофизическими свойствами.

На склонах с крутизной 1–3⁰ в основном располагаются слабоэродированные почвы с величиной потенциального смыва 2,1–5,0 т/га (слабый уровень). Пахотный горизонт (Ап) частично разрушен, к нему припахивается нижележащий подзолистый горизонт (А2). Запасы гумуса по сравнению с неэродированными почвами ниже на 20–30 %, заметно возрастает плотность сложения верхнего горизонта и уменьшается пористость.

К среднеэродированным почвам относятся земли, расположенные на склонах с крутизной 3–5⁰ (средний уровень). Годовой смыв мелкозема составляет 5,1–10,0 т/га. Это ведет к полному разрушению пахотного горизонта и распашке подзолистого и даже верхней части иллювиального горизонта (В). Запасы гумуса уменьшаются в 2,0–2,5 раза по сравнению с полнопрофильными почвами. При этом резко ухудшаются агрофизические свойства.

Земли, расположенные на крутых склонах (5–7⁰), обычно сильно деградированы, пахотный горизонт образован из иллювиального горизонта (высокий уро-

вень). Среднегодовой смыв составляет 10,1–20,0 т/га мелкозема. Запасы гумуса в верхнем слое почвы 10–15 т/га, что в пять раз ниже, чем в почвах первой группы. Плотность сложения составляет 1,50 кг·м³ и более, а общая пористость снижается до 40 % и менее.

Очень сильноэродированные почвы располагаются на склонах с крутизной более 7° и потенциальным смывом более 20,0 т/га в год (катастрофический уровень). Пахотный горизонт их образуется из иллювиального горизонта и подстилающей породы, что ведет к формированию крайне неблагоприятных агрономических свойств почв. Запасы гумуса не превышают 10 т/га.

Для оценки степени деградации почв могут использоваться градации показателей состояния почв, унифицированные по уровням потерь природно-хозяйственной значимости.

Оценка деградации почв по физическим, биологическим и другим показателям приведена в табл. 3.

Таблица 3

Оценочные показатели деградации почв по физическим и другим показателям

Критерии	Степень деградации				
	0*	1	2	3	4
<i>Эрозионная деградация почв</i>					
Увеличение равновесной плотности пахотного слоя почвы, % от исходного**	<10	11–20	21–30	31–40	>40
Потери почвенного мелкозема, т/га в год	<2,0	2,1–5,0	5,1–10,0	10,1–20,0	> 20
Запасы гумуса в эрозионно-опасных почвах, т/га	>55	35–49	20–34	10–19	<10
Содержание гумуса в эрозионно-опасных почвах, %	>1,80	1,30–1,80	1,29–1,00	0,99–0,70	0,69–0,40
Увеличение плотности в зависимости от степени проявления эрозии	1,15±0,14	1,32±0,09	1,43±0,08	1,51±0,11	1,57±0,09
Общая пористость, %	56	50	44	40	30
Уровень депрессии инвертазной активности, %	0	0–10	10,1–32	32,1–50	>50
Уровень депрессии уреазной активности, %	0	0–7	7,1–29	29,1–50	> 50
Внутренняя энергия гумуса в Ап слое 1 м ² , 10 ⁵ ккал	0,27	0,24	0,23	0,13	0,08
Внутренняя энергия прочно-связной воды в Ап слое 1 м ² , 10 ⁵ ккал	1,3	1,3	1,5	2,1	2,6
Внутренняя энергия кристаллической решетки минералов фр. <0,001 мм в Ап слое 1 м ² , 10 ⁵ ккал	9,6	10,4	16,0	22,9	27,3

* 0 – нулевая степень; 1– слабая; 2 – средняя; 3 – сильная; 4 – экстремальная;

** Под исходными понимается состояние недеградированных аналогов.

Критерии	Степень деградации				
	0*	1	2	3	4
Полная внутренняя энергия в Ап слое 1 м ² , 10 ⁵ ккал	134	148	159	225	264
Снижение производительной способности почв от эрозии, % по сравнению с незеродированной	<5	5–15	15–30	30–50	>50
<i>Деградация торфяных почв</i>					
Уменьшение мощности органогенного слоя, см/год	<0,3	0,3–0,8	0,8–2,5	2,5–4,0	>4,0
Уменьшение мощности органогенного слоя, % от исходного	<10	10–30	30–50	50–80	>80
Содержание ОВ в слое 0–20 см, %	>50,0	50,0–30,1	30,0–10,1	10,0–5,0	<5
Зольность в слое 0–20 см, %	<50	50,0–69,9	70,0–89,9	90,0–95	>95
Уровень грунтовых вод, м	0,5–0,8	0,8–1,1	1,1–1,5	1,5–2,0	>2,0
Плотность (0–20 см слоя), г/см ³	<0,5	0,5–0,7	0,7–0,9	0,9–1,3	>1,3
Снижение продуктивности сельскохозяйственных культур, %	0–5	5–25	25–50	50–80	>80
Потери органического вещества торфа, т/га	<10,0	10–35	35–75	75–90	>90
Выброс CO ₂ в атмосферу т/га в год	<5,0	5–15	15–35	35–45	>45

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты выполненных исследований свидетельствуют, что до настоящего времени нет единого мнения при определении понятия «деградация почв». Вместе с тем в него, так или иначе, включаются процессы ухудшения их свойств и снижения производительной способности. Для условий нашей республики приемлемой является концепция изменения элементарных почвенных процессов в сторону ухудшения и связанное с ними снижение производительной способности почв (Крупеников И.А., 2008). На обрабатываемых почвах Беларуси выделяются пять типов их деградации, в каждом из которых присутствуют от четырех до шести видов. Имеющиеся обширные данные в Институте почвоведения и агрохимии, а также литературные источники позволяют для наиболее широко представленных в Беларуси видов деградации, определить количественные показатели деградации, унифицированные по уровням потерь природно-хозяйственной значимости. Это дает возможность в последующем оценить ущерб от деградации почв и разработать организационно-хозяйственные, в том числе и экономические механизмы ее предотвращения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Деградация и охрана почв / под. ред. Г.В. Добровольского. – М.: изд-во МГУ, 2002. – 654 с.
2. Эрозия и охрана почв / М.С.Кузнецов [и др.]. – М.: изд-во МГУ, 2004. – 351 с.
3. *Зайдельман, Ф.Р.* Минеральные и торфяные почвы Полесских ландшафтов / Ф.Р. Зайдельман. – М.: Крассанд, 2013. – 436 с.

4. *Зайдельман, Ф.Р.* Деградация мелиорированных почв России и сопредельных стран в результате изменения их водного режима и способы защиты / Ф.Р. Зайдельман. – Воронеж: Кварта, 2014. – 269 с.
5. *Романова, Т.А.* Устойчивость пахотных почв Беларуси к химическому загрязнению / Т.А. Романова, Н.Н. Ивахненко // Почвоведение – 2003. – № 6. – С. 754–763.
6. *Романова, Т.А.* Устойчивость к естественному и антропогенному воздействию по материалам крупномасштабного картографирования в условиях Беларуси / Т.А. Романова, Н.Н. Ивахненко. – М., 2002. – С. 375–376.
7. Индикаторы эрозионной деградации почв Беларуси / А.Ф.Черныш [и др.] // Почвоведение – продовольственной и экологической безопасности страны: тезисы докладов VII съезда Общества почвоведов им. В.В. Докучаева и Всероссийской с международным участием научной конференции (Белгород, 15–22 августа 2016 г.). / отв. ред. С.А. Шоба, И.Ю. Савин. – Москва–Белгород: Издательский дом «Белгород», 2016. – Ч. I. – 444 с. – С. 138–139.
8. *Крупеников, И.А.* Черноземы. Возникновение, совершенство, трагедии деградации, пути охраны и возрождения / И.А. Крупеников. – Кишинев: Pontos, 2008. – 288 с.
9. *Медведев, В.В.* Агро- и экофизика почв / В.В. Медведев. – Харьков: ООО «Полосатая типография, 2015. – 312 с.
10. *Shafqat, Uzair.* Experimental and modeling approach for soil physical degradation due to different irrigation techniques Pakistan / Uzair Shafqat, Abdul Nasir // Journal of Agricultural Sciences. – 2016. –Vol. 53, № 2. – P. 481–486.
11. *Borrelli, Pasquale.* Wind erosion susceptibility of European soils / Pasquale Borrelli, Cristiano Ballabio // Geoderma. – 2014. – Vol. 232–234. – P. 471–478.
12. *Pulido Moncada, M.* Evaluation of soil physical quality index S for some tropical and temperate medium-textured soils / M. Pulido Moncada, B.C. Ball // Soil Science Society of America Journal. – 2015. – № 79(1) – P. 9–19.
13. Методика определения размеров ущерба от деградации почв и земель. – М.: изд-во Роскомзема, 1994 – 13 с.
14. *Герасимова, М.И.* Деградация почв: методология и возможности картографирования / М.И. Герасимова, Н.А. Караваева, В.О. Торгульян // Почвоведение – 2000. – № 3. – С. 359–365.
15. *Хитров, Н.Б.* Деградация почвы и почвенного покрова: понятия и подходы к получению оценок / Н.Б. Хитров // Антропогенная деградация и меры ее предупреждения. – М., 1998. – Т.1. – С. 20–26.
16. *Карманов, И.И.* Деградация почв: предложения по совершенствованию терминов и определений / И.И. Карманов, Д.С. Булгаков // Антропогенная деградация почвенного покрова и меры ее предупреждения. – М., 1998. – С. 5–6.
17. *Герасимов, И.П.* Элементарные почвенные процессы как основа для генетической диагностики почв / И.П. Герасимов // Почвоведение. – 1973. – № 5. – С. 102–119.
18. *Ковда, В.А.* Роль и функции почвенного покрова в биосфере Земли / В.А. Ковда // Проблемы почвоведения. – М., 1990. – С. 3–9.
19. *Козловский, Ф.И.* Агрогенная эволюция почв степей и ее экологическая интерпретация / Ф.И. Козловский // Известия АН СССР. Серия география – 1987. – № 1. – С. 14–32.

20. Номенклатурный список почв Беларуси (для целей крупномасштабного картографирования) / Н.И. Смеян [и др.] / Ин-т почвоведения и агрохимии, Проектный институт «Белгипрозем». – Минск, 2003. – 43 с.

SOIL DEGRADATION OF AGRICULTURAL LANDS IN BELARUS: THE TYPES AND QUANTITATIVE ASSESSMENT

**A.F. Chernysh, A.M. Ustinova, V.B. Tsyrybko,
A.N. Chervan, I.I. Kas'yanenko**

Summary

The approaches to the definition of soil degradation were analyzed in the article. It was found, that there are five types of degradation of cultivated soils in Belarus, in each of which, there are from four up to six kinds. The authors developed qualitative and quantitative assessment of soil degradation, reflecting the loss levels of their natural and economic values.

Поступила 5.12.16

УДК 631.47

ТИПЫ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ЗЕМЕЛЬ БЕЛОРУССКОЙ ГРЯДЫ КАК ОСНОВА ФОРМИРОВАНИЯ АДАПТИВНО- ЛАНДШАФТНЫХ СИСТЕМ ЗЕМЛЕДЕЛИЯ

А.Ф. Черныш¹, Ю.П. Качков², Е.Е. Давыдик², А.М. Устинова¹

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

*²Белорусский государственный университет,
г. Минск, Беларусь*

ВВЕДЕНИЕ

Понятие «система земледелия», имеющее множество определений и давнюю историю его употребления и применения, в последнее время получило новое, конструктивное и приоритетное определение, а именно как адаптивно-ландшафтная система земледелия, система использования земли определенной агроэкологической группы, ориентированная на производство продукции экономически и экологически обусловленного количества и качества в соответствии с общественными (рыночными) потребностями, природными и производственными ресурсами, обеспечивающая устойчивость агроландшафта и воспроизводство почвенного плодородия [1]. Адаптивно-ландшафтная система земледелия должна прийти на смену безудержному техногенному давлению на природные ресурсы, в том числе и почвенные, в виде интенсивных химизации, мелиорации и механизации, что приводило к необратимой деградации почв, снижению их плодородия и уменьшению сбора валовой продукции растениеводства. В конечном итоге, по мнению

отдельных ученых, в частности, академика Н.И. Моисеева, считавшего, что интенсивное антропогенное воздействие на почвы и в целом на почвенный покров каждые 8 лет возрастает в 2 раза, и приводит к потере почвенных ресурсов как в плане уменьшения сельскохозяйственных площадей, так и за счет резкого снижения качества пахотных почв [2–3].

В настоящее время разработана классификационная схема адаптивно-ландшафтных систем земледелия, которая включает целый ряд положений. Они могут быть охарактеризованы со стороны определения их классификационной принадлежности, исходя из природно-сельскохозяйственного почвенно-экологического районирования, агроэкологической группировки и типизации земель в пределах выделенной провинции (северной, центральной, южной почвенно-экологических провинций).

Адаптивно-ландшафтная система земледелия должна предусматривать основное направление растениеводства (зерновое, кормовое, технические культуры, лугопастбищное), предполагаемый уровень интенсификации (экстенсивная, нормальная, интенсивная, высокоинтенсивная), форму использования земли и воспроизводства плодородия почвы (паровая, плодосменная, мелиорированная, контурно-мелиоративная, гребнегрядовая, органическая) и возможные ограничения [1].

Для разработки и освоения адаптивно-ландшафтных систем земледелия необходима агроэкологическая оценка земель сельхозпредприятий, первичными хозяйственными единицами которых в свою очередь являются рабочие (производственные) участки.

Адаптивно-ландшафтная система земледелия должна разрабатываться применительно к конкретной категории агроландшафта, при этом звенья систем земледелия формируются в пределах агроэкологических типов земель, то есть участков, однородных по условиям возделывания культуры или группы культур с близкими биологическими требованиями.

Для выделения и обоснования подобных формирований необходимо и целесообразно проведение сельскохозяйственной типизации земель, предполагающей соединение в единое целое однородности (или относительной однородности) почвенно-экологических условий и соразмерности хозяйственных единиц пользования. Результаты сельскохозяйственной типизации земель регионов должны стать основой формирования адаптивно-ландшафтных систем земледелия этих регионов.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Объектом исследований были выбраны пахотные почвы Белорусской гряды – главного водораздела республики, протянувшегося через всю ее территорию от западных до восточных границ и, представляющего собой целый ряд конечно-моренных возвышенностей, включающий Гродненскую, Слонимскую, Волковысскую, Новогрудскую, Оршано-Мстиславскую краевые возвышенности, а также Ошмянские и Копыльские краевые гряды. Их отличительными чертами являются преобладание денудационного грядово-холмистого рельефа с выположенными вершинами и глубоким эрозионным расчленением, развитием многочисленных ложбин и сквозных долин, суффозионных западин, оврагов, во многом обусловленных распространением здесь лессовидных пород.

Помимо лессовидных пород распространены, особенно в западной и центральной частях Белорусской гряды, типичные моренные породы (суглинки и супеси), водно-ледниковые супеси и пески, современный аллювий и торф.

Разнообразие ледниковых форм рельефа, почвообразующих и подстилающих пород, их частая смена в горизонтальном и вертикальном направлениях обусловили формирование сложного, контрастного почвенного покрова. Усложнению и увеличению контрастности почвенного покрова во многом способствовало развитие эрозионных процессов, получивших широкое распространение на склонах моренных гряд и холмов, что послужило главным стимулом проведения в этих условиях сельскохозяйственной типизации земель.

В качестве конкретных объектов исследования были выбраны ключевые сельхозпредприятия, расположенные на Новогрудской возвышенности (СПК «Свитязь» Новогрудского района), Минской возвышенности (СПК им. Фрунзе (часть земель агрокомбината «Ждановичи» Дзержинского района), Оршано-Мстиславской возвышенности (РУСП «Вихра» Мстиславского района).

Новогрудская возвышенность, ключевым сельхозпредприятием которой является СПК «Свитязь», характеризуется разнообразием рельефа (крупнохолмистый, грядово-холмистый, холмисто-увалистый, средне-холмисто-увалистый, реже полого-волнистый, мелкохолмисто-увалистый), расчлененного речными долинами (их глубина достигает 70–80 м и более), овражно-балочными формами, денудационными ложбинами, термокарстовыми понижениями и ложбинами стока талых ледниковых вод с густотой расчленения 0,6–0,8 км/км², и большим разнообразием почвообразующих и подстилающих пород.

Все это, естественно, приводит к формированию многокомпонентного почвенного покрова, включающего, например, на территории СПК «Свитязь» 83 почвенные разновидности. В систематическом почвенном списке представлена вся гамма почв по гранулометрическому составу, степени увлажнения, эродированности, включая деградацию осушенных торфяно-болотных почв.

Минская краевая ледниковая возвышенность характеризуется четко выраженной ярусностью рельефа, для каждого яруса свойственны разные формы рельефа [6]. Верхний ярус имеет холмисто-грядовую или холмисто-увалистую поверхность, более пониженный ярус – среднехолмистый и среднеувалистый рельеф. Нижний ярус представлен пологоволнистой и увалистой моренной или водно-ледниковой равниной, ниже которой расположены пойменные террасы рек, днища ложбин стока, которые обусловили сильное и зачастую глубокое расчленение поверхности. Глубина расчленения уменьшается от 50–60 м/км² в юго-западной части до 10–20 м/км² к северу и востоку. Густота расчленения составляет 0,6–0,8 км/км² и более.

СПК им. Фрунзе Дзержинского района, являющийся частью агрокомбината «Ждановичи», расположен на втором ярусе рельефа, в интервале абсолютных высот 220–240 м. Его пологоволнистые и покатоволнистые склоны сложены преимущественно лессовидными суглинками, мощными или подстилаемыми мореной. Это определило более однородный почвенный покров, включающий 51 почвенную разновидность. Увеличение набора почв происходило в основном за счет эрозионных процессов.

Оршанская (Горецко-Мстиславская) возвышенность характеризуется уникальным распространением лессовых ландшафтов, имеющих общеевропейское

значение и пока не взятых под охрану. Ее рельеф разнообразен по возрасту и по генезису, представлен краевыми грядами, обычно в виде цепочек сложенных холмов, между которыми располагаются многочисленные ложбины стока, термокарстовые (суффозионные) западины, узкие и глубокие речные долины. Мощность лессов может достигать 8–10 м и более.

В целом на водоразделе доминирует волнисто-увалистый рельеф. Он отличается относительно высокой степенью горизонтальной расчлененности (0,5–1,0 км/км²), выраженной гидрографической сетью с глубиной вреза от 5 до 25 м и более. Как правило, к ней примыкает овражно-балочная сеть, которая довольно глубоко врезается в водораздельные пространства, расчленяя придолинные и наддолинные склоны на отдельные обрабатываемые пахотные массивы.

Межболотные и межовражные участки часто имеют прямые или выпуклые крутые склоны, которые примыкают к приподнятым водораздельным пространствам, что в совокупности с очень неустойчивыми к действию атмосферных осадков почвообразующими породами, какими являются лессовые и лессовидные суглинки, реже супеси, приводят к интенсивному развитию водно-эрозионных процессов. Им подвержена 46,6 % площади пахотных почв в Мстиславском районе. Вследствие этого значительно увеличивается номенклатурный список почвенных разновидностей – почти 100, как например, в списке почв РУСП «Вихра» Мстиславского района, ключевого сельхозпредприятия самой восточной части Белорусской гряды.

Наиболее яркой деталью рельефа возвышенности является наличие термокарстовых (суффозионных) западин. Они представляют собой неглубокие понижения площадью 0,01–1,5 км, как правило, переувлажненные или заболоченные, бессистемно разбросанные в пределах ландшафта, количество которых в границах сильнорасчлененных мелковолнистых плакоров достигают более 60 на 100 га пашни, средне- и слабодорасчлененных – до 40. Присутствие западин создает своеобразный бугристо-мелкозападинный микрорельеф, который сильно усложняет строение почвенного покрова, усиливает его контрастность и, следовательно, неоднородность, создает неблагоприятные условия для выполнения механизированных сельскохозяйственных работ.

В ключевых хозяйствах Белорусской гряды по единой методике выполнена типизация земель с составлением общей легенды.

Разработке общей легенды предшествовала типизация земель, выполненная в автономном режиме в ряде ключевых сельхозпредприятий всех трех почвенно-экологических провинций (северной, центральной, южной). Критериями выделения типов земель в северной почвенно-экологической провинции были показатели проявления процессов эрозии, гранулометрический состав, а в южной провинции на первый план выходит высотный уровень при относительном однообразии почвообразующих пород, определяющий разное положение уровня грунтовых вод и разную степень увлажнения. Определяющим фактором в пределах Белорусской гряды является эрозия, которая на фоне однородного суглинистого гранулометрического состава (сельхозпредприятие им. Фрунзе, «Вихра») могла дополняться лишь степенью избыточного увлажнения, либо усложняться в случае появления среди лессовидных пород моренных и водно-ледниковых суглинков, супесей и даже песков (сельхозпредприятие «Свитязь»). Очевидна в связи с этим целесообразность и необходимость определения значимости эро-

зионного фактора в формировании того или иного типа земель, а также степени его выраженности.

В типах земель водоразделов определен компонентный состав почвенного покрова, с указанием доли почв разной степени смытости и увлажнения.

В ложбинных, котловинных и пойменных типах земель, кроме того, на уровне подтипа выделялись торфяно-болотные почвы. В подтипах земель, образованных минеральными почвами, определялась их генетическая принадлежность и степень увлажнения. В котловинах, занятых осушенными торфяными почвами, указывалась также доля дегроторфяных, вторичных заболоченных, естественно восстанавливаемых торфяных почв. Степень намытости характеризовалась чаще всего словесно: «преимущественно», «часто», «местами», с указанием степени намытости. В типах земель со смытыми почвами указывались все степени смытости, в связи с чем, в 11-и из 15-и типов земель в самом определении земель присутствовали степень эрозионности, а также указывалась степень переувлажнения почв, в результате чего состав типов земель мог составлять 4–5 компонентов. Степень осушения определялась словесно, например, «преимущественно», «часто».

Типизация сельскохозяйственных земель Белорусской гряды так же, как и определение количественных параметров почвенного покрова, выполнялась по единой методике.

Параметры сложности почвенного покрова по ключевым сельскохозяйственным предприятиям определялись с помощью коэффициентов расчленения, когда учитывалась площадь (S) контура и периметр его сторон. В целом это давало сопоставимые результаты. Шкала контрастности почвенного покрова заимствована из практики проведения кадастрово-оценочных работ [7].

Разработанная российскими исследователями [1–5] схема построения адаптивно-ландшафтной системы земледелия в общем виде приемлема и для территории Беларуси.

Агроэкологическим группам должно отвечать определенное соотношение видов земель, структура пашни, организация территории, система севооборотов, сенокосооборотов, пастбищеоборотов. Группы различаются генетическими особенностями почв, градациями гранулометрического состава, степенью выраженности эрозионных процессов, переувлажнения, позволяющим формировать типы земель в рамках единиц хозяйственного пользования территории.

Согласно представлениям российских ученых [1], типам земель должны соответствовать признаки экологически однородной территории для конкретной культуры или группы культур. В их пределах должны формироваться севообороты, сенокосообороты (они могут быть, например, на переувлажненных пойменных типах земель), пастбищеобороты (на средне- и сильноэрозионных типах земель).

Необходимо отметить, что проблема типизации земель для решения вопросов формирования адаптивно-ландшафтных систем земледелия требует более углубленной и более разносторонней проработки и обоснования.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Ключевые сельскохозяйственные предприятия, расположенные на Белорусской гряде, достаточно точно характеризуют почвенный покров, если судить по площади эродированных почв административных районов, в состав которых они

входят. Так, в Дзержинском районе насчитывается на пашне 16,1 % эродированных почв, с преобладанием слабоэродированных – 10,8 %. В Новогрудском районе эродировано 28,9 % пахотных почв, с явным преобладанием слабоэродированных – 21,7 %. Максимальное количество эродированных почв в республике зафиксировано в Мстиславском районе – 46,6 % пахотных почв, из них 27,9 слабо- и 17,7 % среднеэродированных. Соответственно в РУСП «Вихра» Мстиславского района эродировано подавляющее большинство дерново-подзолистых и дерново-палево-подзолистых почв на пашне – 71,9 %. Они распределены, как показано в таблице 1, следующим образом: слабосмытые – 36,4 %; среднесмытые – 19,3; сильносмытые – 1,3 и с намытым верхом – 15,0 % площади пашни.

Таблица 1

Характеристика эродированных пахотных почв ключевых сельхозпредприятий центральной почвенно-экологической провинции

Почвы	Сельхозпредприятие						
	СПК «Свитязь» Новогрудского района		СПК им. Фрунзе Дзержинского района		РУСП «Вихра» Мстиславского района		
Всего площадь пашни, га	3526,3		3174,7		8046,32		
	га	%	га	%	га	%	
Всего эродированных и дефлированных почв, га	1746,1	49,5	1450,8	45,7	5790,6	71,9	
Эродированные	всего	1205,9	34,2	1450,8	45,7	4582,6	57,0
	слабо	619,6	17,6	1034,9	32,6	2928,2	36,4
	средне	549,0	15,5	387,4	12,2	1550,7	19,3
	сильно	37,3	1,1	28,5	0,9	103,7	1,3
С намытым верхом	всего	331,7	9,4	-	-	1208,0	15,0
	слабо	208,5	5,9	-	-	-	-
Дефлированные	всего	208,5	5,9	-	-	-	-
	слабо	107,2	3,0	-	-	-	-
	средне	96,2	2,7	-	-	-	-
	сильно	5,1	0,1	-	-	-	-

В СПК им. Фрунзе Дзержинского района эрозионным процессам подвержено 45,7 % площади пашни, в том числе слабосмытых почв обнаружено 32,6, среднесмытых – 12,2 и сильносмытых – 0,9 % .

В СПК «Свитязь» Новогрудского района деградировано 49,5 % пашни, в том числе 17,6 % – в слабой степени и 15,5 % – в средней. Если в СПК им. Фрунзе и в особенности в РУСП «Вихра» абсолютно доминируют по гранулометрическому составу суглинистые почвы, то в СПК «Свитязь» также абсолютно преобладают почвы, развивающиеся на лессовидных и моренных супесях, нередко здесь даже песчаные почвы, в связи с чем возможно проявление дефляционных процессов.

Первоначально типизация земель осуществлялась, как и в других провинциях, автономно, применительно к каждому сельхозпредприятию, опираясь прежде всего на эрозионный фактор и его масштабы. Например, среди выделенных в СПК им. Фрунзе 7 типов земель, 4 из них включают в той или иной степени эродированные почвы. При этом в типе 2 пологоволнистых и в типе 3 покатоосклонных земель, образованных мощными лессовидными суглинками, представлены 70–75 %

эродированных почв, с преобладанием во 2-м типе слабоэродированных, в 3-м типе – среднеэродированных.

В СПК «Свитязь» Новогрудского района из выделенных девяти типов земель – 2-й, 3-й и 4-й типы холмисто-волнистых земель, сформированных на лессовидных (2-й тип), моренных (3-й) супесях и моренных и водно-ледниковых песках (4-й тип), подразделяются на подтипы в зависимости от присутствия в их составе: (а) – до 30 %; (б) – более 30 % эродированных почв. В 4-м типе кроме того выделяется подтип (вид) с присутствием до 30 % супесчаных почв.

Широкое развитие эрозионных процессов не нашло отражения в расположении границ существующих рабочих участков. В определенной степени это связано с недостаточным количеством естественных рубежей, благоприятствующих формированию рабочих участков, как это наблюдается на территории СПК им. Фрунзе (агрокомбинат «Ждановичи»). Современные границы рабочих участков в СПК «Свитязь» часто объединяют в единый выдел разные по площади контуры с эродированными, при том в разной степени, с незродированными и даже осушенными почвами. Поэтому контуры типов земель, содержащие эродированные почвы, могут быть «вписаны» в новые границы рабочих участков, которым придается в зависимости от степени эродированности разнообразный характер сельскохозяйственного использования.

Помимо водораздельных типов земель в сельхозпредприятиях, приуроченных в Белорусской гряде, выделяются земли ложбинного типа, которые могут быть либо минеральными, в разной степени переувлажненными (РУСП «Вихра», СПК «Свитязь», и им. Фрунзе), либо торфяным с разной мощностью торфа, частично осушенными и поэтому нередко деградированными. Также обособляются пойменные типы земель, образованные как почвами на супесчаном (СПК «Свитязь») или преимущественно суглинистом аллювии (РУСП «Вихра») и иловато-торфяными разной мощности почвами (СПК «Свитязь» и РУСП «Вихра»). В РУСП «Вихра» иловато-торфяные почвы содержат часто карбонатные горизонты, и при этом на значительных площадях. Как правило, они также перекрыты с поверхности намытым суглинистым чехлом мощностью до 0,3 м. Отдельные площади занимают деградированные почвы овражно-балочного комплекса, к которым можно присоединить нарушенные деформированные (антропогенно перемешанные) варианты и естественно восстанавливаемые карьеры, которые целесообразно объединить в один тип земель (СПК «Свитязь» и в особенности РУСП «Вихра»). Границы типов этих земель устанавливаются по естественным формам рельефа для оврагов или границам почвенных контуров.

Таким образом, с высокой достоверностью можно свидетельствовать о широком распространении эрозионной агроэкологической группы земель.

В дальнейшем была сделана попытка выполнить типизацию сельскохозяйственных земель по единой методике с составлением общей легенды. Особый акцент при этом был сделан на типизацию земель, обработку, анализ и обобщение ее результатов на сельскохозяйственных землях с высоким удельным весом эрозионноопасных и эродированных почв, которые характерны для Белорусской гряды.

Всего было выделено 15 типов сельскохозяйственных земель и 4 подтипа:

1) очень слабоэрозионные плоско-волнистые земли с дерново-палево-подзолистыми легкосуглинистыми почвами на лессовых и лессовидных суглинках,

мощных, подстилаемых моренными суглинками или глубоко песками, с включением до 10 % слабоглееватых, 10 % слабосмытых почв;

2) слабоэрозионные плосковолнистые земли с дерново-палево-подзолистыми и легкосуглинистыми почвами, на лессовых и лессовидных суглинках, мощных, реже подстилаемых моренными суглинками или глубоко песками, с участием до 20 % слабосмытых, 30 % слабоглееватых почв, часто слабонамытые;

3) среднеэрозионные полого-волнистые земли с дерново-палево-подзолистыми легкосуглинистыми почвами на лессовых и лессовидных суглинках, мощных, реже подстилаемых моренными суглинками или глубоко песками, с участием: а) до 35 % слабосмытых, 20 % среднесмытых, 35 % слабоглееватых почв, преимущественно средненамытые; б) до 50 % слабосмытых, 40 % слабоглееватых, с включением до 10 % глееватых почв, преимущественно слабонамытые;

4) сильноэрозионные полого-волнистые и покатосклонные земли с дерново-палево-подзолистыми легкосуглинистыми почвами на лессовых и лессовидных суглинках, преимущественно мощных, с участием до 30–45 % среднесмытых, 20–25 % слабосмытых, 30–35 % слабоглееватых, с включением до 10 % сильносмытых, 10 % глееватых почв, преимущественно средненамытые;

5) среднеэрозионные холмисто-волнистые земли с дерново-палево-подзолистыми супесчаными почвами на связных лессовидных супесях, мощных, подстилаемых моренными суглинками или глубоко песками, с участием до 25 % среднесмытых, 20 % слабосмытых, 25 % слабоглееватых, с включением до 10 % глееватых, 10 % сильносмытых почв, часто слабо- и средненамытые почвы;

6) слабоэрозионные холмисто-волнистые земли с дерново-подзолистыми супесчаными почвами на моренных и водно-ледниковых связных или рыхлых супесях, подстилаемых до 1 м моренными суглинками, с участием до 25 % слабосмытых, 20 % слабоглееватых, с включением до 10 % среднесмытых почв, часто слабонамытые;

7) среднеэрозионные холмисто-волнистые земли с дерново-подзолистыми супесчаными почвами на моренных и водно-ледниковых связных и рыхлых супесях, подстилаемые моренными суглинками, с участием до 25 % слабосмытых, 20 % среднесмытых, 25 % слабоглееватых, с включением до 10 % глееватых, 10 % сильносмытых почв, часто средне- и слабонамытые;

8) слабоэрозионные полого- и плоско-волнистые земли с дерново-подзолистыми супесчаными и песчаными почвами на водно-ледниковых рыхлых супесях и связных песках, сменяемых рыхлыми песками, с участием до 1–20 % слабодефлированных или слабосмытых, 25 % слабоглееватых, с включением до 10 % глееватых почв;

9) слабо- и среднепереувлажненные плосковогнутые земли с дерново-подзолистыми заболоченными суглинистыми почвами на легких лессовых и лессовидных суглинках, мощных, подстилаемых моренными суглинками, с преобладанием 60–70 % слабоглееватых, с включением до 10 % глееватых почв, преимущественно слабо намытые;

10) слабо- и среднепереувлажненные слабоэрозионные плоско-волнистые земли с дерново-подзолистыми заболоченными суглинистыми почвами на легких лессовых и лессовидных суглинках, мощных, подстилаемых моренными суглинками или глубоко песками, с преобладанием до 50-60 % слабоглееватых, с участием 20 % глееватых, 20 % слабосмытых почв, преимущественно средне намытые;

11) переувлажненные и заболоченные ложбинные земли с сильно эродированными бортами ложбин (до 30 %): а) средне- и сильнопереувлажненные с дерново-подзолистыми заболоченными (до 60 %) и дерновыми заболоченными (до 40 %) суглинистыми почвами на легких мощных лессовых суглинках, с преобладанием до 60–70 % глееватых почв, часто осушенные; б) заболоченные с торфяно-болотными почвами низинного типа разной мощности, часто с карбонатными горизонтами, преимущественно осушенные;

12) переувлажненные и заболоченные ложбинные земли: а) средне- и сильнопереувлажненные с дерново-подзолистыми заболоченными (45 %) и дерновыми заболоченными (55 %) супесчаными почвами на моренных и водно-ледниковых супесях, с преобладанием до 50–60 % глееватых почв; б) заболоченные с торфяно-глеевыми почвами низинного типа;

13) заболоченные котловинные земли с торфяно-болотными почвами низинного типа разной мощности, с участием до 50 % дегроторфяных, 20–30 % вторично-заболоченных торфяных, с включением до 10 % нарушенных естественно восстанавливаемых торфяных почв, до 10 % дерново-заболоченных супесчаных почв, преимущественно осушенные;

14) переувлажненные и заболоченные пойменные, часто с сильноэродированными бортами долин (до 30 %) земли: а) средне- и сильнопереувлажненные с пойменными дерновыми заболоченными почвами на преимущественно суглинистом аллювии с преобладанием (до 60 %) глееватых почв; б) заболоченные земли с пойменными иловато-торфяными почвами с преобладанием (до 70 %) иловато-торфяных, среднемощных и мощных, часто карбонатных почв;

15) земли с деградированными почвами овражно-балочного комплекса смытых (сильно – до 40–50 %, средне – 20–30 %) и средненамытых (до 20–30 %) суглинистых и супесчаных почв на лессовых и лессовидных легких суглинках и связных супесях.

Среди сельскохозяйственных типов земель СПК «Свитязь» Новогрудского района на водоразделах наибольшее распространение получил 7-й тип среднеэрозионных холмисто-волнистых земель с дерново-подзолистыми супесчаными почвами на моренных и водно-ледниковых связных или рыхлых супесях, подстилаемых моренными суглинками, с участием до 25 % слабосмытых, 20 % среднесмытых, 25 % слабоглееватых, с включением до 10 % глееватых, до 10 % сильносмытых почв, часто средне- и слабонамытых.

Широко также распространен 6-й тип слабоэрозионных холмисто-волнистых земель с дерново-подзолистыми супесчаными почвами на моренных и водно-ледниковых связных или рыхлых супесях, подстилаемых моренными суглинками, с участием до 25 % слабосмытых, 20 % слабоглееватых, с включением до 10 % среднесмытых почв, часто слабонамытых. Эти 2 типа сельскохозяйственных земель (6-й и 7-й) занимают более 50 % площади сельскохозяйственных земель хозяйства.

Около 13 % площади сельскохозяйственных земель занимает 5-й тип – среднеэрозионных холмисто-волнистых земель с дерново-палево-подзолистыми почвами на связных лессовидных супесях, мощных, подстилаемых моренными суглинками или глубоко – песками, с участием до 25 % среднесмытых, 20 % слабосмытых, 25 % слабоглееватых, с включением до 10 % глееватых, 10 % сильносмытых почв, часто слабо- и средненамытых.

Примерно такие же площади занимает 8-ой тип слабоэрозионных полого- и плоско-волнистых земель с дерново-подзолистыми супесчаными и песчаными почвами на водно-ледниковых рыхлых супесях или связных песках, сменяемых рыхлыми песками, с участием до 15 % слабодэфлированных или слабосмытых, 25 % слабоглееватых, с включением до 10 % глееватых почв, занимающих до 10 % площади сельскохозяйственных земель. Ложбинный тип земель, имеющий более ограниченное распространение (7,6 % площади сельхозземель), представлен в основном 12-м типом земель с дерново-подзолистыми заболоченными (45 %) и дерновыми заболоченными (55 %) супесчаными почвами на моренных и водно-ледниковых супесях с преобладанием до 50–60 % глееватых почв, термокарстовыми понижениями и ложбинами стока талых ледниковых вод. Густота расчленения составляет 0,6–0,8 км/км².

Крайне ограниченную площадь имеет подтип 14б ложбинных земель с торфяно-глеевыми почвами низинного типа, вкрапленный среди минеральных заболоченных почв ложбин – лишь 0,3 %. Котловинный тип земель (13), сформированный торфяно-болотными почвами низинного типа, преимущественно осушенными, разной мощности может почти наполовину состоять из дегроторфяных, до 20–30 % вторично заболоченных и до 10 % нарушенных естественно восстанавливаемых торфяных почв, он занимает 4,5 % площади сельскохозяйственных земель.

Пойменный тип земель так же, как и ложбинный, представлен в основном минеральными почвами. Подтип 14а и 14б составляет 8,5 %, и 05 % соответственно.

Наконец, деградированные почвы овражно-балочного комплекса: смытые (сильно – до 40 %, средне – до 30 %) и средненамытые (до 30 %) суглинистые и связносупесчаные занимают только 0,2 % (15-й тип земель) и, по сути, должны быть выведены из состава сельхозземель.

Наибольшее распространение на территории СПК им. Фрунзе Дзержинского района получил 1-й тип очень слабоэрозионных плоско-волнистых земель с дерново-палево-подзолистыми почвами на лессовидных суглинках, мощных, подстилаемых моренными суглинками или глубоко песками, с участием до 20 % слабоглееватых почв, 10 % слабосмытых почв. Он занимает более половины (53,5 %) площади сельхозземель ключевого хозяйства, формируя достаточно крупные массивы пахотных земель, которые, по сути, относятся к плакорной агроэкологической группе. Исследования последних лет показали, что внутри них может отсутствовать должная детализация почвенного покрова и, следовательно, могут формироваться другие типы земель, обуславливая необходимость соответствующей корректировки. Островки 2-го типа земель, который составляют слабоэрозионные плоско-волнистые земли с дерново-палево-подзолистыми легкосуглинистыми почвами на лессовидных суглинках, мощных, реже подстилаемых моренными суглинками или глубоко – песками.

Во втором типе земель может присутствовать до 20 % слабосмытых почв, но в то же время до 30 % слабоглееватых, занимая в целом 7,7 % площади сельскохозяйственных земель. Более крупными ареалами представлен 3-й тип среднеэродированных полого- и покато-волнистых земель, образованных дерново-палево-подзолистыми легкосуглинистыми почвами на лессовидных суглинках, мощных или реже подстилаемых моренными суглинками или глубоко – песками.

В пределах СПК им. Фрунзе этот тип представлен 2 подтипами. В (3а) количество слабосмытых может достигать 35 %, а среднесмытых – 20 %, но в то же время присутствуют до 35 % слабоглееватых почв. Этот вид (подтип) земель расположен на площади около 20 %.

Вид (подтип) (3б) тех же земель, содержащий до 50 % слабосмытых почв и практически то же количество слабоглееватых (40 %) и глееватых (10 %), занимает 7,9 % площади сельскохозяйственных земель. Оба вида (подтипа) земель тяготеют к пологим и покатым склонам речных долин и ложбин, занимая в то же время и вогнутые склоны.

Имеющие крайне ограниченное распространение (всего 50 га на пашне) на территории ключевого хозяйства супесчаные почвы, мощные или подстилаемые суглинками, приуроченные к перегибам крутых склонов, включены в типы земель, к которым они примыкают или вкраплены в общий фон.

Ведущее положение в составе типов земель сельхозпредприятия РУСП «Вихра» Мстиславского района занимают земли 3-го типа среднеэрозионных полого-волнистых и увалисто-волнистых с дерново-палево-подзолистыми легкосуглинистыми почвами на лессовых и лессовидных суглинках, мощных, реже подстилаемых моренными суглинками или глубоко – песками, разделяющиеся в зависимости от соотношения компонентов на подтипы: 3а – с содержанием 35 % слабосмытых, 20 % среднесмытых, 35 % слабоглееватых, преимущественно средненамытых, и 3б – до 50 % слабосмытых, 40 % слабоглееватых, с включением 10 % глееватых, преимущественно слабонамытых, а также 4-й тип сильноэродированных полого-волнистых и покато-склоновые земель с дерново-палево-подзолистыми легкосуглинистыми почвами на лессовых и лессовидных суглинках, преимущественно мощных, с участием до 30–45 % среднесмытых, 20–25 % слабосмытых, 30–35 % слабоглееватых, с включением до 10 % сильносмытых, 10 % глееватых почв, преимущественно средненамытых. Они составляют соответственно 32,3 %, 16,7 % и 16,8 % площади сельскохозяйственных земель, занимая в основном водораздельные пространства и соединяющие их склоны. Более ограниченную площадь (5,1 %) занимает 2-й тип слабоэродированных плоско-волнистых земель с дерново-палево-подзолистыми легкосуглинистыми почвами на лессовых и лессовидных суглинках, мощных, реже подстилаемых моренными суглинками или глубоко песками, с участием до 20 % слабосмытых, 30 % слабоглееватых почв, часто слабонамытых. Замыкает ряд автоморфных типов земель 1-й тип плакорных очень слабоэрозионных плоско-волнистых земель с дерново-палево-подзолистыми легкосуглинистыми почвами на лессовых и лессовидных суглинках, мощных, подстилаемых моренными суглинками или глубоко – песками, с включением до 10 % слабоглееватых и 10 % слабосмытых почв.

Общая черта обоих типов земель – расположение на водоразделах, где они занимают примерно одинаковые площади. К ложбинам приурочен 11-й тип земель с сильноэродированными бортами, представленный подтипом 11а (средне- и сильнопереувлажненных земель с дерново-подзолистыми заболоченными (60 %) и дерновыми заболоченными (40 %) суглинистыми почвами на легких мощных лессовых суглинках, с преобладанием до 60–70 % глееватых почв, часто осушенных) и 11б (заболоченных земель с торфяно-болотными, преимущественно мало- и среднемощными почвами низинного типа), расположенными соответственно на 1,7 и 3,1 % площади сельскохозяйственных земель. Аналогично подразделяется

14-й пойменный тип земель, часто с сильно эродированными бортами долин: вид подтип 14а (средне- и сильнопереувлажненных земель с пойменными дерновыми заболоченными почвами на преимущественно суглинистом аллювии, с преобладанием (до 60 %) глееватых почв) и 14б (заболоченных земель с пойменными среднemosными и мощными, преимущественно карбонатными иловато-торфяными почвами), занимающими соответственно 4,6 и 3,9 % площади сельскохозяйственных земель.

К долине р. Вихра примыкают два типа земель с супесчаными почвами: 6-й тип слабоэрозионных холмисто-волнистых с дерново-подзолистыми супесчаными почвами на моренных и водно-ледниковых связных или рыхлых супесях, подстилаемых моренными суглинками, с участием до 25 % слабосмытых, 20 % слабоглееватых, с включением до 10 % среднесмытых, часто слабонамытых почв, и 7-й тип среднеэрозионных холмисто-увалисто-волнистых земель с дерново-подзолистыми супесчаными почвами на моренных и водно-ледниковых связных и рыхлых супесях, подстилаемых моренными суглинками или глубоко – песками, с участием до 25 % слабосмытых, 20 % среднесмытых, 20 % слабоглееватых, с включением до 10 % сильносмытых, 10 % глееватых почв. Площадь их распространения невелика – 2,1 и 2,0 % площади сельскохозяйственных земель.

В составе 15-го типа земель овражно-балочного комплекса присутствует до 50 % сильносмытых, 20 % среднесмытых и 30 % средненамытых почв легкосуглинистого и связносупесчаного гранулометрического состава, имеющих крайне ограниченное распространение.

В таблице 2 приводятся количественные характеристики неоднородности почвенного покрова ключевых сельхозпредприятий Белорусской гряды. Наиболее высокие значения неоднородности почвенного покрова свойственны типам земель, приуроченных чаще всего к отрицательным формам рельефа – ложбинам, котловинам, поймам. В значительной степени это обусловлено различиями почв в их генетической принадлежности, например, ряд дерново-подзолистых заболоченных, дерновых заболоченных, торфяно-болотных почв.

Таблица 2

Количественные характеристики неоднородности почвенного покрова ключевых сельхозпредприятий, расположенных на Белорусской гряде

Тип земель	Коэффициент неоднородности		
	СПК «Свитязь» Новогрудского района	СПК им. Фрунзе Дзержинского района	РУСП «Вихра» Мстиславского района
1	–	1,1	1,0
2	–	1,4	2,3
3а	–	2,4	3,4
3б	–	3,3	2,2
4	–	–	2,8
5	2,3	–	–
6	3,5	2,3	2,1
7	2,4	–	3,1
8	2,5	–	–
9	–	2,5	4,0
10	–	–	2,5

Тип земель	Коэффициент неоднородности		
	СПК «Свитязь» Новогрудского района	СПК им. Фрунзе Дзержинского района	РУСП «Вихра» Мстиславского района
11а	–	–	2,6
11б	–	–	3,1
12а	3,5	–	4,5
12б	6,3	–	6,9
13	2,2	–	–
14а	3,2	1,2	5,6
14б	4,3	–	5,5
15	4,2	–	4,8

Существующая на водоразделе пестрота почвенного покрова, в основном связана с действием эрозионных процессов на фоне однородного литологического состава (преимущественно лессовидные породы и даже лессы) в рамках единого почвенного типа, определяя менее выраженную контрастность почвенного покрова и, следовательно, меньшие показатели неоднородности.

Обнаруживаемые различия показателей неоднородности почвенного покрова в одних и тех же типах земель, но расположенных в разных регионах, можно объяснить, вероятно, разной долей одних и тех же компонентов в составе почвенного покрова этих регионов.

ВЫВОДЫ

1. Белорусская гряда – главный водораздел республики, характеризуется денудационным холмисто-рядовым рельефом с выположенными вершинами и широким развитием эрозионных процессов, обусловленных помимо рельефа преобладанием в составе почвенного покрова лессовидных и лессовых суглинков. Количество эродированных почв на пашне в ключевых сельхозпредприятиях, расположенных на Новогрудской, Минской и Оршано-Мстиславской возвышенностях, колеблется от 45 до 72 %.

2. Главным критерием типизации почвенного покрова на фоне однородного гранулометрического состава (суглинистого, реже супесчаного) состава явилось проявление эрозии, благодаря чему сформировалась преобладающая по площади эрозионная агроэкологическая группа земель. Входящие в ее состав 10 типов сельскохозяйственных земель (из общего числа 15) различаются долей эродированных почв и разной степенью выраженности эрозионных процессов, обуславливающие в совокупности целесообразность и необходимость дифференцированного применения почвозащитных мероприятий [8].

3. Наряду с эрозионной агроэкологической группой земель в агроландшафтах с денудированным рядово-холмистым рельефом со сползающими вершинами и глубоким эрозионным расчленением неизбежно должны присутствовать переувлажненные агроэкологические группы земель, также различающиеся долей избыточно увлажненной земли и степенью выраженности переувлажнения, обуславливая, в свою очередь, необходимость соответствующего набора мелиоративных мер.

4. Сочетание эрозионной и переувлажненной (при ограниченном присутствии плакорной) агроэкологической групп земель обуславливает специфичность и индивидуальность разработки и внедрения на основе сельскохозяйственной типизации адаптивно-ландшафтной системы в общую систему земледелия, практикуемую на сельскохозяйственных землях Белорусской гряды.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Агроэкологическая оценка земель, проектирование адаптивно-ландшафтных систем земледелия и агротехнологий: метод. руководство; под ред. В.И. Кирюшина и А.Л. Иванова. – М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2005. – 783 с.
2. *Моисеев, Н.Н.* Алгоритмы развития / Н.Н. Моисеев. – М.: Наука, 1987. – 304 с.
3. Методическое пособие и нормативные материалы для разработки адаптивно-ландшафтных систем земледелия / А.Н. Каштанов [и др.]; под ред. А.Н. Каштанова. – Тверь: РСАН, 2001. – 260 с.
4. Карманов, И.И. Методика и технология почвенно-экологической оценки и бонитировки почв для сельскохозяйственных культур / И.И. Карманов. – М., ВАСХНИ, 1990. – 114 с.
5. *Булгаков, Д.С.* Агроэкологическая оценка пахотных почв / Д.С. Булгаков. – М.: Почв. ин-т им. В.В. Докучаева, 2002. – 252 с.
6. *Матвеев, А.В.* Рельеф Белоруссии / А.В. Матвеев, Б.Н. Гурский, Р.И. Левицкая. – Минск; Университетское, 1988. – С. 316.
7. ТКП 302-2011. Кадастровая оценка сельскохозяйственных земель сельскохозяйственных организаций и крестьянских (фермерских) хозяйств. Содержание и технология работ: – Введ. 01.05.2011. – Минск: БелНИЦзем, 2011. – 137 с.
8. Проектирование противоэрозионных комплексов и использование эрозионноопасных земель в разных ландшафтных зонах Беларуси: рекомендации / А.Ф. Черныш [и др.]; под общ. ред. А.Ф. Черныша. – Минск, 2005. – 52 с.

TYPES OF AGRICULTURAL LANDS OF THE BELARUSIAN RIDGE AS THE BASIS FOR THE FORMATION OF ADAPTIVE-LANDSCAPE FARMING SYSTEMS

A.F. Chernysh, Yu.P. Kachkov, E.E. Davidik, A.M. Ustinova

Summary

The authors of the article the identified the methodological approaches to land typification illustrated by an example of specific land users with a high proportion of eroded arable soils of the Central soil and ecological province (Belarusian ridge). In the process of its implementation there were allocated 15 types of agricultural lands, given their detailed characteristic with the determination of quantitative indicators of heterogeneity of soil cover.

Поступила 1.12.16

ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ ПАСПОРТ ПОЧВЫ И БАЗА ДАННЫХ КАК ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ОСОБОЙ ОХРАНЫ ЕСТЕСТВЕННЫХ ПОЧВ БЕЛАРУСИ

**О.В. Матыченкова, Г.С. Цытрон, С.В. Шульгина,
Т.Н. Азаренок, Д.В. Матыченков**

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

ВВЕДЕНИЕ

Почва – продукт биосферы и одновременно неперемное условие ее нормального функционирования; она выполняет общепланетарную роль, связанную с тем, что является субстратом и трофическим фундаментом-блоком минерального и водного питания экосистем, передаточным и трансформирующим механизмом в обмене веществом и энергией. В почве отмечается максимальная плотность жизни: в почвенном профиле травянистых экосистем сосредоточено 80–90 % всей биомассы, а в почвенном гумусе «законсервировано» столько же органического вещества, сколько его содержится во всей биомассе планеты [1–4]. Необходимость акцентировать внимание на общепланетарных функциях почв представляется весьма важной задачей, так как они чаще всего играют роль природного возобновляемого ресурса и предмета труда в земледелии – основного средства сельскохозяйственного производства. И в целях повышения эффективного экономического плодородия усиливаются различного рода антропогенные воздействия, которые не всегда являются экологически оправданными. Это негативно отражается на почвах: способствует ускорению развития эрозионных процессов, темпов потерь органического вещества, биофильных элементов и др.

Территория Беларуси в силу естественно-исторических факторов почвообразования характеризуется достаточной пестротой почвенного покрова. Согласно «Классификации...», 2007» [5] он представлен 53 типами почв, из них 18 – естественные, а это значит, что более 65 % всего разнообразия компонентного состава почвенного покрова территории нашей республики представлено в разной степени измененными хозяйственной деятельностью человека почвами: от агроестественных, в которых еще сохранились диагностические горизонты целинных аналогов, до антропогенно-преобразованных, представляющих собой новые почвенные объекты, утратившие классификационно-генетические признаки исходных почв. Почвенный покров нашей республики преобразован настолько, что проблема его охраны, как незаменимого компонента биосферы, не только назрела, а стала уже весьма очевидной. А ведь формирование почвы происходит на протяжении столетий. И поэтому необходимо сохранить естественные почвы – «почвенные эталоны», которые помогут всесторонне изучить и сохранить разнообразие наших природных комплексов.

В 2014–2016 гг. при проведении исследований по данной тематике в рамках договора с БРФФИ (Б14-023) нами было установлено, что именно естественные

и не измененные человеком почвы (являющиеся главным объектом охраны) наиболее успешно выполняют незаменимые для биосферы экологические функции, а практическое решение вопросов их охраны должно опираться на систематизированные данные об охраняемой почве.

Исследования по сохранению почвенного покрова проводятся также и в других странах. Так уже создана «Красная книга почв России» [6], и продолжаются работы по созданию региональных красных книг [7–10], основной упор в которых сделан на сохранение целинных «эталонов» почв, располагающихся в пределах существующих особо охраняемых природных территорий (ООПТ). Проведение подобных работ основывается на точных сведениях о почвенном покрове ООПТ, а также на точном анализе информации о свойствах и составах охраняемых почвенных объектов.

Поэтому целью наших исследований является разработка структуры электронной базы данных эталонов экологически значимых почв и создание «экологического паспорта почвы» – документа, содержащего в себе идентификационные сведения о конкретном почвенном объекте, нуждающемся в особой охране.

Это только начало большой работы, и надеемся, эти исследования станут «кирпичиком» при разработке проекта «Красной книги почв Беларуси» и охраны почв на государственном уровне. Создание Красной книги почв во всех аспектах имеет очень важное экологическое, экономическое и просветительское значение.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Объектом исследования послужил почвенный покров ландшафтного заказника республиканского значения «Озеры», расположенный в Гродненском и Щучинском районах Гродненской области. Заказник был образован в 1990 г. и затем преобразован в 2007 и 2016 гг. с целью сохранения в естественном состоянии лесо-озерных экологических систем и уникальных природно-ландшафтных комплексов, где произрастают дикорастущие растения, относящиеся к видам, включенным в Красную книгу Республики Беларусь. Площадь заказника составляет 23,9 тыс. га [11].

Основными методами исследований явился сравнительно-почвенно-географический и картографический. Создание цифровых почвенных карт на объекты исследований выполнено согласно «Методике формирования..., 2008» [12], а подсчет площадей почвенных контуров выполнен с помощью программы ArcGis. Легенда почвенной карты приведена в соответствии с ныне действующим в почвенном картографировании «Примерным номенклатурным списком почв Беларуси» [13].

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Основопологающей теоретической предпосылкой охраны почв как компонента биосферы является учение В.В. Докучаева о почве, как особом естественно-историческом теле, что предопределяет сохранение ценных эталонных почвенных таксонов, отличающихся повышенной информационной и экологи-

ческой значимостью, в которых в наиболее развернутом виде реализуются и развиваются почвообразовательные процессы. Разработка теории эталонов почв была начата В.В. Докучаевым в процессе создания труда «Русский чернозем» [14], где им доказано, что наиболее полное познание почв возможно только при условии изучения их на нетронутых человеком целинных участках, сохранивших первобытные свойства чернозема. Ведь и после окультуривания почвы продолжают оставаться под воздействием факторов почвообразования. И знание того, какие изменения происходят в почвенном покрове вследствие хозяйственной деятельности человека, а какие обусловлены природой, поможет в выработке оптимальных систем земледелия, не даст развиваться процессам деградации.

Для выделения эталонов почв необходимо использовать следующие критерии:

- соответствие морфологического строения, состава и свойств почвы классификационной таксономической единице;
- характерная и наиболее представительная почва, отражающая особенности почвообразования того региона, где она выделена;
- отсутствие процессов и явных признаков вторичного изменения почв;
- устойчивое состояние экосистемы без изменения факторов почвообразования и химического загрязнения территории;
- наличие коренного типа растительности.

Соблюдение вышеперечисленных условий позволит установить в компонентном составе почвенного покрова ООПТ те разновидности – «эталонные» почв, которые необходимо сохранить в первую очередь.

Систематизация данных об охраняемых почвах является основой создания экологического паспорта почвы – документа, в котором указана вся идентификационная информация о конкретном значимом почвенном объекте, нуждающемся в особой охране. Также в нем присутствует информация о площадном распространении охраняемой почвы, картографическое изображение территории, где расположен объект, морфологическое описание почвенного профиля, его фотография или схематическое изображение, виды антропогенных воздействий, ведущие к исчезновению почвы, рекомендуемые виды охраны.

Экологический паспорт почвы может стать аналогом очерка для объектов животного и растительного мира, редких и находящихся под угрозой исчезновения. Эти описания включены в Красную книгу Республики Беларусь (животные и растения) и являются законодательной основой их охраны, служат целям экологического просвещения и имеют стандартные правила составления описания и иллюстративные материалы.

Для заполнения полей паспорта нами разработана структура электронной базы данных (табл. 1–3), которая содержит развернутую информацию по каждому охраняемому почвенному объекту. Она отражает пестроту почвенного покрова республики, его особенности и специфические черты, обусловленные, в первую очередь, генезисом и гранулометрическим составом почвообразующих и подстилающих пород, степенью увлажнения (от автоморфных, слабogleеватых, gleеватых и gleевых до гидроморфных) и его мелиоративным состоянием (естественные, осушенные).

Таблица 1

Поля электронной базы данных экологического паспорта охраняемой почвы

№ поля	Поле базы данных	Описание	Тип данных
1.	ID	Идентификатор	числовой
2.	Oblast	Область	текстовый
3.	Region	Район	текстовый
4.	OOPT	Название особо охраняемой природной территории	текстовый
5.	S_SA	Площадь почвенного ареала	числовой
6.	GEO_date	Рельеф, растительность	текстовый
7.	N_Profile	Номер разреза	числовой
8.	Date	Дата закладки разреза	дата
9.	Longitude	Долгота	координаты
10.	Latitude	Широта	координаты
11.	Soil_Kod_2003	Название почвы согласно существующему номенклатурному списку почв	текстовый
12.	Soil_Klass_2007	Классификационное положение почвы согласно новой национальной классификации (2007 г.)	текстовый
13.	Soil_WRB_2006	Классификационное положение почвы в WRB (2006 г.)	текстовый
14.	Photo_file	фотография разреза	ссылка
15.	Card_file	Полевое описание почвенного разреза	текстовый
16.	ParentRock_Genesis	Почвообразующая порода (<i>генезис и гранулометрический состав</i>)	текстовый
17.	ParentRock_thickness	Мощность почвообразующей породы (<i>до 0,5 м, 0,5–1,0 м, > 1,0 м</i>)	текстовый
18.	Underlying_Genesis	Подстилающая порода (<i>генезис и гранулометрический состав</i>)	текстовый
19.	Moistening	Водное питание (<i>атмосферное, грунтовое, смешанное</i>)	текстовый
20.	Humidification	Характер увлажнения (<i>естественные, осушенные</i>)	текстовый
21.	D_W	Степень увлажнения (<i>автоморфные, оглеенные внизу, оглеенные на контакте, слабоглееватые, глееватые, глеевые, гидроморфные</i>)	текстовый
22.	GWL	Уровень грунтовых вод (<i>м</i>)	числовой
23.	ANTROP_INFL	Вид антропогенного воздействия	текстовый
24.	View_protection	Вид охраны	текстовый

Поля электронной базы данных по почвенным горизонтам

№ поля	Поле базы данных	Описание	Тип данных
1.	ID_profile	Номер разреза	числовой
2.	Horizon_N	Порядковый номер горизонта от поверхности	числовой
3.	Horizon_name_new	Наименование горизонта согласно новой классификации	текстовый
4.	Horizon_index_new	Обозначение горизонта согласно новой классификации	текстовый
5.	Horizon_Probe	Глубина взятия образца, см	числовой
6.	Upper_boundary	Верхняя граница (<i>глубина, см</i>)	числовой
7.	Lower_boundary	Нижняя граница (<i>глубина, см</i>)	числовой
8.	Horizon_thickness	Мощность горизонта (<i>см</i>)	числовой
9.	Color_field	Цвет визуально (<i>полевое определение</i>)	текстовый
10.	Color_dry	Цвет визуально (<i>сухой</i>)	текстовый
11.	Color_properties	Характер окраски (<i>однородная, неоднородная</i>)	текстовый
12.	Spot	Наличие пятен (<i><2 % от площади горизонта, 2–20 % от площади горизонта, >20 % от площади горизонта</i>)	текстовый
13.	Spot_color	Цвет пятен	текстовый
14.	Color_Munsell_field	Цвет по Манселлу(<i>полевое определение</i>)	текстовый
15.	Color_Munsell_dr	Цвет по Манселлу(<i>сухой</i>)	текстовый
16.	Roots	Наличие корней (<i>1–2, 3–5, 5–7, >7 шт.</i>)	текстовый
17.	Roots_size	Размер корней (<i>тонкие – <5 мм в диаметре, большие – >5 мм в диаметре</i>)	текстовый
18.	Pores	Наличие пор (<i>единичные, мало, много</i>)	текстовый
19.	Neoformation	Наличие новообразований (<i>единичные, мало, много</i>)	текстовый
20.	Neoform_type	Тип новообразований (<i>налеты, конкреции, прослойки</i>)	текстовый
21.	Includes	Наличие включений (<i>единичные – <5 %, мало – 5–15 %, много – 15–40 %, обильно – 40–80 %, доминирующие – >80 %</i>)	текстовый
22.	Includes_type	Тип включений (<i>метоморфы, антропоморфы, биоморфы</i>)	текстовый
23.	Includes_size	Размер включений	числовой
24.	Transition	Характер перехода (<i>резкий, ясный, заметный, постепенный</i>)	текстовый
25.	Boundary_shape	Форма границ (<i>ровная, волнистая, языковатая, затечная, размытая</i>)	текстовый
26.	Gran_1	Гранулометрический состав (<i>в %, 3–1 мм</i>)	числовой
27.	Gran_2	Гранулометрический состав (<i>в %, 1–0,5 мм</i>)	числовой
28.	Gran_3	Гранулометрический состав (<i>в %, 0,5–0,25 мм</i>)	числовой

ПОЧВЕННЫЕ РЕСУРСЫ И ИХ РАЦИОНАЛЬНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ

Продолжение табл. 2

№ поля	Поле базы данных	Описание	Тип данных
29.	Gran_4	Гранулометрический состав (<i>v</i> %, 0,25–0,05 мм)	числовой
30.	Gran_5	Гранулометрический состав (<i>v</i> %, 0,05–0,01 мм)	числовой
31.	Gran_6	Гранулометрический состав (<i>v</i> %, 0,01–0,005 мм)	числовой
32.	Gran_7	Гранулометрический состав (<i>v</i> %, 0,005–0,001 мм)	числовой
33.	Silt	Содержание ила (%)	числовой
34.	Clay	Содержание физической глины (%)	числовой
35.	Peat_botanic	Ботанический состав для торфяных почв	текстовый
36.	Peat_decomp	Степень разложения торфа	текстовый
37.	Structure	Структура	текстовый
38.	Structure_element	Размер структурных элементов	текстовый
39.	Moisture	Влажность (%)	числовой
40.	Density	Плотность почвы ($Mг·м^{-3}$)	числовой
41.	Density_solid	Плотность твердой фазы ($Mг·м^{-3}$)	числовой
42.	HCl_reaction	Глубина вскипания от HCl (см)	числовой
43.	HCl_intensive	Интенсивность вскипания от HCl (не вскипает, слабо вскипает, средне вскипает, сильно вскипает)	текстовый
44.	pH_KCl	pH солевой	числовой
45.	Ash	Зольность (%)	числовой
46.	Organic	Содержание органического вещества (%)	числовой
47.	Common_humus	Содержание общего гумуса (%)	числовой
48.	Humin_F1	Содержание фракции 1 гуминовых кислот	числовой
49.	Humin_F2	Содержание фракции 2 гуминовых кислот	числовой
50.	Humin_F3	Содержание фракции 3 гуминовых кислот	числовой
51.	Fulvate_F1a	Содержание фракции 1а фульвокислот	числовой
52.	Fulvate_F1	Содержание фракции 1 фульвокислот	числовой
53.	Fulvate_F2	Содержание фракции 2 фульвокислот	числовой
54.	Fulvate_F3	Содержание фракции 3 фульвокислот	числовой
55.	H/F_ratio	Соотношение $C_{гк}/C_{фк}$	числовой
56.	Common_nitro	Содержание общего азота	числовой
57.	C_organic	Содержание органического углерода (%)	числовой
58.	Hydrolytic_acidity	Гидролитическая кислотность ($смоль^{(+)}·кг^{-1}$)	числовой
59.	EC	Емкость поглощения ($смоль^{(+)}·кг^{-1}$)	числовой
60.	CEC	Емкость катионного обмена [ЕКО] ($смоль^{(+)}·кг^{-1}$)	числовой
61.	SBE	Сумма поглощенных оснований ($смоль^{(+)}·кг^{-1}$)	числовой
62.	BSD	Степень насыщенности основаниями (%)	числовой
63.	P ₂ O ₅	Содержание подвижного фосфора (P ₂ O ₅) (мг/кг)	числовой
64.	K ₂ O	Содержание подвижного калия (K ₂ O) (мг/кг)	числовой
65.	B	Содержание бора (мг/кг)	числовой

№ поля	Поле базы данных	Описание	Тип данных
66.	Zn	Содержание цинка (мг/кг)	числовой
67.	Cu	Содержание меди (мг/кг)	числовой
68.	Smektit_soil	Минералогический состав почвы (содержание смектита) (%)	числовой
69.	Vermiculite_soil	Минералогический состав почвы (содержание вермикулита) (%)	числовой
70.	Hydromica_soil	Минералогический состав почвы (содержание гидрослюды) (%)	числовой
71.	Kaolin_soil	Минералогический состав почвы (содержание каолинита) (%)	числовой
72.	Peach_soil	Минералогический состав почвы (содержание хлорита) (%)	числовой
73.	Smektit_silt	Минералогический состав ила (содержание смектита) (%)	числовой
74.	Vermiculite_silt	Минералогический состав ила (содержание вермикулита) (%)	числовой
75.	Hydromica_silt	Минералогический состав ила (содержание гидрослюды) (%)	числовой
76.	Kaolin_silt	Минералогический состав ила (содержание каолинита) (%)	числовой
77.	Peach_silt	Минералогический состав ила (содержание хлорита) (%)	числовой
78.	Si_total	Валовой химический состав почвы (содержание SiO ₂) (%)	числовой
79.	Fe_total	Валовой химический состав почвы (содержание Fe ₂ O ₃) (%)	числовой
80.	Al_total	Валовой химический состав почвы (содержание Al ₂ O ₃) (%)	числовой
81.	P_total	Валовой химический состав почвы (содержание P ₂ O ₅) (%)	числовой
82.	K_total	Валовой химический состав почвы (содержание K ₂ O) (%)	числовой
83.	Ca_total	Валовой химический состав почвы (содержание CaO) (%)	числовой
84.	Mg_total	Валовой химический состав почвы (содержание MgO) (%)	числовой

Кроме общих характеристик имеется также блок данных, которые детально характеризуют почвенный профиль охраняемой почвы:

- порядковый номер горизонта от поверхности, номенклатура и индексировка горизонта согласно классификации 2007 г.;
- морфологические характеристики (верхняя и нижняя границы горизонта, его мощность, цвет во влажном и сухом состоянии визуально и по шкале Манселла, характер окраски и наличие пятен, наличие и размер корней, пор,

наличие новообразований, включений и их тип, характер перехода и форма границ);

- гранулометрический состав (содержание ила и физической глины);
- физические свойства горизонта (структура, размер структурных элементов, влажность, плотность сложения, плотность твердой фазы);
- для торфяных горизонтов – степень разложения торфа и его ботанический состав;
- физико-химические и химические показатели (глубина и интенсивность вскипания от HCl, pH солевой вытяжки, зольность, содержание органического вещества и общего гумуса, тип гумуса, содержание общего углерода и азота, гидролитическая кислотность, емкость катионного обмена, сумма поглощенных оснований, степень насыщенности основаниями, содержание подвижных фосфора, калия);
- минералогический состав почвы и илистой фракции, валовой химический состав почвы.

Третий блок электронной базы данных – название методики или номер ГОСТ, по которым проводилось определение тех или иных показателей (табл. 3). Включение данных полей необходимо, это позволит проводить сравнение разновременных данных, с учетом изменения методик проведения аналитических исследований, которые со временем совершенствуются.

Таблица 3

Поля электронной базы данных по методам определения показателей свойств и составов почвенных горизонтов

№ поля	Поле базы данных	Описание	Тип данных
1.	M_Gran	Метод определения гранулометрического состава <i>ГОСТ 12536-79</i>	текстовый
2.	M_Mineral	Метод определения минералогического состава	текстовый
3.	M_total	Метод определения валового химического состава	текстовый
4.	M_pH	Метод определения pH_KCl <i>ГОСТ 26483-85</i>	текстовый
5.	M_Organic	Метод определения содержания органического вещества <i>ГОСТ 26213-91</i>	текстовый
6.	M_Common_humus	Метод определения содержания общего гумуса <i>ГОСТ 26213-91</i>	текстовый
7.	M_H/F	Метод определения группового и фракционного состава гумуса (<i>метод Тюрина в модификации Пономаревой-Плотниковой</i>)	текстовый
8.	M_Common_nitro	Метод определения содержания общего азота <i>ГОСТ 26951-86</i>	текстовый
9.	M_C_organic	Метод определения содержания органического углерода <i>ГОСТ 26213-91</i>	текстовый
10.	M_Hydrolytic	Метод определения гидролитической кислотности <i>ГОСТ 26212-91</i>	текстовый
11.	M_EC	Метод определения емкости поглощения	текстовый
12.	M_CEC	Метод определения емкости катионного обмена	текстовый

№ поля	Поле базы данных	Описание	Тип данных
13.	M_SBE	Метод определения суммы поглощенных оснований (<i>метод Каппена-Гильковица</i>)	текстовый
14.	M_BSD	Метод определения степени насыщенности основаниями (<i>расчетный</i>)	текстовый
15.	M_P2O5	Метод определения содержания подвижного фосфора <i>ГОСТ 26207-91</i>	текстовый
16.	M_K2O	Метод определения содержания подвижного калия <i>ГОСТ 26207-91</i>	текстовый
17.	M_B	Метод определения содержания бора <i>ОСТ 10150-88</i>	текстовый
18.	M_Zn	Метод определения содержания цинка <i>ОСТ 0147-88</i>	текстовый
19.	M_Cu	Метод определения содержания меди <i>ОСТ 0147-88</i>	текстовый

На примере ландшафтного заказника «Озеры» нами проведено изучение компонентного состава почвенного покрова земель заказника и составлен экологический паспорт почвенного объекта, подлежащего первоочередной охране.

Территория заказника равнинная, слегка всхолмленная, встречаются небольшие прерывистые моренные гряды, камовые холмы, редкие озовые гряды, континентальные дюны, заторфованные западины и котловины озер. Поверхность сложена песчаными отложениями времени деградации Поозерского ледника (песками, песчано-гравийными, гравийно-галечными породами), а также эоловыми песчаными отложениями, из которых формируются континентальные, приозерные и долинно-речные дюнные комплексы.

По геоморфологическому районированию относится к области Белорусского Поозерья, району Озерской низменности.

Анализ легенды почвенной карты (рис. 1) показал, что по типам почвообразования на землях республиканского заказника «Озеры» преобладают автоморфные дерново-подзолистые почвы, занимающие 55,5 % территории. На торфяно-болотные почвы приходится 22,9 % (из них 17,4 % – низинные, 5,5 % – верховые и переходные торфяники). Дерново-подзолистые заболоченные почвы занимают 16,6 % площади заказника. На территории заказника также встречаются дерновые и дерново-карбонатные заболоченные (3,2 %), бурые лесные (0,9 %), аллювиальные иловато-болотные почвы (0,8 %) и аллювиальные дерновые заболоченные (0,1 %).

Исходя из компонентного состава почвенного покрова заказника «Озеры» объектом охраны является дерново-подзолистая песчаная почва, развивающаяся на водно-ледниковых связных песках, сменяемых рыхлыми песками с глубины до 1,0 м (табл. 4), как естественный аналог высококультурной почвы – агрозема культурного типичного, развивающегося на озерно-ледниковых связных песках, аналитические данные и описание которого находятся в фондовых материалах сектора методики картографирования и бонитировки почв (р-з 7А-08 СПК «Озеры» Гродненского района Гродненской области (53°43'38" с.ш.; 24°07'53" в.д.; h = 125 м).

Номенклатурный список почв заказника «Озеры»

№ разности	Цветное изображение	Типы почв и разновидности	Код почвы
1		Дерново-подзолистые супесчаные почвы на рыхлых суглинках, подстилаемых моренными суглинками с глубины до 1,0 м	037.3.06.04
2		Дерново-подзолистые супесчаные почвы на рыхлых суглинках, подстилаемых моренными суглинками с глубины до 1,0 м с прослойкой песка на контакте	037.3.06.06
3		Дерново-подзолистые супесчаные почвы на рыхлых суглинках, подстилаемых с глубины до 1,0 м, иногда глубже 1,0 м песками	037.3.06.11
4		Дерново-подзолистые песчаные почвы на связных суглинках, подстилаемых с глубины до 1,0 м, иногда глубже 1,0 м моренными суглинками	037.3.07.04
5		Дерново-подзолистые свободифоридные песчаные почвы на связных песках, подстилаемых с глубины 1,0 м, иногда глубже 1,0 м моренными суглинками	041.3.07.04
6		Дерново-подзолистые песчаные почвы на связных песках, слемневых рыхляки песками с глубины до 1,0 м	037.3.07.01
7		Дерново-подзолистые слабо-реже свободифоридные песчаные почвы на связных песках, слемневых рыхляки песками с глубины до 1,0 м	041.3.07.01
8		Дерново-подзолистые песчаные почвы на мошнях рыхлых песках	037.3.08.01
9		Дерново-подзолистые отнесенные вниз, иногда свободифоридные песчаные почвы на связных песках, слемневых рыхляки песками с глубины до 1,0 м	049.3.07.01
10		Дерново-подзолистые временно избыточно увлажненные супесчаные почвы на рыхлых суглинках, подстилаемых песками с глубины до 1,0 м	082.3.06.11
11		Дерново-подзолистые временно избыточно увлажненные супесчаные почвы на связных песках, слемневых рыхляки песками с глубины до 1,0 м	082.3.07.01
12		Дерново-подзолистые глееватые супесчаные почвы на рыхлых суглинках, подстилаемых моренными суглинками с гл. до 1,0 м, иногда с просл. песка на контакте	099.3.06.06
13		Дерново-подзолистые глееватые супесчаные почвы на рыхлых суглинках, подстилаемых песками с глубины до 1,0 м	099.3.06.11
14		Дерново-подзолистые глееватые песчаные почвы на связных песках, слемневых рыхляки песками с глубины до 1,0 м	099.3.07.01
15		Дерново-подзолистые глеевые с иллювиально-гумусовым горизонтом песчаные почвы на связных песках, слемневых рыхляки песками с глубины до 1,0 м	124.3.07.01
16		Дерново-глееватые супесчаные почвы на рыхлых суглинках, подстилаемых песками с глубины до 1,0 м	193.3.06.11
17		Дерново-глееватые песчаные почвы на связных песках, слемневых рыхляки песками с глубины до 1,0 м	193.3.07.01
18		Дерново-глееватые песчаные почвы на связных песках, слемневых рыхляки песками с глубины до 1,0 м	231.3.07.01
19		Дерново-переходно-глеевые почвы, развещающиеся на связных песках, слемневых рыхляки песками с глубины до 1,0 м	243.3.07.01
20		Торфянисто и торфяно-глеевые почвы (с мощностью торфа до 0,5 м)	251.8.21.21
21		Торфяные маломощные почвы (с мощностью торфа 0,5-1,0 м)	254.8.21.21
22		Торфяные среднеспособные и мощные почвы (с мощностью торфа 1,0-2,0 м и более)	258.8.21.21
23		Торфяные маломощные почвы (верховые) (с мощностью торфа 0,5-1,0 м)	268.8.21.21
24		Торфяные среднеспособные и мощные почвы (верховые) (с мощностью торфа 1,0-2,0 м и более)	269.8.21.21

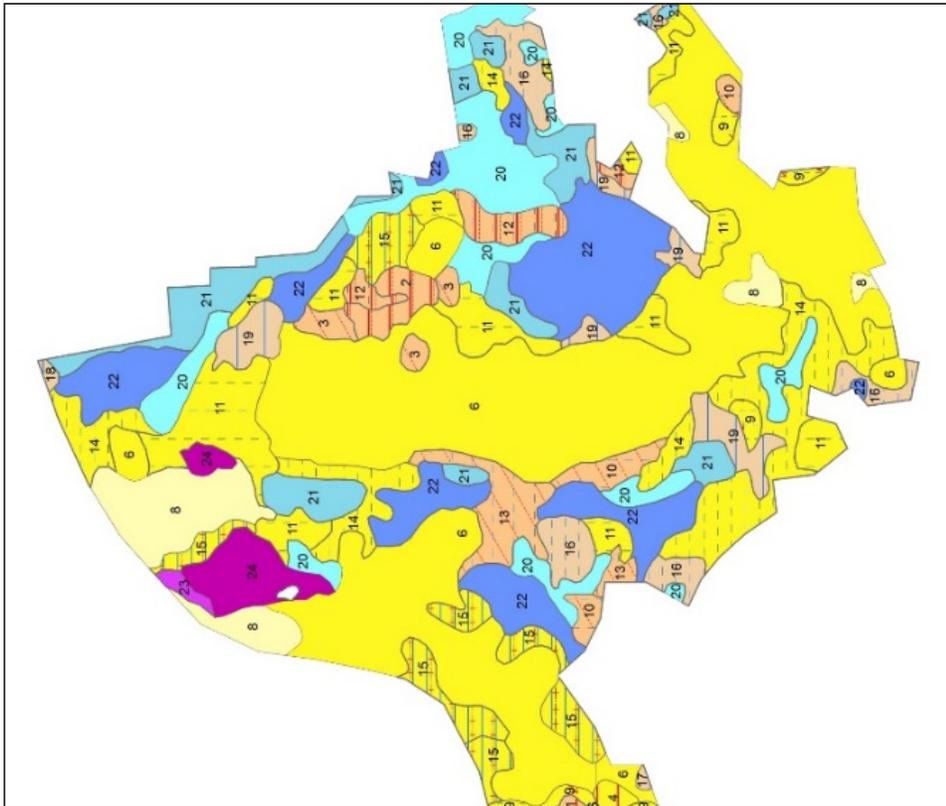


Рис. 1. Фрагмент цифровой почвенной карты и номенклатурного списка почв республиканского ландшафтного заказника «Озеры»

По гранулометрическому составу почвообразующих пород почвенный покров исследуемых территорий в основном представлен связнопесчаными, рыхлосупесчаными и органогенными отложениями. Связнопесчаные почвообразующие породы занимают 62,8 % площади земель заказника «Озеры». Они почти все имеют гомогенное строение или переходят в рыхлые пески и только 0,3 % связных песков подстилается моренными суглинками. Аналогичная картина наблюдается и с рыхлосупесчаными отложениями. Занимая 7,4 % площади заказника, только 0,9 % имеет двучленное строение. Органогенные почвообразующие породы занимают 23,7 % площади.

По степени увлажнения на данной территории преобладают автоморфные почвы (56,3 %). На долю полугидроморфных почв приходится 20,0 % площади заказника «Озеры» и 23,7 % занимают гидроморфные почвы.

Исходя из компонентного состава почвенного покрова заказника «Озеры» объектом охраны является дерново-подзолистая песчаная почва, развивающаяся на водно-ледниковых связных песках, сменяемых рыхлыми песками с глубины до 1,0 м (табл. 4), как естественный аналог высококультурной почвы – агрозема культурного типичного, развивающегося на озерно-ледниковых ледниковых связных песках. Аналитические данные и описание находятся в фондовых материалах сектора методики картографирования и ботанировки почв (р-з 7А-08 СПК «Озеры» Гродненского района Гродненской области (53°43'38" с.ш.; 24°07'53" в.д.; h = 125 м).

Таблица 4

Экологический паспорт охраняемой почвы

1. Название почвы согласно Классификации почв Беларуси (2007 г.)	Дерново-подзолистая типичная, развивающаяся на водно-ледниковых песках, сменяемых рыхлыми песками с глубины до 1,0 м, связнопесчаная
2. Название почвы согласно Мировой Реферативной Базы Почвенных Ресурсов (WRB)	UmbricAlbeluvisols (Paraferric)
3. Местоположение, (административная область, район, название ООПТ, географические координаты почвенного разреза)	р-з 6-11. Гродненская область, Гродненский район, республиканский ландшафтный заказник «Озеры» 53°67'14,3"с.ш. 24°05'47,9"в.д.
4. Картограмма расположения с указанием масштаба	

5. Площадь почвенно-го ареала	45,3 га		
6. Геолого-географические условия территории (рельеф, почвообразующие породы, растительность)	Озерская низменность, характер местности равнинный. Поверхность сложена песчаными отложениями времен деградации Поозерского ледника. Почвообразующие породы – водно-ледниковые пески. Разрез расположен в сосновом лесу. В подлеске встречаются дуб, береза, можжевельник, рябина, крушина	7. Фотография почвенного профиля	
8. Морфологическое описание почвенного профиля	<p>О (0–4 см) – лесная подстилка, темно-коричневого цвета, свежий, переход постепенный;</p> <p>АЕ (4–16 см) – гумусово-элювиальный горизонт, серовато-коричневого цвета (7,5YR 4/3), однородной окраски, свежий, комковатой непрочной структуры, водно-ледниковый песок связный, переход заметный, неровный;</p> <p>В1 (16–40 см) – иллювиальный горизонт, палево-желтого цвета (7,5YR 5/6), окраска однородная, свежий, бесструктурный, водно-ледниковый песок связный, переход заметный неровный;</p> <p>В2g (40–65 см) – иллювиальный горизонт, палево-желтого цвета с белесоватым оттенком (7,5YR 6/6), окраска однородная, свежий, бесструктурный, водно-ледниковый песок рыхлый, единичные марганцевые пунктации, переход заметный неровный;</p> <p>В3 (65–102 см) – иллювиальный горизонт белесовато-желтого цвета (7,5YR 6/4), неоднородной окраски, тонкие желтовато-бурые отрывистые прослойки, свежий, бесструктурный, водно-ледниковый песок рыхлый переход постепенный;</p> <p>ВС (102–150 см) – горизонт переходный к почвообразующей породе желтого цвета (7,5YR 5/6), неоднородной окраски, тонкие желтовато-бурые прослойки, сырой, бесструктурный, водно-ледниковый песок рыхлый</p>		
9. Виды антропогенных воздействий, ведущие к изменению или к исчезновению охраняемой почвы	Непосредственной угрозы для данного ареала нет. Имеет ценность как почвенный эталон		
10. Рекомендуемые виды охраны	Сохранение факторов почвообразования как условия сохранения данного типа почвы		

Вся информация, характеризующая данный объект по составам, свойствам и включенная в экологический паспорт, первоначально внесена в базу данных, фрагменты заполнения которой приведены на рис. 2, 3.

№	А	В	С	D	E	F	G	H	I	J	K
2	1	BD_Profile	Кол базы данных по разрезу	текстовый	6-11						
3	2	Horizon_N	Порядковый номер горизонта от поверхности	числовой	1	2	3	4	5	6	
4	3	Horizon_name_old	Наименование горизонта (старое)	текстовый	лесная подстилка	гумусово-элювиальный	иллювиальный	иллювиальный	иллювиальный	переходный к почвообразующей породе	
5	4	Horizon_name_new	Наименование горизонта согласно новой классификации	текстовый	подстилка	гумусово-элювиальный	иллювиальный	иллювиальный	иллювиальный	переходный к почвообразующей породе	
6	5	Horizon_index	Обозначение горизонта (индексируется)	текстовый	A0	A1A2	B1	B2	B3	BC	
7	6	Horizon_index_new	Обозначение горизонта согласно новой классификации	текстовый	O	AE	B1	B2g	B3	BC	
8	7	Horizon_Prob	Глубина взятия образца, см (одно число)	числовой	10	30	55	85	125	102	
9	8	Upper_Bound	Верхняя граница (глубина, см)	числовой	0	16	40	65	102	150	
10	9	Lower_Bound	Нижняя граница (глубина, см)	числовой	4	16	40	65	102	150	
11	10	Horizon_thickness	Множественность горизонта (см)	числовой	4	12	24	25	37	48	
12	11	Transition	Характер перехода (резкий, ясный, злепленный, постепенный)	текстовый	постепенный	заметный	заметный	заметный	постепенный		
13	12	Boundary_shape	Форма границ (ровная, волнистая, язычковатая, затечная, разветвленная)	текстовый	неровная	неровная	неровная	неровная	волнистая		
14	13	Color_field	Цвет визуально (полевое определение)	текстовый	темно-коричневый	серовато-коричневый	палево-желтый	палево-желтый	палево-желтый	желтый	
15	14	Color_dry	Цвет визуально (сухой)	текстовый	коричневый	светло-коричневый	палево-желтый	палево-желтый	светло-желтый	желтый	
16	15	Color_percent	Характер окраски (однородная, пятнистая, <2% от площади горизонта, 2-20% от площади горизонта, >20% от площади горизонта)	текстовый	однородная	однородная	однородная	однородная	однородная	неоднородная	
17	16	Spot	Наличие пятен (<2% от площади горизонта, 2-20% от площади горизонта, >20% от площади горизонта)	текстовый							
18	17	Spot_color	Цвет пятен	текстовый	белесая присыпка						
19	18	Color_Munsell_field	Цвет по Манселлу (полевое определение)	текстовый	7.5YR 4/3	7.5YR 5/6	7.5YR 5/6	7.5YR 6/6	7.5YR 6/4	7.5YR 5/6	
20	19	Color_Munsell_dry	Цвет по Манселлу (сухой)	текстовый	7.5YR 5/2	7.5YR 6/6	7.5YR 6/6	7.5YR 7/6	7.5YR 7/3	7.5YR 6/6	
21	20	Horizon_thickness	Наличие колючей (1-2, 3-5, 5-7, >7 шт.)	текстовый	5-7						

Рис. 2. Морфологическое описание профиля охраняемой почвы

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
№	Поле базы данных	Описание	Тип данных									
1	пол											
2	7	BD_Profile	Код базы данных по разрезу (например 1Л-99)	6-11								
3	8	Horizon_index_new	Обозначение горизонта согласно новой классификации	O	AE	B1	B2g	B3	BC			
4	25	Includes_size	Гран состав (>3 мм)		-	-	-	-	-			
5	26	Gran_1	Гранулометрический состав (в % 3-1 мм)		-	-	-	-	-			
6	27	Gran_2	Гранулометрический состав (в % 1-0,5 мм)		-	-	-	-	-			
7	28	Gran_3	Гранулометрический состав (в % 0,5-0,25 мм)		5	6	6	3	13			
8	29	Gran_4	Гранулометрический состав (в % 0,25-0,05 мм)		87,9	90,2	89,9	93,3	83,6			
9	30	Gran_5	Гранулометрический состав (в % 0,05-0,01 мм)		1,8	1	1,2	1	1,1			
10	31	Gran_6	Гранулометрический состав (в % 0,01-0,005 мм)		0,7	0,3	0,1	0,8	0,1			
11	32	Gran_7	Гранулометрический состав (в % 0,005-0,001 мм)		0,8	0,3	1,6	0,1	0,3			
12	33	Silt	Содержание ила (%)		3,8	2,2	1,2	1,8	1,9			
13	34	Clay	Содержание физической глины (%)		5,3	2,8	2,9	2,7	2,3			
14	35	Moisture	Влажность (%)		13,73	5,99						
15	36	Density	Плотность почвы (Мг·м ⁻³)		1,33	1,64	1,62	1,58	1,59			

Рис. 3. Характеристика гранулометрического состава и физических свойств горизонтов охраняемой почвы

ВЫВОДЫ

1. Систематизация сведений и данных об охраняемых почвах является информационной основой для выделения эталонов почв, изучение которых поможет в решении многих научных и практических задач:

- сравнение характера изменений состава и свойств антропогенно-преобразованных почв с естественными почвенными эталонами;
- диагностики и классификации почв;
- прогноза естественной и антропогенной эволюции почв и почвенного покрова;
- оценки изменений параметров биогеоценотических функций и экологического потенциала почв при антропогенном воздействии и др. То есть при проведении любых мониторинговых исследований не обойтись без системы показателей почвенных эталонов.

2. Разработана структура электронной базы данных паспорта охраняемой почвы, содержащая 127 полей записи и состоящая из 3 блоков: блок 1 – данные экологического паспорта (24 поля); блок 2 – показатели составов и свойств почвенных горизонтов (84 поля); блок 3 – методы определения составов и свойств (19 полей).

3. Разработан экологический паспорт охраняемой почвы, содержащий идентификационную информацию о почвенном индивидууме, подлежащем охране. В дальнейшем экологический паспорт может быть составной частью Красной книги почв. В нем представлена достаточно обширная информация, которой могут воспользоваться ученые разных отраслей науки, специалисты природоохранных организаций, преподаватели и студенты в образовательном процессе.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Добровольский, Г.В.* Сохранение почв как незаменимого компонента биосферы / Г.В. Добровольский, Е.Д. Никитин. – М.: Наука, 2000. – 185 с.
2. *Добровольский, Г.В.* Функции почв в биосфере и экосистемах: Экологическое значение почв / Г.В. Добровольский, Е.Д. Никитин. – М.: Наука, 1990. – 261 с.
3. *Никитин, Е.Д.* Берегите почву / Е.Д. Никитин. – М.: Знание, 1990. – 64 с.
4. *Никитин, Е.Д.* Проблема сохранения почвенного разнообразия / Е.Д. Никитин, Е.Б. Скворцова // Почвоведение. – 1999. – № 4. – С. 543–544.
5. *Смеян, Н.И.* Классификация, диагностика и систематический список почв Беларуси / Н.И. Смеян, Г.С. Цытрон. – Минск, 2007. – 220 с.
6. Красная книга почв России: Объекты Красной книги и кадастра особо ценных почв / Науч. ред.: Г.В. Добровольский, Е.Д. Никитин. – М.: МАКС Пресс, 2009. – 576 с.
7. *Аларин, Б.Ф.* Красная книга почв Ленинградской области / Б.Ф. Аларин. – СПб.: Аэроплан, 2007. – 320 с.
8. Красная книга почв Белгородской области / В.Д. Соловиченко [и др.]. – Изд-во: БелГУ, 2007. – 139 с.
9. Целинные черноземы Ростовской области как эталоны для распаханых аналогов / Ю.А. Литвинов [и др.] // Почвоведение – продовольственной и экологической безопасности. – 2016. – № 1. – С. 10–15.

гической безопасности страны: тезисы докладов VII съезда общ-ва почвоведов им. В.В. Докучаева (Белгород. 15–22 августа 2016 г.) ч. II; отв. ред. С.А. Шоба, И.Ю. Савин. – Москва-Белгород, 2016. – С. 325–327.

10. *Климентьев, А.И.* Почвенные эталоны Оренбургской области: материалы для Красной книги почв Оренбургской области / А.И. Климентьев, Е.В. Блохин. – Екатеринбург, 1996. – 92 с.

11. Парки и заповедники, национальные парки мира [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://ethno-tour.grsu.by/ru/ethnic-tourism-sights-by/nature-sights/155-ozery-landshaftnyj-zakaznik-respublikanskogo-znacheniya>.

12. Методика формирования почвенных баз данных Беларуси, их интерпретация и использование (для создания геоинформационной системы характеристики почвенного покрова) / Г.С. Цытрон [и др.]. – Минск: Ин-т почвоведения и агрохимии, 2008. – 44 с.

13. Примерный номенклатурный список почв Республики Беларусь / Г.С. Цытрон [и др.]. – Минск, 2013. – 64 с.

14. *Докучаев, В.В.* Русский чернозем / В.В. Докучаев; отв. ред. Б.Ф. Апарин. – СПб.: Русская коллекция, 2008 – 480 с.

THE ECOLOGICAL PASSPORT OF SOIL AND A DATABASE AS THE INFORMATION SUPPORT FOR SPECIAL PROTECTION OF NATURAL SOILS OF BELARUS

O.V. Matychenkova, G.S. Tsytron, S.V. Shulgina,
T.N. Azarenok, D.V. Matychenkov

Summary

The article presents the results of development and filling in the ecological passport of soil as the information basis for the special protection of natural soils. The structure of an electronic database for filling in data fields of soil passports was illustrated. The authors present an example of filling in the passport for the typical sod-podzolic soil developing on fluvioglacial sands, succeeded by sandy loam soils, located on lands of the reserve «Ozery» of the Grodno region.

Поступила 14.10.16

ПЛАНИРОВАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТА И СТАТИСТИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ДАННЫХ ПОЛЕВОГО ОПЫТА

С.А. Балюк, Н.В. Лисовой, В.Н. Никоненко, Е.В. Карацуба

*Институт почвоведения и агрохимии им. А.Н. Соколовского,
г. Харьков, Украина*

ВВЕДЕНИЕ

В агрохимических исследованиях широко применяются полевые опыты, которые проводятся в естественных условиях на специально выделенных полевых участках для определения количественного влияния различных факторов на урожай, качество продукции и плодородие почвы. Проведение полевого опыта является ответственной работой и требует значительных трудовых и финансовых затрат. До закладки полевого опыта разрабатывается схема вариантов исследований. Первоначально разрабатывались однофакторные простые схемы, в которых определялось действие одного фактора по принципу единственного различия. Впоследствии появилась необходимость изучать взаимодействие между отдельными факторами. Для этого начали разрабатывать факториальные схемы, одной из первых является восьмерная схема Жоржа Виля. Со временем многофакторные схемы и математическое планирование эксперимента получило широкое развитие в трудах Фишера, Финни, Перегудова, Егоршина, Дуды, [1–8].

Преимущество математически спланированного многофакторного полевого опыта в том, что обработка экспериментальных данных проводится современными статистическими методами при помощи компьютерных программ, определяется действие и взаимодействие факторов, оптимальные нормы минеральных удобрений, строятся математические модели прогнозирования урожайности сельскохозяйственных культур.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Объектом исследований является полевой стационарный опыт, заложенный в 1990 г. на черноземе типичном тяжелосуглинистом на лессе ОП «Граково» Института почвоведения и агрохимии имени А.Н. Соколовского.

Полевой опыт заложен по математически спланированной схеме Егоршина В₃ [4, 7]. Варианты размещаются по блокам (табл. 1).

Таблица 1

Размещение вариантов по блокам (X₁X₂X₃ – изучаемые факторы N, P, K)

№	X ₁ X ₂ X ₃
1	000
2	202
3	022
4	220

№	X ₁ X ₂ X ₃
5	002
6	200
7	020
8	222

№	X ₁ X ₂ X ₃
9	011
10	211
11	101
12	121

№	X ₁ X ₂ X ₃
13	110
14	112
15	111
16	111

Варианты размещены по четырем равноценным блокам по количеству каждого вида удобрения. Всего 14 вариантов, в четвертом блоке добавлены два центральных варианта (15, 16), которые являются не обязательными. Размещение вариантов по блокам дает возможность вычислить пестроту плодородия почвы опытного поля. В данном опыте введен только один центральный вариант – 15. Изучаются факторы N, P, K и три уровня градации – 0–1–2. В 2015 г. выращивали пшеницу озимую по черному пару. Минеральные удобрения вносили в три уровня: N_{0–45–90}, P_{0–60–120}, K_{0–45–90}. Четвертый фактор навоз (Н) равен 0 и не учитывался.

Учет урожая зерна в 2015 г. проводили комбайном «Сампо» [6, 7].

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Урожайные данные обрабатывались как трехфакторный опыт. Повторность вариантов 4-кратная (табл. 2).

Таблица 2

Схема полевого опыта и урожайность озимой пшеницы

№ п/п	Нормы удобрения, кг/га д.в.				Урожай по повторениям, ц/га				
	N	P	K	H	Y1	Y2	Y3	Y4	Y
1	0	0	0	0	56,2	66,8	56,9	62,7	60,65
2	60	0	90	0	61,6	65,0	62,5	64,3	63,35
3	0	120	90	0	67,4	68,1	61,5	69,9	66,73
4	60	120	0	0	64,8	68,6	68,5	67,6	67,38
5	0	60	45	0	60,0	59,5	66,9	65,0	62,85
6	30	120	45	0	62,2	67,3	65,1	68,7	65,83
7	30	60	90	0	69,1	66,7	63,5	68,1	66,85
8	60	120	90	0	71,8	70,4	69,0	68,3	69,88
9	0	120	0	0	66,4	64,2	72,1	75,0	69,43
10	60	0	0	0	66,6	63,3	66,2	70,4	66,63
11	0	0	90	0	66,3	56,3	61,7	61,0	61,33
12	60	60	45	0	64,6	63,9	61,9	66,8	64,30
13	30	0	45	0	63,6	64,3	67,5	63,2	64,65
14	30	60	0	0	61,5	62,2	63,0	77,0	65,93
15	75	55	45	0	64,7	69,4	63,3	63,5	65,23
Среднее	33,00	59,667	45,0	0	64,45	65,07	64,64	67,43	65,40
дисп	726,00	2401,56	1350,0		13,79	13,43	13,45	18,65	6,51

Где: N – норма азота кг/га;

P – норма фосфора, кг/га д.в.;

K – норма калия, кг/га д.в.

Y1, Y2, Y3, Y4 – урожай по повторениям, ц/га;

Y – средний урожай, ц/га.

Фактические данные урожайности полевого опыта не всегда дают возможность установить четкие закономерности влияния удобрений. Поэтому, прежде чем проводить статистическую обработку данных фактических урожаев выравнивают при помощи специальной программы. Получение данных показано в табл. 3.

Таблица 3

Урожайность озимой пшеницы после дополнительной обработки фактических данных урожайности

№ п/п	Нормы удобрения, кг/га д.в.				Урожай, ц/га
	N	P	K	H	у
1	0	0	0	0	61,406
2	60	0	90	0	65,392
3	0	120	90	0	67,662
4	60	120	0	0	68,17
5	0	60	45	0	63,009
6	30	120	45	0	67,166
7	30	60	90	0	66,433
8	60	120	90	0	68,17
9	0	120	0	0	67,662
10	60	0	0	0	65,392
11	0	0	90	0	61,406
12	60	60	45	0	65,256
13	30	0	45	0	62,649
14	30	60	0	0	66,433
15	75	55	45	0	64,769
Среднее	33	59,667	45	0	65,398
дисп					5,0963

Нормы: минимальные – (0; 0; 0; 0), максимальные – (75; 120; 90; 0), средние – (33; 59; 67; 45; 0).

Текстовая информация полученной математической модели приведена в табл. 4.

Таблица 4

Текстовая информация о результатах математической обработки расчетных урожайных данных

Уравнение регрессии									
$y_p = b_0 + (b_1 \cdot x_1 + b_2 \cdot x_2 + b_3 \cdot x_3 + b_4 \cdot x_4) + (b_5 \cdot x_{11} + b_6 \cdot x_{22} + b_7 \cdot x_{33} + b_8 \cdot x_{44}) + (b_9 \cdot x_{12} + b_{10} \cdot x_{13} + b_{11} \cdot x_{14} + b_{12} \cdot x_{23} + b_{13} \cdot x_{24} + b_{14} \cdot x_{34})$									
Коэффициенты регрессии b и статистики Стьюдента tb									
	b0	b1	b2	b3	b4	b5	b6	b7	b8
b =	65,0	0,0324	0,0362			-0,0009		0,0008	
tb =	72,488	2,17779	4,4505			-1,0922		1,7922	
	b9	b10	b11	b12	b13	b14			
b =	-0,0005								
tb =	-1,6042								

Переменные						
X1 = N	x1 = X1 – X1ср	x11 = x1*x1	x12 = x1*x2	x23 = x2*x3		
X2 = P	x2 = X2 – X2ср	x22 = x2*x2	x13 = x1*x3			
X3 = K	x3 = X3 – X3ср	x33 = x3*x3				
X1ср = 33	X2ср = 59,667	X3ср = 45,0				
Коэффициент детерминации		R2 = 0,7831				
78,3% изменчивость Y объясняется принятой квадратичной моделью						
Коэффициент отношения Фишера			F = 6,4984			
Табличные значения:		F05 = 3,4817	F01 = 6,0569			
Поскольку F > F01, то модель значима по критерию Фишера						
Табличные значения статистики Стьюдента			t05 = 2,262	t01 = 3,250		
Коэффициент b значим по Стьюденту, если tb > t05						

Модель значима по критерию Фишера, но ряд ее членов не значимы по критерию Стьюдента (tb < 2,1).

Окончательная модель урожайности озимой пшеницы имеет вид:

$$\begin{aligned}
 Y_p = & 65 + 0,03244 \cdot (N - 33,0) + 0,0362 \cdot (P - 59,667) - 0,0008612 \cdot (N - 33,0)^2 + \\
 & + 0,000753 \cdot (K - 45,0)^2 - 0,000483 \cdot (N - 33,0) \cdot (P - 59,667)
 \end{aligned}$$

(2,2)
(2)
(4,5)
(1,1)

(1,8)
(1,6)

При помощи математической модели рассчитывается эффективность отдельных видов удобрений (N, P, K) при средних и нулевых значениях двух других (табл. 5, 6, 7, 8).

Прогнозный урожай при оптимальных нормах удобрений по данным полевого опыта составляет 68,16 ц/га:

$$\begin{aligned}
 Y_p = & 65 + 0,03244 \cdot 32 + 0,0362 \cdot 60,3 + 0,0008612 \cdot 1024 + 0 - (0,000483 \cdot 32) \cdot 60,333; \\
 Y_p = & 65 + 1,038 + 2,18 + 0,88 + 0 + 69,09 - 0,93 = 68,16 \text{ ц/га.}
 \end{aligned}$$

Основной показатель в математической модели – это свободный член, который равен 65 ц/га. Влияние факторов и их взаимодействие повышает урожайность озимой пшеницы на черноземах типичных Лесостепи Украины на 3,16 ц/га.

Таблица 5

Влияние азотных удобрений на урожайность озимой пшеницы

Нормы удобрения, кг/га д.в				Урожай, ц/га	Расчет		
N	P	K	H		UCUT	-95%	+95%
0	59,67	45	0	62,992	0,3744	60,869	65,115
16	59,67	45	0	64,2	0,3024	62,292	66,108

Окончание табл. 5

Нормы удобрения, кг/га д.в				Урожай, ц/га	Расчет		
32	59,67	45	0	64,967	0,3429	62,935	66,999
48	59,67	45	0	65,293	0,2708	63,487	67,099
64	59,67	45	0	65,178	0,2766	63,353	67,003
80	59,67	45	0	64,623	0,9664	61,212	68,034
N	P	K	H	У0	UCUT	-95%	+95%
0	0	0	0	61,406	0,4402	59,104	63,708
16	0	0	0	63,075	0,2994	61,176	64,974
32	0	0	0	64,303	0,3441	62,268	66,339
48	0	0	0	65,091	0,3421	63,061	67,12
64	0	0	0	65,437	0,4766	63,042	67,832
80	0	0	0	65,343	1,3466	61,316	69,369

Таблица 6

Влияние фосфорных удобрений на урожайность озимой пшеницы

Нормы удобрения, кг/га д.в				Урожай, ц/га	Расчет		
N	P	K	H	Ур	UCUT	-95%	+95%
33	0	45	0	62,841	0,4435	60,53	65,151
33	24	45	0	63,709	0,3785	61,575	65,844
33	48	45	0	64,578	0,3459	62,537	66,619
33	72	45	0	65,447	0,3457	63,406	67,487
33	96	45	0	66,315	0,3779	64,182	68,448
33	120	45	0	67,184	0,4425	64,876	69,492
N	P	K	H	У0	UCUT	-95%	+95%
0	0	0	0	61,406	0,4402	59,104	63,708
0	24	0	0	62,657	0,2962	60,769	64,546
0	48	0	0	63,908	0,2243	62,265	65,552
0	72	0	0	65,16	0,2243	63,516	66,803
0	96	0	0	66,411	0,2963	64,522	68,3
0	120	0	0	67,662	0,4404	65,36	69,965

Таблица 7

Влияние калийных удобрений на урожайность озимой пшеницы

Нормы удобрения, кг/га д.в				Урожай, ц/га	Расчет		
N	P	K	H	Ур	UCUT	-95%	+95%
33	59,67	0	0	66,525	0,2405	64,823	68,227
33	59,67	20	0	65,471	0,2449	63,754	67,188
33	59,67	40	0	65,019	0,3368	63,005	67,033
33	59,67	60	0	65,17	0,3001	63,269	67,071
33	59,67	80	0	65,923	0,207	64,344	67,501
33	59,67	100	0	67,278	0,4175	65,036	69,52

Окончание табл. 7

Нормы удобрения, кг/га д.в				Урожай, ц/га	Расчет		
N	P	K	H		У0	UCUT	-95%
0	0	0	0	61,406	0,4402	59,104	63,708
0	0	20	0	60,352	0,4862	57,932	62,771
0	0	40	0	59,9	0,596	57,221	62,579
0	0	60	0	60,05	0,5534	57,469	62,632
0	0	80	0	60,803	0,4305	58,527	63,08
0	0	100	0	62,159	0,5874	59,5	64,818

Таблица 8

Влияние азотных, фосфорных, калийных удобрений на урожайность озимой пшеницы

Нормы удобрения, кг/га д.в				Урожай, ц/га	Расчет		
N	P	K	H		Ур	UCUT	-95%
33	59,67	45	0	65	0,3418	62,972	67,029
33	59,67	45	0	65	0,3418	62,972	67,029
33	59,67	45	0	65	0,3418	62,972	67,029
33	59,67	45	0	65	0,3418	62,972	67,029
33	59,67	45	0	65	0,3418	62,972	67,029
33	59,67	45	0	65	0,3418	62,972	67,029
N	P	K	H	У0	UCUT	-95%	+95%
0	0	0	0	61,406	0,4402	59,104	63,708
0	0	0	0	61,406	0,4402	59,104	63,708
0	0	0	0	61,406	0,4402	59,104	63,708
0	0	0	0	61,406	0,4402	59,104	63,708
0	0	0	0	61,406	0,4402	59,104	63,708
0	0	0	0	61,406	0,4402	59,104	63,708

На основании расчетных данных построены графики (рис. 1).

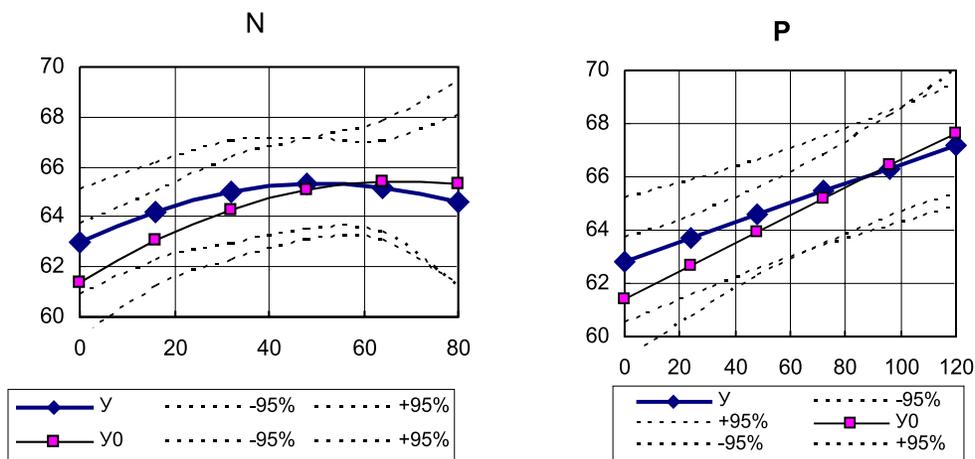


Рис. 1 (начало). Влияние отдельных видов удобрений на урожай озимой пшеницы

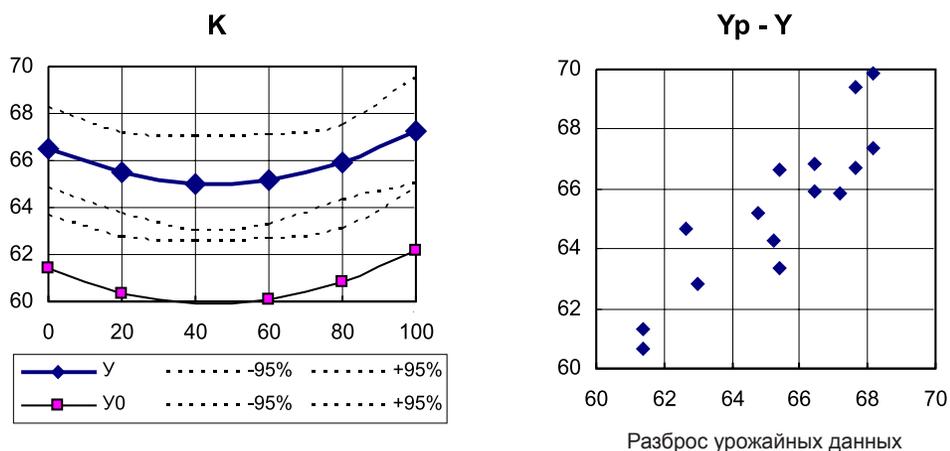


Рис. 1 (окончание). Влияние отдельных видов удобрений на урожай озимой пшеницы

На графиках по азоту оптимум 65 кг/га, по фосфору – 120 кг/га, калию – 0.

Определение оптимальных вариантов проводится при помощи компьютерной программы – методом полного перебора данных урожайности (Y ц/га), прибыли (U, грн/ц), энергоёмкости (V, тыс. МДж) и определение комплексного показателя W (табл. 9).

Таблица 9

Оптимальные варианты удобрений за разными показателями

Оптимальный вариант	X ₁	X ₂	X ₃	Y	U	V
Максимальный урожай Y	33,75	120	0	68,711	14346	185397
Максимальная прибыль U	41,25	0	0	64,812	14935	182167
Уровень энергоёмкости V	7,5	120	0	68,065	14477	187248
Комплексный показатель W	15	120	0	68,371	14468	187071

ВЫВОДЫ

1. Исследования проводились в математически спланированном полевом опыте с озимой пшеницей на черноземе типичном Лесостепи Украины.

2. В результате статистической обработки данных построены графики влияния отдельных видов удобрений (азот, фосфор, калий) на урожайность озимой пшеницы и определены оптимальные нормы азота (65 кг/га) и фосфора (120 кг/га P₂O₅).

3. На данных полевого опыта разработана математическая модель прогноза урожайности озимой пшеницы. Основной показатель в математической модели – это свободный член, который равен 65 ц/га, влияние факторов (N, P, K) и их взаимодействие повышает урожайность на 3,16 ц/га.

4. Определены оптимальные нормы азота и фосфора для получения максимальной урожайности озимой пшеницы, максимальной прибыли от удобрений и уровня энергоёмкости.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Фишер, Р.А.* Статистические методы для исследований / Р.А. Фишер; перевод с англ. В.Н. Перегудов. – М.: Госстатиздат, 1958. – 268 с.
2. *Финни, Д.* Введение в теорию планирования эксперимента / Д. Финни; перевод с англ.– М.: Наука, 1970. – 207 с.
3. *Перегудов, В.Н.* Планирование многофакторных полевых опытов с удобрениями и математическая обработка их результатов / В.Н. Перегудов. – М.: Колос, 1978.– 182 с.
4. *Егоршин, А.А.* Математическое планирование полевых опытов статистическая обработка экспериментальных данных / А.А. Егоршин, Н.В. Лисовой. – Харьков, 2005. – 192 с. (на укр. языке).
5. *Егоршин, А.А.* Методика статистической обработки экспериментальной информации длительных стационарных полевых опытов с удобрениями / А.А. Егоршин, Н.В. Лисовой. – Харьков, 2007. – 45 с. (на укр. языке).
6. *Егоршин, А.А.* Планирование и математическая обработка трёхфакторных опытов: метод. указания / А.А. Егоршин, Н.В. Лисовой. – Харьков, 2008. – 30 с. (на укр. языке).
7. *Егоршин, А.А.* Планирование и математическая обработка многофакторных опытов / А.А. Егоршин, Н.В. Лисовой. – Харьков, 2009. – 30 с. (на укр. языке).
8. *Дуда, Г.Г.* Планирование эксперимента для агрохимических исследований / Г.Г. Дуда. – Нью-Йорк, 2015. – 304 с.

PLANNING OF AN EXPERIMENT AND STATISTICAL PROCESSING OF FIELD EXPERIMENT DATA

S.A. Baliuk, N.V. Lisovoy, V.N. Nikonenko, E.V. Karatsyuba

The article presents the results of studies of the effect of mineral fertilizers on yield of winter wheat cultivated on typical chernozemic soils of forest steppe in Ukraine. A scheme of a field experiment was mathematically planned, that made it possible to process the data with modern statistical methods by a computer program. The optimum rate of fertilizer for winter wheat was the following: nitrogen – 65 kg/ha, phosphorus – 120 kg/ha P_2O_5 .

The authors developed a mathematical model of winter wheat yield forecasting for the typical chernozemic soils of forest steppe in Ukraine. The main indicator of the mathematical model is an absolute term, which is equal to 65 kg/ha. Effect of factors (N, P, K) and their interaction increases the yield by 3.16 c/ha.

The optimum rates of fertilizers for maximum yield, maximum profit, cost of power consumption and integrated indicator are determined.

Поступила 03.08.16

О СОВРЕМЕННОМ ПОДХОДЕ К ИЗУЧЕНИЮ НЕОДНОРОДНОСТИ ПОЧВЕННОГО ПОКРОВА

Т.Ю. Бындыч

*Институт почвоведения и агрохимии им. А.Н. Соколовского,
г. Харьков, Украина*

ВВЕДЕНИЕ

Историю изучения латеральной неоднородности почв следует характеризовать как постепенный и многоэтапный процесс развития теоретических представлений в почвоведении, рассматривающих «вдоль поверхностную» неоднородность почвенных свойств как одну из специфических и системных свойств ландшафтов. Попытка обобщенного анализа развития этого научного направления позволяет выделить как минимум 5 основных этапов в его истории.

В частности, на инициальной стадии развития таких представлений, которая совпадает с этапом создания и становления генетического почвоведения как науки (с 80 г. XIX века – до 1916 г.), усилиями В.В. Докучаева, Н.М. Сибирцева, Г.Н. Высоцкого, К.Д. Глинки была актуализирована необходимость исследования пространственной вариабельности почв, как особого, природного тела, которое образовано в результате действия пяти природных факторов (климата, рельефа, организмов, породы и возраста или истории развития территории), разработаны основы его изучения. Второму этапу – этапу накопления и первичной систематики экспериментальных данных об изменчивости отдельных свойств почв в пространстве (20–30 гг.), соответствовало появление и развитие целой системы научных дисциплин в области почвоведения (К.К. Гедройц, А.Н. Соколовский, В.Р. Вильямс, Б.Б. Польшин), значительное расширение и стандартизация лабораторных методов исследования почв, разработка и углубление методических приемов их количественного описания, в частности, и для типологической характеристики почв, накопления значительного экспериментального материала по результатам почвенно-географических исследований и картографических работ (Л.И. Прасолов, А.А. Роде, Л.Г. Раменский, С.С. Неуструев, Г.Г. Махов и др.), а также постепенное распространение идей генетического почвоведения в мире (К. Марбут, Ч. Келлог, Д. Милн, А. де Зигмунд). Третий этап можно определить как интеграционный (40 – начало 60 гг.), который характеризовался с одной стороны интенсивной инвентаризацией и крупномасштабным картографированием почвенного покрова (ПП) во многих странах мира, а с другой – обоснованием и разработкой подходов к точному количественному описанию варьирования свойств природных, пространственно распределенных объектов с использованием статистических методов обработки экспериментальных данных (Г. Йенни, Г.К. Бондарик, М.В. Рац), что во многом подготовило появление новой научной дисциплины – геостатистики (Ж. Маттерон). Этап своеобразной конвергенции представлений о неоднородности ПП можно условно определить с середины 60 до конца 80 гг. прошлого столетия. Он характеризовался, с одной стороны, распространением геостатистики в мире как действенного метода анализа пространственных данных и созданием теорий

структуры ПП (В.М. Фридланд, Л.М. Годельман, Ю.К. Юодис) и неоднородности почв (Л.О. Карпачевский, Ф.И. Козловский, Е.А. Дмитриев) в отечественном почвоведении, а с другой стороны, – масштабным процессом сближения традиционных (или классических) и новых теоретических подходов к изучению пространственно-варьирования почвенных свойств, возникших в национальных научных школах почвоведения в различных странах мира (Дюшофур, Кубиена и др.). И наконец, современный этап, который фактически начался в начале 90 гг. XX века и продолжается до настоящего времени, который характеризуется разработкой, постоянным совершенствованием и распространением геоинформационных технологий исследования ПП (В.П. Самсонова, Т.В. Королюк, В.В. Медведев, Р. Вебстер, М. Оливер, Д. Роситер и др.), его можно определить как геоинформационный или даже технократический этап. Для этого этапа своеобразным является не только широкое применение геоинформационных систем (ГИС) и высокотехнологичных методов для решения почвоведческих задач, а главное – формирование современной парадигмы использования природных ресурсов и, в частности ПП, как совокупности прогрессивных, фундаментальных научных представлений, которые разделяются и принимаются к действию мировым научным сообществом, что обеспечивает не только преемственность в развитии почвоведения, но и является потенциалом для дальнейшего развития человечества.

Исходя из вышеизложенного, становится особенно очевидной актуальность исследований, направленных на всесторонний анализ и оценивание новых источников информации о земной поверхности для изучения неоднородности ПП, разработку методологических основ их использования, согласующихся с теорией генетического почвоведения.

На протяжении многих лет сотрудники лаборатории дистанционного зондирования Национального научного центра «Институт почвоведения и агрохимии имени А.Н. Соколовского» последовательно осуществляют исследования информационных свойств данных многоспектрального космического сканирования (МСКС) высокого пространственного разрешения, как одной из картографических моделей земной поверхности, а также апробируют геоинформационный подход в исследованиях ПП пахотных земель в различных почвенно-климатических зонах Украины [1–4]. В результате этих исследований нами предложена достаточно полная система обработки и интерпретации данных МСКС (рис. 1), позволяющая проводить изучение и параметризацию неоднородности ПП на локальном территориальном уровне. При этом надежной технологической основой реализации большинства из указанных этапов почвенного дешифрирования данных МСКС являются аналитические процедуры современных ГИС, позволяющие в автоматическом и полуавтоматическом режиме применять комплекс методов по обработке пространственной информации.

Представленный на рис.1 подход к обработке и интерпретации данных МСКС для изучения неоднородности ПП, основан на связи оптических характеристик почвенной поверхности, генетически обусловленными свойствами почвы – содержанием (прямой дешифрирующий признак почвы) и гранулометрическим составом, что подтверждается значительным количеством научных публикаций [2, 5–6]. Несмотря на значительную наукоемкость и даже трудоемкость, большинство из представленных на схеме процедур хорошо известны широкому кругу специалистов, занимающихся вопросами полевой диагностики и картографирова-

ния почв. На наш взгляд, определенную новизну и особый интерес представляет структурное моделирование неоднородности ПП, основанное на вероятностно-статистических методах исследования. Следует отметить, что метод вероятностно-статистического моделирования хорошо известен в почвоведении [7–9]. В частности, известен опыт использования вероятностно-статистического моделирования для изучения пространственного варьирования содержания гранулометрических фракций в разновидностях каштановой почвы юго-запада Кулундинской Степи, предложенное в работах И.В. Михеевой [10], что позволило выделить три категории изменчивости почвенных свойств в зависимости от степени неоднородности факторов почвообразования (неоднородность, вариабельность и флуктуации). Однако следует признать, что практически во всех примерах вероятностно-статистического моделирования в качестве первичных данных использовались данные крупномасштабного обследования почв, представляющие результаты точечного опробования ПП и описания почвенных разрезов, что не вполне обеспечивает получение пространственной и континуально распределенной информации о ПП, что снижает точность и оперативность моделирования неоднородности ПП на их основе, особенно для значительных по площади территорий.

В этой связи, использование данных МСКС высокого пространственного разрешения для открытой почвенной поверхности пахотных земель представляет значительный интерес в качестве объективной информационной основы количественного оценивания неоднородности ПП. Для демонстрации современного подхода к моделированию и оцениванию неоднородности локальных структур ПП представляем один из примеров его использования на сельскохозяйственных землях в Украине.

Объектом наших исследований является латеральная неоднородность ПП пахотных земель Украины, а предметом исследований – картографические модели ПП опытных полигонов, созданные на основе данных МСКМ высокого пространственного разрешения, позволяющие анализировать структуру ПП.

Основной целью проводимых нами исследований является оценивание информативных свойств цифровых почвенно-картографических материалов, созданных на основе данных МСКС, для точного, количественного описания неоднородности локальных структур ПП как объективной основы решения практически значимых задач почвоведения, сельскохозяйственного производства, рационального землепользования и охраны почв.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Одним из примеров количественного описания латеральной неоднородности почв по данным МСКС являются исследования, проведенные на основе данных малого, украинского спутника «Сич-2», который обеспечивал съемку открытой почвенной поверхности в нескольких диапазонах спектра (0,51–0,56 мкм; 0,61–0,67 мкм; 0,80–0,89 мкм), с пространственным разрешением до 8 метров [10]. Территориальным объектом выбран полигон «Розовка», отличающийся сложным рисунком космического изображения открытой поверхности почв, который расположен в Ясиноватском районе Донецкой области и, в соответствии со схемой физико-географического районирования Украины, относится к Донецкой физико-географической области Левобережно-Днепровской северо-степной провинции

Северной степной подзоны [11]. Эта территория имеет сложное тектоническое строение (комплекс отложений карбона, триаса, перми, юры, мелового периода, палеогена и антропогена) и значительные площади эродированных земель, что определяет значительную сложность структуры ПП этой территории и актуализирует современные крупномасштабные обследования ПП. Программа исследований предусматривала последовательное проведение:

- 1) статистического анализа изображения полигона и его предварительной классификации для разработки системы опробования почв;
- 2) детального почвенного обследования ПП полигона с отбором почвенных почв с поверхностного слоя почвы (0–10 см) и морфологическим описанием почвенных разрезов;
- 3) аналитического исследования отобранных в поле образцов почвы;
- 4) экспертной оценки сложности изображения и данных полевого обследования почв как основы для структурной идентификации ПП полигона;
- 5) поиска математических моделей, описывающих взаимосвязь между оптическими характеристиками поверхности почв и ее основным, наиболее стабильным, физико-химическим показателем – общим содержанием гумуса в почве (прямой дешифрирующий признак почв);
- 6) создания электронной картограммы общего содержания гумуса в ПП полигона;
- 7) параметризации элементов неоднородности ПП полигона по общему содержанию гумуса в почве;
- 8) анализа варьирования исследованного почвенного показателя в ПП полигона;
- 9) обобщения данных и выполнения экстраполяционных процедур.

Для решения поставленных задач использовались статистические методы и методы геоинформационной обработки данных. Так, для географической привязки, учета яркостей элементов изображения в различных диапазонах спектра, основной обработки, преобразований, общего анализа и числовой таксономии космического изображения использовали ГИС TNT и ENVI.

В результате тематического дешифрирования данных МКС создана почвенная карта полигона, на основании которой разработана система опробования почв. Полевое обследование почв полигона проведено в соответствии с действующей методикой, предусматривающей морфологическое описание почвенных разрезов и прикопок [12], а также аналитическое исследование отобранных образцов почвы. Точная географическая привязка всех точек отбора проб почвы, почвенных разрезов и прикопок проведена с использованием приборов GPS. На полигоне было заложено 7 почвенных разрезов, позволяющих идентифицировать составляющие структуры ПП полигона, а также отобраны образцы из генетических горизонтов почвенных разрезов и 55 проб из поверхностного слоя почвы (0–10 см). Во всех образцах определяли общее содержание гумуса по методу И.В. Тюрина, pH водной вытяжки – колориметрическим методом, pH солевой – компенсационным методом с помощью потенциометра, качественный состав водной вытяжки – с использованием комплексометрического, аргентометрического и пламенно-фотометрического методов, состав обменных оснований по методу Шолленберга, а также гранулометрический состав – по методу Н.А. Качинского [13].

Результаты аналитического исследования проб почвы составили базу данных для региона и обработаны с использованием пакета программ Statistica.

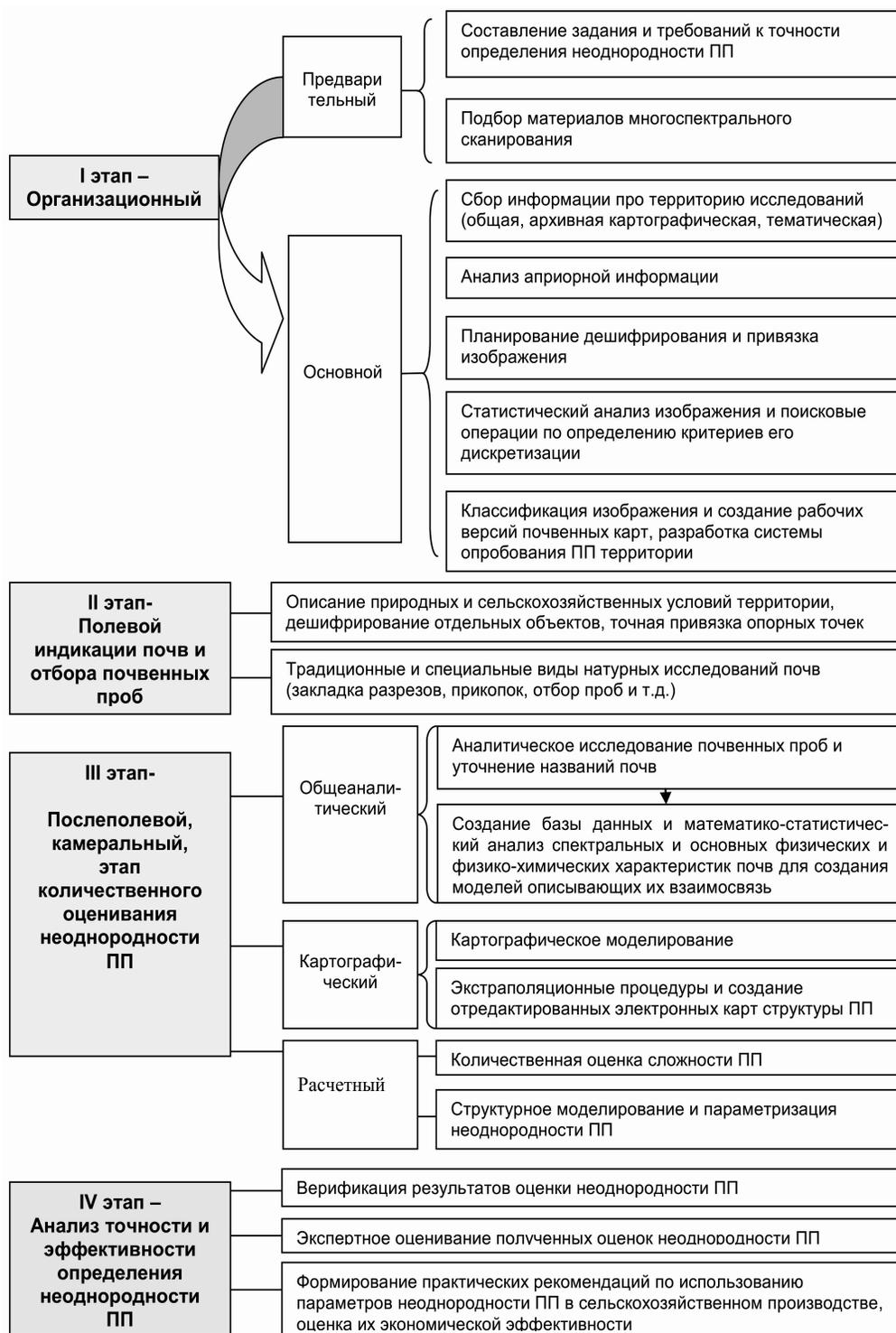


Рис. 1. Составляющие современного подхода к изучению неоднородности ПП по данным космической съемки

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Возможность определения и количественного описания латеральной неоднородности почв на основе данных МСКС высокого пространственного разрешения основана на рассмотрении космического изображения почв как случайного поля оптической плотности, что обосновывает целесообразность использования для его описания математического аппарата теории вероятностей и, в частности, закона распределения как основной и наиболее полной характеристики варьирования случайной величины. При таком подходе, параметризация случайной величины для классов почв, выделенных в ходе дешифрирования космического изображения, и представленная в виде подобранного закона распределения вероятностей, фактически решает вопрос о структурно-параметрической идентификации неоднородности ПП и возможности ее количественного описания и оценки. И таким образом, оценка неоднородности ПП на основе данных МСКС может проводиться путем выделения элементов структуры ПП полигона и последующей параметризацией его неоднородности в пределах выделенных классов почв по показателю общего содержания гумуса, который является их прямым дешифрирующим признаком.

На первом этапе тематического дешифрирования проведена географическая привязка космического снимка в ГИС и выделены сельскохозяйственные угодья, которые имели открытую и находящуюся в состоянии полевой влажности почвенную поверхность в момент съемки. Именно для этих участков осуществлен статистический анализ изображения, позволяющий сделать вывод о целесообразности его классификации на уровне 4 классов, значительно отличающихся по показателям оптической яркости открытой почвенной поверхности. Классификация изображения для создания цифровой карты-версии, представляющей пространственное расположение основных структурных элементов ПП полигона, осуществлена по методу K-средних кластерного анализа. Полученная картографическая модель ПП использована для разработки системы опробования почв (определение общего количества и координат точек отбора проб почвы с поверхности и по генетическим горизонтам в почвенных разрезах) для этапа полевого обследования.

Полевые исследования, в целом, подтвердили корректность данной картографической модели структуры ПП путем установления взаимной обусловленности признаков и территориальной дифференциации элементов структуры ПП (приуроченность контуров к отдельным элементам микрорельефа – микроплакору, склону, бровке между пологим и крутым склоном, днищу ложбины стока и т.д.). Контурность построенной картографической модели ПП обладает структурностью и конструктивностью и вполне согласуется с геоморфологическими особенностями полигона.

Морфологическое описание почвенных разрезов, заложенных на каждом из выделенных классов почв, также подтвердило их значимые отличия друг от друга. Разрезы значительно различались по генезису, глубине вскипания и мощности гумусированной части профиля, что подтверждает значительную эффективность использования данных МКС для выделения элементов локальной структуры ПП в данном регионе.

Разрез, заложенный в пределах распространения первого класса почв, диагностирован как чернозем обыкновенный слабосмытый высококовскипающий тяже-

лосуглинистый на лессе, характеризующийся бурным вскипанием карбонатов в пахотном слое с общим содержанием гумуса до 2,95 %, мощность гумусированной части профиля в этом разрезе составляет около 70 см. Разрезы, заложенные в пределах второго класса почв, в предбалочном понижении и в днище ложбины, представили комплекс чернозема обыкновенного мощного малогумусного, среднесуглинистого, глубоковскипающего на легкосуглинистом лессе и его намытого аналога с растянутым профилем (мощностью свыше 120 см), вскипающим в верхней части профиля. В нижней части профиля эти почвы характеризуются уплотненной, кубовидно-призматическую структурой, слабовыраженной потечностью гумуса. При этом намытый аналог этой почвы характеризуется наличием как минимум двух погребенных гумусовых горизонтов и слабовыраженной слоистостью в перераспределении гранулометрических фракций разных размеров в его верхней части. Разрез, заложенный в пределах третьего класса почв, на выпуклом склоне небольшого водораздельного повышения, представил чернозем слабосмытый малогумусный среднесуглинистый на слабозасоленной красно-бурой глине с общим содержанием гумуса в пахотном слое до 2,5 %. Мощность профиля в этом разрезе составила 45 см, в подпахотном горизонте почва имеет крупную, грубозернистую, острогранную структуру, с глубиной отмечено постепенное утяжеление гранулометрического состава почвы, выявлена слабая щелбистость в нижней части профиля. Разрезы в пределах четвертого класса, заложенные на пологих склонах восточной и юго-западной экспозициях, позволили диагностировать чернозем среднесмытый малогумусный тяжелосуглинистый на незасоленной элювиальной красноцветной (пермской) глине. Эта почва характеризуется укороченным профилем (30 см), с выходом на поверхность верхнего переходного горизонта темно-серой окраски с красноватым оттенком зернисто-комковатой структуры, плотного, с общим содержанием гумуса до 1,5 %, имеет постепенный переход к нижнему переходному горизонту краснобурого цвета, среднеглинистому, плотному с крупно-ореховато-призматической структурой с включениями плотного плитчатого песчаника с характерным раковистым изломом.

На основе результатов статистического анализа всего массива количественной информации, полученной в результате аналитических исследований проб почвы, сделан вывод о достоверности и высокой тесноте обратной связи между показателями оптической яркости в инфракрасном диапазоне спектра и общим содержанием гумуса в почве. Учитывая их значительный отрицательный коэффициент корреляции ($r^2 = -0,76$) были использованы для расчета региональной математической модели экспоненциального типа (рис. 1), позволяющей в ГИС рассчитать количественные для каждого элемента изображения и получить электронную карту метризованного свойства почвы для полигона (рис. 2). На этом этапе исследований проведена также верификация полученной картограммы, с использованием 20 % экспериментальных данных в качестве контрольной выборки, не участвующих при расчете математической модели. При этом, критерием точности определения выбрано отклонение расчетных значений (т.е. полученных с использованием математической модели) не более чем на 10 % от аналитически определенных, что соответствует точности определения данного почвенного показателя по методу Тюрина).

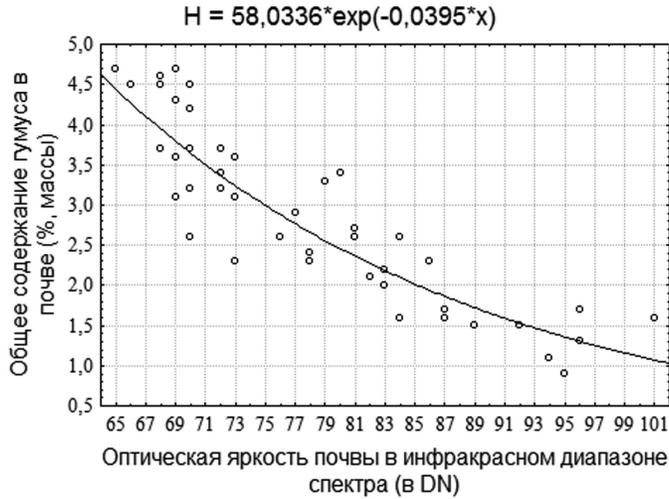


Рис. 2. Региональная модель связи между оптической яркостью почвенной поверхности в инфракрасном диапазоне спектра и общим содержанием гумуса в почве

Полученная таким образом цифровая карта рассматривалась как фрагмент непрерывного скалярного поля общего содержания гумуса в почве, основной характеристикой которого является его изменчивость в пространстве. На следующем этапе исследований проанализированы количественные значения общего содержания гумуса для каждого класса почв. Полученные данные использованы для построения гистограммы, анализ которой позволяет определить закон распределения, который наилучшим образом аппроксимирует количественные значения почвенного показателя для каждого из классов почв. При этом использованы процедуры вероятностно-статистического моделирования:

а) проверка распределения признака на соответствие закону нормального распределения;

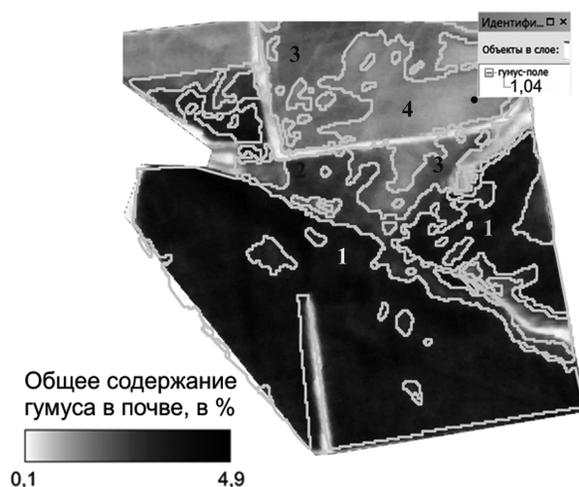
б) подгонка экспериментального распределения и определение вида функций вероятностных распределений, которые наиболее близко описывают статистическое распределение метризованного показателя почвы путем сопоставления с известными функциями распределений (нормального, Вейбула, логнормального, Коши, семейства Джонсона, семейства экспоненциальных, экстремальных значений, бета-распределения и т.д.);

в) оценивание статистик параметрических и непараметрических критериев (критерий χ^2 Пирсона, критерий отношения правдоподобия, критерий Колмогорова);

г) экспертное оценивание совокупности значений использованных критериев для определения лучшего вида распределения, при котором достигнуто максимальное значение вероятности.

При этом технологической основой анализа скалярных полей почвенных свойств также являются аналитические процедуры использованных ГИС, позволяющие в полуавтоматическом режиме применять комплекс методов по обработке пространственной информации, а также программные пакеты для статистико-математической обработки данных (Statistica, Matlab и т.д.).

Установлено, что пространственное варьирование общего содержания гумуса в черноземе обыкновенном слабосмытом высококовскипающем тяжелосуглинистом на лессе (класс 1 на рис. 3) и в черноземе обыкновенном мощном малогумусном глубококовскипающем на легкосуглинистом лессе (класс 2 на рис. 3) хорошо описывается Бета-распределением – $Be(\alpha, \beta)$, а показатели распределения соответственно составили – (2,19; 1,57) и (1,56; 1,51). Пространственная вариабельность исследуемого показателя почв в черноземе слабосмытом малогумусным среднесуглинистом на слабозасоленной красно-бурой глине (класс 3 на рис. 3) хорошо описывается нормальным законом распределения – $N(\mu, \sigma^2)$ с показателями (1,22; 0,32), а в черноземе среднесмытом малогумусном тяжелосуглинистом на незасоленной элювиальной красноцветной (пермской) глине (класс 4 на рис. 3) – типом распределения Вейбула – $W(k, \lambda)$ – (4,61; 2,01).



Условные обозначения:

- 1 – чернозем обыкновенный слабосмытый высококовскипающий тяжелосуглинистый на лессе;
- 2 – комплекс чернозема обыкновенного мощного малогумусного среднесуглинистого глубококовскипающего на лессе и его намывтого аналога;
- 3 – чернозем слабосмытый малогумусный среднесуглинистый на слабозасоленной красно-бурой глине;
- 4 – чернозем среднесмытый малогумусный тяжелосуглинистый на незасоленной элювиальной красноцветной (пермской) глине.

Рис. 3. Картограмма общего содержания гумуса для элементов структуры почвенного покрова полигона «Розовка», созданная по данным космической съемки (с примером идентификации его значения для отдельного элемента изображения)

Определение упомянутых типов вероятностно-статистических моделей распределения общего содержания гумуса в почвах обосновывает целесообразность использования робастных оценок для параметризации неоднородности элементов локальной структуры ПП по данному почвенному показателю (рис. 4). Анализ оценок пространственного варьирования параметров данного почвенного свойства, в целом, доказывает различимость выделенных классов почв по медиане и

межквартильному расстоянию, что в количественном представлении составляет около 1,0 % и 0,5 % гумуса соответственно. Сопоставление робастной оценки σ позволило установить переходное положение ареала чернозема среднесмытого малогумусного на незасоленной элювиальной красноцветной (пермской) глине (класс 4 на рис. 3), который характеризуется наибольшей изменчивостью по общему содержанию гумуса (около 2,0 % гумуса) и наибольшим межквартильным размахом (0,8 %), перекрывающим интервал значений общего содержания гумуса для второго и третьего классов.

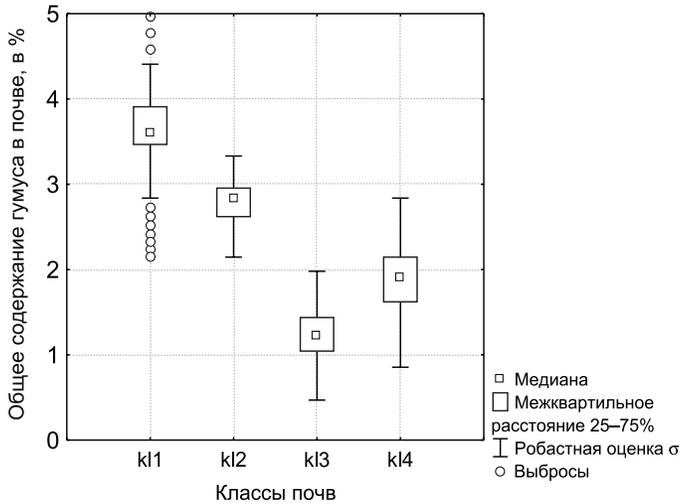


Рис. 4. Количественные оценки элементов неоднородности почв полигона «Розовка» по общему содержанию гумуса в почвах

ВЫВОДЫ

Проведенные исследования показали достаточную, завершенность и эффективность предложенного алгоритма обработки и интерпретации данных МКС высокого пространственного разрешения для выделения элементов локальной структуры ПП пахотных земель в условиях Северной степи Украины. Морфологическая характеристика почвенных разрезов, заложенных в пределах каждого из выделенных классов почв, подтвердила их значимое отличие по типу почвообразующих пород, мощности гумусированного слоя, глубине вскипания, а также по степени эродированности.

На основе высокой корреляционной зависимости между показателями оптической яркости почвенного покрова в инфракрасном диапазоне сканирования с общим содержанием гумуса в почве проведено математическое моделирование для создания картограммы ПП полигона.

Использование основных процедур вероятностно-статистического моделирования в ходе анализа количественных значений почвенного показателя для каждого из выделенных классов почв обеспечило выбор функций распределения, которые наиболее близко аппроксимируют пространственному варьированию признака для каждого из почвенных выделов.

Количественные параметры подобранных функций распределения и робастные оценки для каждого из выделенных в результате дешифрирования классов

почв, позволили объективно характеризовать латеральную неоднородность ПП полигона.

Результаты исследований обосновывают целесообразность использования вероятно-статистических моделей и робастных оценок параметров латеральной неоднородности почв по общему содержанию гумуса в почве в качестве дополнительного метода, повышающего точность экстраполяционных процедур в процессе дистанционной диагностики почв и их мониторинга по данным МКС.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ачасов, А.Б. Використання дистанційних методів для дослідження ґрунтів: автореф. дис. ...канд. с.-г. наук / А.Б. Ачасов . – Харків, 1998. – 20 с.
2. Шатохин, А.В. Сопряженное изучение черноземов Донбасса наземными и дистанционными методами / А.В. Шатохин, М.А. Лындин // Почвоведение. – 2001. – № 9. – С. 1037–1044.
3. Трускавецький, С.Р. Використання багатоспектрального космічного сканування та геоінформаційних систем у дослідженні ґрунтового покриву Полісся України: автореф. дис. ...канд. біол. наук / С.Р. Трускавецький. – Харків, 2006. – 22 с.
4. Бындыч, Т.Ю. Использование данных дистанционного зондирования с целью изучения неоднородности почвенного покрова / Т.Ю. Бындыч // ґрунтознавство. – 2006. – Т. 7. – № 1–2. – С. 100–109.
5. Виноградов, Б.В. Аэрокосмический мониторинг экосистем / Б.В. Виноградов. – М.: Наука, 1984. – 320 с.
6. Кравцова, В.И. Космические методы исследования почв / В.И. Кравцова. – М.: Аспект Пресс, 2005. – 190 с.
7. Гончаров, В.Н. Использование методов математического моделирования при агрофизической оценке почвенного покрова / В.Н. Гончаров // Вест. Оренбург. гос. ун-та. – 2008. – № 10(92). – С. 161–167.
8. Дмитриев, Е.А. К объяснению причин асимметрии в распределении водопроницаемостей / Е.А. Дмитриев, А.С. Манучаров // Почвоведение. – 1968. – № 7. – С. 93–102.
9. Махлин, Т.Б. Аппроксимация кривыми Джонсона распределения элементов вещественного состава / Т.Б. Махлин // Почвоведение. – 1973. – № 6. – С. 123–130.
10. Михеева, И.В. Изменение вероятностных распределений фракций гранулометрического состава каштановых почв Кулундинской степи под воздействием природных и антропогенных факторов / И.В. Михеева // Почвоведение. – 2010. – № 12. – С. 1456–1467.
11. Космічна система «СІС-2»: завдання та напрями використання // Офіційний сайт Національного космічного агентства України [Електронний ресурс]: Свободный доступ на http://www.nkau.gov.ua/pdf/SICH2_small.pdf.
12. Физико-географическое районирование Украинской ССР / под ред. В.П. Попова, А.М. Маринича, А.И. Ланько. – Киев: Изд-во Киевского ун-та, 1968. – 683 с.
13. Почвенная съемка: руководство по полевым исследованиям и картированию почв. – М.: Изд-во АН СССР, 1959. – 200 с.
14. Аринушкина, Е.В. Руководство по химическому анализу почв / Е.В. Аринушкина. – М.: Изд-во МГУ, 1961. – 491 с.

**ON THE MODERN APPROACH TO THE STUDY OF THE
HETEROGENEITY OF SOIL COVER**

T.Yu. Byndych

Summary

The authors propose a methodological approach to the study of soil heterogeneity which is based on multispectral satellite scanning data. Multi-spectral data from the Sich-2 satellite are used for mapping and parametric description of chernozemic soils in the Northern Steppe of Ukraine: 1) to delineate soil mapping units and evaluate their spatial structure; 2) to quantitatively assess specific properties of eroded soils using geo-statistics and multi-dimensional data processing. Field description of soil profiles from the mapped soil classes demonstrated the efficacy of K-means cluster analysis for determining different elements of the soil cover. Maps of humus content, created by statistical and mathematical modelling, enabled to realize parameterization of chernozemic soils and further detailed analysis of the structure of humus scalar field.

Поступила 21.11.16

2. ПЛОДОРОДИЕ ПОЧВ И ПРИМЕНЕНИЕ УДОБРЕНИЙ

УДК 633.16:631.445

АГРОЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ВОЗДЕЛЫВАНИЯ ЯРОВОГО ЯЧМЕНЯ НА ВЫСОКО ОКУЛЬТУРЕННОЙ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ ЛЕГКОСУГЛИНИСТОЙ ПОЧВЕ

В.В. Лапа, О.Г. Кулеш, Е.Г. Мезенцева, О.А. Шедова, О.В. Симанков

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

ВВЕДЕНИЕ

Ячмень принадлежит к основным зерновым культурам Беларуси, зерно которого широко используется на пищевые и кормовые цели. Высоких показателей агрономической и экономической эффективности при возделывании данной культуры можно добиться при научно обоснованном применении органических и минеральных удобрений. Немаловажное значение при этом имеет степень окультуренности почвы.

В Беларуси в последнее время увеличиваются площади дерново-подзолистых суглинистых почв с высоким содержанием подвижных форм фосфора и калия [1]. Более эффективное их использования является актуальной задачей, решение которой определяется экономическими и экологическими факторами, необходимостью более рационального использования потенциала плодородия высоко окультуренных почв и повышения эффективности органических и азотных удобрений.

На стадии хорошей окультуренности большинство агропроизводственных свойств дерново-подзолистой почвы достигают оптимальных параметров. Высокий потенциал этих почв позволяет получать высокие урожаи сельскохозяйственных культур с минимальными затратами. В своих исследованиях российские ученые отмечают, что применение минеральных удобрений в полевом севообороте на хорошо окультуренной почве является высокорентабельным мероприятием (уровень рентабельности 172–294 %) [2]. Наиболее эффективным при этом является применение одностороннего азотного удобрения, его оптимальные дозы (60–120 кг/га) обеспечивали уровень рентабельности 352–380 %. Но необходимо учитывать, что моноазотная минеральная система, обеспечивая высокую агроэкономическую эффективность, при длительном использовании ведет к деградации плодородия почв. Поэтому с агроэкологических позиций целесообразнее хотя бы частично компенсировать вынос фосфора и калия [3].

Цель исследований – установить агроэкономически обоснованные уровни применения органических и минеральных удобрений, обеспечивающие высокую и ус-

тойчивую урожайность ярового ячменя, возделываемого на высоко окультуренной дерново-подзолистой легкосуглинистой почве, в условиях Беларуси.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Стационарный технологический опыт заложен на высоко окультуренной дерново-подзолистой легкосуглинистой почве в ОАО «Гастелловское» Минского района Минской области в двух последовательно открывающихся полях. Агрохимическая характеристика пахотного слоя: pH_{KCL} 6,02–6,33, содержание подвижных P_2O_5 – 736–847, K_2O – 387–432 мг/кг почвы, гумуса – 2,07–2,40 %.

Исследования по изучению влияния минеральных и последствий органических удобрений на урожайность и качество зерна ярового ячменя Стратус проводили в звене севооборота со следующим чередованием культур: вико-рапсовая смесь (2012–2013 гг.) – кукуруза на зеленую массу (2013–2014 гг.) – яровая пшеница (2014–2015 гг.) – яровой ячмень (2015–2016 гг.).

Схема опыта включает 15 вариантов в 4-кратной повторности. Общая площадь делянки 24,0 м² (4,0 × 6,0 м).

В опыте предусматривалось внесение минеральных удобрений на разных фонах последствий органических удобрений (табл. 1). Органические удобрения вносили осенью после уборки вико-рапсовой смеси. Минеральные удобрения – карбамид, аммонизированный суперфосфат и хлористый калий применяли в основное внесение и, кроме того, карбамид в подкормку в дозе N_{30} в стадию 1 узла.

Агротехника возделывания ярового ячменя в полевом опыте – общепринятая для Республики Беларусь, включающая интегрированную систему защиты растений от сорной растительности, вредителей и болезней [4].

Химические анализы растительной продукции проводили по общепринятым методикам.

Расчет экономической эффективности применения удобрений проводили по соответствующим методикам [5] с использованием следующих цен на удобрения и продукцию: стоимость 1 т зерна ярового ячменя – 109 USD; затраты на уборку и доработку 1 т зерна – 25 USD; стоимость минеральных удобрений с затратами на их внесение: 1 т д.в. азота – 466 USD, фосфора – 913, калия – 95 USD; затраты на приготовление и внесение на расстояние 5 км 1 т навоза КРС – 2,5 USD. Затраты на приготовление и внесение подстильного навоза под яровой ячмень – третью культуру севооборота брали из расчета 10 % от общей суммы затрат.

Метеорологические условия 2015–2016 гг. исследования различались по температурному режиму и количеству осадков, что оказало неоднозначное влияние на рост и развитие растений ярового ячменя (рис. 1, 2).

В начале вегетации яровых культур в 2015 г. (третья декада апреля – первая декада мая) температуры превышали среднемноголетний показатель на 1,1–2,5 °С, во второй декаде мая были ниже нормы на 1,6 °С, необходимо отметить, что при этом температура воздуха находилась практически на том же уровне 11–12 °С.

Как известно, раннее развитие ярового ячменя лучше проходит при более прохладной погоде с медленно поднимающимися температурами [6]. Поэтому температурный режим, сложившийся в начале вегетации 2015 г., а также высокая

влагообеспеченность (сумма осадков за период составила 118 % от среднего-летнего показателя) благоприятно повлияли на закладку и развитие вегетативных и генеративных органов растений.

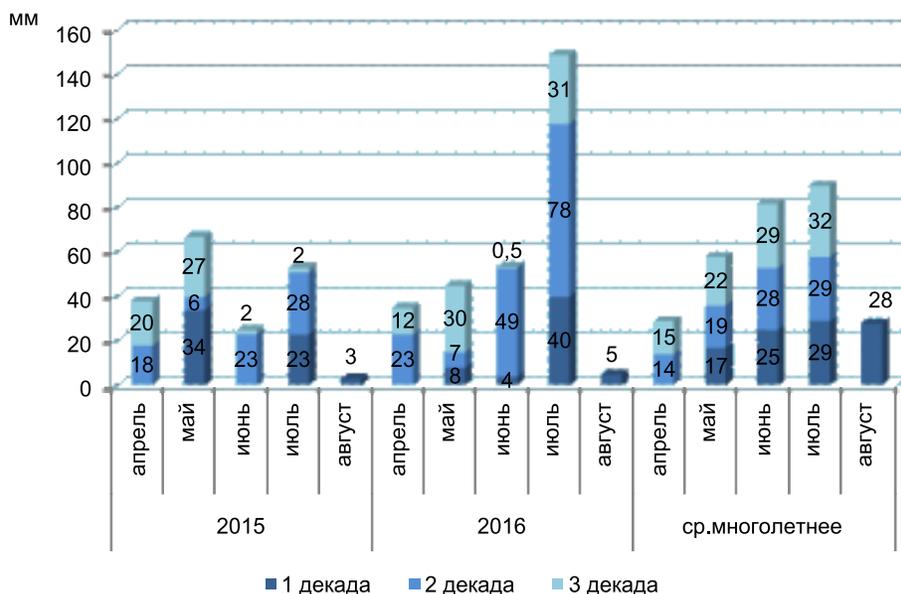


Рис. 1. Условия увлажнения вегетационных периодов 2015–2016 гг.

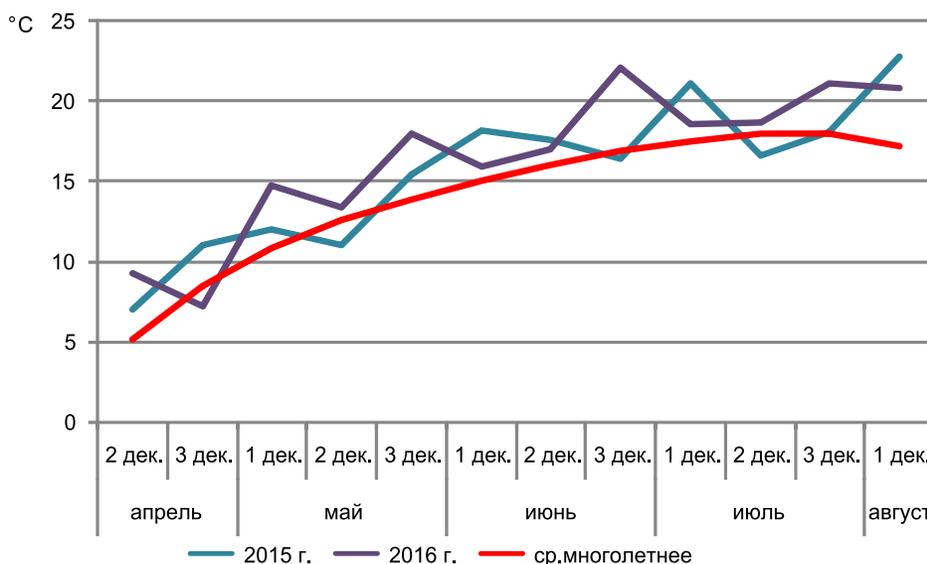


Рис. 2. Температурный режим вегетационных периодов 2015–2016 гг.

Июнь и июль характеризовались значительным колебанием температур, которые в первых декадах превышали среднего-летний показатель на 3,1–3,6 °C и снижались ниже нормы в третьей декаде июня и во второй декаде июля.

В то же время наблюдался недостаток влаги, выпало соответственно 30 и 65 % осадков от нормы, но благодаря достаточной водоудерживающей способности почвы это не оказало негативного влияния на формирование урожая ярового ячменя.

Вегетационный период 2016 г. характеризовался повышенными температурами воздуха на протяжении всей вегетации ярового ячменя, только в третьей декаде апреля средние температуры (7,2 °С) были ниже среднегодовалого показателя, в остальные месяцы температура воздуха превышала норму.

Д. Шпаар отмечает [6], что быстрый подъем температур весной не позволяет достичь высоких урожаев ярового ячменя. Вероятно, резкое повышение температур с 7,2 °С в третьей декаде апреля до 14,7 °С в первой декаде мая и при последующем снижении до 13,7 °С во второй декаде мая повышение до 18,0 °С в третьей декаде, а также неравномерное выпадение осадков с недобором влаги (выпало не более 80 % осадков от нормы) в этот период повлияли на, проходящую во время кущения, закладку побегов, колосков и цветочков.

Повышенные температуры в июне и июле в меньшей степени влияли на формирование урожая ярового ячменя, но способствовали повышению содержания сырого белка в зерне. Сумма осадков в июле, в период налива зерна, превысила норму на 60 мм, хорошая влагообеспеченность благоприятно сказалась на формировании довольно крупного зерна.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В среднем за два года исследований на высоко окультуренной дерново-подзолистой легкосуглинистой почве за счет почвенного плодородия было получено 32,6 ц/га зерна ярового ячменя (табл. 1).

Необходимо отметить, что продуктивность ячменя значительно зависела от погодных условий вегетационного периода. В 2015 г. урожайность в контрольном варианте составила 42,4 ц/га, что на 87 % больше, чем в 2016 г. (22,7 ц/га).

Как известно, внесение удобрений сглаживает неблагоприятное воздействие погодных условий на урожай сельскохозяйственных культур [7, 8]. В нашем опыте в вариантах с применением минеральных удобрений урожайность по годам исследования различалась в меньшей степени, чем в варианте без применения удобрений. В вариантах с внесением полного минерального удобрения ($N_{90+30}P_{15}K_{30}$) на всех фонах продуктивность ячменя в 2015 г. была на 43–46 % выше, чем в 2016 г., при внесении только азотных удобрений – на 45–64 %.

Неблагоприятные погодные условия в начале вегетации в 2016 г. привели к тому, что прибавки от повышения доз азотных удобрений были статистически недостоверны и составили всего 1,7 ц/га на фоне без внесения навоза и 3,1–3,8 ц/га на фонах с изучением последствия органических удобрений.

В 2015 г. отмечалась высокая отзывчивость ярового ячменя на внесение азотных удобрений. Возрастающие дозы азотных удобрений способствовали повышению урожайности ячменя на 14,7–27,5 ц/га.

Необходимо отметить высокие прибавки урожая от внесения полного минерального удобрения в 2016 г. Применение $N_{90+30}P_{15}K_{30}$ на всех изучаемых фонах повышало продуктивность ячменя на 77–120 % по отношению к варианту без удобрений, в то время как в 2015 г. – на 45–69 %.

Агрономическая эффективность минеральных и последействия органических удобрений, внесенных под яровой ячмень на высоко окультуренной дерново-подзолистой легкосуглинистой почве

Вариант	Урожайность зерна, ц/га			Прибавка урожая, ц/га			Окупаемость, кг зерна			
	2015 г.	2016 г.	Ø	к фон-ну 1	от N	от РК	от П.н.*	1 кг N	1 кг РК	1 т П.н.*
Без удобрений – фон 1	42,4	22,7	32,6	–						
N ₆₀	59,8	41,0	50,4	17,8	17,8			29,7		
N ₆₀₊₃₀	66,2	41,5	53,9	21,3	21,3			23,7		
N ₉₀₊₃₀	69,9	42,7	56,3	23,7	23,7			19,8		
N ₉₀₊₃₀ P ₁₅ K ₃₀	71,8	50,0	60,9	28,3		4,6			10,2	
П.н.* 50 т/га – фон 2	48,9	26,1	37,5	4,9			4,9			9,8
Фон 2 + N ₆₀	65,2	42,2	53,7	21,1	16,2			27,0		
Фон 2 + N ₆₀₊₃₀	69,3	44,1	56,7	24,1	19,2			21,3		
Фон 2 + N ₉₀₊₃₀	72,2	45,3	58,8	26,2	21,3			17,7		
Фон 2 + N ₉₀₊₃₀ P ₁₅ K ₃₀	74,3	51,8	63,1	29,1		4,3			9,6	
П.н.* 100 т/га – фон 3	51,6	29,1	40,4	7,8			7,8			7,8
Фон 3 + N ₆₀	66,3	45,7	56,0	23,4	15,6			26,0		
Фон 3 + N ₆₀₊₃₀	70,9	46,1	58,5	25,9	18,1			20,1		
Фон 3 + N ₉₀₊₃₀	73,7	49,5	61,6	29,0	21,2			17,7		
Фон 3 + N ₉₀₊₃₀ P ₁₅ K ₃₀	75,0	51,5	63,3	30,7		1,7			3,8	
НСР ₀₅ фон (фактор А)	5,8	4,7	4,0							
НСР ₀₅ мин. уд. (фактор В)	–	3,7	3,0							
НСР ₀₅ взаимодействие фактора А и В	–	–	–							

П.н.* – второй год последействия органических удобрений

В 2016 г. на фоне без внесения органических удобрений и на фоне изучения последействия 50 т/га навоза наибольшая продуктивность зерна ячменя отмечалась в варианте N₉₀₊₃₀P₁₅K₃₀, на фоне изучения последействия 100 т/га навоза применение N₉₀₊₃₀P₁₅K₃₀ не имело преимущества перед внесением N₉₀₊₃₀. В 2015 г. наиболее эффективным было внесение N₉₀₊₃₀ вне зависимости от органического фона.

В среднем за два года наиболее эффективным агрономическим приемом повышения продуктивности ярового ячменя оказалось внесение азотных удобрений. Применение N₆₀ на изучаемых органических фонах позволило получить дополнительно 15,6–17,8 ц/га зерна ячменя, при окупаемости 1 кг азота 26,0–29,7 кг зерна. Такая система удобрения характеризовалась и наибольшей рентабельностью – 129–168 % (рис. 3).

Урожайность ячменя достоверно повышалась с увеличением дозы азотных удобрений с 60 до 90 кг/га д.в. на безнавозном фоне – на 3,5 ц/га и фоне с изучением последействия 50 т/га органических удобрений – на 3,0 ц/га. На фоне последействия 100 т/га навоза достоверное увеличение урожайности на 5,6 ц/га

наблюдалось при повышении дозы азотных удобрений до 120 кг/га д.в. Рентабельность при этом снижалась на 23–44 %, окупаемость единицы внесенного азота – на 32–34 %.

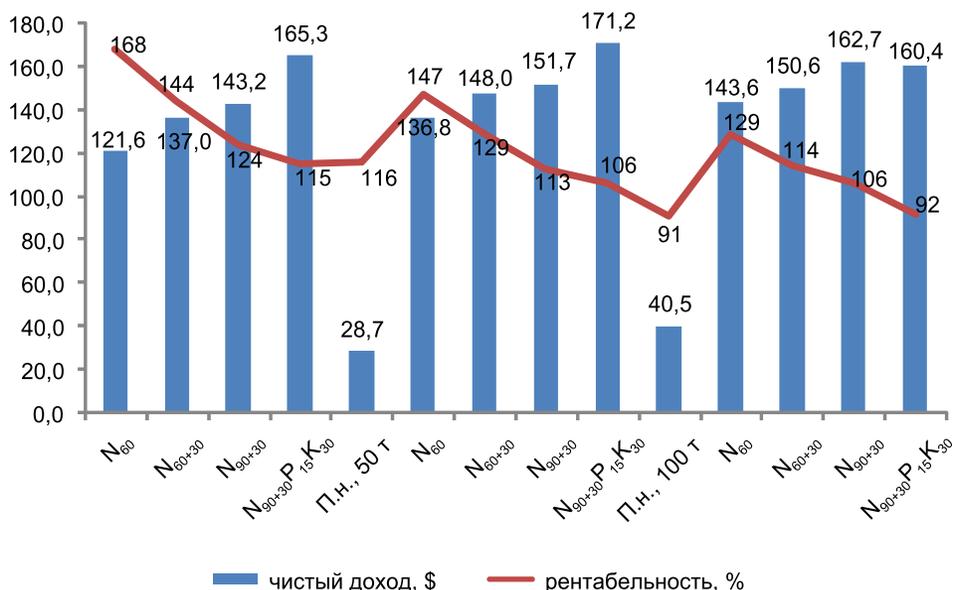


Рис. 3. Экономическая эффективность возделывания ярового ячменя на высоко окультуренной дерново-подзолистой легкосуглинистой почве

Действие эквивалентных доз азотных удобрений не имело достоверной зависимости от фона, но необходимо отметить, что на фоне последействия 100 т/га навоза продуктивность ячменя от азотных удобрений имела тенденцию к повышению на 4,7–5,6 ц/га зерна в сравнении с фоном без внесения органических удобрений.

По данным двухлетних исследований установлено действие фосфорных и калийных удобрений на безнавозном фоне и фоне с последействием 50 т/га навоза на продуктивность зерна ячменя, что связано, в первую очередь, с высокой эффективностью данных удобрений в условиях 2016 г. Прибавка урожайности зерна от внесения N₉₀₊₃₀P₁₅K₃₀ по отношению к N₉₀₊₃₀ составила 4,3–4,6 ц/га. При этом окупаемость 1 кг фосфорных и калийных удобрений составила 9,6–10,2 кг зерна, рентабельность данной системы удобрения – 106–115 %.

Установлены достоверные прибавки урожая ячменя за счет второго года последействия 100 т/га органических удобрений. В вариантах на безнавозном фоне в среднем получено 50,8 ц/га зерна. На фоне с изучением последействия 100 т/га навоза средняя продуктивность ячменя достоверно увеличивалась до 55,8 ц/га. Необходимо отметить, что рентабельность снижалась от фона с последействием 50 т/га навоза – 106–147 % к фону с последействием 100 т/га навоза – 91–129 %.

На безнавозном фоне и фоне последействия 50 т/га навоза оптимальным по полученной урожайности (60,9 и 63,1 ц/га соответственно) является вариант с применением N₉₀₊₃₀P₁₅K₃₀. Этот вариант характеризовался и наибольшей ве-

личной чистой дохода – 165,3 и 171,2 доллара США при рентабельности 115 и 106 % соответственно.

Наиболее эффективным вариантом системы удобрения ярового ячменя на фоне последствия 100 т/га органических удобрений является дробное внесение N_{120} . При данной системе минерального питания прибавка от внесения азотных удобрений составила 21,2 ц/га, при окупаемости – 17,7 кг зерна. В этом варианте величина чистой дохода была наибольшей, составив 162,7 долларов США при рентабельности 106 %.

Таким образом, для разных изучаемых органических фонов характерны различные оптимальные с агрономической и экономической точки зрения системы удобрения. Дальнейшие исследования по установлению направленности изменения агрохимических свойств высоко окультуренной дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы позволят определить оптимальную систему удобрения с позиции сохранения плодородия.

Кроме прибавки урожайности и окупаемости удобрений урожаем к основным показателям агрономической эффективности следует отнести также и качество товарной продукции.

По отношению к качеству ячменя применяются различные требования в зависимости от его целевого назначения: пивоваренное, продовольственное или кормовое. Для пивоваренного ячменя допустимое содержание сырого белка составляет 9,5–11,5 % при оптимальном показателе 10,5 % [9].

Пригодное для пивоварения зерно, при возделывании ячменя Стратус на высоко окультуренной дерново-подзолистой легкосуглинистой почве, в среднем за два года получено в фоновых вариантах и при внесении N_{60} на безнавозном фоне и с последствием 50 т/га навоза.

При оценке кормового фуражного ячменя основной интерес представляет высокое содержание белка. Существенное влияние на синтез белка в опыте оказали азотные удобрения, способствовавшие повышению количества сырого белка на 0,7–4,6 % (табл. 2). На безнавозном фоне возрастающие дозы азотных удобрений привели к увеличению показателя белковости на 0,7–3,9 %, на фоне последствия 50 т/га органических удобрений – на 0,9–4,4 %, на фоне последствия 100 т/га навоза – на 1,6–4,6 %.

Содержание сырого белка зависело также от фона. При возделывании ячменя на безнавозном фоне и фоне с изучением последствия 50 т/га навоза среднее содержание сырого белка в зерне составило 12,4–12,6 %. На фоне с изучением последствия 100 т/га навоза статистически достоверно повышалось до 12,9 %.

Применение фосфорных и калийных удобрений не оказало влияния на белковость зерна ячменя.

Таким образом, для получения зерна с высоким содержанием сырого белка – 14,2–14,8 %, наиболее эффективно применение N_{90+30} вне зависимости от фона.

Содержание протеина может изменяться в широких пределах [10] в зависимости от условий выращивания. В 2015 г. содержание сырого белка в зерне ячменя по опыту изменялось в пределах от 8,7 до 13,7 %, в 2016 г. – от 11,3 до 16,2 %.

В 2015 г. на содержание сырого белка влияние оказало как повышение дозы азотных удобрений, так и фон. Применение N_{60} способствовало повышению бел-

ковости зерна на 0,5–1,7 %, увеличение дозы азота в два раза повышало содержание сырого белка на 4,0-4,9 %. Среднее содержание сырого белка на фоне без внесения органических удобрений составило 10,9 % и достоверно повышалось к органическим фонам до 11,3 % на фоне с последствием 50 т/га навоза и до 11,7 % на фоне последствия 100 т/га навоза.

Таблица 2

Влияние удобрений на показатели качества зерна яровой пшеницы при возделывании на высоко окультуренной дерново-подзолистой легкосуглинистой почве

Вариант	Сырой белок, % в сухом веществе			Сбор сырого белка, ц/га			Масса 1000 семян, г		
	2015 г.	2016 г.	Ø	2015 г.	2016 г.	Ø	2015 г.	2016 г.	Ø
Без удобрений – фон 1	8,8	11,8	10,3	3,2	2,3	2,8	53,6	50,3	52,0
N ₆₀	9,3	12,7	11,0	4,8	4,5	4,7	58,4	52,2	55,3
N ₆₀₊₃₀	10,4	14,6	12,5	5,9	5,2	5,6	58,0	52,6	55,3
N ₉₀₊₃₀	12,8	15,7	14,2	7,7	5,8	6,8	57,2	53,2	55,2
N ₉₀₊₃₀ P ₁₅ K ₃₀	13,0	15,3	14,2	8,0	6,6	7,3	59,1	55,3	57,2
П.н.* 50 т/га – фон 2	9,1	11,3	10,2	3,8	2,5	3,2	57,5	50,6	54,1
Фон 2 + N ₆₀	9,8	12,5	11,1	5,5	4,5	5,0	57,6	54,0	55,8
Фон 2 + N ₆₀₊₃₀	11,4	14,3	12,8	6,8	5,4	6,1	56,9	53,6	55,3
Фон 2 + N ₉₀₊₃₀	13,1	16,2	14,6	8,1	6,3	7,2	56,9	52,8	54,9
Фон 2 + N ₉₀₊₃₀ P ₁₅ K ₃₀	13,3	15,4	14,3	8,5	6,5	7,5	56,2	54,5	55,4
П.н.* 100 т/га – фон 3	8,7	11,7	10,2	3,9	2,9	3,4	57,6	51,0	54,3
Фон 3 + N ₆₀	10,4	13,1	11,8	5,9	5,2	5,6	57,3	55,7	56,5
Фон 3 + N ₆₀₊₃₀	12,0	14,5	13,2	7,3	5,7	6,5	56,8	53,5	55,2
Фон 3 + N ₉₀₊₃₀	13,6	16,1	14,8	8,6	6,8	7,7	56,5	54,2	55,4
Фон 3 + N ₉₀₊₃₀ P ₁₅ K ₃₀	13,7	15,0	14,3	8,3	7,0	7,7	55,5	55,4	55,5
НСР ₀₅ фон (фактор А)	0,4	–	0,3	0,5	0,4	0,4	–	0,9	–
НСР ₀₅ мин. уд. (фактор В)	0,5	0,5	0,4	0,6	0,6	0,5	–	1,1	1,2
НСР ₀₅ взаимодействие фактора А и В	–	–	–	–	–	–	–	–	–

2016 г. характеризовался довольно высоким содержанием белка в фоновых вариантах – 11,3–11,8 %. В то же время прибавки от азотных удобрений были сопоставимы с прибавками в 2015 г. – 0,9–1,4 % от внесения N₆₀ и 3,9–4,4 % от N₁₂₀. Количество сырого белка в этом году не изменялось в зависимости от фона.

Сбор сырого белка в среднем за два года исследования изменялся в зависимости от доз азотных удобрений и фона и составил 2,8–7,7 ц/га. Наибольший сбор сырого белка 6,8-7,7 ц/га отмечен при внесении N₉₀₊₃₀ на всех изучаемых фонах.

По годам исследования отмечены те же закономерности в изменении показателя сбора сырого белка. В то же время в 2015 г., при более низком содержании сырого белка высокая урожайность обусловила более высокий сбор сырого белка (3,2–8,6 ц/га), чем в 2016 г. – 2,3–7,0 ц/га.

Величина белковости в определенной степени связана и с массой 1000 зерен: с уменьшением крупности зерна увеличивается содержание белка, что связано с повышением доли алейронового слоя и зародыша в массе зерновки. В 2015 г. отмечена тенденция снижения массы 1000 зерен при повышении дозы азотных

удобрений и соответственно содержания сырого белка. Наименьший показатель массы 1000 зерен наблюдался в варианте без внесения удобрений, при этом необходимо отметить, что крупность зерна несущественно зависела от системы удобрения и составила 53,6–59,1 г.

В 2016 г. наименьшее содержание сырого протеина в зерне соответствовало наименьшей массе 1000 зерен. Вероятно, это связано с тем, что при относительно невысокой урожайности зерна в этом году количество азота, приходящееся на вегетативные органы растений, было выше, чем в предыдущем году. Увеличение количества азота привело к повышению содержания белка в зерне.

При повышении дозы азотных удобрений от 60 до 120 кг/га д.в. на безнавозном фоне выполненность зерна имела тенденцию к увеличению, на фонах с внесением органических удобрений – достоверно снижалась на 1,2–1,5 г.

Применение полного минерального удобрения ($N_{90+30}P_{15}K_{30}$) в этом году повышало массу 1000 зерен, что отразилось на урожайности ячменя в этих вариантах.

Крупность зерна изменялась и в зависимости от фона. На безнавозном фоне и фоне с последствием 50 т/га навоза средняя масса 1000 зерен составила 52,7–53,1 г. На фоне с последствием 100 т/га навоза была достоверно выше, составив 54,0 г.

В целом погодные условия в 2016 г. обусловили получение менее крупного зерна – 50,3–55,7 г.

В среднем за два года масса 1000 зерен ячменя составила 52,0–57,2 г. В фоновых вариантах масса 1000 зерен была ниже, чем в вариантах с применением минеральных удобрений. Применение удобрений способствовало увеличению крупности зерна на 6–10 % на безнавозном фоне и на 2–4 % на фонах с последствием органических удобрений.

ВЫВОДЫ

В полевом опыте на высоко окультуренной дерново-подзолистой легкосуглинистой почве проведены исследования по определению влияния азотных и последствие органических удобрений на продуктивность и качество зерна ячменя.

Установлено, что для разных изучаемых органических фонов характерны различные оптимальные с агрономической и экономической точки зрения системы удобрения:

- на безнавозном фоне и фоне последствие 50 т/га навоза применение $N_{90+30}P_{15}K_{30}$ характеризовалось оптимальной продуктивностью зерна (60,9 и 63,1 ц/га соответственно), наибольшей величиной чистого дохода – 165,3 и 171,2 доллара США при рентабельности 115 и 106 % соответственно;

- на фоне последствие 100 т/га органических удобрений наиболее эффективным является дробное внесение N_{120} , позволяющее получить 61,6 ц/га зерна, наибольшую величину чистого дохода – 162,7 долларов США с рентабельностью 106 %.

Выявлено влияние азотных удобрений на получение зерна с высокими показателями качества – внесение N_{90+30} на всех изучаемых фонах позволило получить зерно ячменя с содержанием сырого белка – 14,2–14,8 %, при его сборе 6,8–7,7 ц/га.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Агрохимическая характеристика почв сельскохозяйственных земель Республики Беларусь / И.М. Богдеич [и др.]; под общ. ред. И.М. Богдевича. – Минск: Ин-т почвоведения и агрохимии, 2012. – 276 с.
2. *Ильющенков, В.В.* Азотное, фосфорное и калийное состояние хорошо окультуренных дерново-подзолистых почв Северо-Запада России и его изменении при длительном использовании минеральных систем удобрения: автореф. дис. ...канд. с.-х. наук: 06.01.04 / А.И. Ильющенков; Великолукская ГСХА. – Великие Луки, 2000. – 20 с.
3. *Иванов, А.И.* Почвенно-агрохимическое обоснование системы удобрения на хорошо окультуренных дерново-подзолистых почвах Северо-Запада России: автореф. дис. ...д-ра с.-х. наук: 06.01.04. / А.И. Иванов; Санкт-Петербургский государственный аграрный университет – Пушкин, 2000. – 40 с.
4. Организационно-технологические нормативы возделывания зерновых, зернобобовых, крупяных культур: сб. отрас. регламентов / Нац. академ. наук Беларуси, НПЦ НАН Беларуси по земледелию; сост. Ф.И. Привалов [и др.]. – Минск: Беларуская навука, 2012. – 288 с.
5. Методика определения агрономической и экономической эффективности минеральных и органических удобрений / И.М. Богдевич [и др.]. – Минск: Ин-т почвоведения и агрохимии, 2010. – 24 с.
6. Возделывание зерновых / Д. Шпаар [и др.]; под общ. ред. Д. Шпаара. – М.: Аграрная наука, 1998. – 336 с.
7. Физиология и биохимия сельскохозяйственных растений / Н.Н. Третьяков [и др.]; под ред. Н.Н. Третьякова. – М.: Колос, 1998. – 640 с.
8. Панников, В.Д. Почва, климат, удобрение и урожай / В.Д. Панников, В.Г. Минеев. – М.: Колос, 1977. – 416 с.
9. *Лапа, В.В.* Применение удобрений и качество урожая / В.В. Лапа, В.Н. Босак. – Минск, 2008. – 120 с.
10. Минеральное питание и качество зерна злаковых культур / А.Н. Павлов [и др.] // Минеральное питание сельскохозяйственных культур, урожай и качество продукции: труды ВИАУ / НИИ удобрений и агропочвоведения им. Д.Н. Прянишникова; редкол.: Н.З. Милащенко (гл. ред.) [и др.]. – М., 1989. – С. 4–16.

AGROECONOMIC EFFICIENCY OF SUMMER BARLEY CULTIVATION ON HIGHLY CULTIVATED SOD-PODSOLIC LIGHT LOAMY SOIL

V.V. Lapa, V.G. Kulesh, E.G. Mezentseva, A.A. Shedava, A.U. Simankou

Summary

An optimum fertilizing system of summer barley from the agronomical and economic point of view is determined. The system was characterized for different studied organic backgrounds: $N_{90+30}P_{15}K_{30}$ for the background without manure and for the background with 50 t/ha of manure aftereffect; N_{90+30} – for the background with aftereffect of 100 t/ha of organic fertilizers. The authors revealed the influence of the increased doses of nitric fertilizers (N_{90+30}) for the all studied backgrounds on grain production with high quality indicators.

Поступила 27.11.16

КОЭФФИЦИЕНТЫ ПЕРЕСЧЕТА ЗЕРНА И СЕМЯН В ПОБОЧНУЮ ПРОДУКЦИЮ И СОДЕРЖАНИЕ ОСНОВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ПИТАНИЯ В ПОБОЧНОЙ ПРОДУКЦИИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ

**Е.Н. Богатырева, Т.М. Серая, О.М. Бирюкова, Т.М. Кирдун,
Ю.А. Белявская, М.М. Торчило**

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

ВВЕДЕНИЕ

При сложившейся экономической ситуации, когда цены на минерально-сырьевые и энергоресурсы постоянно возрастают, одной из главных составляющих повышения эффективности агропромышленного комплекса является производство высококачественной конкурентоспособной продукции на основе ресурсосберегающих технологий, предполагающих экономически обоснованный поиск резервов удешевления производства отечественной сельскохозяйственной продукции. Важная роль в повышении рентабельности сельскохозяйственной продукции принадлежит органическим удобрениям, которые оказывают комплексное воздействие на все факторы почвенного плодородия (агрохимические, агрофизические, биологические). Значимость органических удобрений обусловлена также их способностью регулировать баланс органического вещества почв. В Республике Беларусь при сложившейся структуре посевных площадей для поддержания бездефицитного баланса гумуса в почвах пахотных земель необходимо вносить 13,1 т/га или 65,3 млн т органических удобрений [1]. Однако в настоящее время с учетом имеющегося поголовья скота за счет навоза может быть заготовлено только 84 % органических удобрений от их потребности. Возникший дисбаланс между выходом органических удобрений и требуемыми объемами их внесения для воспроизводства гумуса можно компенсировать за счет заправки соломы, что является одним из наиболее экономически выгодных приемов удешевления продукции, особенно для хозяйств, имеющих небольшое поголовье скота на соломенной подстилке.

По расчетам валовый сбор соломы в Республике Беларусь в последние годы составляет около 10,6 млн т. В 2013 г. в хозяйствах было измельчено и запахано в почву 4615 тыс. т побочной продукции, из которой 42 % составила солома зерновых культур, 31 % – листостебельная масса кукурузы, 26 % – солома рапса и около 1 % – побочная продукция гречихи [2]. При расчете баланса соломы важно реально оценить соотношение побочной продукции и зерна, которое зависит от культуры, сорта, погодных условий в период вегетации, применения удобрений и ретардантов и др. Согласно данным [3] для определения общего выхода соломы пшеницы, гречихи и гороха принят коэффициент 1,5, озимой ржи – 2,0, яровой пшеницы и овса – 1,3, ячменя – 1,2. В работах [4, 5] для учета урожая соломы

озимой пшеницы и яровых зерновых в производственных условиях при пересчете предлагают использовать коэффициент 1,2, озимой ржи – 1,5. В исследованиях [6], проведенных на черноземах и каштановых почвах, установлено, что в зависимости от типа почвы, степени ее эродированности и способа основной обработки соотношение зерно:солома для озимой пшеницы составило 1:(0,9–1,5), ячменя – 1:(0,7–1,5), гороха – 1:(0,9–1,8), кукурузы – 1:(0,9–2,0), подсолнечника – 1:(0,5–1,5). На основе ранее обобщенных соотношений побочной продукции к основной в полевых опытах и анализа производственных результатов в Республике Беларусь приняты следующие коэффициенты пересчета: озимые зерновые и зернобобовые культуры, кукуруза, просо – 1,2, яровые зерновые и гречиха – 1,0, рапс и другие крестоцветные культуры – 3,0 [7].

В связи с тем, что в настоящее время существенно изменились технологии возделывания сельскохозяйственных культур, во многих хозяйствах высевают новые сорта интенсивного типа, адаптированные к конкретным почвенно-климатическим условиям, соотношение побочной и основной продукции может изменяться. Кроме того, в некоторых хозяйствах в последнее время возделывается подсолнечник на маслосемена, для которого в почвенно-климатических условиях республики коэффициент пересчета семян в солому отсутствует. Изменившиеся условия хозяйствования актуализировали необходимость уточнения коэффициентов, которые используются в производственных условиях для определения выхода побочной продукции сельскохозяйственных культур.

Реальный учет урожая соломы позволит не только правильно оценить ее приходно-расходные статьи и скорректировать планируемые дозы органических удобрений под последующие культуры за счет запашки побочной продукции, но и грамотно распорядиться имеющимися ресурсами минеральных удобрений, позволяя сократить объемы их применения. По нашим данным [8], снижение доз фосфорных и калийных удобрений с учетом фосфора и калия, высвобождающихся из соломы, позволило сэкономить 40 кг/га д.в. фосфора и 240 кг/га д.в. калия при продуктивности звена севооборота на уровне полных доз минеральных удобрений. При этом содержание подвижных форм этих элементов в почве оставалось на исходном уровне или имело тенденцию к увеличению. Исследования И.В. Русаковой с соавт. [9] также показали, что при 2–3 кратной запашке побочной продукции в севообороте отмечается увеличение содержания подвижных элементов питания в почве по сравнению с минеральным фоном и неудобренным вариантом.

Химический состав побочной продукции зависит от видовых и сортовых особенностей культур, а также определяется совокупностью разных факторов, таких как почвенные условия, применяемые системы удобрения, обработка почвы и др. [10–13]. В работах [14, 15] представлены пределы варьирования элементов питания в побочной продукции одного и того же вида для разных сельскохозяйственных культур. При этом анализ литературных источников показал, что при указании среднего содержания элементов питания в соломе практически во всех работах как в более ранних, так и более поздних [3, 16–19], приведены показатели, соответствующие источнику [20]. Несколько иное содержание элементов питания в побочной продукции сельскохозяйственных культур дано в работе [21]: содержание азота варьирует от 0,42 % в соломе озимой ржи до 1,40 % в побочной продукции гороха и кормового люпина; фосфора – от 0,13 в ржаной соломе до 0,34 % в соломе гороха; калия – от 0,80 % в соломе яровой пшеницы до 1,60 % в овсяной

соломе; содержание кальция и магния в зависимости от вида соломы изменяется в пределах 0,26–1,58 % и 0,12–0,30 % соответственно. Примерный химический состав побочной продукции, полученный в результате обобщения данных, представлен также в более поздней работе российских ученых [5]. Идентичные показатели по среднему содержанию азота и зольных элементов питания практически по всем сельскохозяйственным культурам приведены в работах [22, 23].

Расчеты показывают, что при запашке в сельскохозяйственных организациях республики 4,6 млн т побочной продукции, в почву может быть возвращено 30,2 тыс. т азота, 15,2 тыс. т фосфора, 69,4 тыс. т калия, 3,6 млн т органического вещества. Однако для того, чтобы рекомендовать уточненные дозы минеральных удобрений производству с учетом высвобождения элементов питания из запаханной побочной продукции, необходимо обновить нормативную базу по ее химическому составу в сельскохозяйственных культурах, возделываемых на территории республики.

Цель исследований – уточнить коэффициенты пересчета зерна и семян в побочную продукцию и обновить нормативную базу по содержанию в ней основных элементов питания в сельскохозяйственных культурах, произрастающих на территории Республики Беларусь.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Растительные образцы для обновления нормативной базы по содержанию основных элементов питания в побочной продукции сельскохозяйственных культур и уточнения коэффициентов пересчета зерна и семян в солому в условиях производства были отобраны при проведении маршрутных исследований по областям Республики Беларусь в 2012–2014 гг., а также обобщены результаты полевых опытов, проведенных в РУП «Институт почвоведения и агрохимии» в период с 2010 по 2015 гг. В производственных посевах образцы растений отбирали в период полной спелости зерна и семян с площадок размером 0,25 м² в 10 точках с расстоянием 150–200 м между ними. Пробные снопы, отобранные на одном поле, объединяли в одну пробу, обмолачивали и определяли выход зерна и соломы для последующего расчета соотношения основной и побочной продукции, а также урожайности. Из каждого объединенного образца отбирали пробу для определения влажности и химического состава.

В отобранных образцах побочной продукции (солома зерновых, зернобобовых, крестоцветных и листостебельная масса кукурузы и подсолнечника) определяли содержание влаги и сухого вещества (ГОСТ 27548–97), органического углерода (ГОСТ 27980–88), азота (ГОСТ 13496.4–93), фосфора (ГОСТ 26657–97), калия (ГОСТ 30504–97), кальция (ГОСТ 28901–91) и магния (ГОСТ 30502–97).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Анализ данных по соотношению побочной и основной продукции показал, что коэффициенты пересчета в зависимости от урожайности сельскохозяйственных культур и их видового состава изменялись в широких пределах. Минимальное соотношение основной и побочной продукции (1:0,7) получено для люпина при урожайности зерна более 40 ц/га, максимальное (1:3,6) – для подсолнечника при

сборе основной продукции менее 10 ц/га (табл. 1). Обобщение полученных данных позволило установить, что независимо от вида сельскохозяйственных культур при увеличении урожайности основной продукции, долевое участие в общей массе урожая побочной продукции уменьшалось, о чем свидетельствует снижение коэффициентов пересчета зерна и семян в побочную продукцию.

Таблица 1

Коэффициенты пересчета зерна и семян в побочную продукцию сельскохозяйственных культур (из расчета на стандартную влажность)

Культура	Коэффициент пересчета зерна и семян в побочную продукцию					Средний коэффициент по культуре
<i>Зерновые культуры</i>						
Урожайность зерна, ц/га	< 20	20–30	30–40	40–50	> 50	
Озимая пшеница	1,4	1,2	1,1	1,0	0,8	1,1
Озимая тритикале	1,4	1,3	1,1	1,0	0,8	1,1
Озимая рожь	1,5	1,4	1,3	1,1	–	1,3
Урожайность зерна, ц/га	< 20	20–30	30–40	> 40		
Яровая пшеница	1,3	1,1	1,0	0,9		1,1
Яровая тритикале	1,3	1,2	1,1	0,8		1,1
Урожайность зерна, ц/га	< 20	20–30	> 30	–		
Яровой ячмень	1,0	0,9	0,8	–		0,9
Овес	1,2	1,1	1,0	–		1,1
Урожайность зерна, ц/га	< 30	30–60	60–90	> 90		
Кукуруза	1,6	1,3	1,0	0,8		1,2
Урожайность зерна, ц/га	< 10	10–20	> 20	–		
Просо	1,8	1,6	1,1	–		1,5
Урожайность зерна, ц/га	< 10	> 10	–	–		
Гречиха	1,9	1,1	–	–		1,5
<i>Зернобобовые культуры</i>						
Урожайность зерна, ц/га	< 20	20–30	30–40	> 40		
Люпин	1,7	1,3	0,9	0,7		1,2
Горох	1,7	1,5	1,3	1,1		1,4
Урожайность зерна, ц/га	< 10	10–20	> 20	–		
Соя	2,5	2,1	2,0	–		2,2
<i>Масличные культуры</i>						
Урожайность семян, ц/га	< 10	10–20	20–30	> 30		
Яровой рапс	2,7	1,8	1,6	–		2,0
Озимый рапс	3,0	1,9	1,7	1,2		2,0
Урожайность семян, ц/га	< 10	10–20	20–30	30–40	> 40	
Подсолнечник	3,6	2,0	1,5	1,3	1,1	1,9

Установлено, что для яровых зерновых культур выход соломы относительно основной продукции составляет 80–130 %. При этом коэффициент, равный единице, используемый в Республике Беларусь при пересчете зерна в солому для этих культур, по нашим данным соответствует при урожайности зерна: для ячменя – менее 20 ц/га, для пшеницы – 30–40 ц/га, для овса – более 30 ц/га. Из яровых зерновых меньше всего побочной продукции формируется при возделывании

вании ячменя, в результате чего в среднем по этой культуре коэффициент пересчета составляет 0,9, для других яровых зерновых культур данный показатель находится на уровне 1,1.

Для определения урожайности листостебельной массы кукурузы, коэффициенты пересчета находятся в пределах от 0,8 (при урожае зерна более 90 ц/га) до 1,6 (при урожае зерна менее 30 ц/га). Таким образом, средний коэффициент для данной культуры составляет 1,2 и соответствует используемому до настоящего времени в сельскохозяйственном производстве.

Для гречихи установленные нами коэффициенты пересчета основной продукции в побочную, в зависимости от урожайности зерна, варьировали от 1,1 до 1,9 при среднем коэффициенте 1,5, что на 50 % превышает ранее рекомендованный коэффициент (1,0) для определения урожая соломы этой культуры. Определение соотношения побочной и основной продукции для проса также показало несоответствие между применяемым в хозяйствах коэффициентом для расчета урожая побочной продукции и коэффициентом, полученным при проведении исследований. Установлено, что средний коэффициент для пересчета зерна проса в солому равен 1,5 против 1,2, который применяется до настоящего времени. Наибольшее соотношение побочной продукции к основной (на уровне 1,8) для проса отмечено при урожайности зерна меньше 10 ц/га, при 10–20 ц/га данный показатель равен 1,6, при сборе более 20 ц/га – 1,1.

По результатам обобщения соотношений соломы и семян ярового и озимого рапса в новых условиях хозяйствования, в отличие от ранее предложенного коэффициента для учета побочной продукции этих культур на уровне 3,0, получены более низкие показатели. Установлено, что только при урожайности семян менее 10 ц/га для определения общего выхода соломы озимого рапса необходимо использовать коэффициент 3,0, в то время как для ярового рапса – 2,7. Отмечено, что для озимого и ярового рапса полученные коэффициенты с учетом урожайности данных культур отличались незначительно. Независимо от формы рапса средний коэффициент пересчета семян в солому для этой культуры составляет 2,0.

Для учета побочной продукции всех зернобобовых культур, возделываемых в Беларуси, используют коэффициент 1,2, без учета их видового состава. На основе проведенных исследований установлено, что при расчете количества соломы, которая остается в поле после уборки сои, применяемый коэффициент в 1,7–2,1 раза ниже, чем новые коэффициенты, рассчитанные в зависимости от уровня урожая. Таким образом, при урожайности зерна сои до 10 ц/га выход соломы в 2,5 раза выше, при 10–20 ц/га – в 2,1, больше 20 ц/га – в 2,0. Для люпина полученное среднее значение коэффициента перевода зерна в солому составило 1,2, что соответствует используемому в республике. Однако в зависимости от урожайности зерна люпина коэффициенты варьируют от 0,7 при урожае зерна больше 40 ц/га до 1,7 при его величине меньше 10 ц/га. Установленный в исследованиях средний коэффициент перевода зерна гороха в солому составляет 1,4, варьируя в зависимости от урожайности зерна в пределах 1,1–1,7.

Для подсолнечника, коэффициент пересчета семян в побочную продукцию в среднем составляет 1,9, изменяясь в зависимости от урожайности семян от 1,1 до 3,6.

Все исследуемые культуры по величине среднего коэффициента пересчета зерна в побочную продукцию можно расположить в следующий ряд по убыванию:

соя – 2,2 > яровой и озимый рапс – 2,0 > подсолнечник – 1,9 > гречиха и просо – 1,5 > горох – 1,4 > озимая рожь – 1,3 > кукуруза и люпин – 1,2 > овес, яровые и озимые пшеница и тритикале – 1,1 > яровой ячмень – 0,9.

Химический анализ показал, что побочная продукция сельскохозяйственных культур (в пересчете на сухое вещество) на 41,2–49,5 % состоит из углерода, содержание которого характеризуется наименьшей изменчивостью по сравнению с другими элементами (табл. 2). Содержание азота варьировало в довольно широких пределах не только в зависимости от видового состава побочной продукции, но и в пределах одной культуры. Аккумуляция азота в соломе одного и того же вида в зависимости от культуры отличалась в 2,0–4,3 раза при минимальном изменении в побочной продукции гороха (0,65–1,33 %), максимальном – сои (0,40–1,70 %). Значительные различия выявлены также по содержанию зольных элементов: по фосфору диапазон колебаний в пределах культуры составлял 2,7–6,2 раза, по калию – 2,1–3,9, по кальцию – 1,3–5,8, по магнию – 1,5–5,6 раза. Наименьшие пределы колебаний по фосфору (0,25–0,67 % и 0,17–0,46 %) характерны для побочной продукции люпина и подсолнечника, по калию (1,98–4,08 %) – для гречихи, по кальцию (0,90–1,18 %) – для люпина, по магнию (0,08–0,12 %) – для яровой тритикале. Максимальные различия по содержанию фосфора в пределах одной культуры получены для овса и озимой тритикале, по калию – для ярового рапса, по кальцию – для кукурузы, по магнию – для озимого рапса.

Несмотря на то, что непосредственное определение химического состава побочной продукции более реально отражает аккумуляцию в ней элементов питания, в хозяйствах для оперативного учета более удобно использовать данные по их среднему содержанию. Установлено, что наиболее низкое среднее содержание органического углерода (43,7 %) отмечено в побочной продукции подсолнечника. Больше всего его обнаружено в соломе зерновых культур и рапса (47,1–47,7 %), за исключением овса, где этот показатель составил 46,7 %.

Наиболее высокая аккумуляция азота в побочной продукции характерна для зернобобовых культур и кукурузы (0,84–1,18 %). Промежуточное положение по его накоплению занимают крупяные культуры, подсолнечник и яровой рапс с содержанием этого элемента на уровне 0,65–0,71 %. Наименьшее количество азота сосредоточено в соломе зерновых культур и озимого рапса (0,45–0,60 %).

Содержание фосфора в побочной продукции в зависимости от ее видового состава по средним показателям было на 9–74 % меньше, чем азота. Максимальное его среднее содержание отмечено в соломе гречихи (0,62 %). Довольно высокая аккумуляция фосфора характерна для побочной продукции люпина, сои, проса, кукурузы и овса, где его концентрация достигала 0,45–0,47 %. Далее по уровню накопления следуют озимая рожь, яровые ячмень и рапс (0,32–0,35 %). Меньше всего его накапливается в соломе гороха, подсолнечника, яровых и озимых тритикале и пшеницы (0,22–0,29 %).

Независимо от вида сельскохозяйственной культуры содержание калия в побочной продукции превалировало над концентрацией остальных зольных элементов и азота. Наибольшее количество калия отмечено для подсолнечника – 3,34 %. Достаточно высоким его содержанием характеризовалась также солома овса (2,59 %) и крупяных культур (2,81–2,87 %) при минимальных значениях в горохе, озимых зерновых, яровых пшенице и тритикале (1,39–1,68 %).

Содержание элементов питания в побочной продукции сельскохозяйственных культур, % в сухой массе

Побочная продукция	Выборка (n)	Показатели	Органический углерод	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Ярового ячменя	170	min	45,1	0,28	0,17	0,90	0,17	0,07
		max	48,5	0,91	0,59	3,36	0,67	0,30
		среднее	47,1	0,60	0,34	1,83	0,37	0,16
		стандартное отклонение	0,73	0,16	0,09	0,59	0,11	0,05
Овса	160	min	44,5	0,25	0,14	1,32	0,11	0,07
		max	48,1	0,94	0,87	3,88	0,60	0,33
		среднее	46,7	0,51	0,45	2,59	0,25	0,17
		стандартное отклонение	0,55	0,16	0,17	0,66	0,09	0,06
Яровой пшеницы	130	min	45,0	0,28	0,11	0,98	0,14	0,07
		max	48,9	1,05	0,56	2,62	0,46	0,20
		среднее	47,5	0,53	0,29	1,55	0,21	0,13
		стандартное отклонение	0,59	0,14	0,11	0,39	0,07	0,03
Яровой тритикале	60	min	46,0	0,27	0,11	0,90	0,10	0,08
		max	48,8	0,84	0,40	2,34	0,18	0,12
		среднее	47,6	0,51	0,25	1,68	0,16	0,10
		стандартное отклонение	0,64	0,12	0,04	0,42	0,02	0,01
Озимой пшеницы	70	min	46,2	0,27	0,10	0,99	0,10	0,07
		max	48,9	0,91	0,59	2,40	0,43	0,20
		среднее	47,6	0,52	0,25	1,39	0,22	0,13
		стандартное отклонение	0,62	0,17	0,10	0,33	0,08	0,04
Озимой тритикале	190	min	46,1	0,23	0,10	0,90	0,10	0,07
		max	48,9	0,91	0,62	2,87	0,42	0,15
		среднее	47,5	0,46	0,29	1,66	0,21	0,09
		стандартное отклонение	0,60	0,14	0,11	0,44	0,07	0,02
Озимой ржи	50	min	46,3	0,27	0,12	1,00	0,11	0,07
		max	49,5	0,73	0,68	2,43	0,39	0,15
		среднее	47,7	0,45	0,35	1,59	0,24	0,10
		стандартное отклонение	0,69	0,13	0,14	0,38	0,08	0,03
Кукурузы	70	min	44,8	0,42	0,17	0,91	0,13	0,10
		max	48,1	1,47	0,82	3,25	0,76	0,40
		среднее	47,0	1,09	0,45	1,89	0,30	0,24
		стандартное отклонение	1,07	0,29	0,15	0,53	0,14	0,06
Гречихи	140	min	43,9	0,33	0,27	1,98	0,3	0,15
		max	46,3	1,26	1,17	4,08	1,13	0,83
		среднее	45,3	0,68	0,62	2,87	0,63	0,36
		стандартное отклонение	0,44	0,25	0,27	0,36	0,23	0,13

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Проса	75	min	45,5	0,41	0,25	1,56	0,12	0,21
		max	45,9	1,11	0,71	3,95	0,45	0,82
		среднее	45,6	0,71	0,45	2,81	0,25	0,44
		стандартное отклонение	0,59	0,33	0,13	0,43	0,04	0,09
Озимого рапса	62	min	45,9	0,28	0,12	0,94	0,52	0,07
		max	48,6	0,84	0,57	3,30	1,37	0,39
		среднее	47,1	0,54	0,29	1,75	0,96	0,22
		стандартное отклонение	0,71	0,16	0,12	0,48	0,24	0,10
Ярового рапса	150	min	46,7	0,33	0,13	0,85	0,56	0,09
		max	47,8	1,11	0,55	3,31	1,27	0,28
		среднее	47,4	0,65	0,32	2,04	0,97	0,16
		стандартное отклонение	0,63	0,17	0,11	0,54	0,19	0,04
Гороха	55	min	43,0	0,65	0,12	0,80	0,75	0,14
		max	47,2	1,33	0,49	2,65	1,11	0,27
		среднее	46,3	0,84	0,22	1,60	0,91	0,22
		стандартное отклонение	1,13	0,21	0,10	0,79	0,09	0,04
Сои	52	min	43,6	0,40	0,19	1,13	0,70	0,32
		max	46,2	1,70	0,80	3,50	1,69	0,98
		среднее	45,5	0,84	0,47	2,14	1,08	0,73
		стандартное отклонение	0,67	0,37	0,18	0,65	0,29	0,16
Люпина	49	min	46,0	0,80	0,25	1,14	0,90	0,33
		max	47,7	1,77	0,67	3,07	1,18	0,70
		среднее	47,0	1,18	0,47	2,30	1,01	0,43
		стандартное отклонение	0,40	0,35	0,12	0,52	0,07	0,09
Подсол- нечника	56	min	41,2	0,39	0,17	1,92	0,86	0,22
		max	45,4	1,16	0,46	4,50	1,69	0,60
		среднее	43,7	0,68	0,28	3,34	1,23	0,39
		стандартное отклонение	0,71	0,21	0,07	0,76	0,22	0,09

Наибольшее накопление кальция также характерно для побочной продукции подсолнечника, где средний показатель достиг 1,23 %. Далее сельскохозяйственные культуры по содержанию кальция в соломе распределялись в убывающем порядке: зернобобовые (0,91–1,08 %) и рапс (0,96–0,97 %), гречиха (0,63 %), яровой ячмень и кукуруза (0,30–0,37 %), просо, озимые зерновые, яровые пшеница, тритикале и овес (0,16–0,25 %).

Наиболее высокое содержание магния отмечено в побочной продукции сои, где его среднее содержание составило 0,73 %. В соломе остальных исследуемых культур в зависимости от их вида, количество магния варьировало от 0,09 % в озимой тритикале до 0,44 % в просе, что в 1,7–8,3 раза было меньше относительно содержания этого элемента в соломе сои.

Среди зернобобовых культур более высокое содержание азота и калия характерно для побочной продукции люпина, кальция и магния – для сои, меньше всего зольных элементов содержалось в горохе.

При сравнении зерновых культур выявлено, что для соломы яровых культур свойственно более высокое содержание элементов питания, чем для озимых. Расчеты показали, что содержание азота в побочной продукции яровых культур в среднем находилось на уровне 0,54 % против 0,48 % в озимых. Средний показатель по фосфору в соломе яровых культур составил 0,33 %, по калию – 1,92 %, по кальцию – 0,25 %, по магнию – 0,14 % при аккумуляции данных элементов в побочной продукции озимых культур на уровне: P_2O_5 – 0,30 %, K_2O – 1,55 %, CaO – 0,22 %, MgO – 0,11 %.

В масличных культурах побочная продукция подсолнечника по аккумуляции элементов питания превалировала над рапсом, за исключением фосфора. Среднее содержание калия в подсолнечнике в 1,6–1,9 раза превышало аналогичные показатели по рапсу, кальция – в 1,3 раза, магния – в 1,8–2,4 раза. При этом содержание азота, фосфора и калия в соломе ярового рапса было выше, чем в озимом, а по магнию, наоборот, меньше при равноценном показателе по кальцию.

Установлено, что наиболее узким соотношением углерода к азоту характеризуется побочная продукция кукурузы и зернобобовых культур, где C/N находится на уровне 40–55. Для создания оптимальных условий для разложения побочной продукции этих культур при запашке, в зависимости от видового состава, компенсирующая доза азота составляет 4–7 кг. Более широкое углеродно-азотное соотношение, равное 64–67, было характерно для подсолнечника и крупяных культур, что требует дополнительного внесения 8 кг минерального азота на 1 т побочной продукции. Солома зерновых культур и рапса содержала углерода в 73–106 раз больше по сравнению с азотом при наиболее широком отношении этих элементов для озимых ржи и тритикале; наиболее узким – для ярового ячменя. Компенсирующая доза азота при использовании побочной продукции зерновых культур и рапса в качестве удобрения составляет 9–11 кг/т.

Оценка возможного возврата органического вещества и элементов питания при запашке 1 т побочной продукции сельскохозяйственных культур показала, что в почву в зависимости от вида запахиваемой соломы поступает от 735 кг органического вещества с растительными остатками подсолнечника до 801 кг с соломой озимой ржи (табл. 3).

Помимо органического вещества в почву с 1 т побочной продукции возвращается 3,8–9,9 кг азота, 1,8–5,2 кг фосфора, 1,4–10,3 кг кальция, 0,8–6,1 кг магния. Больше всего из изучаемых элементов питания с побочной продукцией поступает калия – от 11,7 кг с соломой озимой пшеницы до 28,0 кг с растительными остатками подсолнечника.

Соответствующие расчеты показали, что среди изучаемых культур наибольшее количество NPK поступит в почву с 1 т побочной продукции гречихи, проса, люпина и подсолнечника (33–36 кг). Несколько меньшее суммарное количество этих элементов питания возвращается в почву при использовании в качестве удобрений побочной продукции овса, кукурузы и сои – 29–30 кг/т. С каждой тонной соломы рапса, гороха и ярового ячменя в почву будет запахано только 22–25 кг NPK. Минимальное количество NPK запахиается с 1 т соломы озимых зерновых культур и яровых пшеницы и тритикале – всего 18–21 кг.

Возможное поступление в почву органического вещества и элементов питания при запашке 1 т побочной продукции сельскохозяйственных культур, кг/т (в расчете на стандартную влажность 16 %)

Побочная продукция	Органическое вещество	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO	Сумма NPK	Отношение C/N	Компенсирующая доза азота на 1 т побочной продукции, кг д.в.
Ярового ячменя	791	5,0	2,8	15,4	3,1	1,4	24	79	10
Овса	785	4,3	3,8	21,8	2,1	1,4	30	92	10
Яровой пшеницы	798	4,4	2,4	13,0	1,7	1,1	20	90	11
Яровой тритикале	800	4,3	2,1	14,1	1,4	0,8	21	93	11
Озимой пшеницы	800	4,4	2,1	11,7	1,8	1,1	18	92	11
Озимой тритикале	798	3,8	2,4	13,9	1,8	0,8	20	103	11
Озимой ржи	801	3,8	3,0	13,4	2,0	0,8	20	106	11
Кукурузы	789	9,1	3,8	15,9	2,5	2,0	29	43	5
Гречихи	761	5,7	5,2	24,1	5,3	3,0	35	67	8
Проса	766	5,9	3,8	23,6	2,1	3,7	33	64	8
Озимого рапса	792	4,6	2,4	14,7	8,1	1,8	22	87	10
Ярового рапса	796	5,5	2,7	17,1	8,1	1,3	25	73	9
Гороха	777	7,1	1,8	13,5	7,6	1,8	24	55	7
Сои	764	7,0	4,0	18,0	9,1	6,1	29	54	7
Люпина	789	9,9	3,9	19,3	8,5	3,6	33	40	4
Подсолнечника	735	5,7	2,4	28,0	10,3	3,2	36	64	8

ВЫВОДЫ

1. На основании проведенных маршрутных исследований и по результатам обобщения полевых опытов предлагаются следующие коэффициенты пересчета зерна и семян в побочную продукцию: кукуруза и люпин – 1,2, горох – 1,4, просо и гречиха – 1,5, подсолнечник – 1,9, яровой и озимый рапс – 2,0, соя – 2,2, озимые и яровые зерновые культуры – 1,1 (за исключением ярового ячменя и озимой ржи, у которых соотношение побочной и основной продукции составило 0,9 и 1,3 соответственно).

2. Определено среднее содержание и пределы варьирования макроэлементов в побочной продукции одного и того же вида для разных сельскохозяйственных культур. Среднее содержание азота в побочной продукции в зависимости от ее видового состава находилось на уровне 0,45–1,18 %, фосфора – 0,22–0,62 %, калия – 1,39–3,34, кальция – 0,16–1,23 %, магния – 0,09–0,73 %.

3. В Республике Беларусь при запашке 1 т побочной продукции в зависимости от ее видового состава в почву возвращается: азота – 3,8–9,9 кг, фосфора – 1,8–5,2 кг, калия – 11,7–28,0 кг, кальция – 1,4–10,3 кг, магния – 0,8–6,1 кг при возврате органического вещества на уровне 735–801 кг.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Серая, Т.М.* Органика: воздасться с торицей / Т.М. Серая, Е.Н. Богатырева // Белорус. сел. хоз-во. – 2013. – № 4 (132). – С. 49–53.
2. *Серая, Т.М.* Солома – тоже удобрение / Т.М. Серая, Е.Н. Богатырева // Белорусская нива. – 2013. – № 210. – С. 3.
3. Органические удобрения: справочник / П.Д. Попов [и др.]. – М.: Агропромиздат, 1988. – 207 с.
4. Технология использования соломы на удобрение / Минсельхозпрод Респ. Беларусь, Бел.отд. ВАСХНИЛ, БелНИИ почвоведения и агрохимии; сост. В.А. Тикавий [и др.]. – Минск: БелНИИЭП АПК, 1992. – 17 с.
5. Система биологизации земледелия в Нечерноземной зоне. (Научно-практические рекомендации на примере Владимирской области) / РАСХН, ГНУ ВНИПТИОУ Россельхозакадемии; под ред. А.И. Еськова. – М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2007. – 296 с.
6. Нормативы и методика применения побочной продукции сельскохозяйственных культур для обеспечения бездефицитного баланса органического вещества в почвах на землях сельскохозяйственного назначения / А.В. Лабынцев [и др.]; Донской НИИСХ Р. – Рассвет, 2010. – 50 с.
7. Методические указания по учету и применению органических удобрений / В.В. Лапа [и др.]; Институт почвоведения и агрохимии. – Минск: БНИВНФХ в АПК, 2007. – 16 с.
8. Влияние заправки побочной продукции и минеральных удобрений на продуктивность звена севооборота и агрохимические показатели дерново-подзолистой супесчаной почвы / Т.М. Серая [и др.] // Агрохимия. – 2015. – № 11. – С. 30–36.
9. Солома – один из факторов биологизации земледелия / И В Русакова [и др.] // Использование органических удобрений и биоресурсов в современном земледелии: материалы Междунар. науч.-практ. конф., посв. 20-летию ВНИПТИОУ, Владимир, 25–27 июля 2001 г. / РАСХН, ВНИПТИОУ. – Владимир, 2002. – С. 256–257.
10. Эффективность минеральных удобрений при возделывании яровой пшеницы на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве / В.В. Лапа [и др.] // Почвоведение и агрохимия. – 2008. – № 2 (41). – С. 79–87.
11. *Шлапунов, В.Н.* Влияние агротехнических приемов на накопление послеуборочных остатков ярового рапса / В.Н. Шлапунов, В.А. Радовня, А.В. Аляпкин // Почвоведение и агрохимия. – 2010. – № 1(44). – С. 197–204.
12. *Щетко, А.И.* Влияние применения удобрений на урожайность и вынос элементов питания ячменем при возделывании на дерново-подзолистой супесчаной почве / А.И. Щетко, А.Р. Рыбак // Почвоведение и агрохимия. – 2014. – № 1(52). – С. 250–257.
13. *Ивойлов, А.В.* Влияние удобрений на урожайность и качество зерна ячменя в зоне неустойчивого увлажнения / А.В. Ивойлов, В.И. Копылов, О.Н. Самойлов // Агрохимия. – 2003. – № 9. – С. 30–31.
14. *Лапа, В.В.* Применение удобрений и качество урожая / В.В. Лапа, В.Н. Босак; Ин-т почвоведения и агрохимии. – Минск, 2006. – 120 с.
15. Агрохимия: учебник / И.Р. Вильдфлуш [и др.]; под ред. И.Р. Вильдфлуша. – Минск: ИВЦ Минфина, 2013. – 704 с.

16. Солома – органическое удобрение: рекомендации / В.А. Деревягин, М.Е. Кравченко, И.В. Русакова. – Владимир: ВНИПТИОУ, 1989. – 68 с.

17. Использование соломы и сидератов на удобрение в биологизированных системах земледелия: практическое руководство / В.А. Корчагин [и др.]; Самарский НИИСХ. – Самара, 2002. – 27 с.

18. Ресурсы органических удобрений в сельском хозяйстве России (информационно-аналитический справочник) / РАСХН, ГНУ ВНИПТИОУ Россельхозакадемии; под ред. А.И. Еськова. – Владимир: ГНУ ВНИПТИОУ Россельхозакадемии, 2006. – 200 с.

19. Анохина, Т.А. Запашка соломы в качестве органического удобрения почвы и saniрующего средства / Т.А. Анохина, Р.М. Кадыров, Т.Г. Бардиян. – Жодино: НПЦ НАН Беларуси по земледелию, 2009. – 27 с.

20. Шкарда, М. Производство и применение органических удобрений / М. Шкарда. – М.: Агропромиздат. – 1985. – 363 с.

21. Рекомендации по использованию излишков соломы в качестве удобрения / Р.Р. Визла; ЛатвНИИЗ. – Рига: ЛатвНИИЗ, 1989. – 9 с.

22. Агрохимия: учеб. пособие / П.М. Смирнов [и др.]; под ред. П.М. Смирнова, А.В. Петербургского. – 3-е изд. – М.: Колос, 1975. – 512 с.

23. Панников, В.Д. Почва, климат, удобрение и урожай / В.Д. Панников, В.Г. Минеев. – М.: Колос, 1977. – 416 с.

CONVERSION COEFFICIENTS OF GRAIN AND SEED IN BY-PRODUCTS AND THE CONTENT OF MAIN NUTRIENTS IN BY-PRODUCTS OF AGRICULTURAL CROPS IN THE REPUBLIC OF BELARUS

E.N. Bogatyrova, T.M. Seraya, O.M. Biryukova, T.M. Kirdun,
Yu.A. Belyavskaya, M.M. Torchilo

Summary

On the basis of route studies and generalization of results of field experiments, the conversion coefficients of grain and seed in by-products were adjusted. The authors defined the change limits and the average content of nutrients in by-products of the same species for agricultural crops cultivated on the territory of the Republic of Belarus. With one ton of by-products the soil gets 3,8–9,9 kg of nitrogen, 1,8–5,2 kg of phosphorus, 11,7–28,0 kg of potassium, 1,4–10,3 kg of calcium, 0,8–6,1 kg of magnesium and 735–801 kg of organic matter.

Поступила 10.10.16

КОБАЛЬТ В ПОЧВАХ И РАСТЕНИЕВОДЧЕСКОЙ ПРОДУКЦИИ БЕЛАРУСИ И ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ КОБАЛЬТОВОГО УДОБРЕНИЯ

М.В. Рак, Е.Н. Пукалова

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

ВВЕДЕНИЕ

Кобальт является жизненно необходимым элементом для животных и человека. Он активно участвует в ферментативных процессах и образовании гормонов щитовидной железы, повышает усвоение железа и синтез гемоглобина. Процесс кроветворения у человека и животных может осуществляться только при нормальном взаимодействии трех биоэлементов – кобальта, меди и железа. Кобальт входит в состав витамина В₁₂ и его недостаток в кормах для сельскохозяйственных животных вызывает резкое падение их продуктивности. Районы почв, бедных кобальтом, совпадают с регионами распространения заболеваний животных сухоткой. Снижение продуктивности животных происходит при содержании кобальта в кормах менее 0,1 мг/кг сухого вещества [1–2]. Оптимальное содержание кобальта в кормах для сельскохозяйственных животных составляет 0,25–1,0 мг/кг [3]. Для взрослого человека суточная потребность в кобальте составляет около 0,05–0,1 мг, дефицит наблюдается при 0,01 мг/сутки, порог токсичности – 500 мг/сутки [4].

Содержание кобальта в почве обуславливает количество этого элемента в растениях и уровни поступления его в организм животных. Кобальт усиливает азотфиксирующую способность микроорганизмами, благоприятно воздействует на синтез хлорофилла, белка, углеводов. Этот элемент положительно влияет на развитие клубеньков бобовых растений, повышает урожайность сельскохозяйственных культур и качество растениеводческой продукции [2–3].

Накопление кобальта в растениях коррелирует с его содержанием в почвах и колеблется от 0,01 до 0,5 мг/кг сухого вещества [5–6]. Коэффициент биологического поглощения кобальта из почв растениями один из самых низких среди микроэлементов и составляет 1,37 (у йода – 12,0, селена – 7,4). Недостаток подвижного кобальта в почвах (менее 2,0 мг/кг) приводит к уменьшению его содержания в растениях. Кларк кобальта – 7,3 [1–2]. В среднем по республике валовое содержание кобальта в почвах в 2 раза ниже кларка элемента и составляет 3,5 мг/кг. В связи с низким содержанием кобальта в биологических объектах территория республики отнесена к зоне эндемии [7].

Дефициту микроэлементов в продуктах питания уделяется значительное внимание во всем мире. Путями профилактики дефицита ряда микроэлементов является не только прямое обогащение продуктов питания на перерабатывающих предприятиях, но наиболее целесообразно повышение их содержания в растениеводческой продукции агрохимическим способом. Научно обоснованное применение микроудобрений позволяет регулировать процессы обогащения продукции микроэлементами. При этом в последние годы большое внимание уделяется хелатным формам микроэлементов [8–9].

Цель исследований – определение уровня содержания кобальта в почвах и растениеводческой продукции республики, а также изучение эффективности внесения кобальтового удобрения при возделывании сельскохозяйственных культур.

МЕТОДИКА И ОБЪЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Кобальт не относится к микроэлементам, которые подлежат обязательному агрохимическому картированию, как медь, цинк и бор. Существующая в республике градация по содержанию подвижного кобальта (1М HNO_3) позволяет дать оценку обеспеченности почв этим микроэлементом (табл. 1) [10].

Таблица 1

Градация почв Беларуси по содержанию подвижного кобальта, мг/кг

Почвы	Группы обеспеченности			
	1	2	3	4
	низкая	средняя	высокая	избыточная
Минеральные	< 1,0	1,1–2,5	2,51–3,0	> 3,0
Торфяно-болотные	< 3,0	3,1–7,5	7,51–9,0	>9,0

С целью выявления дефицита кобальта в почвах и растениеводческой продукции, разработки агрохимических приемов корректировки содержания кобальта в растениях нами были проведены маршрутные исследования сельскохозяйственных угодий на основных типах почв Северной, Центральной и Южной почвенно-географических провинций Беларуси.

Содержание кобальта определяли в сопряженных образцах растений и почвы. Всего проанализировано 242 образца почвы и 250 образцов растений. Образцы почв были отобраны на трех основных типах почв Беларуси: дерново-подзолистые, торфяно-болотные, аллювиальные и в более 40 разновидностях. Растительные пробы отобраны по следующим сельскохозяйственным культурам: зерно (озимая пшеница, озимое тритикале, озимая рожь, яровая пшеница, ячмень, овес, кукуруза), клубни картофеля; зеленая масса кукурузы, многолетние бобовые и злаковые травы. Проведена систематизация аналитического материала по основным типам и разновидностям почв, а также биологическим видам растений.

Исследования эффективности кобальтового удобрения проводились в полевом опыте с люпином узколистным (2011–2012 гг.), озимой пшеницей (2012–2013 гг.), яровым ячменем (2013–2014 гг.) и люцерной посевной (2014–2015 гг.) в ГП «Экспериментальная база им. Суворова» Узденского района Минской области на дерново-подзолистой супесчаной почве, развивающейся на рыхлых водноледниковых супесях, сменяемых с глубины около 0,5 м связной супесью. Агрохимическая характеристика пахотного слоя почвы при возделывании ячменя: рН в КСl – 6,1, содержание гумуса – 2,2 %, P_2O_5 и K_2O – 284 и 281 мг/кг почвы. Исходное содержание подвижного кобальта в пахотном горизонте почвы составляло 0,15–0,54 мг/кг почвы.

Исследования с люпином узколистным (сорт Прывабны) проводились на фоне минеральных удобрений – $\text{N}_{12}\text{P}_{60}\text{K}_{120}$, с яровым ячменем (сорт Стратус) – $\text{N}_{70}\text{P}_{60}\text{K}_{90}$, с озимой пшеницей (сорт Богатка) – $\text{N}_{140}\text{P}_{90}\text{K}_{150}$, люцерной (сорт Плато) – $\text{N}_{12}\text{P}_{60}\text{K}_{90}$. Схема полевого опыта включала 4 варианта, развернутых на 4 уровнях насыщения дерново-подзолистой супесчаной почвы кобальтом (низ-

кий, средний, высокий и избыточный). Уровни насыщения пахотного слоя почвы кобальтом были созданы перед закладкой полевого опыта внесением сернокислого кобальта в виде водного раствора. Площадь делянки – 12 м², повторность в опыте – трехкратная.

Некорневая подкормка люпина возрастающими дозами кобальта (0,025, 0,05, 0,075 кг/га д.в.) проводилась в фазу бутонизации, озимой пшеницы – в стадию первого узла и флагового листа, ярового ячменя – в стадию первого узла, люцерны – в фазу стеблевания. В некорневые подкормки растений применялось жидкое микроудобрение МикроСтим-Кобальт, содержащее 125 г/л кобальта в органической форме. Расход рабочего раствора 200 л/га.

Технология возделывания сельскохозяйственных культур общепринятая для республики. Во время вегетации культур проводился уход за посевами, применялись средства защиты. Исследования проводили в соответствии с методическими указаниями по закладке полевых опытов. Статистическая обработка результатов исследований проведена методом дисперсионного анализа.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Анализ экспериментального материала показывает, что по средневзвешенному содержанию подвижного кобальта в пахотном слое исследуемые почвы составили следующий убывающий ряд: аллювиальные (пойменные) почвы – 0,88 мг/кг > дерново-подзолистые – 0,48–0,65 мг/кг > торфяно-болотные – 0,51 мг/кг (табл. 2). Содержание подвижного кобальта в дерново-подзолистых почвах определялось их гранулометрическим составом. Наименьшим содержанием подвижного кобальта отличались супесчаные почвы (0,48 мг/кг) с пределами колебаний 0,10–1,61 мг/кг почвы. Содержание кобальта в песчаных почвах составило 0,53 мг/кг с колебаниями в пределах 0,10–2,22 мг/кг почвы. В суглинистых почвах содержание кобальта находилось в диапазоне 0,12–1,26 мг/кг со средневзвешенным значением 0,65 мг/кг почвы. В торфяно-болотных почвах, при колебаниях кобальта от 0,16 до 1,64 мг/кг, среднее значение составляло 0,51 мг/кг. Наибольшим содержанием подвижного кобальта отличались пойменные почвы (0,88 мг/кг) с пределами колебаний 0,20–1,76 мг/кг почвы.

Оценка качества растениеводческой продукции по содержанию кобальта проводится по существующим нормативам его содержания в растениеводческой продукции. Оптимальное содержание кобальта в кормах составляет 0,25–1,0 мг/кг сухой массы [3]. Согласно ветеринарно-санитарному нормативу, допустимый уровень содержания кобальта в комбикорме достигает 1,0–3,0 мг/кг [5]. Анализ экспериментального материала показывает, что содержание кобальта в растениеводческой продукции низкое или достигает нижних границ оптимальных значений (0,06–0,47 мг/кг) и определяется как видовыми особенностями сельскохозяйственных культур, так и генезисом почв, в частности, их гранулометрическим составом. При этом, содержание кобальта в зерне (0,2–0,47 мг/кг) несколько выше, чем в зеленой массе многолетних бобовых трав (0,11–0,34 мг/кг). В клубнях картофеля содержится от 0,18 до 0,47 мг/кг кобальта. Наименьшее содержание элемента характерно для многолетних злаковых трав и составляет 0,15–0,23 мг/кг.

Вследствие низкого содержания кобальта на обследованных почвах и в растениеводческой продукции, для повышения урожайности сельскохозяйственных

Таблица 2

Содержание кобальта в почвах и растениеводческой продукции основных сельскохозяйственных культур

Почвы	Содержание кобальта в почве, мг/кг	Содержание кобальта в растениеводческой продукции, мг/кг сухой массы													
		Зерно					Зеленая масса								
		Картофель, клубни	озимое пшеница тритикале	озимая пшеница	яровая пшеница	ячмень	кукуруза	кукуруза	кукуруза	бобовые	многолетние травы	разнотравье			
Дерново-подзолистые почвы:															
песчаные	$\frac{0,10-2,22}{0,53}$ *	$\frac{0,06-0,35}{0,22}$	-	-	$\frac{0,10-0,87}{0,40}$	$\frac{0,13-0,28}{0,21}$	$\frac{0,08-0,35}{0,24}$	$\frac{0,12-0,20}{0,16}$	$\frac{0,10-0,17}{0,15}$	-					
супесчаные	$\frac{0,10-1,61}{0,48}$	$\frac{0,14-0,47}{0,30}$	$\frac{0,21-0,81}{0,42}$	$\frac{0,12-0,79}{0,40}$	$\frac{0,15-0,74}{0,34}$	$\frac{0,15-0,50}{0,29}$	$\frac{0,04-0,45}{0,30}$	$\frac{0,31-0,40}{0,34}$	$\frac{0,13-0,36}{0,21}$	-					
суглинистые	$\frac{0,12-1,26}{0,65}$	$\frac{0,26-0,73}{0,47}$	$\frac{0,25-0,78}{0,47}$	$\frac{0,24-0,33}{0,30}$	$\frac{0,10-0,80}{0,32}$	$\frac{0,21-0,50}{0,35}$	$\frac{0,05-0,10}{0,06}$	$\frac{0,05-0,18}{0,11}$	$\frac{0,12-0,45}{0,20}$	-					
Торфяно-болотные	$\frac{0,16-1,64}{0,51}$	$\frac{0,05-0,35}{0,18}$	-	-	-	$\frac{0,10-0,50}{0,29}$	-	-	$\frac{0,08-0,21}{0,15}$	-					
Аллювиальные (пойменные)	$\frac{0,20-1,76}{0,88}$	-	-	-	-	-	-	-	$\frac{0,20-0,25}{0,23}$	-				$\frac{0,13-0,48}{0,26}$	

* Над чертой – пределы колебаний, под чертой – средневзвешенное содержание кобальта.

культур и обогащения их кобальтом необходимо применять кобальтовые удобрения. Из-за высокой стоимости кобальтовых удобрений, основным способом внесения микроэлемента является некорневая подкормка растений в критические периоды их роста и развития.

При возделывании в полевом опыте люпина узколистного эффективность применения некорневой подкормки растений микроудобрением МикроСтим-Кобальт определялась уровнем обеспеченности почвы кобальтом (табл. 3). Наибольшие прибавки урожайности зерна люпина узколистного от применения некорневой подкормки микроудобрением отмечались при низкой обеспеченности почвы кобальтом. При низком уровне содержания кобальта в почве (0,6 мг/кг), некорневая подкормка удобрением МикроСтим-Кобальт увеличивала урожайность зерна на 3,1–3,6 ц/га при урожайности в фоновом варианте 27,1 ц/га. Повышение содержания в почве кобальта до 1,7 мг/кг (средний уровень) не приводила к повышению эффективности некорневой подкормки люпина кобальтовым удобрением. При высоком и избыточном уровне содержания кобальта в почве некорневая подкормка люпина узколистного кобальтовым удобрением неэффективна. Анализ урожайных данных по дозам микроудобрения показал, что более высокая прибавка урожайности зерна люпина (3,6 ц/га) отмечалась при внесении в некорневую подкормку удобрения МикроСтим-Кобальт в дозе 0,05 кг/га д.в. на низком уровне содержания кобальта в почве.

Эффективность некорневых подкормок озимой пшеницы удобрением МикроСтим-Кобальт также определялась уровнем обеспеченности почвы кобальтом. При низком уровне обеспеченности почвы кобальтом урожайность зерна в фоновом варианте составила 62,0 ц/га. Некорневая подкормка удобрением МикроСтим-Кобальт способствовала повышению урожайности зерна до 64,6–66,7 ц/га, что составило 4,2–7,6 %. Наиболее эффективно внесение в некорневую подкормку удобрения МикроСтим-Кобальт в дозе 0,025 кг/га д.в., что обеспечило прибавку зерна озимой пшеницы 4,7 ц/га. Отмечаются также достоверные прибавки урожайности зерна от некорневых подкормок озимой пшеницы кобальтовым удобрением на среднем уровне содержания кобальта в почве. Так, при урожайности зерна в фоновом варианте 62,2 ц/га, внесение в некорневую подкормку кобальтового удобрения обеспечивало повышение урожайности озимой пшеницы до 64,9–65,4 ц/га, или на 4,3–5,1 %. При высоком и избыточном уровне обеспеченности почвы кобальтом некорневые подкормки озимой пшеницы удобрением МикроСтим-Кобальт неэффективны.

Анализ экспериментальных данных по урожайности ярового ячменя показал, что увеличение содержания кобальта в дерново-подзолистой супесчаной почве от низкого до избыточного уровня сопровождалось снижением урожайности зерна. Более высокая урожайность зерна ячменя (51,4 ц/га) отмечается при средней концентрации кобальта в супесчаной почве (табл. 3). Эффективность применения некорневой подкормки кобальтовыми удобрениями определялась уровнем обеспеченности почвы кобальтом. Более высокие прибавки урожайности зерна ярового ячменя от применения некорневой подкормки кобальтовым удобрением отмечались при низкой обеспеченности почвы кобальтом. При таком уровне содержания кобальта в почве некорневая подкормка удобрением МикроСтим-Кобальт в дозе 0,025 кг/га д.в. способствовала повышению урожайности зерна ячменя с 48,3 до 53,9 ц/га (прибавка – 5,6 ц/га). При увеличении содержания в почве кобальта до среднего уровня, применение в некорневую подкормку кобальтового удобрения повышало урожайность ячменя с 51,4 до 54,9 ц/га.

Таблица 3
Влияние некорневых подкормок удобрением МикроСтим-Кобалт на урожайность сельскохозяйственных культур при различной обеспеченности почвы кобальтом, ц/га

Уровни содержания подвижного кобальта в почве	Вариант	Люпин узколистный, зерно (2011–2012 гг.)		Озимая пшеница, зерно (2012–2013 гг.)		Яровой ячмень, зерно (2013–2014 гг.)		Люцерна, сухая масса (2014–2015 гг.)	
		урожайность	прибавка	урожайность	прибавка	урожайность	прибавка	урожайность	прибавка
Низкий (0,6 мг/кг)	1. NPK -- фон	27,1	–	62,0	–	48,3	–	47,1	–
	2. С ₀ ,0 ₂₅	30,4	3,3	66,7	4,7	53,9	5,6	51,3	4,2
	3. С ₀ ,0 ₅₀	30,7	3,6	65,4	3,4	51,9	3,6	51,7	4,6
	4. С ₀ ,0 ₇₅	30,2	3,1	64,6	2,6	49,9	1,6	51,0	3,9
Средний (1,7 мг/кг)	1. NPK – фон	29,0	–	62,2	–	51,4	–	46,1	–
	2. С ₀ ,0 ₂₅	31,9	2,9	65,2	3,0	54,3	2,9	47,3	1,2
	3. С ₀ ,0 ₅₀	32,5	3,5	64,9	2,7	53,5	2,1	46,7	0,6
	4. С ₀ ,0 ₇₅	32,0	3,0	65,0	2,8	54,9	3,5	45,0	–
Высокий (2,7 мг/кг)	1. NPK – фон	25,1	–	61,0	–	47,7	–	45,2	–
	2. С ₀ ,0 ₂₅	27,3	2,2	59,5	–	47,1	–	45,7	0,5
	3. С ₀ ,0 ₅₀	25,5	0,4	61,7	0,7	46,8	–	45,5	0,3
	4. С ₀ ,0 ₇₅	24,6	–	61,7	0,7	47,6	–	45,9	0,7
Избыточный (3,1 мг/кг)	1. NPK – фон	25,6	–	59,0	–	51,3	–	45,3	–
	2. С ₀ ,0 ₂₅	26,4	0,8	59,3	–	50,1	–	45,6	0,3
	3. С ₀ ,0 ₅₀	25,9	0,3	58,6	–	49,4	–	45,5	0,2
	4. С ₀ ,0 ₇₅	25,0	–	60,6	1,6	47,5	–	45,2	–
НСР ₀₅ вариантов НСР ₀₅ уровней		1,5		2,6		1,6		1,3	
		1,3		1,7		1,8		1,6	

При возделывании в полевом опыте люцерны установлено, что увеличение содержания кобальта в супесчаной почве от низкого до избыточного уровня сопровождалось снижением урожайности (табл. 3). Более высокие прибавки урожайности люцерны от применения некорневой подкормки удобрением МикроСтим-Кобальт отмечались при низкой обеспеченности почвы кобальтом. Так, на этом уровне содержания кобальта в почве, некорневая подкормка микроудобрением МикроСтим-Кобальт в дозе 0,025 и 0,05 кг/га д.в. способствовала повышению урожайности люцерны на 4,2 и 4,6 ц/га соответственно при урожайности в фоновом варианте 47,1 ц/га сухой массы. При повышении содержания в почве кобальта до среднего, высокого и избыточного уровней, применение в некорневую подкормку кобальтового удобрения не способствовало достоверному повышению урожайности люцерны.

Анализ данных по содержанию кобальта в растениеводческой продукции свидетельствует о линейной зависимости его поступления в растения от концентрации элемента в почве и некорневой подкормки кобальтсодержащим удобрением (табл. 4). Увеличение содержания подвижной формы кобальта в почве (от низкого до избыточного) способствовало накоплению элемента в зерне от 0,43 до 0,52 мг/кг сухой массы. Некорневые подкормки удобрением МикроСтим-Кобальт в фазу бутонизации повышали содержание кобальта в зерне по вариантам опыта от 0,48 до 0,58 мг/кг сухой массы.

Таблица 4

Влияние некорневых подкормок удобрением МикроСтим-Кобальт на содержание кобальта в растениеводческой продукции при различной обеспеченности почвы этим элементом, мг/кг сухой массы

Вариант	Уровни содержания подвижного кобальта в почве			
	низкий (0,6 мг/кг)	средний (1,7 мг/кг)	высокий (2,7 мг/кг)	избыточный (3,1 мг/кг)
<i>Люпин узколистный, зерно</i>				
1. N ₁₂ P ₆₀ K ₁₂₀ – фон	0,43	0,46	0,49	0,52
2. Co _{0,025}	0,48	0,49	0,51	0,53
3. Co _{0,050}	0,49	0,51	0,52	0,54
4. Co _{0,075}	0,52	0,53	0,55	0,58
<i>Озимая пшеница, зерно</i>				
1. N ₇₀ P ₆₀ K ₉₀ – фон	0,15	0,30	0,44	0,50
2. Co _{0,025}	0,21	0,45	0,68	0,70
3. Co _{0,050}	0,24	0,46	0,68	0,72
4. Co _{0,075}	0,25	0,50	0,63	0,73
<i>Яровой ячмень, зерно</i>				
1. N ₇₀ P ₆₀ K ₉₀ – фон	0,03	0,10	0,18	0,20
2. Co _{0,025}	0,21	0,31	0,48	0,51
3. Co _{0,050}	0,22	0,31	0,49	0,51
4. Co _{0,075}	0,24	0,33	0,49	0,53
<i>Люцерна, сухая масса</i>				
1. N ₁₂ P ₆₀ K ₉₀ – фон	0,11	0,50	0,62	0,95
2. Co _{0,025}	0,25	0,66	0,69	1,09
3. Co _{0,050}	0,27	0,73	0,72	1,23
4. Co _{0,075}	0,40	0,78	0,99	1,35

Повышение содержания кобальта в зерне озимой пшеницы происходило по мере увеличения содержания подвижного кобальта в почве с 0,15 мг/кг (I уровень) до 0,50 мг/кг (IV уровень). Двукратная некорневая подкормка озимой пшеницы удобрением МикроСтим-Кобальт в дозе 0,025 кг/га повышала содержание кобальта в зерне до 0,21 мг/кг при низком содержании элемента в почве, до 0,45 мг/кг – при среднем и до 0,68 и 0,70 мг/кг – при высоком и избыточном. Увеличение дозы кобальта в некорневую подкормку до 0,05 и 0,075 кг/га не приводило к существенному повышению содержания элемента в зерне озимой пшеницы.

Отмечается повышение содержания кобальта в зерне ячменя по мере увеличения обеспеченности почвы этим элементом (от низкого до высокого). Некорневые подкормки ярового ячменя микроудобрением МикроСтим-Кобальт в дозе 0,025 кг/га д.в. увеличивали накопление кобальта в зерне до 0,21 мг/кг на низком уровне и до 0,51 мг/кг сухой массы на высоком уровне обеспеченности подвижным кобальтом супесчаной почвы (табл. 4).

Содержание кобальта в растениях люцерны повышалось по мере увеличения обеспеченности супесчаной почвы этим элементом (от низкого до высокого). При этом накопление кобальта в растениях люцерны происходило более интенсивно в сравнении с зерном люпина, озимой пшеницы и ярового ячменя. Некорневые подкормки удобрением МикроСтим-Кобальт увеличивали накопление кобальта в люцерне до 0,25–1,35 мг/кг сухой массы. Отмечается превышение оптимальных концентраций кобальта (0,25–1,0 мг/кг) в люцерне при внесении кобальтового удобрения в некорневые подкормки на избыточном уровне содержания подвижного кобальта в почве. При низкой обеспеченности супесчаной почвы кобальтом внесение удобрения МикроСтим-Кобальт в дозе 0,025 кг/га д.в. обеспечивало содержание этого элемента в растениях люцерны до нижнего уровня оптимальных концентраций для кормов.

ВЫВОДЫ

1. По результатам маршрутных исследований установлено, что сельскохозяйственные угодья Беларуси характеризуются низким содержанием подвижного кобальта в почвах. Средневзвешенное содержание подвижного кобальта в пахотном слое почв составляет 0,51–0,88 мг/кг.

2. Содержание кобальта в растениеводческой продукции также низкое или достигает нижних границ оптимальных значений и определяется как видовыми особенностями сельскохозяйственных культур, так и генезисом почв, в частности их гранулометрическим составом. При этом содержание кобальта в зерне изменяется в диапазоне 0,21–0,47 мг/кг, в клубнях картофеля – 0,18–0,47 мг/кг. Наименьшее содержание элемента характерно для зеленой массы кукурузы и многолетних злаковых трав и составляет 0,06–0,34 мг/кг сухой массы.

3. Эффективность некорневых подкормок люпина узколистного, озимой пшеницы, ярового ячменя и люцерны удобрением МикроСтим-Кобальт определялась уровнем обеспеченности почвы кобальтом и дозами микроудобрения. Более высокие прибавки урожайности культур отмечаются при низкой и средней обеспеченности почвы кобальтом. При высоком и избыточном уровне содержания кобальта в почве некорневая подкормка неэффективна.

4. Содержание кобальта в растениеводческой продукции повышалось по мере увеличения обеспеченности супесчаной почвы этим элементом (от низкого до высокого). При этом накопление кобальта в растениях люцерны происходило более интенсивно в сравнении с зерном люпина, озимой пшеницы и ярового ячменя. Некорневые подкормки кобальтовым удобрением повышали содержание кобальта в зерне озимой пшеницы, ярового ячменя и сухой массе люцерны. Отмечается превышение уровня оптимальных концентраций кобальта в сухой массе люцерны от некорневых подкормок при избыточной обеспеченности супесчаной почвы этим элементом.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Ягодин, Б.А.* Физиологическая роль кобальта и факторы влияющие на его поступление в растения / Б.А. Ягодин, Г.А. Ступакова // Агрохимия. – 1989. – № 12. – С. 111–120.

2. *Кабата-Пендиас, А.* Микроэлементы в почвах и растениях / А. Кабата-Пендиас, Х. Пендиас; пер. с англ. Д.В. Гричука, Е.П. Янина. – М.: Мир, 1989. – 438 с.

3. *Ковальский, В.В.* Микроэлементы в растениях и кормах / В.В. Ковальский, Ю.И. Раецкая, Т.И. Грачева; АН СССР, Науч. совет по микроэлементам в животноводстве и растениеводстве. Всесоюз. акад. с.-х. наук им. В.И. Ленина. – М.: Колос, 1971. – 235 с.

4. *Скальный, А.В.* Биоэлементы в медицине / А.В. Скальный, И.А. Рудаков. – М.: Изд. дом «Оникс 21 век», 2004. – С. 110–113.

5. *Каталымов, М.В.* Микроэлементы и микроудобрения / М.В. Каталымов. – М.; Л.: Химия, 1965. – 365 с.

6. *Рак, М.В.* Микроэлементы в почвах Беларуси и применение микроудобрений в технологиях возделывания сельскохозяйственных культур / М.В. Рак / Биогеохимия и биохимия микроэлементов в условиях техногенеза биосферы: материалы VIII междунар. биогеохимической школы, посвящ. 150-летию со дня рождения академика В.И. Вернадского – М.: ГЕОХИ РАН, 2013. – С. 339–342.

7. *Петухова, Н.Н.* Геохимическое состояние почвенного покрова Беларуси / Н.Н. Петухова, В.А. Кузнецов // Природные ресурсы. –1999. – № 4. – С. 11–13.

8. *Гайсин, И.А.* Применение хелатных форм микроудобрений (ЖУСС) / И.А. Гайсин // Вестн. Рос. акад. с.-х. наук. – 2003. – № 3. – С. 53–56.

9. Эффективность применения новых хелатных микроудобрений МикроСтим при возделывании люпина узколистного и озимой пшеницы / М.В. Рак [и др.] // Почвоведение и агрохимия. – Минск. – 2014. – № 2(53). – С. 151–160.

10. Агрохимические регламенты для повышения плодородия почв и эффективного использования удобрений: учеб. пособие / В.В. Лапа. [и др.]. – Горки: БГСХА, 2002. – 48 с.

11. Ветеринарно-санитарный норматив «Показатели безопасности кормов»: утв. Постановлением Минсельхозпрода Респ. Бел. от 06. 09. 2005 г. № 50.

COBALT IN SOILS AND CROP PRODUCTS IN BELARUS AND THE EFFICIENCY OF COBALT FERTILIZER APPLICATION

M.V. Rak, E.N. Pukalova

Summary

On the basis of route studies of agricultural land the authors defined the availability of mobile cobalt in the main types of soils in Belarus. It was established that cobalt content in soils and crop products was low. It was specified by species related traits of agricultural crops and soil granulometric composition. In a field experiment, the authors determined the efficiency of foliar fertilization of blue lupine, winter wheat, spring barley and alfalfa with cobalt, depending on the level of its availability in sod-podzolic sandy loam soil.

Поступила 29.11.16

УДК 631.81.095.337:633.854.54:631.445.2

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ МИКРОУДОБРЕНИЙ ПРИ ВОЗДЕЛЫВАНИИ ЛЬНА МАСЛИЧНОГО НА ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ ЛЕГКОСУГЛИНИСТОЙ ПОЧВЕ

Е.Н. Пукалова

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

ВВЕДЕНИЕ

В общей структуре посевов льна в мире масличные формы занимают около 84 % площадей и только 16 % площадей приходится на долю долгунцовых форм. Основными производителями семян льна масличного являются Канада, Аргентина, Индия. Возделыванием льна масличного занимаются в Германии, Российской Федерации, Украине и др. странах [1].

Возделывание льна масличного экономически более выгодно, чем зерновых и озимого рапса. По расчетам украинских исследователей, 1 га посева льна масличного обеспечивает более выгодные экономические показатели, чем гектар озимой пшеницы с урожаем не менее 40 ц/га [2].

В условиях Республики Беларусь его посевы могут обеспечить урожайность семян более 20 ц/га, из которых можно получить новый вид растительного масла с принципиально отличающимися свойствами, по сравнению с признанными масличными культурами нашей зоны – подсолнечником и рапсом.

Почвенно-климатические условия Беларуси позволяют возделывать лен масличный во многих регионах страны. Во многом это связано с изменением погодных условий, а также с необходимостью получения продукта питания с новыми ценными свойствами.

В условиях стабильной экономики льноводство рассматривается как одна из наиболее прибыльных отраслей сельского хозяйства.

В последние годы в республике проводится целенаправленная работа по созданию новых сортов льна долгунца и льна масличного и совершенствованию технологий их возделывания. Установлено, что потребность населения республики в масле для пищевых целей составляет 100–120 тыс. т масла в год. Примерно 10–15 % этого объема нужно обеспечить за счет переработки семян льна, масличные сорта которого содержат более 40 % жира, а при благоприятных условиях, у высокомасличных сортов этот показатель достигает 48–50 % [3].

Совершенствование технологии возделывания льна-долгунца и льна масличного, способствующей повышению урожайности и качества льнопродукции, возможно на базе разработки новых форм микроудобрений, содержащих биологически значимые для льна микроэлементы в доступной форме. При разработке новых форм микроудобрений учитывается технологичность их применения и экономичность.

Лен относится к группе культур, чувствительных к недостатку бора, меди и цинка. На недостаток их лен реагирует слабым развитием и отставанием в росте. Бор играет важную роль в период формирования пыльцы и дальнейшего развития семян. Если наблюдается дефицит бора до цветения или в начале образования семян, то завязь осыпается. Недостаток меди вызывает отклонение от нормального развития растений, признаками которого являются задержка роста, ветвления, цветения или полное его отсутствие, снижение, урожая или даже гибель растений. При цинковом голодании проходит задержка роста, снижение интенсивности фотосинтеза. Недостаток цинка сильнее угнетает образования семян, чем рост вегетативных органов растений [4, 5].

Важно изучить наиболее эффективные формы, дозы и сочетания перечисленных микроэлементов под лен при некорневой подкормке в зависимости от почвенно-агрохимических и погодных условий.

Традиционно применяемые в республике при возделывании льна химические соединения бора и цинка в форме неорганических солей являются недостаточно эффективными в качестве защиты растений от болезней на различных по уровню кислотности почвах. Повысить эффект микроэлементов можно за счет перевода их в комплексные соединения (хелаты), которые в равной мере эффективны при любой реакции кислотности почвы, хорошо совместимы с регуляторами роста растений и пестицидами [5, 6, 7, 8].

Среди биологических резервов повышения продуктивности льноводства первостепенное значение имеют регуляторы роста природного происхождения, одним из которых является Экосил. Необходимо отметить высокую эффективность применения препарата Экосил с микроудобрениями, поскольку терпеноиды усиливают транспирацию и регулируют открывание устьиц, что способствует при некорневой подкормке микроудобрениями быстрому проникновению их в ткань листа. Экосил стимулирует устойчивость растений к грибковым заболеваниям и стрессам, вызванным абиотическими факторами [9, 10].

Цель исследований – изучение эффективности некорневых подкормок льна масличного различными видами микроудобрений МикроСил на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве.

МЕТОДИКА И ОБЪЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования по эффективности некорневых подкормок льна масличного различными видами микроудобрений МикроСил проводили в Экспериментальной базе Устье Оршанского района Витебской области на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве.

Агрохимическая характеристика пахотного слоя почвы: pH_{KCl} – 5,4, содержание гумуса – 2,0 %, P_2O_5 – 205 и K_2O – 225 мг/кг почвы. Исходное содержание водорастворимого бора в пахотном слое – 0,35 мг/кг, подвижных форм меди – 2,1 мг/кг и цинка – 4,0 мг/кг. Предшественник – озимая пшеница. Сорт Сонечны. Норма высева – 10 млн всхожих семян. Площадь делянки – 21 м².

Исследования проводили на фоне минеральных удобрений $N_{60}P_{60}K_{120}$, которые внесены под предпосевную культивацию в форме мочевины, аммонизированного суперфосфата, хлористого калия.

Схема опыта включала варианты с применением в некорневую подкормку в фазу «елочки» льна масличного различных доз и сочетаний цинка, меди и бора в форме жидких комплексных микроудобрений с экосилом МикроСил: МикроСил-Бор с содержанием бора 150 г/л, МикроСил-Бор, Медь с содержанием бора и меди по 40 г/л, МикроСил-Цинк, Бор с содержанием цинка 46 г/л и бора 30 г/л, МикроСил-Цинк с содержанием цинка 80 г/л, МикроСил-Цинк, Медь с содержанием цинка 50 г/л и меди 15 г/л, МикроСил – Медь Л с содержанием меди 80 г/л.

Удобрения представляют собой водорастворимые концентраты, приготовленные на основе хелатов металлоэлементов меди и цинка, бора в органоминеральной форме с добавлением стимулятора роста Экосил.

Схема опыта:

1. $N_{60}P_{60}K_{120}$ – фон
2. Фон + МикроСил $Cu_{0,075}$
3. Фон + МикроСил $B_{0,1}$
4. Фон + МикроСил $B_{0,15}$
5. Фон + МикроСил $B_{0,075} Cu_{0,075}$
6. Фон + МикроСил $B_{0,05} Zn_{0,08}$
7. Фон + МикроСил $B_{0,1} Zn_{0,16}$
8. Фон + МикроСил $Zn_{0,1}$
9. Фон + МикроСил $Zn_{0,2}$
10. Фон + МикроСил $Zn_{0,1} Cu_{0,03}$
11. Фон + МикроСил $Zn_{0,2} Cu_{0,06}$

Уход за посевами: обработка Децис экстра (60 мл/га) – против льняной блохи, химпрополка – 2М-4ХМ (0,7 л/га) и Секатор Турбо (0,05 л/га).

Закладку и проведение полевых опытов, статистическую обработку результатов исследований проводили в соответствии с методическими указаниями А.Б. Доспехова.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В технологии возделывания льна масличного при определении эффективности микроудобрений большое значение имеет оценка урожайности и качества получаемой продукции. Анализ результатов исследований, проведенный на дерново-подзолистой суглинистой почве, свидетельствует о положительном влиянии некорневой подкормки жидких микроудобрений с экосилом МикроСил на урожайность семян льна масличного. Уровень прибавок урожая зависел от марок и доз вносимых микроудобрений (табл. 1).

Под влиянием микроудобрений МикроСил, урожайность льносемян в среднем за 2 года увеличивалась на 3,0–4,5 ц/га при урожайности 14,2 ц/га на фоновом варианте.

Более высокие прибавки урожайности льносемян (4,5 ц/га) получены от применения удобрения МикроСил-Бор, Медь в дозе 0,075 кг/га (д.в.) и МикроСил-Бор в дозе 0,10 кг/га (д.в.). Эффективность применения удобрения МикроСил-Медь в дозе 0,075 кг/га (д.в.) и МикроСил-Бор в дозе 0,15 кг/га (д.в.) была ниже и обеспечила прибавку на уровне 3,2 ц/га. Прибавки урожая от совместного применения бора и меди выше, чем от раздельного внесения этих элементов, поскольку проявляется эффект положительного взаимодействия.

Аналогичная тенденция эффекта синергизма отмечается при совместном применении цинка и меди в сравнении с их раздельным применением. Применение удобрения МикроСил-Цинк по дозам применения способствовало повышению урожайности семян на 3,2–3,6 ц/га, а удобрения МикроСил-Цинк, Медь – на 3,7–4,2 ц/га. Внесение удобрения МикроСил-Цинк, Бор, в возрастающих дозах, обеспечило прибавку урожайности семян на уровне 3,0–3,7 ц/га.

Таблица 1

**Влияние микроудобрений МикроСил
на урожайность семян льна масличного, ц/га**

Вариант опыта	Урожайность, ц/га			Прибавка, ц/га
	2007 г.	2008 г.	средняя	
1. N ₆₀ P ₆₀ K ₁₂₀ – фон	12,8	15,7	14,2	–
2. МикроСил Cu _{0,075}	16,0	18,9	17,4	3,2
3. МикроСил B _{0,10}	15,7	21,9	18,8	4,5
4. МикроСил B _{0,15}	14,9	20,0	17,5	3,2
5. МикроСил B _{0,075} Cu _{0,075}	17,0	20,5	18,8	4,5
6. МикроСил B _{0,05} Zn _{0,08}	15,0	19,6	17,3	3,0
7. МикроСил B _{0,1} Zn _{0,16}	15,7	20,3	18,0	3,7
8. МикроСил Zn _{0,1}	15,5	20,2	17,8	3,6
9. МикроСил Zn _{0,2}	14,8	20,0	17,4	3,2
10. МикроСил Zn _{0,1} Cu _{0,03}	16,0	20,9	18,4	4,2
11. МикроСил Zn _{0,2} Cu _{0,06}	15,2	20,6	17,9	3,7
НСР _{0,5}	1,7	2,0	1,4	

При оценке качества льна масличного, важным критерием, характеризующим эффективность применяемых удобрений, является: содержание жира в

семенах льна, сбор масла с единицы площади, величина которого в большей мере зависит от урожайности семян, и содержание элементов питания в льнопродукции.

Результаты исследований со льном масличным показали положительное влияние всех исследуемых микроудобрений на содержание жира в семенах льна. Масличность семян в фоновом варианте опыта, при внесении минеральных удобрений, составила 34,5 %. Под влиянием микроудобрений МикроСил масличность семян повышалась от 35,3 до 38,4 %, или на 0,8-3,9 % в сравнении с фоновым вариантом (табл. 2).

Таблица 2

Влияние микроудобрений МикроСил на масличность и сбор масла льна масличного, ц/га (среднее 2007–2008 гг.)

Вариант опыта	Масличность, %	Сбор масла, ц/га	Прибавка сбора масла, ц/га
1. N ₆₀ P ₆₀ K ₁₂₀ – фон	34,5	4,9	–
2. МикроСил Cu _{0,075}	35,3	6,1	1,2
3. МикроСил B _{0,1}	36,2	6,8	1,9
4. МикроСил B _{0,15}	37,0	6,5	1,6
5. МикроСил B _{0,075} Cu _{0,075}	38,4	7,2	2,3
6. МикроСил B _{0,05} Zn _{0,08}	36,9	6,4	1,5
7. МикроСил B _{0,1} Zn _{0,16}	36,7	6,6	1,7
8. МикроСил Zn _{0,1}	37,8	6,7	1,8
9. МикроСил Zn _{0,2}	36,1	6,3	1,4
10. МикроСил Zn _{0,1} Cu _{0,03}	37,6	6,9	2,0
11. МикроСил Zn _{0,2} Cu _{0,06}	36,0	6,4	1,5
НСП _{0,5}		0,5	

Прибавки сбора масла были получены на всех вариантах в пределах 1,2–2,3 ц/га. Наибольший показатель масличности (38,4 %) и максимальная прибавка сбора масла (2,3 ц/га) отмечена при некорневой подкормке удобрением МикроСил-Бор, Медь в дозе 0,075 кг/га (д.в).

Известно, что применение микроудобрений способствует накоплению определенных элементов в продукции растениеводства.

В наших исследованиях, некорневая подкормка посевов льна масличного микроудобрениями МикроСил в фазу «елочки», увеличивала содержание исследуемых микроэлементов в семенах льна (табл. 3). Содержание меди в семенах льна в фоновом варианте составляло 8,0 мг/кг, бора – 8,6 мг/кг, цинка – 42,7 мг/кг. Внесение медьсодержащих микроудобрений МикроСил способствовало повышению меди до 8,5–8,8 мг/кг. Применение микроудобрений МикроСил с бором увеличивало содержание бора до 9,3–9,6 мг/кг. Некорневая подкормка микроудобрениями МикроСил, содержащими цинк, способствовало накоплению элемента в семенах льна до 43,5–46,0 мг/кг по вариантам опыта. Существенной разницы в накоплении бора, цинка и меди в семенах льна по видам внесенных микроудобрений МикроСил не отмечено.

Таблица 3

**Содержание микроэлементов в семенах льна, мг/кг сухого вещества
(среднее 2007–2008 гг.)**

Вариант опыта	Семена		
	Cu	B	Zn
1. N ₆₀ P ₆₀ K ₁₂₀ – фон	8,0	8,6	42,0
2. МикроСил Cu _{0,075}	8,5	–	–
3. МикроСил B _{0,1}	–	9,6	–
4. МикроСил B _{0,15}	–	9,4	–
5. МикроСил B _{0,075} Cu _{0,075}	8,8	9,4	–
6. МикроСил B _{0,05} Zn _{0,08}	–	9,3	44,9
7. МикроСил B _{0,1} Zn _{0,16}	–	9,4	45,0
8. МикроСил Zn _{0,1}	–	–	44,5
9. МикроСил Zn _{0,2}	–	–	44,1
10. МикроСил Zn _{0,1} Cu _{0,03}	8,5	–	45,6
11. МикроСил Zn _{0,2} Cu _{0,06}	8,5	–	46,0
НСП _{0,5}	0,11	0,51	1,88

Оценка экономической эффективности некорневой подкормки льна масличного микроудобрениями с экосилом МикроСил с учетом затрат на их применение, закупочных цен, затрат на уборку представлена в таблице 4.

Таблица 4

**Экономическая эффективность некорневой подкормки льна масличного
различными видами и дозами микроудобрений с экосилом МикроСил
(среднее 2007–2008 гг.)**

Вариант опыта	Прибавка урожая семян, ц/га	Стоимость прибавки, USD	Всего затрат, USD	Рентабельность, %
1. N ₆₀ P ₆₀ K ₁₂₀ – фон	–	–	–	–
2. МикроСил Cu _{0,075}	3,2	160	54,3	195
3. МикроСил B _{0,1}	4,5	225	71,0	217
4. МикроСил B _{0,15}	3,2	160	53,7	198
5. МикроСил B _{0,075} Cu _{0,075}	4,5	225	74,5	202
6. МикроСил B _{0,05} Zn _{0,08}	3,0	150	53,3	181
7. МикроСил B _{0,1} Zn _{0,16}	3,7	185	68,6	170
8. МикроСил Zn _{0,1}	3,6	180	58,9	206
9. МикроСил Zn _{0,2}	3,2	160	55,9	186
10. МикроСил Zn _{0,1} Cu _{0,03}	4,2	210	67,6	211
11. МикроСил Zn _{0,2} Cu _{0,06}	3,7	185	63,4	192

Экономический расчет показал высокую эффективность применения микроудобрений МикроСил при возделывании льна масличного на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве. Рентабельность от разных доз и видов микроудобрений в некорневую подкормку колебалась от 170 до 217 %, что обеспечивает достаточно высокую окупаемость приема. Уровень рентабельности снижается по мере увеличения дозы внесения удобрения, за счет стоимости последнего.

ВЫВОДЫ

1. При возделывании льна масличного на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве наиболее эффективно внесение в некорневую подкормку микроудобрений МикроСил-Бор, Медь в дозе 0,075 кг/га (д.в.) и МикроСил-Бор в дозе 0,10 кг/га (д.в.), обеспечивающих прибавку урожая льносемян 4,5 ц/га.

2. Применение микроудобрений с экосилом МикроСил способствует увеличению показателя масличности семян льна. Наибольший показатель масличности (38,4 %) и максимальная прибавка сбора масла (2,3 ц/га) отмечена при некорневой подкормке удобрением МикроСил-Бор, Медь в дозе 0,075 кг/га (д.в.).

3. Некорневая подкормка микроудобрениями МикроСил экономически эффективна, уровень рентабельности от различных доз и видов микроудобрений составил 170–217 %.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Основные элементы технологии возделывания льна масличного / В.А. Прудников [и др.] // Земляробства і ахова раслін. – 2007. – № 2. – С. 14–16.

2. Мищенко, Л. Особенности выращивания льна масличного / Л. Мищенко // Олійно жировий комплекс [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.apkinform.com/showart.phpid=59032>. – (дата доступа: 22.09.2010).

3. Богдан, Т.М. Лен масличный – источник растительного масла в Республике Беларусь / Т.М. Богдан, Л.М. Полонецкая // Проблемы и пути повышения эффективности растениеводства в Беларуси: тезисы юбилейной Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 80-летию образования Ин-та земледелия, Жодино, 29 июня 2007 г. / НПЦ НАН Беларуси по земледелию. – Минск, 2007. – С. 114–116.

4. Школьник, М.Я. Микроэлементы в жизни растений / М.Я. Школьник. – Л.: Наука, 1974. – 324 с.

5. Державин, Л.М. Комплексоны в растениеводстве / Л.М. Державин, Е.В. Седова // Химия в сельском хозяйстве. – 1987. – №33. – С. 29–33.

6. Сургучева, М.П. Комплексоны и комплексоны микроэлементов и их применение в земледелии: обзор. информ. / М.П. Сургучева, А.Ю. Киреева, З.К. Благовещенская. – М.: ВНИИТЭИИагропром, 1993. – 43 с.

7. Разработка и освоение энерго- и ресурсосберегающе технологий синтеза жидких микроудобрений в хелатной форме и жидких макро-NPK-удобрений с микроэлементами в хелатной форме / С.Г. Широков [и др.] // Ресурсо- и энерго-сберегающие технологии и оборудование, экологически безопасные технологии: материалы Междунар. науч.-технич. конф., посвящ. 75-летию БГТУ, Минск, 16–18 нояб. 2005 г. – Минск, 2005. – Ч. 1. – С. 328–332.

8. Применение жидких комплексных микроудобрений МикроСил при возделывании льна-долгунца и льна масличного: рекомендации / М.В. Рак [и др.]. – Минск: Ин-т почвоведения и агрохимии, 2009. – 20 с.

9. Холодок, Н.Г. Рострегулятор Экосил – залог высокого и устойчивого урожая зерновых в 2008 г. / Н.Г. Холодок, А.А. Шабанов, Ч.А. Романовский // Белорусское сельское хозяйство. – 2008. – № 2. – С. 49–50.

10. О применении биорегулятора роста Экосил в растениеводстве / П.А. Саскевич [и др.] // Белорусское сельское хозяйство. – 2008. – № 4. – С.52–54.

EFFICIENCY OF MICROFERTILIZERS IN CULTIVATION OF OIL FLAX ON SOD-PODZOLIC LIGHT LOAMY SOIL

E.N. Pukalova

Summary

Based on the research findings it was established, that higher efficiency (yield increase of flax seeds by 4,5 c/ha with profitability of 202 and 217 %) was provided by foliar application of microfertilizers MikroSil-Boron, Copper in a dose of 0.075 kg/ha a.s and MikroSil-Boron in a dose of 0.10 kg/ha a.s.

Поступила 29.11.16

УДК 631.416.9:631.81.095

ВЛИЯНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ И ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПОЧВ НА БИОДОСТУПНОСТЬ МИКРОЭЛЕМЕНТОВ

А.М. Шемет, А.И. Фатеев

*Институт почвоведения и агрохимии им. А.Н. Соколовского,
г. Харьков, Украина*

ВВЕДЕНИЕ

Биологическая доступность микроэлементов растениям является одним из главных факторов, определяющих урожай и качество растительной продукции. Поэтому прогнозирование обеспеченности растений микроэлементами является одним из ключевых вопросов сельскохозяйственной науки.

Однако в данное время нет однозначного понимания термина биодоступность. Доступность элементов питания растений часто связывают с их подвижностью в почве. Подвижными формами считаются микроэлементы, которые экстрагируют определенной вытяжкой. Чаще всего в качестве экстрагентов используют растворы солей, кислот, щелочей и комплексообразующих веществ. К преимуществам почвенной диагностики следует отнести относительную легкость и быстрое выполнение, а также, в некоторой степени, обеспеченность растений микроэлементами. Недостатком этого метода является невозможность воспроизведения сложных процессов взаимодействия растения и почвы, а также невозможность учета влияния видовых и сортовых особенностей культур, специфических особенностей почв (рН, гранулометрический состав, емкость поглощения и др.) [1, 2].

Одними из основных показателей почв, определяющими подвижность микроэлементов, являются рН и значения окислительно-восстановительного потенциала. Со снижением этих показателей доступность большинства микроэлементов для растений увеличивается. Высокобуферные почвы тяжелого гранулометрического состава с нейтральной или щелочной реакцией среды хорошо удерживают микроэлементы, что способствует снижению темпов их поступления в растения и может стать причиной их недостатка. Почвы легкого гранулометрического состава, могут быть источником легкодоступных элементов, но за счет меньшей

буферности, в этих почвах будут быстро снижаться запасы доступных соединений микроэлементов [3, 4].

Подвижность микроэлементов также зависит от количественных и качественных показателей органического вещества почвы. Большинство растворимых микроэлементов, связанных органическим веществом почвы, находится в составе фракции фульвокислот. Гуминовые кислоты характеризуются большей способностью к образованию нерастворимых комплексов с медью и цинком [5, 6].

Цель исследований – изучить особенности поступления микроэлементов в разные сельскохозяйственные растения из почв, которые отличаются содержанием гумуса, подвижных соединений микроэлементов, рН и гранулометрическим составом.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследования по изучению влияния свойств почв на накопление микроэлементов растениями проводились в условиях вегетационного опыта. Для опыта были отобраны почвы, которые существенно отличаются между собой как по содержанию подвижных соединений микроэлементов, так и по основным показателям (содержанию гумуса, гранулометрическому составу и рН). Объектами исследований являлись: чернозем типичный легкоглинистый (рН – 7,2, содержание гумуса – 5,6 %, физической глины – 67 %), чернозем оподзоленный тяжелосуглинистый (рН – 5,59, содержание гумуса – 3,9%, физической глины – 56 %), чернозем оподзоленный среднесуглинистый (рН – 6,0, содержание гумуса – 3,3 %, физической глины – 37 %), дерново-подзолистая супесчаная почва (рН – 5,3, содержание гумуса – 0,93 %, физической глины – 19 %). В опыте выращивали горох, ячмень, гречиху и кукурузу. Учет урожая растений проводили в следующие фазы развития растений: ячмень – начало колошения, горох – бутонизации – начала цветения, гречиха – цветение, кукуруза – фаза 9 листа. Емкость вегетационных сосудов 5 литров.

Повторность вариантов в опыте – четырехкратная.

Анализ почв проводили по аттестованным методикам: общий гумус – по Тюрину (ДСТУ 4289:2004), рН – водной вытяжки (ДСТУ ISO 10390:2007), гранулометрический состав – по методу пипетки в модификации Качинского (ДСТУ 4730:2007). Определение в почве подвижных соединений микроэлементов – в ацетатно-амонийной вытяжке рН – 4,8: меди – ДСТУ 4770:6:2007, железа – ДСТУ 4770:4:2007, марганца – ДСТУ 4770:1:2007, цинка – ДСТУ 4770:2:2007. Определение содержания микроэлементов в растениях – в 10 % HCl после минерализации образцов.

Содержание микроэлементов определяли атомно-абсорбционным методом в пламени ацетилен-воздух на спектрофотометре Сатурн-4. Обработка результатов анализа проводили с помощью методики Доспехова в программе Excel.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Среди исследуемых сельскохозяйственных культур более высоким содержанием меди отмечено в горохе и гречихе, а самое низкое – ячмене. На изучаемых почвах содержание меди в растениях сильно изменялось, но определенной зависимости этих значений от содержания подвижной меди в почвах не выявлено (табл. 1).

Содержание меди в растениях и почвах

Вариант	Содержание в почве, мг/кг	мг/кг сухой массы			
		горох	ячмень	гречиха	кукуруза
Чернозем типичный легкоголинистый	0,14	3,93	2,51	4,21	3,51
Чернозем оподзоленный тяжелосуглинистый	0,48	4,09	2,41	5,12	4,08
Чернозем оподзоленный среднесуглинистый	0,29	7,20	4,94	5,93	5,06
Дерново-подзолистая супесчаная почва	0,55	6,47	3,91	5,77	4,40
НСР ₀₅		0,74	0,29	0,54	0,44

Содержание меди в растениях гороха, на черноземе оподзоленном тяжелосуглинистом и черноземе типичном легкоголинистом, было практически одинаковым, несмотря на трехкратную разницу содержания этого микроэлемента в почвах. В то же время содержание меди в растениях, выращенных на черноземе оподзоленном среднесуглинистом, выше в 1,8 раза в сравнении с тяжелосуглинистым аналогом при более низком содержании меди в данной почве. Подобная закономерность наблюдалась и на растениях ячменя. Содержание меди в растениях, выращенных на черноземе оподзоленном среднесуглинистом и дерново-подзолистой супесчаной почве, было выше в 2 и 1,6 раза, чем на черноземе типичном легкоголинистом и оподзоленном тяжелосуглинистом.

В растениях гречихи наблюдались другие особенности накопления меди. Несмотря на значительное отличие по содержанию подвижных соединений меди в почве, растения, выращенные на черноземе оподзоленном среднесуглинистом и дерново-подзолистой супесчаной почве, по содержанию данного микроэлемента существенно не отличались. При этом на черноземе оподзоленном тяжелосуглинистом содержание меди в растениях гречихи было значительно ниже в сравнении с менее обеспеченным подвижными соединениями меди черноземом оподзоленным среднесуглинистым. В растениях, выращенных на черноземе типичном легкоголинистом, содержание меди было в 1,2 и 1,4 раза ниже, чем на черноземе оподзоленном тяжелосуглинистом и дерново-подзолистой супесчаной почве.

Содержание меди в растениях кукурузы на изучаемых почвах значительно отличалось. Самое низкое содержание меди было в растениях, выращенных на черноземе типичном, а самое высокое в растениях, выращенных на черноземе оподзоленном среднесуглинистом и было в 1,5 раза выше соответствующих показателей на черноземе типичном и в 1,2 раза – чем на дерново-подзолистой супесчаной почве. В растениях кукурузы, выращенных на черноземе оподзоленном тяжелосуглинистом и дерново-подзолистой супесчаной почве, содержание меди было близким.

Более высокое содержание железа характерно для растений кукурузы по сравнению с другими культурами, эта закономерность наблюдалась на всех изучаемых почвах. При максимуме на дерново-подзолистой почве (213,2 мг/кг) и минимуме – на черноземе типичном легкоголинистом (79,66 мг/кг). В горохе,

ячмене и гречихе содержание железа изменялось в зависимости от типа почвы и биологических особенностей культуры (табл. 2).

Минимальное содержание железа наблюдалось в растениях гороха, выращенного на черноземе типичном. Повышение содержания подвижных соединений железа в черноземах оподзоленных (тяжело- и среднесуглинистом) привело к более высокому накоплению железа в растениях. На дерново-подзолистой супесчаной почве содержание железа в горохе превышало соответствующие показатели чернозема типичного и черноземов оподзоленных в 3,3 и 1,5 раза соответственно.

Подобная закономерность содержания железа на разных почвах была характерна и для растений кукурузы. Для растений гороха и кукурузы можно говорить лишь о тенденции увеличения накопления железа растениями на фоне повышения содержания подвижных соединений этого элемента в почвах. Коэффициенты парной корреляции для гороха ($r = 0,91$), для кукурузы ($r = 0,92$) при доверительных значениях данной выборки $r_{0,05} = 0,95$. В то же время выявлена тесная отрицательная корреляционная связь между содержанием физической глины в почвах и накоплением железа в растениях кукурузы ($r = -0,95$).

Таблица 2

Содержание железа в растениях и почвах

Вариант	Содержание в почве, мг/кг	мг/кг сухой массы			
		горох	ячмень	гречиха	кукуруза
Чернозем типичный легкоглинистый	0,71	39,11	41,94	33,14	79,66
Чернозем оподзоленный тяжелосуглинистый	2,70	84,94	87,91	40,97	126,46
Чернозем оподзоленный среднесуглинистый	1,42	74,79	67,72	128,25	138,11
Дерново-подзолистая супесчаная почва	13,68	131,10	82,91	98,66	213,20
НСР ₀₅		11,50	7,34	12,21	18,81

Для растений ячменя отмечена взаимосвязь между содержанием подвижных соединений железа в отдельных почвах и накоплением в растениях. Растения, выращенные на черноземе оподзоленном тяжелосуглинистом и дерново-подзолистой супесчаной почве, существенно не отличались между собой по содержанию железа. Содержание железа в растениях, выращенных на черноземе оподзоленном среднесуглинистом, было ниже в 1,2 раза, а на черноземе типичном – в 2 раза. В данном случае можно предположить, что при содержании подвижных соединений железа выше 2,7 мг/кг почвы в растениях ячменя включаются барьерные функции, что препятствует чрезмерному накоплению железа.

В отличие от ячменя уровень содержания железа в растениях гречихи не всегда зависели от содержания этого элемента в почве. На черноземах типичном и черноземе оподзоленном тяжелосуглинистом содержание железа в растениях гречихи существенно не отличалось несмотря на почти четырехкратную разницу в содержании подвижных соединений железа в этих почвах. В то же время содержание железа в растениях, выращенных на черноземе оподзоленном среднесуглинистом, было выше аналогичных показателей на черноземе оподзоленном тяжелосуглинистом в 3 раза и дерново-подзолистой почве – в 1,3 раза.

В данном случае особенности накопления железа растениями гречихи можно объяснить биологическими особенностями этой сельскохозяйственной культуры, а именно, высокой активностью корневой системы способной переводить нерастворимые соединения питательных веществ в почве в доступные растению. На поступление железа в растения гречихи косвенно влияли также и свойства почв, чернозем оподзоленный среднесуглинистый, за счет меньшего содержания физической глины по сравнению с тяжелосуглинистым аналогом, обладал меньшей буферностью, то есть из этой почвы растениям было значительно легче поглощать железо [7].

Следует также отметить, что меньшее содержание данного микроэлемента в растениях гречихи на дерново-подзолистой супесчаной почве может быть вызвано антагонизмом железа и марганца, вследствие высокого содержания в растениях марганца на этой почве, что будет отмечено ниже.

Среди исследуемых растений, наиболее высоким содержанием марганца отличались растения гречихи по сравнению с другими культурами на аналогичных почвах. На содержание марганца в других растениях существенно влияли свойства почв, на которых они выращивались (табл. 3)

Содержание марганца в растениях не всегда зависело от его содержания в почвах. В частности, при содержании этого элемента в количестве 10,21 мг/кг почвы в черноземе оподзоленном среднесуглинистом его содержание в горохе и ячмене было выше, чем на фоне 49,69 мг/кг почвы чернозема оподзоленного тяжелосуглинистого. При содержании марганца в дерново-подзолистой почве 24,46 мг/кг почвы его содержание в горохе и ячмене было самым высоким. Необходимо отметить и то, что все растения значительно больше поглощают из почвы железа и марганца по сравнению с другими микроэлементами и в некоторой степени между ними можно проследить проявление антагонизма, особенно на примере гречихи и кукурузы. Так, на фоне высокого содержания в кукурузе железа значительно уменьшается содержание марганца, а на фоне высокого содержания марганца в гречихе снижается поступление железа.

Таблица 3

Содержание марганца в растениях и почвах

Вариант	Содержание в почве, мг/кг	мг/кг сухой массы			
		горох	ячмень	гречиха	кукуруза
Чернозем типичный легкоглинистый	14,96	46,61	67,00	79,89	39,17
Чернозем оподзоленный тяжелосуглинистый	49,69	64,60	57,40	136,51	62,05
Чернозем оподзоленный среднесуглинистый	10,21	71,48	69,18	78,17	44,23
Дерново-подзолистая супесчаная почва	24,46	168,79	80,16	312,01	47,10
НСР ₀₅		9,67	7,21	24,11	6,45

В отличие от других микроэлементов по поступлению цинка все растения существенно отличались между собой, их можно разместить в следующем порядке: гречиха > горох > ячмень > кукуруза. Данная последовательность соблюдалась независимо от почвы на которой выращивалось растение (табл. 4).

В опыте с горохом наблюдалась определенная взаимосвязь между содержанием микроэлементов в почве и их накоплением растениями. Минимальное содержание цинка выявлено в черноземе типичном, с увеличением содержания подвижного цинка в черноземах оподзоленных в 2,5–3 раза, наблюдалось повышение накопления цинка растениями гороха в 1,5 раза. В растениях, выращенных на дерново-подзолистой почве, повышение содержания цинка в почве относительно чернозема типичного в 4,6 раза, привело к увеличению накопления цинка растениями гороха в 2 раза.

Таблица 4

Содержание цинка в растениях и почвах

Вариант	Содержание в почве, мг/кг	мг/кг сухой массы			
		горох	ячмень	гречиха	кукуруза
Чернозем типичный легкоглинистый	0,10	25,17	17,31	26,83	15,44
Чернозем оподзоленный тяжелосуглинистый	0,32	37,79	30,98	44,52	24,36
Чернозем оподзоленный среднесуглинистый	0,24	35,25	26,3	38,8	21,71
Дерново-подзолистая супесчаная почва	0,48	46,93	26,10	75,31	23,90
НСР ₀₅		4,27	3,10	5,36	3,11

Расчет коэффициентов парной корреляции, отдельных показателей почв и содержания цинка в растениях гороха показал тесную положительную корреляционную связь содержания элемента с его содержанием в почвах ($r = 0,99$), и обратную корреляционную зависимость относительно показателей pH почв ($r = - 0,95$).

Подобные закономерности накопления цинка были характерны и для растений гречихи. Повышение содержания подвижных соединений цинка в тяжелосуглинистых и среднесуглинистых черноземах оподзоленных сопровождалось повышением содержания данного микроэлемента в растениях гречихи в 1,6–1,7 раз соответственно. На дерново-подзолистой почве содержание цинка в гречихе относительно черноземов оподзоленных было выше в 1,7–2 раза, а относительно чернозема типичного – в 2,8 раза.

В гречихе также выявлена тесная корреляционная связь между содержанием цинка в почве и накоплением в растениях ($r = 0,97$).

Накопление микроэлементов растениями ячменя мало зависело от содержания цинка в почвах за исключением чернозема типичного. На дерново-подзолистой почве в которой содержание подвижных соединений цинка было самым высоким среди исследуемых почв, содержание данного микроэлемента в растениях было выше в 1,5 раза только относительно аналогичных показателей на черноземе типичном. В то же время содержание цинка в растениях, выращенных на черноземе оподзоленном тяжелосуглинистом, было выше по сравнению с дерново-подзолистой супесчаной почвой и черноземом оподзоленным среднесуглинистым в 1,2 раза, а относительно аналогичных показателей на черноземе типичном – в 1,8 раза.

Содержание цинка в растениях кукурузы существенно не изменялось на большинстве почв. На черноземах оподзоленных и дерново-подзолистой почве,

которые значительно отличались по содержанию цинка, поступление данного элемента в растения изменялось несущественно. В растениях, выращенных на черноземе типичном, содержалось в 1,5 раза меньше цинка.

Следует отметить, что относительно накопления цинка растениями кукурузы выявлена тесная обратная корреляционная связь с показателями рН почв на которых она выращивалась ($r = -0,98$).

ВЫВОДЫ

Между содержанием подвижных соединений меди, железа и марганца в почвах и поступлением данных элементов в растения прямой взаимосвязи не обнаружено. Содержание этих элементов в растениях очевидно было обусловлено биологическими особенностями сельскохозяйственных культур на фоне изменения гранулометрического состава и реакции почвенного раствора.

Из приведенных почвенных показателей тесная обратная корреляционная связь установлена только между содержанием физической глины в почвах и поступлением железа в растения кукурузы.

Отмечено проявление антагонизма между содержанием железа и марганца в растениях гречихи и кукурузы при высоком содержании одного из этих микроэлементов.

Содержание цинка было обусловлено, в первую очередь, видовыми особенностями культур. В горохе и гречихе установлена тесная взаимосвязь между поступлением цинка в растения и его содержанием в почве. Между содержанием цинка в растениях гороха и кукурузы и рН почвы установлена обратная корреляционная зависимость.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Битюцкий, Н.П.* Микроэлементы и растения / Н.П. Битюцкий – СПб.: Изд-во С.-Петербургского ун-та, 1999. – 232 с.
2. *Мотузова, Г.В.* Соединения микроэлементов в почвах: системная организация, экологическое значение, мониторинг / Г.В. Мотузова – М.: Эдиториал УРСС, 1999. – 168 с.
3. *Ильин, В.Б.* Оценка буферности почв по отношению к тяжелым металлам / В.Б. Ильин // Агрохимия. – № 10. – 1995. – С. 109–113.
4. *Кабата-Пендиас, А.* Микроэлементы в почвах и растениях / А. Кабата-Пендиас, Х. Пендиас. – М.: Мир. – 1987. – 439 с.
5. *Добровольский, В.В.* Роль гуминовых кислот в формировании миграции тяжелых металлов / В.В. Добровольский // Почвоведение. – 2004. – № 1. – С. 32–39.
6. *Fateev, A.I.* Influence of humus acids on mobility and biological availability of Iron, Zinc and Copper / A.I. Fateev, D.O. Semenov, K.B. Smirnova // Agricultural Science and Practice. – 2015. – Vol. 2, № 1. – P. 73–78.
7. *Шемет, А.М.* Вплив сільськогосподарських культур на зміну рН і вмісту рухомих сполук мікроелементів у ґрунтах / А.М. Шемет // Вісник Львівського національного аграрного університету. – 2013 – №17(1). – С. 148–153.

**THE INFLUENCE OF PHYSICAL AND PHYSICO-CHEMICAL
PROPERTIES OF SOIL ON THE BIOAVAILABILITY OF TRACE
ELEMENTS**

A.M. Shemet, A.I. Fateev

Summary

In the conditions of a glasshouse experiment, the authors revealed some regularities of trace elements uptake by plants of pea, barley, buckwheat and corn from soils with different basic indicators. A close correlation relationship between the trace elements uptake by plants and the content of their mobile forms in soil, soil texture and pH was determined.

Поступила 27.10.16

УДК 633.112.9:631.445.2:631.438

**ПОСТУПЛЕНИЕ ^{137}Cs В РАСТЕНИЯ ЯРОВОЙ ПШЕНИЦЫ
И МНОГОЛЕТНИХ ТРАВ НА ТОРФЯНО-ГЛЕЕВОЙ ПОЧВЕ
В ЗАВИСИМОСТИ ОТ УРОВНЕЙ КАЛИЙНОГО ПИТАНИЯ**

Н.Н. Цыбулько¹, А.В. Шашко²

*¹Департамент по ликвидации последствий катастрофы
на Чернобыльской АЭС,*

г. Минск, Беларусь

²Брестский филиал института радиологии,

г. Пинск, Беларусь

ВВЕДЕНИЕ

Генетические особенности почв оказывают существенное влияние на процессы сорбции радионуклидов и интенсивность перехода их в растения. В зависимости от свойств почв содержание обменной формы радионуклидов варьирует от 9 до 40 % для ^{137}Cs и от 64 до 93 % – для ^{90}Sr [1].

На территории радиоактивного загрязнения в составе сельскохозяйственных земель значительный удельный вес занимают торфяные почвы. В настоящее время площади торфяных почв с разной мощностью торфа и деградированных торфяно-минеральных почв в наиболее загрязненных радионуклидами Гомельской, Могилевской и Брестской областях составляют около 500 тыс. га [2, 3].

Органогенные почвы отличаются от минеральных более высоким поступлением радионуклидов в растения и являются критичными для получения нормативно чистой сельскохозяйственной продукции. Высокие показатели миграции радионуклидов в растения на этих почвах обусловлены особенностями их морфологического и генетического строения, водно-физическими и агрохимическими свойствами. Из-за повышенной адсорбционной способности органического вещества и емкости катионного обмена, низкого отрицательного поверхностного заряда этих

почв значительное количество веществ, в том числе и радионуклидов, удерживается в доступных для растений формах. Ведущим механизмом взаимодействия радионуклидов с почвой является ионный обмен, а основную роль играют фульво- и гуминовые кислоты, находящиеся в почвенном растворе [4, 5].

Применение калийных удобрений основной агрохимический прием, снижающий поступление ^{137}Cs в сельскохозяйственные культуры. На почвах разного генезиса под влиянием калия накопление ^{137}Cs в растениях может уменьшаться от 2 до 20 раз [6]. Положительная роль его возрастает на фоне оптимальных параметров минерального питания растений [7].

Снижение перехода радионуклидов в растения при внесении калийных удобрений существенно зависят от исходной обеспеченности почвы подвижным калием [8]. Установлено, что уровень содержания подвижного калия в почве, превышение которого не снижает накопление ^{137}Cs в полевых культурах, составляет 240–260 мг/кг почвы. Внесение высоких доз калийных удобрений (180–240 кг/га) на слабообеспеченных почвах (150 мг/кг почвы) снижает в 1,5–2,7 раза содержание ^{137}Cs . На почвах с повышенным (250 мг/кг почвы) и высоким (350 мг/кг почвы) содержанием подвижного калия внесение повышенных доз калийных удобрений малоэффективно [9].

Для прогнозирования поступления радионуклидов из почвы в растения используют такой показатель, как коэффициент перехода (K_n) – отношение удельной активности радионуклида в растениях к плотности загрязнения почвы на единицу площади (Бк/кг:кБк/м²). В международных публикациях используется аналогичный показатель – Aggregated transfer factor (T_{ag}) [10]. С целью прогноза загрязнения радионуклидами продукции сельскохозяйственных культур разработаны усредненные K_n для основных типов почв, в том числе для торфяно-болотных почв [11]. В то же время для деградированных торфяно-минеральных почв эти показатели отсутствуют, что не позволяет прогнозировать накопление радионуклидов в растениеводческой продукции, определить дозы калийных удобрений, как защитной меры, обеспечивающие минимальное накопление радионуклидов в продукции сельскохозяйственных культур.

Цель настоящей работы – изучить влияние возрастающих доз калийных удобрений и обеспеченности торфяно-глеевой почвы подвижным калием на поступление ^{137}Cs в зерно яровой пшеницы и сено многолетних бобово-злаковых трав.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследования проводили в 2012–2014 гг. в стационарных полевых опытах на территории землепользования Государственного предприятия «Новое Полесье» Лунинецкого района Брестской области, а также на подобранных пробных (реперных) площадках с разными показателями плодородия почв в производственных посевах яровой пшеницы. Объектом исследования являлись торфяно-глеевые почвы. Агрохимические показатели пахотного (0–25 см) слоя почвы следующие (средние значения):

– опытный участок №1 с яровой пшеницей: органическое вещество – 60,4 %, $N_{\text{общ}}$ – 1,71 %, рН в KCl – 5,44; подвижные формы (в 0,2 М HCl) P_2O_5 – 748 и K_2O – 625 мг/кг почвы;

– опытный участок № 2 с многолетними травами: органическое вещество – 53,1 %; общий азот – 1,54 %; рН в КСl – 5,44; подвижные формы (в 0,2 М НСl) P_2O_5 – 737 и K_2O – 665 мг/кг почвы.

Почва относится согласно градации [12] ко второй группе (1,0–4,9 Ки/км²) по степени загрязнения ¹³⁷Cs. Плотность загрязнения колебалась от 3,2 до 4,5 Ки/км² (в среднем 4,0 Ки/км²) на опытном участке с яровой пшеницей и от 4,1 до 4,7 Ки/км² (в среднем 4,3 Ки/км²) – на опытном участке с многолетними травами.

Возделывали яровую пшеницу сорта Ростань и бобово-злаковую травосмесь, включающую тимopheевку луговую (6 кг/га), овсяницу луговую (6 кг/га), кострец безостый (6 кг/га) и люцerneц рогатый (5 кг/кг). Посев трав беспокровный.

Варианты опыта с яровой пшеницей: 1. Без удобрений (контроль); 2. $P_{60}K_{80}$; 3. $P_{60}K_{120}$; 4. $P_{60}K_{160}$. Варианты опыта с многолетними бобово-злаковыми травами: 1. Без удобрений (контроль); 2. $P_{90}K_{120}$ – под 1-й укос; 3. $P_{90}K_{180}$ (K_{120} – под 1-й укос + K_{60} – под 2-й укос); 4. $P_{90}K_{240}$ (K_{180} – под 1-й укос + K_{60} – под 2-й укос).

Размещение делянок в опыте рендомизированное. Повторность вариантов в опыте четырехкратная. В опыте с яровой пшеницей общая площадь делянки составляла 29 м², учетная площадь – 24 м², в опыте с многолетними травами 20 и 12 м² соответственно.

На пробных (реперных) площадках размером 1 м² в производственных посевах отбирали сопряженные почвенные и растительные пробы. В почвенных пробах определяли активность ¹³⁷Cs и агрохимические показатели (рН_{КСl}, содержание P_2O_5 и K_2O), в растительных пробах (зерне яровой пшеницы) – удельную активность ¹³⁷Cs.

Агрохимические показатели почв определяли по методикам: органическое вещество – по Тюрину в модификации ЦИНАО по ГОСТ 26212–91 [13]; рН_{КСl} – потенциометрическим методом по ГОСТ 26483–85 [14]; подвижные формы фосфора и калия – по ГОСТ 26207–91 [15]; общий азот – по ГОСТ 26107–84 [16].

Отбор проб почвы для определения содержания ¹³⁷Cs проводили согласно методике [17], подготовку почвенных и растительных проб – по методикам [18, 19]. Определение удельной активности ¹³⁷Cs (Бк/кг) в почвенных пробах выполняли на γ - β -спектрометре МКС–АТ1315, в растительных образцах – на γ -спектрометрическом комплексе «Canberra-Packard». Основная относительная погрешность измерений при доверительном интервале $P = 95\%$ не превышала 15–30 %. Аппаратурная ошибка измерений не превышала 15 %. Плотность загрязнения почвы ¹³⁷Cs рассчитывали согласно методике [12]. Для количественной оценки поступления ¹³⁷Cs из почвы в растения рассчитывали коэффициент перехода (K_n) – отношение удельной активности радионуклида в растениях к плотности загрязнения почвы на единицу площади (Бк/кг:кБк/м²).

Полученные данные обрабатывали методами корреляционно-регрессионного и дисперсионного анализа [20] с использованием компьютерного программного обеспечения (*Excel 7.0*, *Statistic 7.0*).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В условиях радиоактивного загрязнения земель наиболее «жестко» нормируется содержание радионуклидов в продукции на пищевые цели. В соответствии с Республиканскими допустимыми уровнями содержания радионуклидов цезия-137 и

стронция-90 в пищевых продуктах и питьевой воде (РДУ–99) предельное содержание ^{137}Cs в зерне на пищевые цели не должно превышать 90 Бк/кг [21], а согласно техническому регламенту Таможенного союза «О безопасности пищевой продукции» (ТР ТС 021/2011) допустимый уровень ^{137}Cs в пищевом зерне 60 Бк/кг [22].

В наших исследованиях при плотности загрязнения почвы ^{137}Cs до 5 Ки/км² удельная активность радионуклида в зерне яровой пшеницы даже в варианте без применения удобрений (контроль) не превышала 20 Бк/кг и составила в среднем в 2012 году 6,67 Бк/кг, в 2013 г. – 18,15 и в 2014 г. – 16,23 Бк/кг. Различия в содержании ^{137}Cs по годам составляли 2,7 раза. Более низкие значения отмечались во влажные годы. По степени увлажнения 2012 и 2014 гг. характеризовались как влажные – ГТК составили 1,66 и 2,02 соответственно, а 2013 г. был слабозасушливым – ГТК равен 1,16.

Применение фосфорных и калийных удобрений в дозах $\text{P}_{60}\text{K}_{80}$, при содержании в почве P_2O_5 748 мг/кг и K_2O 625 мг/кг почвы, снижало накопление ^{137}Cs в зерне по отношению к контролю от 12 до 20 % в зависимости от года, а в среднем на 14 %.

Дальнейшее повышение доз калия было менее эффективным. Активность ^{137}Cs в зерне при увеличении дозы в 1,5 раза (K_{120}) уменьшилась в среднем на 24 % к контролю и на 8 % к варианту с K_{80} . Удвоение дозы калийных удобрений (K_{160}) практически не способствовало снижению содержания радионуклида в продукции по отношению к варианту $\text{P}_{60}\text{K}_{120}$ (табл. 1).

Расчеты коэффициентов перехода ^{137}Cs из почвы в зерно яровой пшеницы показали следующее. За годы исследований в зависимости от метеорологических условий вегетационных периодов различия в переходе ^{137}Cs в зерно составили 1,5–1,8 раза. На контрольном варианте коэффициент перехода варьировал по годам от 0,064 до 0,113 Бк/кг:кБк/м², в среднем был равен 0,088 Бк/кг:кБк/м². В варианте с внесением фосфорных и калийных удобрений в дозах 60 и 80 кг/га соответственно он снизился по отношению к контролю в среднем на 14 % и величина его изменялась по годам от 0,058 до 0,086 при среднем значении 0,076 Бк/кг:кБк/м². При внесении K_{120} и K_{160} переход радионуклида уменьшился по отношению к контрольному варианту соответственно на 24 и 25 % и составил в среднем за 3 года исследований 0,067 и 0,066 Бк/кг:кБк/м².

Таблица 1

Параметры накопления ^{137}Cs яровой пшеницей в зависимости от доз фосфорных и калийных удобрений

Вариант опыта	Годы			Среднее значение	Процент к контролю
	2012	2013	2014		
<i>Удельная активность ^{137}Cs в зерне, Бк/кг</i>					
1. Контроль	6,67±1,99	18,15±5,44	16,23±4,87	13,68	100
2. $\text{P}_{60}\text{K}_{80}$	5,72±1,72	14,60±4,38	14,22±4,34	11,51	86
3. $\text{P}_{60}\text{K}_{120}$	4,67±1,38	14,07±4,22	12,54±3,76	10,43	76
4. $\text{P}_{60}\text{K}_{160}$	5,21±1,56	14,20±4,24	11,32±3,39	10,24	75
<i>Коэффициенты перехода ^{137}Cs в зерно, Бк/кг:кБк/м²</i>					
1. Контроль	0,064	0,113	0,087	0,088	100
2. $\text{P}_{60}\text{K}_{80}$	0,058	0,083	0,086	0,076	86
3. $\text{P}_{60}\text{K}_{120}$	0,047	0,073	0,082	0,067	76
4. $\text{P}_{60}\text{K}_{160}$	0,047	0,073	0,076	0,066	75

В своих исследованиях мы попытались установить зависимости между коэффициентами перехода ^{137}Cs в растения и продуктивностью яровой пшеницы. В результате статистической обработки данных, полученных в 3-летних опытах, установлена тесная обратно пропорциональная зависимость коэффициентов перехода радионуклида из почвы в зерно от уровня урожайности. Величина достоверности аппроксимации (R^2) составила 0,61. С повышением урожайности наблюдалось уменьшение параметра перехода ^{137}Cs в продукцию (рис. 1).

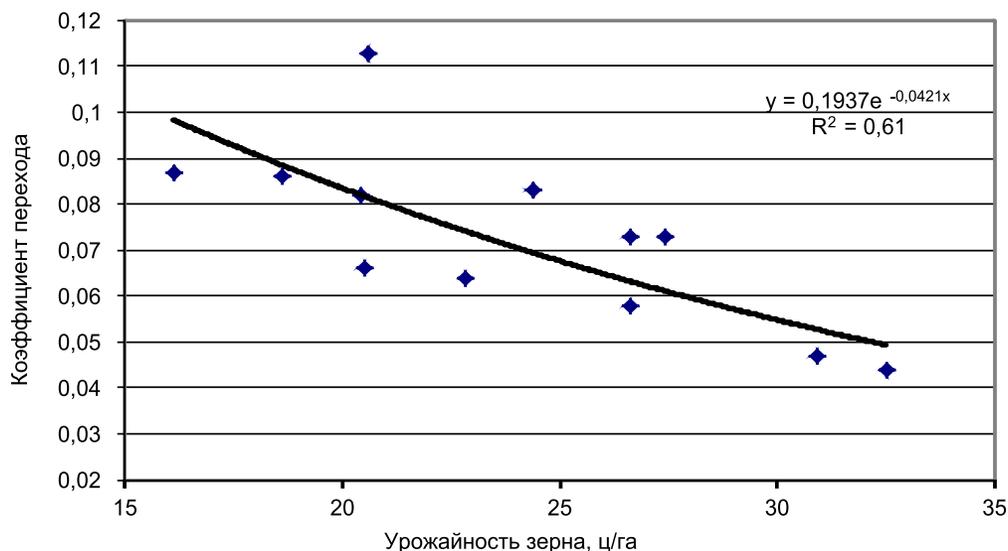


Рис. 1. Зависимость коэффициентов перехода ^{137}Cs из почвы в зерно яровой пшеницы от уровня урожайности

Применение повышенных доз калийных удобрений в качестве защитной меры на загрязненных радионуклидами почвах приводит к увеличению затрат на производство растениеводческой продукции. Поэтому важным является определение пороговых значений содержания K_2O в почве, при которых наблюдается минимальное накопление ^{137}Cs в растениях. Данный вопрос детально проработан в исследованиях на дерново-подзолистых супесчаных почвах, что позволило установить агроэкологические оптимумы обеспеченности этих почв подвижным калием и рекомендовать наиболее эффективное применение удобрений [4, 9, 23, 24].

По результатам анализа сопряженных почвенных и растительных проб, отобранных в производственных посевах с разным содержанием подвижного калия в почве, рассчитана корреляционно-регрессионная зависимость между обеспеченностью торфяно-глеевой почвы K_2O и величиной коэффициентов перехода ^{137}Cs в зерно яровой пшеницы. Установлено, что между содержанием подвижного калия в почве и переходом ^{137}Cs в продукцию существует тесная обратно пропорциональная взаимосвязь с величиной достоверности аппроксимации (R^2) равной 0,55. С повышением обеспеченности почвы K_2O наблюдалось снижение параметров миграции ^{137}Cs в растения. Наиболее существенное уменьшения данного показателя наблюдалось при повышении обеспеченности почвы K_2O в диапазоне от 200 до 700 мг/кг почвы (рис. 2).

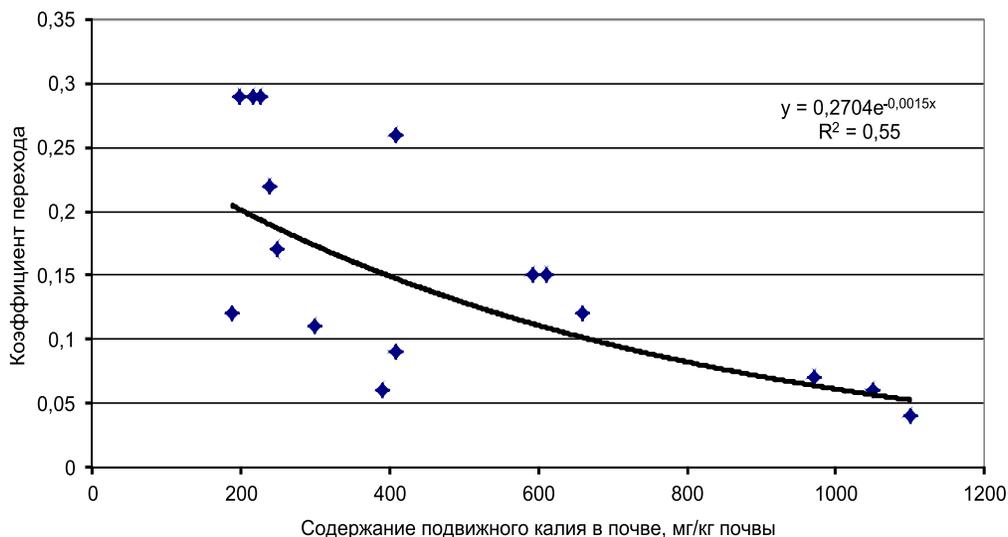


Рис. 2. Зависимость коэффициентов перехода ^{137}Cs в зерно яровой пшеницы от содержания подвижного калия в почве

Накопление ^{137}Cs многолетними бобово-злаковыми травами зависело от метеорологических условий вегетационных периодов, укосов и уровней применения минеральных удобрений. При плотности загрязнения почвы ^{137}Cs 4,3 Ки/км² содержание радионуклида колебалось по годам на контроле от 29,77 до 256,48 Бк/кг. Различия в активности ^{137}Cs в травах первого укоса достигали 1,4 раза, второго укоса – 3,6 раза, а между укосами – 8,6 раз. В целом за годы исследований удельная активность радионуклида в сене не превышала 350 Бк/кг при допустимом содержании 1300 Бк/кг для скармливания дойному поголовью и получения цельного молока (табл. 2).

Таблица 2

Удельная активность ^{137}Cs в сене многолетних бобово-злаковых трав в зависимости от доз фосфорных и калийных удобрений, Бк/кг

Вариант опыта	Годы			Среднее значение	Процент к контролю
	2012	2013	2014		
<i>Первый укос</i>					
1. Контроль	40,50±12,46	36,37±10,78	29,77±8,91	35,55	100
2. P ₉₀ K ₁₂₀	23,26±10,14	29,13±8,57	23,11±6,93	25,17	71
3. P ₉₀ K ₁₈₀	24,10±5,87	27,87±7,75	22,79±6,23	24,92	70
4. P ₉₀ K ₂₄₀	12,67±5,52	17,17±5,57	17,60±5,28	15,81	44
<i>Второй укос</i>					
1. Контроль	71,36±21,48	123,52±37,54	256,48±76,94	150,45	100
2. P ₉₀ K ₁₂₀	42,64±12,87	87,32±26,19	167,29±46,22	99,08	66
3. P ₉₀ K ₁₈₀	37,63±11,57	63,39±19,02	99,77±29,93	66,93	44
4. P ₉₀ K ₂₄₀	27,04±8,06	59,48±17,82	60,55±18,21	49,02	33

Фосфорные и калийные удобрения, внесенные под первый укос трав в дозах P₉₀K₁₂₀, при содержании в почве P₂O₅ 737 и K₂O – 665 мг/кг почвы, уменьшали

накопление ^{137}Cs в зависимости от года пользования трав в сене первого укоса от 20 до 43 %, в сене второго укоса – от 29 до 40 %, а в среднем снижение составило 30 и 34 %, соответственно.

Применение под первый укос трав дозы калия 180 кг/га также было эффективным. активность радионуклида в сене уменьшилась в среднем с 25,17 до 15,81 Бк/кг или в 1,6 раза. Подкормка трав под второй укос калием в дозе 60 кг/га на фоне $\text{P}_{90}\text{K}_{120}$ (вариант 3) способствовала уменьшению содержания ^{137}Cs в сене по отношению к контролю в среднем в 2,2 раза, по отношению к варианту с $\text{P}_{90}\text{K}_{120}$ – в 1,5 раза. При внесении K_{60} под второй укос на фоне $\text{P}_{90}\text{K}_{180}$ (вариант 4) также наблюдалось снижение активности ^{137}Cs в сене по сравнению с вариантом 3 с 66,93 до 49,02 Бк/кг.

Расчеты коэффициентов перехода ^{137}Cs из почвы в многолетние травы показали следующее. За годы исследований в зависимости от метеорологических условий вегетационных периодов различия в переходе ^{137}Cs в многолетние травы первого укоса достигали 1,7 раза, второго укоса – 4,3 раза. На контрольном варианте коэффициент перехода изменялся по годам для трав первого укоса незначительно – 0,21–0,24 Бк/кг: кБк/м², тогда как для второго укоса он варьировал от 0,47 до 1,57 0,088 Бк/кг: кБк/м² (табл. 3).

Таблица 3

Коэффициенты перехода ^{137}Cs в сено многолетних бобово-злаковых трав в зависимости от доз фосфорных и калийных удобрений, Бк/кг

Вариант опыта	Годы			Среднее значение	Процент к контролю
	2012	2013	2014		
<i>Первый укос</i>					
1. Контроль	0,21	0,24	0,21	0,22	100
2. $\text{P}_{90}\text{K}_{120}$	0,13	0,18	0,18	0,16	73
3. $\text{P}_{90}\text{K}_{180}$	0,14	0,16	0,17	0,16	73
4. $\text{P}_{90}\text{K}_{240}$	0,07	0,11	0,12	0,10	45
<i>Второй укос</i>					
1. Контроль	0,47	0,82	1,57	0,95	100
2. $\text{P}_{90}\text{K}_{120}$	0,26	0,52	1,12	0,63	66
3. $\text{P}_{90}\text{K}_{180}$	0,22	0,42	0,65	0,43	45
4. $\text{P}_{90}\text{K}_{240}$	0,16	0,39	0,39	0,31	33

Фосфорные и калийные удобрения в дозах соответственно 90 и 120 кг/га снизили параметры перехода ^{137}Cs из почвы в травы первого и второго укосов на 27–34 %. При внесении под второй укос K_{60} на фоне $\text{P}_{90}\text{K}_{120}$ показатель перехода ^{137}Cs из почвы в растения снизился с 0,63 до 0,43 Бк/кг: кБк/м². Применение под первый укос $\text{P}_{90}\text{K}_{180}$ и под второй укос K_{60} (вариант 4) уменьшило коэффициент перехода ^{137}Cs по отношению к варианту 3 ($\text{P}_{90}\text{K}_{180}$) в травы первого укоса с 0,16 до 0,10 Бк/кг: кБк/м², в травы второго укоса – с 0,43 до 0,31 Бк/кг: кБк/м².

В результате статистической обработки 3-летних данных установлена тесная обратно пропорциональная зависимость коэффициентов перехода радионуклида из почвы в сено многолетних бобово-злаковых трав от уровня продуктивности. Величина достоверности аппроксимации (R^2) составила 0,78. С повышением урожайности наблюдалось уменьшение параметра перехода ^{137}Cs в сено (рис. 3).

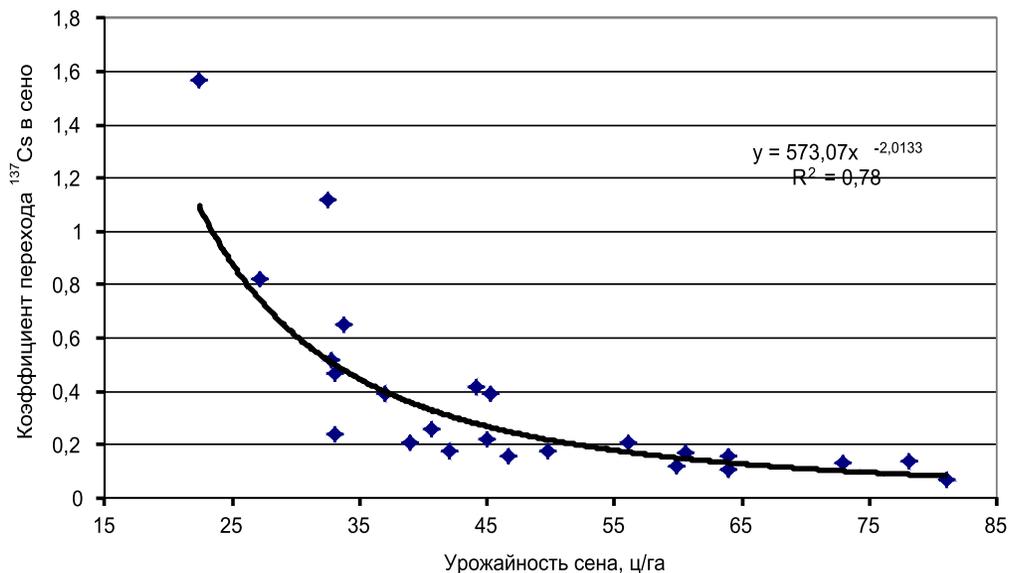


Рис. 3. Зависимость коэффициентов перехода ^{137}Cs из почвы в сено многолетних бобово-злаковых трав от уровня их продуктивности

Проведен сравнительный анализ коэффициентов перехода ^{137}Cs в зерно яровой пшеницы и сено многолетних бобово-злаковых трав на торфяно-глеевой, торфяно-болотной и дерново-подзолистой супесчаной почвах (рис. 4). Для анализа использованы средние коэффициенты перехода ^{137}Cs в зерно и сено на дерново-подзолистой супесчаной и торфяно-болотной почвах, рекомендуемые для прогнозирования загрязнения продукции растениеводства [11].

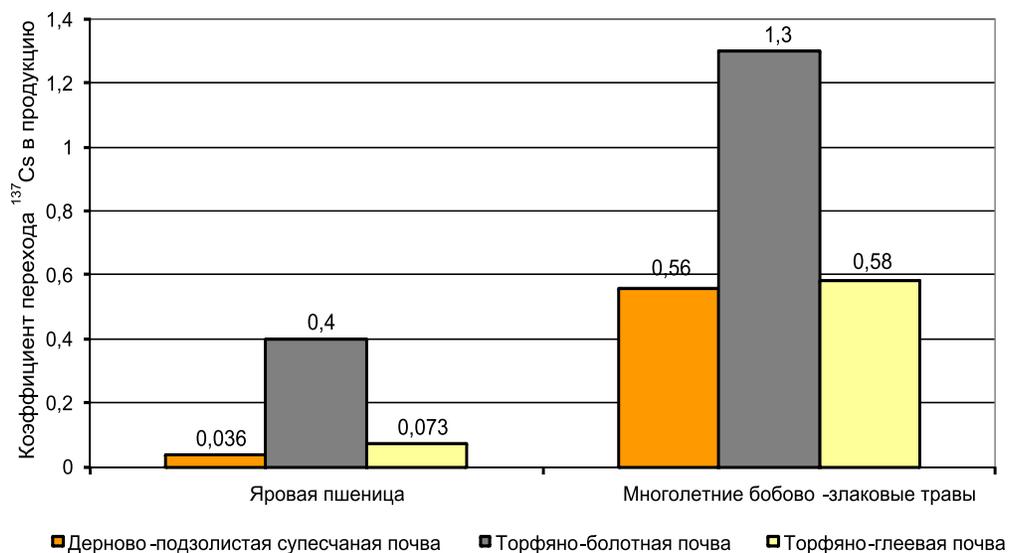


Рис. 4. Значения коэффициентов перехода ^{137}Cs из почв в зерно яровой пшеницы и сено многолетних бобово-злаковых трав

Как видно из приведенных данных, среднее значение коэффициента перехода ^{137}Cs в зерно яровой пшеницы на торфяно-глеевой почве выше, чем на дерново-подзолистой супесчаной почве в 2 раза, но ниже по сравнению с торфяно-болотной почвой более чем в 5 раз. Параметры перехода радионуклида в сено многолетних бобово-злаковых трав на торфяно-глеевой и дерново-подзолистой почвах близкие по значению между собой 0,58 и 0,56 Бк/кг: кБк/м² соответственно, а по сравнению с торфяно-болотной почвой – ниже в 2,2 раза.

ВЫВОДЫ

1. В зависимости от условий вегетационных периодов различия по годам в активности ^{137}Cs в зерне яровой пшеницы достигали 2,7 раз, в сене многолетних бобово-злаковых трав – 3,6 раз, минимальные и максимальные значения между укосами достигали 8,6 раз. Такие колебания в содержании радионуклида в продукции в значительной степени обусловлены уровнями формируемой продуктивности возделываемых культур. Установлены тесные обратно пропорциональные зависимости коэффициентов перехода ^{137}Cs из почвы в зерно яровой пшеницы и сено многолетних трав от урожайности с величинами достоверности аппроксимации (R^2) 0,61 и 0,78 соответственно.

2. Между содержанием подвижного калия в почве и поступлением ^{137}Cs в продукцию существует тесная обратно пропорциональная взаимосвязь $R^2 = 0,55$. Наиболее существенное снижение коэффициентов перехода ^{137}Cs в растения наблюдается при повышении обеспеченности почвы K_2O в диапазоне от 200 до 700 мг/кг почвы.

3. На торфяно-глеевой почве с содержанием P_2O_5 737–748 мг/кг и K_2O 625–665 мг/кг наиболее эффективным под яровую пшеницу является применение фосфорных и калийных удобрений в дозах $\text{P}_{60}\text{K}_{120}$, снижающее поступление ^{137}Cs в зерно в среднем на 24 %. Внесение K_{160} не приводит к дальнейшему существенному снижению перехода радионуклида в продукцию. При возделывании многолетних бобово-злаковых трав максимальное снижение содержания ^{137}Cs в сене первого укоса в 2,2 раза, в сене второго укоса в 3,0 раза обеспечивает применение фосфорных удобрений в дозе P_{60} и калийных удобрений в дозе K_{240} (K_{180} под первый укос и K_{60} под второй укос).

4. На торфяно-глеевой почве в отличие от торфяно-болотной почвы коэффициенты перехода ^{137}Cs в зерно яровой пшеницы ниже в среднем в 5 раз, в сено многолетних бобово-злаковых трав – в 2 раза. Однако по сравнению с дерново-подзолистой супесчаной почвой параметры миграции радионуклида в зерно яровой пшеницы выше в 2 раза, а в сено многолетних бобово-злаковых трав – близкие по значению.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сысоева, А.А. Экспериментальное исследование и моделирование процессов, определяющих подвижность ^{90}Sr и ^{137}Cs в системе почва–растение: автореф. дис. ... канд. биол. наук / А.А. Сысоева. – Обнинск: ВНИИСХРАЭ, 2004. – 29 с.
2. Национальный доклад о состоянии, использовании и охране земельных ресурсов (по сост. на 1 янв. 2011 г.) / Гос. ком. по имуществу Респ. Беларусь; под ред. Г.И. Кузнецова. – Минск: БелНИЦзем, 2011. – 184 с.

3. *Мееровский, А.С.* Проблемы использования и сохранения торфяных почв / А.С. Мееровский, В.П. Трибис // *Новости науки и технологий.* – 2010. – № 4(23). – С. 3–9.
4. *Путятин, Ю.В.* Минимизация поступления радионуклидов ^{137}Cs и ^{90}Sr в растениеводческую продукцию / Ю.В. Путятин. – Минск: Ин-т почвоведения и агрохимии, 2008. – 268 с.
5. *Соколик, Г.А.* Действие фульво- и гуминовых кислот на механизмы накопления радионуклидов ^{137}Cs и ^{90}Sr растительными клетками / Г.А. Соколик // *Радиоэкология торфяных почв: материалы Междунар. конф., Санкт-Петербургский гос. аграр. ун-т.* – С-Пб, 1994. – С. 23–24.
6. 20 лет после чернобыльской катастрофы: последствия в Республике Беларусь и их преодоление. Национальный доклад; под ред. В.Е. Шевчука, В.Л. Гурачевского. – Минск: Комитет по проблемам преодоления последствий катастрофы на Чернобыльской АЭС при Совете Министров Респ. Беларусь, 2006. – 112 с.
7. *Алексахин, Р.М.* Поведение ^{137}Cs в системе почва – растение и влияние внесения удобрений на накопление радионуклида в урожай / Р.М. Алексахин, И.Т. Моисеев, Ф.А. Тихомиров // *Агрохимия.* – 1992. – № 8. – С. 127–138.
8. *Путятин, Ю.В.* Влияние кислотности дерново-подзолистой супесчаной почвы и доз калийных удобрений на переход ^{137}Cs и ^{90}Sr в яровую пшеницу / Ю.В. Путятин, Т.М. Серая, О.М. Петрикевич // *Почвоведение и агрохимия.* – 2004. – Вып. 33. – С. 163-169.
9. *Богдевич, И.М.* Урожай и поступление радионуклидов ^{137}Cs и ^{90}Sr в сельскохозяйственные культуры в зависимости от доз калийных удобрений / И.М. Богдевич // *Почвенные исследования и применение удобрений.* – 2003. – № 27. – С. 158-168.
10. Quantities, Units and Terms in Radioecology. International Commission on Radiation Units and Measurements. ICRU Report 65 // *J. ICRU.* – 2001. – V. 1, № 2. – P. 2–44.
11. Рекомендации по ведению сельскохозяйственного производства в условиях радиоактивного загрязнения земель Республики Беларусь на 2012–2016 годы. – Минск: Департамент по ликвидации катастрофы на ЧАЭС, 2012. – 121 с.
12. Крупномасштабное агрохимическое и радиологическое обследование почв сельскохозяйственных земель Республики Беларусь: методические указания / И.М. Богдевич [и др.]; под ред. И.М. Богдевича. – Минск: Ин-т почвоведения и агрохимии, 2012. – 48 с.
13. Почвы. Определение органического вещества в модификации ЦИНАО: ГОСТ 26212–91. – Введ. 1993.07.01. – Минск: Изд-во стандартов, 1992. – 6 с.
14. Почвы. Приготовление солевой вытяжки и определение рН по методу ЦИНАО: ГОСТ 26483–85. – Введ. 07.01.86. – Минск: Белорус. гос. ин-т стандартизации и сертификации, 1987. – 4 с.
15. Почвы. Определение подвижных соединений фосфора и калия по методу Кирсанова в модификации ЦИНАО: ГОСТ 26207–91. – Введ. 07.01.93. – Минск: Белорус. гос. ин-т стандартизации и сертификации, 1992. – 6 с.
16. Почвы. Методы определения общего азота: ГОСТ 26107-84. – Введ. 07.01.85. – Минск: Белорус. гос. ин-т стандартизации и сертификации, 1985. – 6 с.
17. Почвы. Отбор проб: ГОСТ 28168-89. – Введ. 01.04.90. – М.: Изд-во стандартов, 1989. – 6 с.

18. СТБ 1056.98. Радиационный контроль. Отбор проб сельхозсырья и кормов. – Введ. 01.07.1998. – Минск: Белстандарт, 1998. – 7 с.
19. СТБ 1059.98. Радиационный контроль. Подготовка проб для определения ^{90}Sr и ^{137}Cs . – Введ. 01.07.1998. – Минск: Белстандарт, 1998. – 22 с.
20. *Доспехов, Б.А.* Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований) / Б.А. Доспехов. – М.: Агропромиздат, 1985. – 351 с.
21. ГН №10–117–99. Республиканские допустимые уровни содержания радионуклидов цезия-137 и стронция-90 в пищевых продуктах и питьевой воде (РДУ-99): утвержден постановлением Главного государственного санитарного врача Республики Беларусь № 6 от 26.04.1999.
22. Технический регламент Таможенного союза ТР ТС 021/2011 «О безопасности пищевой продукции»: утв. решением Комиссии Таможенного союза № 880 от 9.12.2011.
23. *Богдевич, И.М.* Прогноз накопления ^{137}Cs и ^{90}Sr в кормах по степени окультуренности дерново-подзолистых почвах / И.М. Богдевич, А.Г. Подоляк // *Агрохимический вестник*. – 2004. – № 3. – С. 28–32.
24. *Путятин, Ю.В.* Динамика радиологической эффективности калийных удобрений и обеспеченности почв подвижным калием на накопление ^{137}Cs и ^{90}Sr сельскохозяйственными культурами / Ю.В. Путятин // *Почвоведение и агрохимия*. – 2008. – № 2(41). – С. 224–234.

ACCUMULATION OF ^{137}Cs IN SPRING WHEAT AND PERENNIAL GRASSES ON PEATY GLEY SOIL DEPENDING ON POTASSIUM NUTRITION LEVELS

N.N. Tsybulka, A.V. Shashko

Summary

On peaty gley soil the authors studied the effect of increasing rates of potassium fertilizers and soil provision with mobile potassium on entry of ^{137}Cs into grain of spring wheat and hay of perennial grasses. It was established that between the content of mobile potassium in soil and the entry of ^{137}Cs into products there was a strong inverse relationship ($R^2 = 0,55$). The most significant decrease in the transfer factor of ^{137}Cs into plants was observed in case of increasing soil provision with K_2O in the range of 200–700 mg/kg.

On condition of content of P_2O_5 737–748 mg/kg and K_2O 625–665 mg/kg in soil, the most effective under spring wheat was the use of phosphate and potash fertilizers in $\text{R}_{60}\text{K}_{120}$ rates, reducing ^{137}Cs grain intake by an average of 24 %. During cultivation of perennial grasses the maximum reduction of ^{137}Cs in hay (2.2–3.0 times) was provided by the use of phosphate fertilizers in rates of P_{60} and potash fertilizers in rates of K_{240} .

On peaty gley soil, in contrast to the peat-bog soil, the ^{137}Cs transfer factor into grain of spring wheat was 5 times below the average one; into hay of perennial grasses it was 2 times lower. In addition, in comparison with sod-podzolic sandy loam soil, the parameters of ^{137}Cs migration into grain of spring wheat were 2 times higher, into hay of perennial grasses the parameters showed similar values.

Поступила 27.11.16

АКТИВНОСТЬ ОКСИДАЗ В ВЫСОКО ОКУЛЬТУРЕННОЙ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ ЛЕГКОСУГЛИНИСТОЙ ПОЧВЕ ПРИ РАЗНЫХ УРОВНЯХ МИНЕРАЛЬНОГО ПИТАНИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР

В.В. Лапа, Н.А. Михайловская, С.А. Касьянчик, Т.В. Погирницкая

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

ВВЕДЕНИЕ

Показатели биологической активности тесно коррелируют с содержанием органического вещества [1, 3, 4, 5] и считаются надежными критериями оценки плодородия почв и нормирования антропогенной нагрузки [1, 2, 3, 4, 7]. Высоко окультуренные дерново-подзолистые почвы республики недостаточно исследованы в биологическом отношении [8]. В настоящее время для оценки биологического состояния почв используется широкий спектр показателей: численность и биомасса бактерий, актиномицетов, грибов, физиологических и систематических групп микроорганизмов; ферментативная активность почв; аммонифицирующая, нитрифицирующая и денитрифицирующая активность почв; аппликационные методы; газовый анализ и т.д. [1].

При решении задач по установлению скорости и направленности трансформации органического вещества под влиянием антропогенных факторов целесообразно использовать показатели ферментативной активности. Превращения органического вещества осуществляются при прямом участии микроорганизмов, за счет их метаболитов или за счет действия внеклеточных почвенных ферментов, иммобилизованных на минеральные или органические компоненты почвы. Внеклеточные ферменты составляют значительную часть ферментного запаса почвы и характеризуются более высокой устойчивостью к денатурирующим факторам, длительно сохраняют свои каталитические свойства [5, 6]. Стабилизация абиотических ферментов обусловлена их прочными связями с минеральными и органическими компонентами почвы (органо-минерально-ферментные комплексы) [9].

Окислительные ферменты привлекают внимание исследователей благодаря их роли в процессах гумификации. По современным представлениям катализаторами гумификации (окисления и полимеризации) разлагающихся лигнинов растительных остатков считаются микробные оксидазы – полифенолоксидазы и пероксидазы. Их активность служит биохимическим показателем интенсивности процессов гумификации [4, 5, 8, 9, 10, 11] – одной из важнейших экологических функций почвы, имеющей значение для поддержания ее плодородия. Интенсивность гумификационных процессов в значительной степени зависит от уровня антропогенной нагрузки [2, 5, 6, 10].

В настоящее время приоритетной экологической задачей является оценка влияния систем удобрения, применяемых на высоко окультуренных дерново-под-

золистых почвах на скорость и направленность трансформации органического вещества.

Цель исследований – провести количественную оценку активности гумификационных процессов, протекающих под действием полифенолоксидаз и пероксидаз, и установить биохимические показатели гумификации в высоко окультуренных дерново-подзолистых легкосуглинистых почвах при разных уровнях минерального питания сельскохозяйственных культур.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования проведены в полевом опыте на высоко окультуренной дерново-подзолистой легкосуглинистой почве (ОАО «Гастелловское», Минский р-н). Агрохимическая характеристика пахотного слоя почвы: pH_{KCl} 6,2–6,8, содержание подвижных P_2O_5 – 650–750, K_2O – 400–500 мг/кг почвы, гумуса – 2,03–2,57 %. Опыт развернут в пространстве в трех полях. Схема полевого опыта содержит 16 вариантов в 4-кратной повторности (схема представлена в таблицах). Общий размер делянки 36,0 м². Биохимические исследования проведены в звене севооборота кукуруза – яровая пшеница – яровой ячмень (поля 3 и 4).

В 2014–2015 гг. в поле 3 возделывали яровую пшеницу Василиса и яровой ячмень Стратус, в поле 4 – кукурузу Дельфин и яровую пшеницу Василиса. Дозы удобрений под зерновые культуры: $P_1K_1 - P_{20}K_{45}$; $P_2K_2 - P_{40}K_{90}$; $N_1 - 60$; $N_2 - 60+30$; $N_3 - 90+30$; микроэлементы (МЭ) – $Cu_{50} + Mn_{50}$, под кукурузу: $P_1K_1 - P_{15}K_{40}$; $P_2K_2 - P_{30}K_{80}$; $N_1 - 90$; $N_2 - 90+30$; $N_3 - 120+30$; МЭ – Zn_{100} . Некорневую подкормку микроэлементами проводили в фазе одного узла на зерновых культурах и в фазе 6–7 листьев на кукурузе. Органические удобрения (60 т/га солоमистого навоза) вносили под осеннюю вспашку; фосфорные и калийные удобрения (аммонизированный суперфосфат и хлористый калий) вносили весной под предпосевную культивацию, азотные – в форме карбамида под предпосевную культивацию и в подкормку. Агротехника возделывания зерновых культур и кукурузы – общепринятая для Республики Беларусь.

Подготовка почвы для биохимических анализов включала: высушивание, просеивание, отбор корешков. В образцах почвы определена активность окислительных ферментов – полифенолоксидазы и пероксидазы. Для определения их активности использованы колориметрические методы, в которых ферментными субстратами служит гидрохинон, активность ферментов определяется по количеству окрашенного продукта ферментативной реакции бензохинона, активность ферментов рассчитывается в мг бензохинона /кг почвы [11].

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Наиболее универсальным и масштабным процессом, приводящим к синтезу органических веществ, является гумификация ароматических соединений, входящих в состав лигнинов и представляющих, наряду с полисахаридами, основные формы органического углерода в почве [1, 3, 4]. В соответствии с представлениями И.В.Тюрина, W. Flaig, Л.Н. Александровой, Т.К. Kirk and R.L. Ferrell., M. Schnitzer, Н.А. Туева, А.Е. Гулько, Ф.Х. Хазиева и других исследователей разложение и гумификация лигнина являются окислительными процессами с обя-

зательным участием оксидаз, катализирующих окисление ароматических полифенолов с образованием хиноидных структур (хинонов и семихинонов), без которых невозможны реакции конденсации с органическими аминосоединениями и образование молекул гуминовых кислот [4, 13, 14, 15, 16, 17, 18]. Большинство исследователей считает, что окислительная конденсация (полимеризация) идет вне живой клетки за счет внеклеточных оксидаз.

Окислительная гумификация лигнина в почве может идти разными путями: с участием кислорода воздуха и за счет кислорода перекиси водорода, которая образуется в почве за счет деятельности микроорганизмов, а также в результате некоторых химических и биохимических реакций.

Процессы окислительной полимеризации ароматических соединений за счет кислорода воздуха. Полифенолоксидазы (ПФО) – преимущественно микробного происхождения, имеются у многих почвенных грибов. Эти ферменты могут находиться в почве как в свободном, так и в связанном состоянии. Основная функция полифенолоксидаз – участие в биосинтезе гумусовых кислот за счет катализа реакций окислительной полимеризации ароматических соединений с участием кислорода воздуха [13–18].

В почвенных образцах определена активность ПФО при возделывании яровой пшеницы и кукурузы (поля 3 и 4) в 2014 г. Установлены сравнимые показатели активности полифенолоксидаз в почве под яровой пшеницей и кукурузой. Внесение солоमистого навоза (60 т/га), его сочетания с разными дозами фосфорных и калийных удобрений, а также возрастающие дозы азотных удобрений и их сочетание с микроэлементами приводили к повышению активности ПФО в высоко окультуренной дерново-подзолистой легкосуглинистой почве (табл. 1).

Таблица 1

Полифенолоксидазная активность дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы (ОАО «Гастелловское», поля 3 и 4, 2014 г.)

Вариант	Полифенолоксидаза			
	активность, мг 1,4 – бензохинона/кг		активность, %	
	Поле 3	Поле 4	Поле 3	Поле 4
Контроль б/у	23,5	26,0	100	100
Навоз, 60 т/га – фон 1	25,7	26,8	109	103
Фон 1 + N ₁	27,1	28,6	115	110
Фон 1 + N ₂	26,5	27,9	113	107
Фон 1 + N ₂ + МЭ	29,4	29,6	125	114
Фон 1 + N ₃ + МЭ	30,1	32,2	128	124
Навоз, 60 т/га +P ₁ K ₁ – фон 2	24,2	27,1	103	104
Фон 2 + N ₁	27,1	29,3	115	113
Фон 2 + N ₂	26,4	28,2	112	108
Фон 2 + N ₂ + МЭ	27,7	30,2	118	116
Фон 2 + N ₃ + МЭ	30,3	32,2	129	124
Навоз, 60 т/га +P ₂ K ₂ – фон 3	25,7	28,2	109	108
Фон 3 + N ₁	29,0	30,1	123	116
Фон 3 + N ₂	28,6	33,0	122	127

Вариант	Полифенолоксидаза			
	активность, мг 1,4 – бензохинона/кг		активность, %	
	Поле 3	Поле 4	Поле 3	Поле 4
Фон 3 + N ₂ + МЭ	29,4	33,5	125	129
Фон 3 + N ₃ + МЭ	30,3	34,3	129	132
НСР ₀₅	1,76	2,02		

Яровая пшеница (поле 3): P₁K₁ – P₂₀K₄₅; P₂K₂ – P₄₀K₉₀; N₁ – 60; N₂ – 60+30; N₃ – 90+30; МЭ – Cu₅₀ + Mn₅₀; кукуруза (поле 4): P₁K₁ – P₁₅K₄₀; P₂K₂ – P₃₀K₈₀; N₁ – 90; N₂ – 90+30; N₃ – 120+30; МЭ – Zn₁₀₀.

При возделывании яровой пшеницы и ярового ячменя в 2015 г. (поля 3 и 4) были также отмечены близкие показатели активности полифенолоксидаз. Как и в 2014 г. применение возрастающих доз азота и их сочетаний с микроэлементами на фонах 60 т/га навоза и его сочетаний с P₁K₁ и P₂K₂ оказывали сравнимое действие на полифенолоксидазную активность высоко окультуренной дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы. Как и в 2014 г. наибольшую активность ПФО наблюдали на фоне 3 – навоз, 60 т/га + P₂K₂ (табл. 2).

Таблица 2

Полифенолоксидазная активность дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы (ОАО «Гастелловское», поля 3 и 4, 2015 г.)

Вариант	Полифенолоксидаза			
	активность, мг 1,4 – бензохинона/кг		активность, %	
	Поле 3	Поле 4	Поле 3	Поле 4
Контроль б/у	25,1	30,9	100	100
Навоз, 60 т/га – фон 1	28,9	31,5	115	102
Фон 1 + N ₁	32,0	33,4	127	108
Фон 1 + N ₂	31,7	32,4	126	105
Фон 1 + N ₂ + МЭ	34,6	34,4	138	111
Фон 1 + N ₃ + МЭ	35,0	37,0	139	120
Навоз, 60 т/га + P ₁ K ₁ – фон 2	29,0	32,3	116	104
Фон 2 + N ₁	32,3	34,5	129	112
Фон 2 + N ₂	31,6	33,4	126	108
Фон 2 + N ₂ + МЭ	32,8	35,3	131	114
Фон 2 + N ₃ + МЭ	35,6	37,0	142	120
Навоз, 60 т/га + P ₂ K ₂ – фон 3	30,5	33,5	122	108
Фон 3 + N ₁	34,2	35,2	136	114
Фон 3 + N ₂	33,7	38,2	134	124
Фон 3 + N ₂ + МЭ	34,6	38,5	138	125
Фон 3 + N ₃ + МЭ	35,8	39,2	143	127
НСР ₀₅	1,82	2,20		

Яровой ячмень (поле 3): P₁K₁ – P₂₀K₄₅; P₂K₂ – P₄₀K₉₀; N₁ – 60; N₂ – 60+30; N₃ – 90+30; МЭ – Cu₅₀ + Mn₅₀; яровая пшеница (поле 4): P₁K₁ – P₂₀K₄₅; P₂K₂ – P₄₀K₉₀; N₁ – 60; N₂ – 60+30; N₃ – 90+30; МЭ – Cu₅₀ + Mn₅₀.

По данным ферментативной диагностики получены усредненные биохимические показатели активности гумификации – окислительной полимеризации под действием кислорода воздуха – в цикле углерода по двум полям полевого опыта (табл. 3).

Таблица 3

Биохимические показатели активности гумификации в высоко окультуренной дерново-подзолистой легкосуглинистой почве при разных системах удобрения (окислительная полимеризация за счет кислорода воздуха, 2014–2015 гг.)

Вариант	Активность ПФО, мг 1,4 – бензохинона/кг			Активность, %
	2014 г.	2015 г.	среднее	
Контроль б/у	24,8	21,8	23,3	100
Навоз, 60 т/га – фон 1	26,2	24,0	25,1	108
Фон 1 + N ₁	27,8	25,6	26,7	114
Фон 1 + N ₂	27,2	25,2	26,2	112
Фон 1 + N ₂ + МЭ	29,5	26,2	27,8	119
Фон 1 + N ₃ + МЭ	31,1	26,5	28,8	124
Навоз, 60 т/га + P ₁ K ₁ – фон 2	25,6	25,4	25,5	109
Фон 2 + N ₁	28,2	27,1	27,6	119
Фон 2 + N ₂	27,3	26,4	26,8	115
Фон 2 + N ₂ + МЭ	28,9	27,3	28,1	121
Фон 2 + N ₃ + МЭ	31,2	27,8	29,5	127
Навоз, 60 т/га + P ₂ K ₂ – фон 3	26,9	26,6	26,7	115
Фон 3 + N ₁	29,5	27,7	28,6	123
Фон 3 + N ₂	30,8	28,6	29,7	127
Фон 3 + N ₂ + МЭ	31,4	29,3	30,3	130
Фон 3 + N ₃ + МЭ	32,3	30,2	31,2	134
НСР ₀₅	1,89	1,34		

Яровой ячмень и яровая пшеница: P₁K₁ – P₂₀K₄₅; P₂K₂ – P₄₀K₉₀; N₁ – 60; N₂ – 60+30; N₃ – 90+30; МЭ – Cu₅₀ + Mn₅₀; кукуруза – P₁K₁ – P₁₅K₄₀; P₂K₂ – P₃₀K₈₀; N₁ – 90; N₂ – 90+30; N₃ – 120+30; МЭ – Zn₁₀₀.

Результаты анализов почвенных образцов за 2014–2015 гг. показали, что при возделывании яровой пшеницы, кукурузы и ярового ячменя получены сходные закономерности изменения активности полифенолоксидаз по вариантам опыта с разными системами удобрения. При равных дозах солоमистого навоза (60 т/га) увеличение доз фосфорных и калийных удобрений, а также возрастающие дозы азота и их сочетание с микроэлементами последовательно активизировали процессы гумификации, регулируемые микробными полифенолоксидазами. Как правило, на всех трех фонах полевого опыта наиболее активное протекание окислительной полимеризации с участием кислорода воздуха отмечали при сочетании азотных удобрений с микроэлементами (табл. 3).

По результатам 3-летнего эксперимента получены усредненные биохимические показатели гумификации по процессу окислительной полимеризации ароматических соединений – за счет кислорода воздуха:

- в почве без удобрений активность полифенолоксидазы составила – 23,3 мг бензохинона/кг почвы (100%);
- внесение 60 т/га солоमистого навоза усиливало гумификацию на 8%, сочетание навоза с P_1K_1 – на 9 %; с P_2K_2 – на 15 % до 25,1, 25,5 и 26,7 мг бензохинона/кг почвы соответственно;
- внесение возрастающих доз азота N_1 и N_2 на 12–14 % усиливало гумификацию на фонах 60 т/га навоза; на 15–19 % на фонах 60 т/га навоза+ P_1K_1 ; на 23–27 % на фонах 60 т/га навоза + P_2K_2 , что составило 26,2–26,7, 26,8–27,6 и 28,6–29,7 мг бензохинона/кг почвы соответственно;
- наибольшее усиление активности гумификации на изученных фонах удобрений отмечено при сочетании доз азота N_2 и N_3 с микроэлементами – на 19–24 % на фонах 60 т/га навоза; на 21–27 % на фонах 60 т/га навоза+ P_1K_1 и на 30–34 % на фонах 60 т/га навоза + P_2K_2 , что составило 27,8–28,8, 28,1–29,5 и 30,3–31,2 мг бензохинона/кг почвы соответственно.

Биохимические показатели активности гумификации позволяют проводить сравнительную оценку влияния удобрений (и других антропогенных факторов) на активность гумификации в цикле углерода, проводить экологическую оценку систем удобрения и на ранних стадиях выявлять негативные экологические процессы.

Процессы окислительной полимеризации ароматических соединений за счет кислорода перекиси водорода. Пероксидазы (ПО) поступают в почву в виде прижизненных выделений корней растений и микроорганизмов. Эти ферменты присутствуют в почве в свободном состоянии, а также могут быть связаны в органо-минерально-ферментные комплексы. Основная функция пероксидаз – регулирование биосинтеза гумусовых кислот за счет катализа реакций окислительной полимеризации ароматических соединений с участием кислорода H_2O_2 [13–18].

По данным экспериментов закономерности изменения активности почвенных пероксидаз были в целом аналогичны закономерностям изменения ПФО. От первого к третьему фону опыта пероксидазная активность почвы возрастала, указывая на повышение активности гумификации при внесении навоза и его сочетании с NPK-удобрениями (табл. 4).

Таблица 4

Пероксидазная активность дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы (ОАО «Гастелловское», поля 3 и 4, 2014 г.)

Вариант	Пероксидаза			
	активность, мг 1,4 – бензохинона/кг		активность, %	
	Поле 3	Поле 4	Поле 3	Поле 4
Контроль б/у	18,1	22,4	100	100
Навоз, 60 т/га – фон 1	18,6	23,4	103	104
Фон 1 + N_1	19,1	24,8	106	111
Фон 1 + N_2	20,5	25,3	113	113

Вариант	Пероксидаза			
	активность, мг 1,4 – бензохинона/кг		активность, %	
	Поле 3	Поле 4	Поле 3	Поле 4
Фон 1 + N ₂ + МЭ	21,0	25,7	116	115
Фон 1 + N ₃ + МЭ	23,8	26,2	131	117
Навоз, 60 т/га + P ₁ K ₁ – фон 2	22,9	25,7	127	115
Фон 2 + N ₁	23,8	26,2	131	117
Фон 2 + N ₂	25,3	27,2	140	121
Фон 2 + N ₂ + МЭ	25,7	28,1	142	125
Фон 2 + N ₃ + МЭ	26,2	28,6	145	128
Навоз, 60 т/га + P ₂ K ₂ – фон 3	25,7	28,1	142	125
Фон 3 + N ₁	27,6	30,0	152	134
Фон 3 + N ₂	28,1	31,5	155	141
Фон 3 + N ₂ + МЭ	29,6	31,9	164	142
Фон 3 + N ₃ + МЭ	30,0	32,9	166	147
НСП ₀₅	1,91	2,33		

Яровая пшеница (поле 3): P₁K₁ – P₂₀K₄₅; P₂K₂ – P₄₀K₉₀; N₁ – 60; N₂ – 60+30; N₃ – 90+30; МЭ – Cu₅₀ + Mn₅₀; кукуруза (поле 4): P₁K₁ – P₁₅K₄₀; P₂K₂ – P₃₀K₈₀; N₁ – 90; N₂ – 90+30; N₃ – 120+30; МЭ – Zn₁₀₀.

В 2015 г. при возделывании ярового ячменя и яровой пшеницы установлены аналогичные зависимости активности почвенных пероксидаз от уровня минерального питания сельскохозяйственных культур. В целом от первого к третьему фону опыта отмечено усиление пероксидазной активности почвы при внесении навоза и его сочетании с NPK-удобрениями. Наибольшая активность пероксидаз в почве установлена на вариантах фона 3 при возделывании яровой пшеницы и кукурузы. Отмечена тенденция усиления гумификации на вариантах N₃+МЭ (табл. 5).

Таблица 5

**Пероксидазная активность дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы
(ОАО «Гастелловское», поля 3 и 4, 2015 г.)**

Вариант	Пероксидаза			
	активность, мг 1,4 – бензохинона/кг		активность, %	
	Поле 3	Поле 4	Поле 3	Поле 4
Контроль б/у	22,0	26,0	100	100
Навоз, 60 т/га – фон 1	22,5	27,2	102	105
Фон 1 + N ₁	24,3	28,5	110	110
Фон 1 + N ₂	24,6	29,0	112	112
Фон 1 + N ₂ + МЭ	25,3	29,5	115	113
Фон 1 + N ₃ + МЭ	27,5	30,4	125	117
Навоз, 60 т/га + P ₁ K ₁ – фон 2	26,9	29,8	122	115
Фон 2 + N ₁	27,7	30,4	126	117

Вариант	Пероксидаза			
	активность, мг 1,4 – бензохинона/кг		активность, %	
	Поле 3	Поле 4	Поле 3	Поле 4
Фон 2 + N ₂	29,1	31,3	132	120
Фон 2 + N ₂ + МЭ	29,8	32,4	135	125
Фон 2 + N ₃ + МЭ	30,0	32,8	136	126
Навоз, 60 т/га + P ₂ K ₂ – фон 3	29,4	32,3	134	124
Фон 3 + N ₁	31,3	34,2	142	132
Фон 3 + N ₂	32,2	35,5	146	137
Фон 3 + N ₂ + МЭ	33,3	35,9	151	138
Фон 3 + N ₃ + МЭ	34,2	37,0	155	142
НСР ₀₅	1,80	2,22		

Яровой ячмень (поле 3): P₁K₁ – P₂₀K₄₅; P₂K₂ – P₄₀K₉₀; N₁ – 60; N₂ – 60+30; N₃ – 90+30; МЭ – Cu₅₀ + Mn₅₀; яровая пшеница (поле 4): P₁K₁ – P₂₀K₄₅; P₂K₂ – P₄₀K₉₀; N₁ – 60; N₂ – 60+30; N₃ – 90+30; МЭ – Cu₅₀ + Mn₅₀.

По данным эксперимента получены усредненные биохимические показатели гумификации (окислительной полимеризации под действием кислорода перекиси водорода) в цикле С по двум полям полевого опыта (табл. 6).

Исследования 2014–2015 гг. показали, что в условиях эксперимента активность микробных пероксидаз в среднем несколько превышала полифенолоксидазную активность почвы. Закономерности варьирования активности обоих окислительных ферментов по вариантам с разными уровнями минерального питания яровой пшеницы, ярового ячменя и кукурузы были сходными.

По результатам 3-летнего эксперимента получены усредненные биохимические показатели гумификации по процессам окислительной полимеризации ароматических соединений – за счет кислорода перекиси водорода:

- в почве без удобрений активность пероксидазы – 26,8 мг бензохинона/кг почвы (100 %);
- внесение 60 т/га солоमистого навоза усиливало гумификацию на 4%, сочетание навоза с P₁K₁ – на 15 %, с P₂K₂ – на 24 % до 28, 30,9 и 33,3 мг бензохинона/кг почвы соответственно;
- внесение возрастающих доз азота N₁ и N₂ на 9–13 % усиливало гумификацию на фонах 60 т/га навоза; на 20–23 % на фонах 60 т/га навоза + P₁K₁; на 25–31 % на фонах 60 т/га навоза + P₂K₂ до 29,3–30,4, 32,1–33 и 33,6–35,1 мг бензохинона/кг почвы соответственно;
- наибольшее усиление активности гумификации на изученных фонах удобрений отмечено при сочетании доз азота N₂ и N₃ с микроэлементами – на 16–26 % на фонах 60 т/га навоза; на 27–29 % на фонах 60 т/га навоза+P₁K₁; на 36–40 % на фонах 60 т/га навоза + P₂K₂ до 31–33,7, 34–34,6 и 36,6–37,6 мг бензохинона/кг почвы соответственно (табл. 6).

Полученные биохимические показатели позволяют оценивать влияние удобрений на активность процессов гумификации и определять оптимальные варианты для сохранения достигнутого уровня окультуренности почвы.

Биохимические показатели активности гумификации в высоко окультуренной дерново-подзолистой легкосуглинистой почве при разных системах удобрения (окислительная полимеризация за счет кислорода H_2O_2 , 2014–2015 гг.)

Вариант	Активность ПО, мг бензохинона/кг			Активность, %
	2014 г.	2015 г.	среднее	
Контроль б/у	20,2	33,4	26,8	100
Навоз, 60 т/га – фон 1	21,0	35,0	28,0	104
Фон 1 + N ₁	21,9	36,7	29,3	109
Фон 1 + N ₂	22,9	37,9	30,4	113
Фон 1 + N ₂ + МЭ	23,3	38,8	31,0	116
Фон 1 + N ₃ + МЭ	25,0	42,4	33,7	126
Навоз, 60 т/га + P ₁ K ₁ – фон 2	24,3	37,5	30,9	115
Фон 2 + N ₁	25,0	39,3	32,1	120
Фон 2 + N ₂	26,2	39,8	33,0	123
Фон 2 + N ₂ + МЭ	26,9	41,2	34,0	127
Фон 2 + N ₃ + МЭ	27,4	41,9	34,6	129
Навоз, 60 т/га + P ₂ K ₂ – фон 3	26,9	39,8	33,3	124
Фон 3 + N ₁	28,8	38,4	33,6	125
Фон 3 + N ₂	29,8	40,5	35,1	131
Фон 3 + N ₂ + МЭ	30,7	42,6	36,6	136
Фон 3 + N ₃ + МЭ	31,4	43,8	37,6	140
НСР ₀₅	2,12	2,47		

Яровой ячмень и яровая пшеница – P₁K₁ – P₂₀K₄₅; P₂K₂ – P₄₀K₉₀; N₁ – 60; N₂ – 60+30; N₃ – 90+30; МЭ – Cu₅₀ + Mn₅₀; кукуруза – P₁K₁ – P₁₅K₄₀; P₂K₂ – P₃₀K₈₀; N₁ – 90; N₂ – 90+30; N₃ – 120+30; МЭ – Zn₁₀₀.

ВЫВОДЫ

В полевом опыте на высоко окультуренной дерново-подзолистой легкосуглинистой почве изучено влияние систем удобрения на активность гумификации в цикле углерода. Внесение 60 т/га солоमистого навоза, его сочетание с РК-удобрениями, внесение N₆₀ и N₆₀₊₃₀ под яровую пшеницу и яровой ячмень, N₉₀ и N₉₀₊₃₀ под кукурузу, а также сочетание азота с микроэлементами Cu₅₀+Mn₅₀ под пшеницу и ячмень и Zn₁₀₀ под кукурузу были факторами усиления гумификации ароматических полифенолов, входящих в состав лигнинов. Установлены биохимические показатели активности гумификации по процессам окислительной полимеризации ароматических соединений – за счет кислорода воздуха (полифенолоксидазы) и за счет кислорода перекиси водорода (пероксидазы).

В условиях высоко окультуренной дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы наибольшая стимуляция гумификации на 34 % до 31,2 мг бензохинона/кг почвы (ПФО) и на 40 % до 37,6 мг бензохинона/кг почвы (ПО) отмечена при внесении N₉₀₊₃₀Cu₅₀ + Mn₅₀ под яровую пшеницу и яровой ячмень на фоне внесения 60 т/га соломистого навоза в сочетании с P₄₀K₉₀, а также при внесении N₁₂₀₊₃₀Zn₁₀₀ под кукурузу на фоне 60 т/га соломистого навоза в сочетании с P₃₀K₈₀.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Звягинцев, Д.Г. Биология почв / Д.Г. Звягинцев, И.Л. Бабьева, Г.М. Зенова. – МГУ, 2005. – 445 с.
2. Микроорганизмы и охрана почв / под ред. Д.Г. Звягинцева. – М: Изд-во МГУ, 1989. – 206 с.
3. Щербакова, Т.А. Ферментативная активность почв и трансформация органического вещества / Т.А. Щербакова. – Минск: Наука и техника, 1983. – 221 с.
4. Туев, Н.А. Микробиологические процессы гумусообразования / Н.А. Туев. – М.: ВО Агропромиздат. – 1989. – 237 с.
5. Bandick, A.K. Field management effects on soil enzyme activities / A.K. Bandick, R.P. Dick // Soil Biol. Biochem. – 1999. – Vol. 31, № 11. – P. 1471–1479.
6. Caldwell, B.A. Enzyme activities as a component of soil biodiversity: A review / B.A. Caldwell // Pedobiologia. – 2005. – Vol. 49. – P. 637–644.
7. Биохимические и микробиологические критерии оценки плодородия почв и нормирования антропогенной нагрузки: методические рекомендации / В.В. Лапа [и др.]. – Минск: Ин-т почвоведения и агрохимии. – 2015. – 40 с.
8. Агрохимическая характеристика почв сельскохозяйственных земель Республики Беларусь (2007–2010) / И.М. Богдевич [и др.]. – Минск: Ин-т почвоведения и агрохимии, 2012. – 276 с.
9. 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.
10. Лапа, В.В. Ферментативная активность дерново-подзолистых почв при разных уровнях применения удобрений / В.В. Лапа, Н.А. Михайловская // Доклады НАН Беларуси. – 2015. – Том 59. – № 5. – С. 139–145
11. Карагіна, Л.А. Вызначэнне актынасці поліфенолаксідазы і пераксідазы у глебе / Л.А. Карагіна, Н.А. Міхайлоўская // Весці АН БССР. Сер. с/г навук. – 1986. – № 2. – С. 40–41.
12. Knicker, H. Incorporation studies of NH_4^+ during incubation of organic residues by ^{15}N -CPMAS-NMR-spectroscopy / H. Knicker, H.D. Lüdemann and K. Haider // Eur. J. Soil Sci. – 1997. – Vol. 48. – P. 431–441.
13. Flaig, W. Zur Umwandlung von Lignin in Humusstoffe / W. Flaig // Freiburger Forschungen. – 1962. – Vol. 254.
14. Тюрин, И.В. Органическое вещество почвы и его роль в плодородии / И.В. Тюрин. – М.: Наука, 1965. – 319 с.
15. Александрова, Л.Н. Органическое вещество почвы и процессы его трансформации / Л.Н. Александрова. – Л.: Наука, 1980. – С. 122–133.
16. Kirk, T.K. Enzymatic «combustion»: the microbial degradation of lignin / T.K. Kirk, R.L. Ferrell // Annu. Rev. Microbiol. – 1987. – Vol. 41. – P. 465–505.
17. Schnitzer, M. Soil organic matter. The next 75 years / M. Schnitzer // Soil Sci. – 1991. – Vol. 151. – P. 41–58.
18. Гулько, А.Е. Фенолоксидазы почв: продуцирование, иммобилизация, активность / А.Е. Гулько, Ф.Х. Хазиев // Почвоведение. – 1992. – № 11. – С. 55–67.

OXIDASES ACTIVITY IN HIGHLY FERTILE SOD-PODZOLIC LIGHT LOAMY SOIL UNDER THE DIFFERENT LEVELS OF CROPS MINERAL NUTRITION

V.V. Lapa, N.A. Mikhailovskaya, S.A. Kasyanchyk, T.V. Pahiritskaya

Summary

In the conditions of a field experiment on highly cultivated sod-podzolic light loamy soil the authors determined biochemical indexes of humification activity in the main processes of aromatics oxidative polymerization. It was realized resulting from atmospheric oxygen (polyphenol oxidase) and peroxide oxygen (peroxidase) depending on the level of mineral nutrition of agricultural crops.

Поступила 27.10.16

УДК 634.74:631.533.3:581.143.6:631.82

МИНЕРАЛЬНОЕ ПИТАНИЕ АРОНИИ ЧЕРНОПЛОДНОЙ ПРИ ВЫРАЩИВАНИИ НА ИСКУССТВЕННЫХ ПИТАТЕЛЬНЫХ СРЕДАХ

Н.В. Кухарчик

*Институт плодоводства,
пос. Самохваловичи, Минский район, Беларусь*

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время арония становится популярной и перспективной культурой благодаря высокому содержанию биологически активных веществ (антиоксиданты, витамины) в плодах и их широкому использованию в промышленности в качестве добавок к сокам и красителя. В то же время, незначительное распространение культуры в промышленном плодоводстве определяет отсутствие информации о некоторых аспектах ее возделывания, в частности о минеральном питании. Культивирование растений *in vitro* может являться удобной моделью для первичного анализа потребности растений в элементах питания, поскольку исходный состав питательных сред четко определен, растения культивируют изолировано в пробирке, после определенного этапа микроразмножения можно оценить остаточное содержание элементов в питательной среде и накопление их растением. В то же время, поглощение элементов питания растениями-регенерантами *in vitro* может быть подвержено изменению в связи с выращиванием растений в условиях искусственного климата – постоянных положительных температур и стабильного освещения без изменения длины дня.

Исследования о минеральном питании плодовых и ягодных растений в культуре *in vitro* немногочисленны и фрагментарны. Интерес представляют работы, показывающие как влияние отдельных элементов так и типа иона на морфогенез растений-регенерантов *in vitro*. Показано, что изменение соотношения нитратной

и аммонийной форм азота в питательной среде приводит к изменению морфогенеза растений *in vitro*. Использование в питательных средах только аммонийного азота приводило к заметному ослаблению роста микрорастений, в то время как при использовании только нитратной формы азота этот эффект был минимален. Использование только одной формы азота в питательных средах в любом случае приводило к снижению интенсивности вегетативного размножения *in vitro*. Количество доступного азота оказалось менее значимым фактором, чем отношение между нитратной и аммонийной формами, оптимальный морфогенез был достигнут в широком диапазоне концентраций, но лучшие результаты отмечены при использовании 40mM NO₃⁻ и 20mM NH₃⁺ (70:30) [1]. О влияниях абсолютных и относительных количеств нитрата и аммония на индукцию и дифференциацию клеточных культур растений *in vitro* сообщают и другие авторы [2–6]. Имеется информация о улучшении стимулирующего формирования боковых корней и их удлинение в случае использования в питательной среде только нитратной формы азота [7, 8].

Улучшение ризогенеза, в том числе количества корней отмечается в ответ на повышение концентрации кальция, что авторы объясняют способностью его стимулировать клеточное деление и улучшать транспорт ауксинов [9, 10]. Ухудшение корнеобразования отмечалось при дефиците цинка [10, 11] и бора [12], и напротив, в работе Н. Trindade and M.S. Pais [13] показано 10 % увеличение ризогенеза, в случае полного удаления бора из питательной среды. Положительное влияние уменьшения Fe и Mg в фазе индукции ризогенеза на увеличение числа корней и их длины отмечено W.C.Fang, С.Н. Kao [14] и Н. Marschner [15].

Цель исследований – определение химических аспектов питания аронии черноплодной при культивировании *in vitro* на этапах микроразмножения и ризогенеза.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Культуральные исследования проведены в отделе биотехнологии РУП «Институт плодоводства», физико-химические анализы в ГНУ «Институт физико-органической химии НАН Беларуси» в 2011–2015 гг.

Объекты исследований:

➤ растения-регенеранты аронии черноплодной на различных этапах культивирования *in vitro*;

➤ агаризованные питательные среды.

Методы проведения исследований:

➤ биотехнологические (культура апикальных меристем и микроразмножение *in vitro*);

➤ физико-химические (качественный и количественный анализ элементов в образцах питательных сред проведен с использованием системы ионной хроматографии ICS-3000 (Dionex, США/Германия) и атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно-связанной плазмой – спектрометр VISTA PRO (Varian, США))

Методика культивирования изолированных тканей *in vitro*.

Арония черноплодная имеет хорошую регенерационную способность в культуре *in vitro*, что определяет возможность получения требуемых количеств материала для исследований.

Для культивирования аронии черноплодной использовали минеральный состав питательных сред Мурасиге и Скуга (MS), в питательной среде для укоренения концентрацию солей уменьшали в два раза. Стерилизация сред велась при давлении 1 атм. в течение 15 минут. Незначительные изменения расчетных концентраций, содержащихся ионов и элементов, могут быть обусловлены добавлением в питательные среды углеводов (сахароза, 30 г/л), агар-агара (5 г/л), витаминов (В₁, В₆, РР, С по 0,5–1,0 мг/л) и биологически активных веществ (6-бензиладенина – 0,5 мг/л), испарением воды в процессе автоклавирования, поэтому для каждой партии питательной среды проводили химический анализ реальной концентрации ионов и элементов после автоклавирования.

Условия культивирования растений *in vitro*: освещение – 2,5–3 тыс. люкс, температура – 21–23°C, фотопериод – 16/8 часов. Длительность субкультивирования – 30–40 дней. Растения культивировали в пробирках размером 200×22 мм с объемом питательной среды 10 мл. (100 растений-регенерантов на 1 литр питательной среды). Анализ проводился в два срока – в 3-х кратной повторности каждый, для исследований отбирали не менее 10 пробирок с хорошо развитыми растениями-регенерантами. Данные по потреблению элементов питания растениями на этапе микроразмножения и ризогенеза рассчитаны как разница между их количеством в питательной среде на момент посадки растений в пробирки и извлечением через 30–40 дней культивирования.

Статистическая обработка проводилась в программе Microsoft Excel.

Методика пробоподготовки, качественного и количественного анализа элементов в образцах питательных сред с использованием системы ионной хроматографии и атомно-эмиссионной спектроскопии представлена в предыдущих публикациях [14].

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Растения-регенеранты аронии черноплодной выращивались на искусственных питательных средах Мурасиге и Скуга (MS). Составляющие питательные среды макро- и микросоли являлись единственным источником питания растений в пробирках, поэтому при разработке питательной среды изначально учитывались средние значения потребления растениями элементов питания, без учета конкретных генотипов и условий культивирования. В питательной среде для размножения на момент высадки микрочеренков аронии черноплодной в среднем имеется 57 % NO₃⁻, далее в порядке убывания – K⁺, NH₄⁺, Cl⁻, SO₄²⁻, Ca²⁺, H₂PO₄⁻, Mg²⁺, а так же Fe, Mn, Na⁺, Zn, B, J, Mo, Co, Cu в количестве от 5,6 мг/л до 0,5 мг/л (0,13–0,0001 %) (табл., рис. 1, 2).

Необходимо отметить, что питательная среда MS хорошо подходит для выращивания растений-регенерантов аронии черноплодной. Относительное количество большинства потребляемых элементов питания соответствует их пропорциям в питательной среде. Исключение составляют ионы SO₄²⁻ и H₂PO₄⁻, потребление которых как на этапе размножения *in vitro*, так и на этапе ризогенеза пропорционально больше, чем в исходной питательной среде.

На обоих этапах культивирования нитратный азот составляет более половины от общего «рациона» растения. Однако, если на этапе размножения соот-

ношение потребления $\text{NO}_3/\text{NH}_4^+$ составляет 6,07, то на этапе ризогенеза – 3,85 (рис. 1). Отмечается существенное снижение количества (мг/л среды) потребляемого NO_3^- (в 2,2 раза) и на 40 % NH_4^+ (рис. 2), закономерность установлена нами и при анализе минерального питания смородины черной, клоновых подвоев вишни и не может быть обусловлена только снижением исходной концентрации солей (1/2 от исходной для всех солей) в питательной среде для ризогенеза [16].

Таблица

Соотношение элементов питания в искусственных средах для размножения *in vitro* аронии черноплодной

Анализируемая форма ионов и элементов	Концентрация ионов и элементов		Потребление элементов питания растениями-регенерантами в течение 1 пассажа			
	исходная		микроразмножения		ризогенеза	
	мг/л	%	мг/л	%	мг/л	%
K^+	784	18,35	80,82	10,15	49,08	11,99
Cl^-	212,2	4,97	26,51	3,33	10,04	2,45
SO_4^{2-}	167,6	3,92	47,62	5,98	34,65	8,47
Ca^{2+}	120	2,81	22,47	2,82	-7,06	-1,73
H_2PO_4^-	118,42	2,77	53,26	6,69	34,03	8,32
Mg^{2+}	36,48	0,85	7,37	0,93	8,91	2,18
Fe	5,6	0,13	1,60	0,20	2,62	0,64
Mn	5,4	0,13	0,52	0,06	0,65	0,16
Na^+	4,86	0,11	1,61	0,20	5,43	1,33
Zn	2,04	0,05	0,59	0,07	0,42	0,10
B	1,1	0,03	0	0	0,43	0,11
J	0,64	0,02	не определяли			
Mo	0,099	0,002				
Co	0,0067	0,0002				
Cu	0,0064	0,0001	0	0	0	0

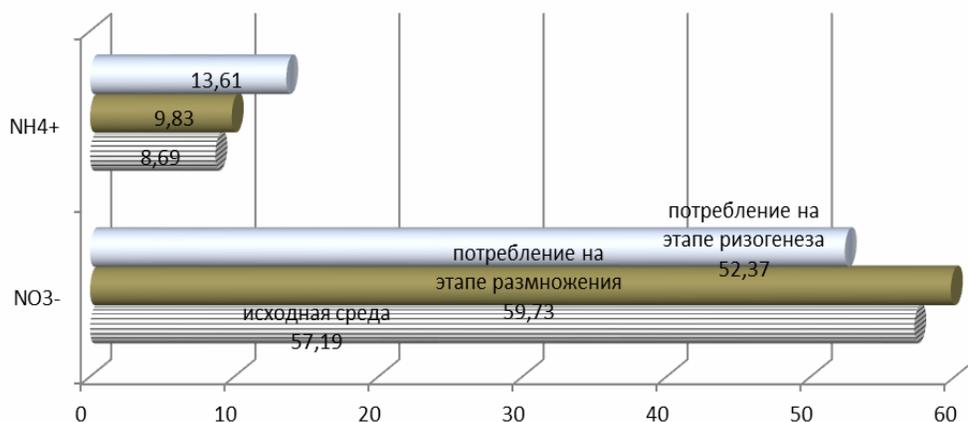


Рис. 1. Потребление из питательной среды аммонийного и нитратного азота растениями-регенерантами аронии черноплодной (% от общего содержания питательных элементов в среде)

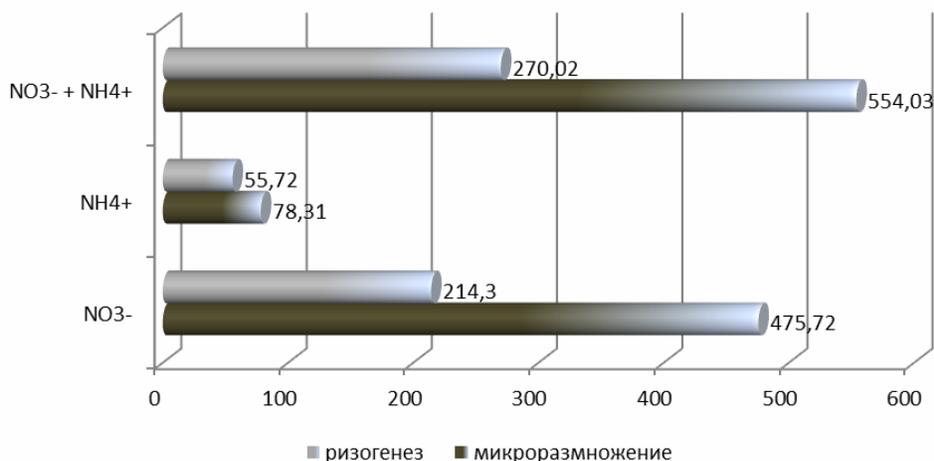


Рис. 2. Потребление из питательной среды аммонийного и нитратного азота растениями-регенерантами аронии черноплодной (мг/л)

Структура потребления элементов питания из искусственных питательных сред на этапе микроразмножения аронии черноплодной: NO₃⁻, K⁺, NH₄⁺, H₂PO₄⁻, SO₄²⁻, Cl⁻, Ca²⁺, Mg²⁺, Fe, Mn, Zn, B. 10 % в структуре питания аронии *in vitro* составляет калий и около 6 % – фосфор и сера. Данные по потреблению микроэлементов из питательных сред при культивировании *in vitro* растений-регенерантов имеют достаточно большую разницу по повторностям (до 0,01 %), что, при их незначительном количестве, определяет необходимость в дальнейшем параллельно использовать для анализа результаты оценки накопления микроэлементов в растениях. Крайне незначительное количество меди, добавляемое в питательную среду, не позволяет диагностировать методом атомно-эмиссионной спектрометрии ее изменения в процессе выращивания растений регенерантов всех культур как на этапе микроразмножения, так и на этапе ризогенеза. Аналогичные результаты получены и при предварительном количественном анализе йода, молибдена и кобальта.

В процессе культивирования растений-регенерантов *in vitro*, происходит не только существенное снижение концентрации основных элементов питания, но и уменьшение количества воды в питательной среде за счет испарения и потребления эксплантами. Это приводит к тому, что остаточная концентрация элементов питания в среде не соответствует разнице между первоначальной концентрацией и количеством элементов, поглощенных микрорастениями (рис. 3). Концентрация ионов Na⁺, K⁺, Cl⁻, которые незначительно расходуется эксплантами в процессе роста, через месяц культивирования становится выше первоначальной. Это приводит к изменению соотношения элементов питания в искусственной среде через 30–40 дней культивирования и препятствует нормальному росту растений в культуре *in vitro*. Проведенные исследования показывают, что, отмечавшееся ранее истощение питательной среды, как один из факторов, определяющих необходимость регулярных пересадок растений, не соответствует действительности. Представленные данные соответствуют результатам, полученным при изучении остаточных питательных сред после культивирования смородины черной, клоновых подвоев вишни и сливы.

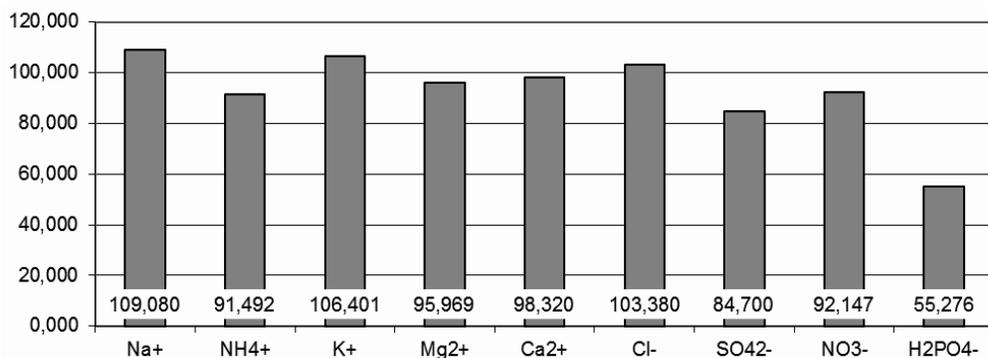


Рис. 3. Остаточное количество ионов в питательной среде после пассажа микроразмножения арони черноплодной (среднее по образцам)

В ходе ризогенеза, как и на этапе микроразмножения, остаточная концентрация ионов в питательной среде выше, чем расчетная (рис. 4). Особенно значительно увеличение концентрации отмечено для ионов кальция, которых на треть становится больше чем на момент посадки растений. Увеличивается также содержание ионов калия, хлора и нитратного азота. Концентрация аммонийной формы азота в питательной среде, через месяц культивирования эксплантов, остается прежней, несмотря на значительное потребление растениями.

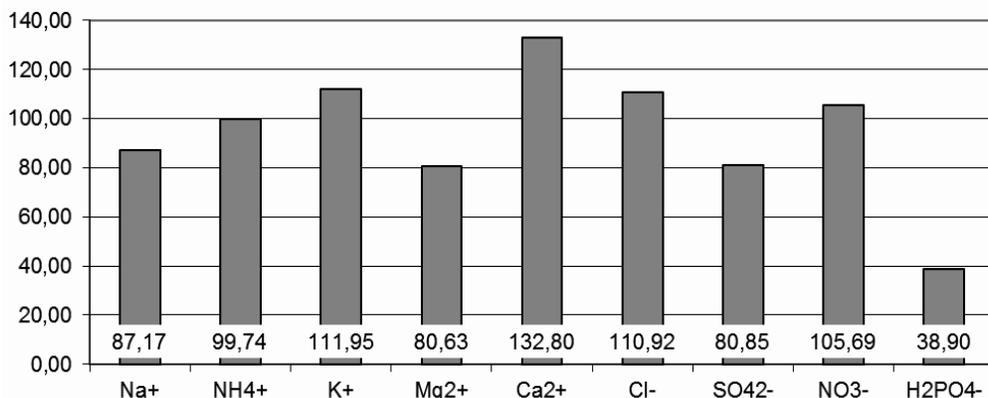


Рис. 4. Остаточное количество ионов в питательной среде после этапа ризогенеза арони черноплодной (среднее по образцам)

ВЫВОДЫ

На этапе микроразмножения *in vitro* растениями-регенерантами арони черноплодной из питательной среды максимально используется нитратная форма азота (NO₃⁻), затем в порядке убывания: K⁺, NH₄⁺, H₂PO₄⁻, SO₄²⁻, Ca²⁺, Mg²⁺.

На этапе ризогенеза растений-регенерантов арони черноплодной снижается потребление азота из питательной среды: NO₃⁻ – в 2,2 раза, NH₄⁺ – на 40 %.

Установлено существенное изменение исходного соотношения ионов: повышение концентрации отдельных ионов (Na^+ , K^+ , Cl^- , Ca^{2+}) в питательной среде к концу пассажа, за счет неравномерного использования их растениями как на этапе микроразмножения, так и на этапе ризогенеза.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Ramage, C.M.* Mineral Nutrition and Plant Morphogenesis / C.M. Ramage, R.R. Williams // In Vitro Cellular & Developmental Biology. Plant. – 2002. – Vol. 38, № 2. – P. 116–124.
2. *Sathyanarayana, B.N., Blake J.* The effect of nitrogen sources and initial pH of the media with or without buffer on in vitro rooting of jackfruit (*Artocarpus heterophyllus* Lam) / In: Lumsden PJ, Nicholas JR, Davies WJ, eds. Physiology, growth and development of plants in culture. The Netherlands: Kluwer Academic Publishers, 1994. – P. 77–82.
3. *Walch, Liu P.* Rapid effects of nitrogen form on leaf morphogenesis/ Liu P. Walch, G. Neumann, F. Bangerth, G. Engels // Journal of Experimental Botany. – 2000. – Vol. 51. – P. 227–237.
4. *Joy, R.W.* Nitrogen metabolism in cultured cotyledons of *Pinus radiata* during de novo organogenesis / R.W. Joy, L. Bender, T.A. Thorpe // Physiologia Plantarum. – 1994. – Vol. 92. – P. 681–688.
5. *Zhang, H.* Dual pathways for regulation of root branching by nitrate / H. Zhang, A. Jennings, P.W. Barlow // Proc. Natl. Acad. Sci. USA. – 1999. – Vol. 96. – P. 6529–6534.
6. *Zhang, H.* Regulation of *Arabidopsis* root development by nitrate availability / H. Zhang, and B.G. Forde // J. Exp. Bot. – 2000. – Vol. 51. – P. 51–59.
7. *Bellamine, J.* Confirmation of the role of auxin and calcium in the late phases of adventitious root formation / J. Bellamine, C. Penel, H. Greppin and T. Gaspar. // Plant Growth Regul. – 1998. – Vol. 26. – P. 191–194.
8. *Blazich, F.A.* Mineral nutrition and adventitious rooting / In Adventitious Rooting Formation in Cuttings / F.A. Blazich // Advances in Plant Sciences Series. 1988. – Vol. 2. Eds. T. Davis, B.E. Haissig and N. Sankhla. Dioscorides Press, Portland, OR, 1988. – P. 61–69.
9. *Dell, B.* Effect of zinc supply on growth of three species of *Eucalyptus* seedlings and wheat / B. Dell and S.A. Wilson // Plant Soil. – 1985. – Vol. 88. – P. 377–384.
10. *Lukaszewski, K.M.* Root growth inhibition in boron-deficient or aluminum-stressed squash may be a result of impaired ascorbate metabolism / K.M. Lukaszewski, D.G. Blevins // Plant Physiology. – 1996. – Vol. – 112. – P.1135–1140.
11. *Trindade, H.* In vitro studies on *Eucalyptus globulus* rooting ability / In Vitro Cell Devel / H. Trindade, M.S. Pais // Biol. Plant. – 1997. – Vol. 33. – P. 1–5.
12. *Fang, W.C.* Enhanced peroxidase activity in rice leaves in response to excess iron, copper and zinc / W.C. Fang, C.H. Kao // Plant Sci. – 2000. – Vol. 158. – P. 71–76.
13. Минеральное питание и морфогенез при культивировании in vitro некоторых плодовых и ягодных культур / Н.В. Кухарчик [и др.] // Плодоводство: науч. тр. / Ин-т плодоводства; редкол.: В.А. Самусь (гл. ред.) [и др.]. – Самохваловичи, 2013. – Т. 25. – С. 227–235.

MINERAL NUTRITION OF ARONIA MELANOCARPA ELLIOT DURING IN VITRO CULTIVATION ON ARTIFICIAL NUTRIENT MEDIUM

N.V. Kukharchyk

Summary

The research was conducted at the Biotechnology Department of the RUE «Institute for Fruit Growing» and the Institute of Physical Organic Chemistry of the National Academy of Sciences of Belarus. The chemical composition of the nutrient medium for Aronia melanocarpa Elliot plants cultivation *in vitro* on micropropagation and root formation stages was determined with the use of ion chromatography and atomic emission spectroscopy. Nutrient intake structure was established, ion usage difference at the various stages of *in vitro* growing is shown. The authors have established the significant change of ions starting ratio, increasing concentration of individual ions in the nutrient medium by the end of the cultivation, due to their uneven consumption by the plants.

Поступила 26.11.16

УДК 631.41

ПРОЯВЛЕНИЕ ФИЗИЧЕСКОЙ ДЕГРАДАЦИИ ПАХОТНЫХ ПОЧВ УКРАИНЫ И ПУТИ ЕЕ ПРЕОДОЛЕНИЯ (аналитический обзор)

И.В. Плиско

*Институт почвоведения и агрохимии имени А.Н. Соколовского,
г. Харьков, Украина*

ВВЕДЕНИЕ

Термин «деградация» происходит от латинского слова «degradatio», что буквально означает «снижение». Применительно к почвам существует немало различных определений этого явления. В работе А.Л. Иванова и др. [1] приведены различные определения деградации почв из отечественных и зарубежных источников. Наиболее исчерпывающим определением деградации почв, на наш взгляд, является следующее: «это совокупность природных и антропогенных процессов, приводящих к изменению функций почв, количественного и качественного ухудшения их состава, свойств, режимов и природно-хозяйственной ценности».

Анализ литературных источников, особенно фундаментальных монографий, подготовленных под руководством В.В. Медведева [2], Г.В. Добровольского [3] и R. Lal [4], позволяют нам выделить основные причины физической деградации пахотных почв, среди которых основными являются повышенная склонность почв среднего и тяжелого гранулометрического состава (далее – грансостава), которые

доминируют среди пахотных почв, к механической деформации (вследствие низкой исходной плотности сложения перед обработкой) и воздействию влаги (вследствие слабой устойчивости минералов смектитового типа, которые преобладают в их минералогическом составе). Физической деградации способствуют также другие процессы, которые, сопровождают современное землепользование в том числе и Украины, а именно: дегумификация и обогащение подвижным «молодым» органическим веществом, потери кальция и, как следствие, подкисление почв. Эти явления повышают риск переуплотнения. При таких условиях систематическое изучение проблем деградации, уточнение причин ее возникновения, условий развития и поиск путей предупреждения и устранения является сверхактуальным.

Физическая деградация представляет собою процесс, приводящий к переуплотнению почвы, потере структуры, ее качества, образованию в поверхностном слое глыб, корки и трещин, а в основе пахотного слоя – плужной подошвы. Диагностические признаки деградации – упрощение морфологии структуры и порового пространства, устойчивое повышение равновесной плотности, снижение меж- и особенно внутриагрегатной пористости, формирование нехарактерных для природных почв преференциальных потоков воды.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Объекты исследований – основные 40 типов почв Украины, выделенные на почвенной карте масштабом 1:2500000 [5], большинство из которых являются пахотными.

Методы исследований – аналитический, полевой, математический, картографический.

Для создания картографических материалов использовались выборки из базы данных «Свойства почв Украины» [6].

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Распространение в мире и в Украине. По данным Международного проекта «Глобальная оценка деградации почв», поддержанного ООН и в котором принимали участие около 180 ученых со всего мира, процессы физической деградации распространены на площади около 1,7 млрд га [3]. К этому виду деградаций отнесены водная и ветровая эрозии, т.е. потеря мощности профиля, а также потеря структуры и переуплотнение. Именно эти виды деградации отмечены для Украины на карте, представленной на форуме в Рио-де-Жанейро в 1992 г. При определении вида и степени физической деградации в этом проекте доминировали экспертные заключения, в большей степени основаны на визуальных и частично экспериментальных данных. Разумеется, в тех случаях, когда интенсивность разрушения почвы достигала значительных масштабов, как это происходило с эрозией почв в США в тридцатые годы прошлого столетия, сомнений относительно физической деградации не возникало. Точно также выражены процессы коркообразования, глыбистости и переуплотнения, которые проявляются тогда, когда процесс негативной трансформации в почвах

достигает значительного развития. Вместе с тем, используя качественные, а по сути лишь экспертные оценки и не имея, как правило, эталона с четко фиксированными выходными показателями, достаточно трудно определить наличие физически деградированной почвы. Тем более, что наблюдений физических свойств, которые можно было бы отнести к эталонным, не было ни при крупномасштабном почвенном обследовании, ни при любом другом обследовании почв. Кстати, в европейских странах, так же как и в Украине, наблюдение за физическими свойствами очень ограничено. Фактически единственным источником информации для выводов о наличии физической деградации являются результаты сравнительных наблюдений на целине и пашне, а также в длительных стационарных полевых опытах.

Распространение деградации на пахотных почвах Украины. Сегодня чрезвычайно актуальным является выявление ареалов склонности почв к физической деградации – потере агрономически-ценной структуры, проявления глыбистости, распыления и применения, прежде всего, именно на этих территориях эффективных профилактических мероприятий.

Если чернозем типичный и чернозем обыкновенный среднесуглинистого грансостава обрабатывают в состоянии физической спелости, выход частиц агрономически-ценного размера (10–0,25 мм) лишь не намного меньше оптимальных параметров – 60–80%. Но даже незначительное уплотнение или отклонение от влажности физической спелости существенно ухудшает качество обработки.

Образование глыб. Глыбистость старопашотной почвы является его почти обязательной характеристикой в отличие от целины, где глыб не бывает никогда. Негативное влияние глыб является очевидным, в такой почве невозможно создать достаточный запас доступной влаги, осуществить качественный посев полевых культур, при этом всходы растений являются недружными, а их развитие – неравномерным.

Практически все пахотные почвы Украины потенциально способны образовывать глыбы – частицы размером более 10 мм в диаметре (рис. 1). Даже в черноземных, относительно хорошо гумусированных, почвах при проведении основной обработки может образоваться до 30 % глыб. Такое количество способно погасить все положительные свойства структурной почвы, однако наличие даже 5 % глыб в посевном слое значительно влияет на ее водно-воздушный режим (особенно в условиях засухи), качество посева, прорастания и последующего развития корней и надземной массы.

Обязательное требование к предпосевной обработке – отсутствие глыб. Если после вспашки осенью с определенным их количеством можно примириться, то весной глыбы ни в коем случае недопустимы, так как из-за повышенной глыбистости происходит испарение доступной влаги из посевного слоя почвы. Способность к образованию глыб при обработке является признаком проявления физической деградации. Наибольшей склонностью к их образованию характеризуются солонцеватые черноземы тяжелого грансостава, расположенные на юге страны, основную обработку которых осуществляют преимущественно в пересушенном состоянии, осолоделые и солонцеватые почвы Среднего Приднепровья, эродированные почвы Правобережной Лесостепи, оглеенные почвы Прикарпатья и Закарпатья.

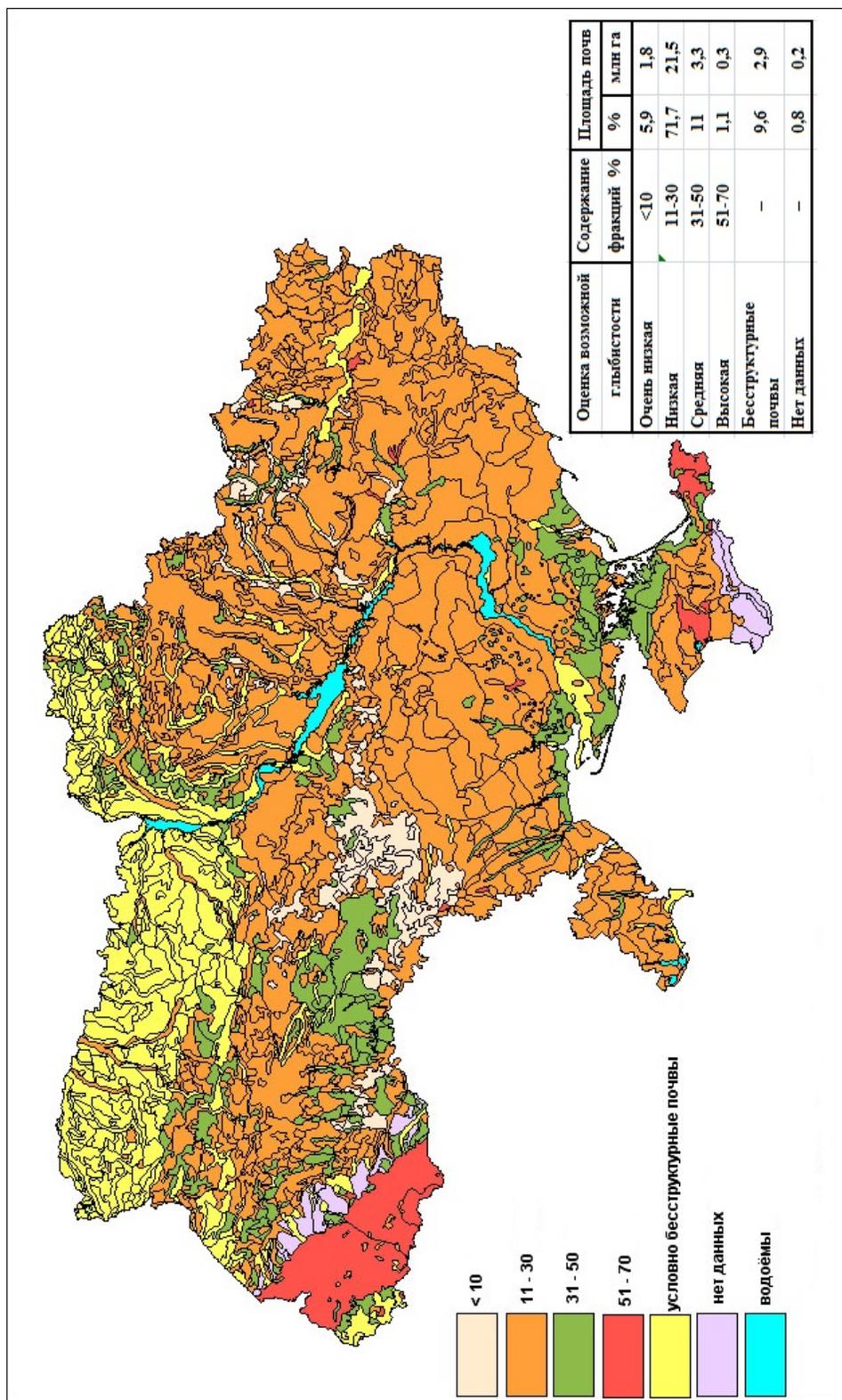


Рис. 1. Распространение и площади пахотных почв Украины с риском проявления глубистости

Если рассматривать в качестве допустимого параметра количество глыб при основной обработке в 30 %, то около 12 % пашни страны характеризуются повышенной склонностью к образованию глыб, которую нельзя допускать. При предпосевной обработке площадь таких почв возрастает до 82,8 %. Особенно повышенные требования нужно предъявить к качеству предпосевной обработки почти всех пахотных почв страны.

Значительное присутствие глыб в пахотном и особенно посевном слоях – следствие торможения процессов агрегации, главным образом, из-за потери гумуса и декальцинирования. Проведение обработки при физической спелости (когда способность почвы к качественному измельчению является оптимальной) и повышение общей культуры земледелия (прежде всего, внесение органических удобрений) – важные условия уменьшения негативного влияния глыб.

Образование пыли. Склонность почвы к потере агрономически-ценной структуры можно оценить по количеству пылеватых микроагрегатов и по фактору дисперсности (рис. 2). Из полученных нами данных следует, что приблизительно на 20 % пашни страны вследствие различных причин образование структуры тормозится, а примерно на половине площадей при обработке почвы в пересушенном состоянии может образоваться более 10 % пыли. Этого количества пыли вполне достаточно, чтобы значительно ухудшить важные агрономические свойства корнеобитаемого слоя почвы.

В наибольшей степени распылению подвержены черноземы типичные среднесуглинистого грансостава Лесостепи. В связи с этим минимизация обработки в этой зоне крайне актуальна.

Переуплотнение. Плотность черноземной почвы суглинистого грансостава на целине составляет примерно 1,0–1,1 г/см³, тогда как чернозема на пашне – в диапазоне от 0,8–0,9 г/см³ непосредственно после обработки до 1,15–1,35 г/см³ – в равновесном состоянии. Период уравнивания (релаксации) в зависимости от агрофона и осадков продолжается от нескольких дней до двух недель. В этот период становится особенно заметной динамика водно-воздушных и биологических свойств почвы, зависящих от плотности сложения. Вследствие низкой плотности и влажности, близкой к физической спелости, весной существует реальная угроза переуплотнения всех без исключения пахотных почв. При этом она намного сильнее выражена на черноземах по сравнению с другими почвами.

Если воспользоваться обобщенным критерием равновесной плотности сложения корнеобитаемого слоя для сельскохозяйственных культур (1,25 г/см³), предложенным В.В. Медведевым [7], то окажется, что около 58 % пашни страны имеет более высокий показатель (рис. 3). Последнее означает, что на этой части пашни в течение вегетации, за исключением процесса релаксации после обработки фактическая плотность сложения не совпадает с требованиями корневых систем растений. При длительной обработке возникает новое явление – консолидация агрегатов и уменьшение внутриагрегатной пористости, что ухудшает условия водно-минерального питания растений.

Потенциальная склонность пахотных почв Украины к переуплотнению довольно значительная. По нашим данным, рассчитанным на основании грансостава, исходного увлажнения и плотности при обработке, а также модельных экспериментов [8] она существует почти на 75 % пашни. Переуплотнение особенно выражено при использовании машинно-тракторных агрегатов с давлением, превышающим допустимые границы. При таких условиях оно проявляется даже на почвах, не подверженных деградации.

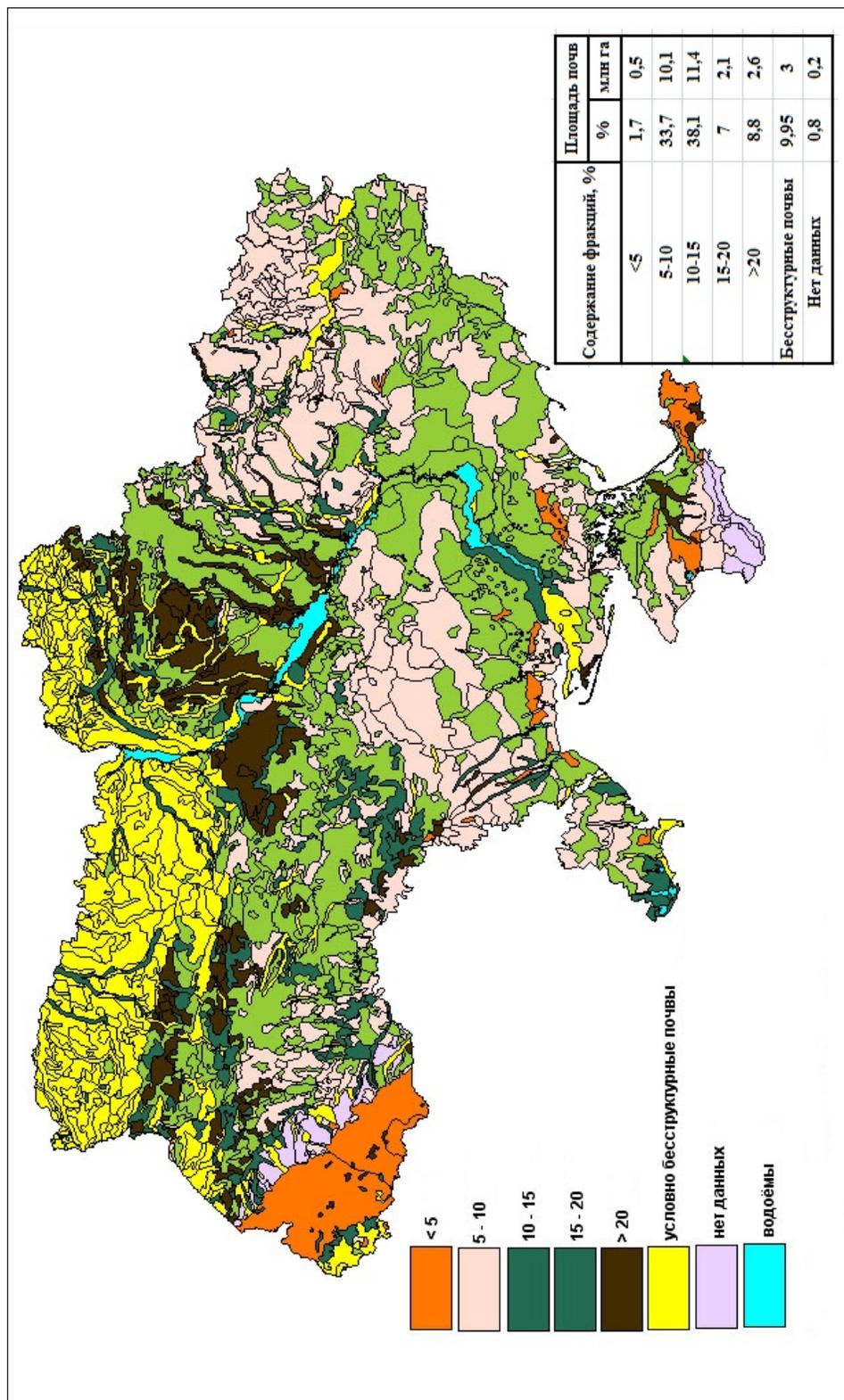


Рис. 2. Распространение и площади пахотных почв Украины с риском проявления распыления

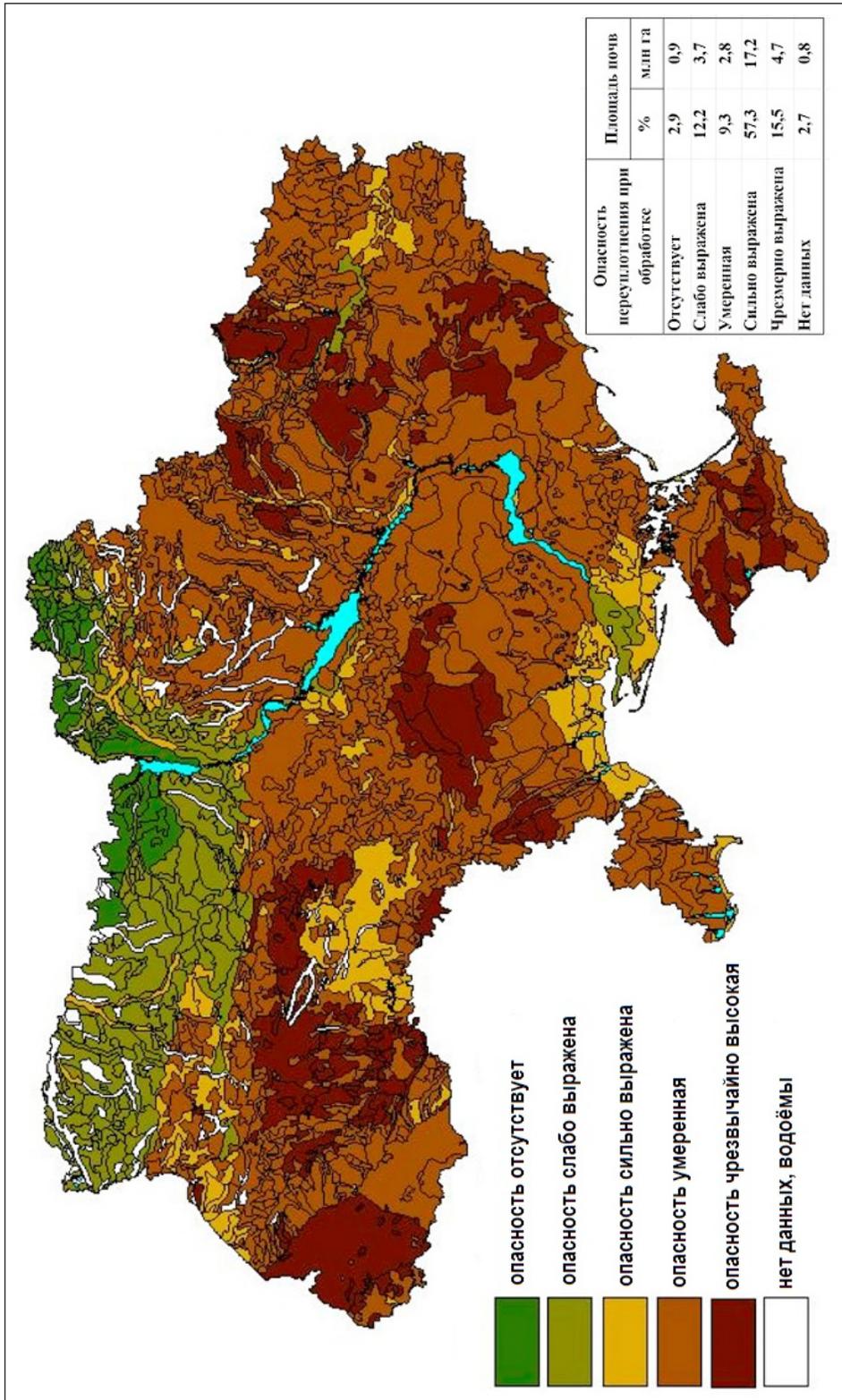


Рис. 3. Распространение и площади пахотных почв Украины с риском проявления перуплотнения

На переуплотненной почве снижается полевая всхожесть семян, отмечается изреженность посевов, отставание в росте и развитии растений в течение вегетации. Вследствие ухудшения агрофизического состояния почвы и основных почвенных режимов снижается урожай всех сельскохозяйственных культур. Переуплотнение черноземных почв в Лесостепи приводит к потере урожая ячменя на 22 %, озимой пшеницы – 27 %, кукурузы – 26 %, сахарной свеклы – 37 %, проса – 65 %. На дерново-подзолистой почве Полесья потери соответственно составляют: овса – 22 %, озимой пшеницы – 23 %, картофеля – 28-34 % [8].

Таким образом, склонность пахотных почв Украины к проявлению неблагоприятных физических свойств за счет действия природных или антропогенных факторов является достаточно выраженной, нередко превышая допустимые пределы.

Плужная подошва. Некоторое представление о степени выраженности плужной подошвы и ее параметрах на исследованных полях Полесья и Лесостепи представлены в табл. 1. Нами установлена хорошо заметная высокая пестрота проявления плужной подошвы – от полного ее отсутствия (вследствие повышенного увлажнения при плохо работающей оросительной системе в Маневичском районе Волынской области) до заметного преимущества в почвенном покрове поля с параметрами, которые требуют принятия срочных мер по ее устранению. Опираясь на собранные нами данные [9], можно утверждать, что если твердость в плужной подошве превышает 35–40 кгс/см², рост корней в глубину ограничивается. Это означает, что при такой твердости адаптивные возможности корней ухудшаются, особенно в условиях недостатка доступной влаги. Одновременно это же означает, что с плужной подошвой надо бороться не только профилактическими средствами (периодической сменой глубины основной плужной обработки), но и с помощью глубокого рыхления.

Таблица 1

Твердость почвы в плужной подошве с показателями выше 40 кгс/см²

Объект	Административная область, почва, которая преобладает на поле	Площадь поля, га	Часть поля с твердостью в плужной подошве выше 40 кгс/см ²	
			га	%
Колки	Волынская, дерново-подзолистая	11	0	0
Романов	Волынская, серая оподзоленная	63	0,1	0,5
Ведильцы	Черниговская, дерново-подзолистая	105	56,6	59,5
Коротич	Харьковская, темно-серая оподзоленная	31	8,5	27,5
Коммунар	Харьковская, чернозем типичный	30	0,7	2,4

Особенности трансформации почв при деградации. Исходя из сравнения структурного состава, плотности сложения и других свойств на целине и пашне, следует признать, что все старопашотные почвы следует считать деградированными. Для этого достаточно обратиться к табл. 2, чтобы убедиться, в существенных потерях агрономически-ценной структуры, ее водостойчивости и изменениях других свойств на пашне по сравнению с целиной. Это означает, что такой вывод будет

справедлив для всех пахотных почв Лесостепи и Степи Украины, по крайней мере, для тех из них, которые находятся в пашни не менее 100 лет, так как именно такого возраста пашня была объектом нашего исследования (Сумская область, чернозем типичный среднесуглинистый, Михайловская целина и смежная с ней пашня).

Таблица 2

Усредненные параметры 0-30 см слоя целинного (природного) и старопахотного (деградированного) чернозема типичного среднесуглинистого (Сумская область)

Параметры, единицы измерения	Природная почва	Деградованная почва
Структура:		
глыбистость (>10 мм), %	5–7	18–20
агрономически-ценные агрегаты (10–0,25 мм), %	80–85	50–60
пыль (<0,25 мм), %	8–10	14–16
коэффициент водоустойчивости	0,7–0,8	0,5
механическая прочность агрегатов, %	92	66
Плотность сложения:		
во время спосева яровых культур, г/см ³	1,0–1,1	1,1–1,2
равновесная, г/см ³	1,1–1,2	1,2–1,3
Содержание гумуса, %	6,3	4,6
Водопроницаемость при равновесной плотности:		
за 6 часов, мм/час	65–70	50–52
коэффициент угасания	1,1–1,2	3,5–4,0
Фактор дисперсности	4,0	7,5
Почвенно-гидрологические константы при равновесной плотности, %:		
ВЗ	11,0–11,5	12,0–12,5
ВРК	16,0–17,0	18,0–19,0
НВ	25,0–26,0	24,0–25,0
ДАВ	9,0	6,0
Микростроение агрегатов и пор:		
коэффициент оформленности	0,40–0,50	0,10–0,25
порядковость	5–6	2–3
соотношение агрегатов высокого и низкого порядков	15:5	10:10
количество неагрированного материала в порах, %	8	32

Важный диагностический признак физической деградации – сравнительно длительный период восстановления показателей почв в естественных условиях. Для этого нужно не менее 15–25 лет, так как только за это время могут постепенно сформироваться характерные для целины процессы трансформации органического вещества и гумификации и разуплотнения консолидированных агрегатов. В качестве доказательства того, что потенциальные возможности старопахотного чернозема для восстановления структуры сохраняются, служат результаты расчетов фактора дисперсности Н.А. Качинского, которые на целине и пашне практически одинаковые.

Методы преодоления физической деградации. Общие принципы построения системы преодоления физической деградации устанавливаются достаточно просто, так как они основаны на использовании хорошо известных приемов. Нужно «всего лишь» не допустить переуплотнения и ухудшение структурности почвы. Если параметры этих свойств находятся в почве в благоприятном интервале значений, то основная направленность земледельческих технологий должна состоять

в применении профилактических средств с целью их сохранения. По мере ухудшения физических свойств почв, распахиваемости, насыщенность улучшающими приемами должна возрастать. И, наконец, если почва необратимо деградирована, ее следует вывести из сельскохозяйственного использования. Разумеется, это только общая схема, в которую необходимо вносить уточнения в зависимости от реального состояния физических свойств, генетических, климатических, орографических, литологических и многих других особенностей почвенного покрова, а также от направленности и интенсивности его хозяйственного использования. Если почва суглинистого грансостава имеет плотность сложения в пахотном слое не выше $1,3 \text{ г/см}^3$, а содержание агрономически-ценных агрегатов – не менее 60 % при их водостойкости не менее 50 %, не образует глыбы после вспашки и не имеет плужной подошвы с параметрами твердости более $20\text{--}25 \text{ кгс/см}^2$, такая почва является высококультурной. Главное – не допустить ее ухудшения всеми возможными способами – агротехническими, организационными и др. Если в такой почве, к тому же, содержится не менее 4,5–5,0 % гумуса, а емкость насыщения обменными катионами кальция и магния не менее 80–85 %, она способна поддерживать благоприятные физические свойства неопределенно долго. Земледелие на такой почве должно быть организовано так, чтобы не нарушить этой ее способности, что достигается за счет создания бездефицитного баланса гумуса, минимизации механического воздействия и соблюдения правил высококультурного хозяйствования.

В последние десятилетия обязательная ранее ежегодная глубокая вспашка уступает место разнообразным поверхностным и даже нулевым технологиям. Важнейшими принципами нулевой обработки является полный отказ от обработки вообще и круглогодичное сохранение напочвенного растительного покрова. Это означает запрет сжигания стерни, размещение на поверхности почвы мульчи, посев, так называемых, покровных культур. В такой системе нежелательны не только пахота, но и дискование, и культивация. Сеять нужно специальными орудиями, которые не разрушают растительный покров. Минеральные удобрения и средства защиты нужно вносить одновременно с посевом в поверхностные слои почвы.

Важно отметить, что поддержание постоянного растительного покрова или мульчи постепенно высвобождает почву от сорных растений, формирует своеобразный круговорот питательных элементов подобно лесной или степной экосистемам. Значительное усиление биологических и экологических факторов способствует росту биоразнообразия и вообще устойчивости агроландшафтов и земледелия, то есть, гармонии между производительными и экологическими функциями почв. Именно нулевая технология, является идеальным приемом сохранения физических свойств почв в благоприятном интервале значений, а если необходимо, то и преодоления физической деградации.

Таким образом, физическая деградация успешно преодолевается при применении следующих мер, перечень которых определяется, главным образом, в зависимости от исходных (равновесных) параметров структуры и плотности строения почв:

- минимизации механического воздействия на почву до полного отказа от обработки вообще (разумеется, там, где для этого есть соответствующие предпосылки);
- соблюдении приемов высокой культуры земледелия, цель которых должна состоять в поддержке бездефицитного баланса органического вещества, биофильных элементов и сохранении агрономически полезной структуры.

Нерешенные вопросы. Актуальными теоретическими и прикладными задачами в области физической деградации, требующими решения, являются следующие:

- на основе отечественных, российских, европейских и мировых подходов обосновать (или уточнить) типы, критерии и нормативные параметры физической деградации пахотных почв;
- установить зональные особенности процесса физической деградации в зависимости от почвенно-климатических и хозяйственных условий;
- упорядочить имеющиеся картографические и аналитические материалы о современном состоянии физических свойств пахотных почв;
- оценить склонность почв к физической деградации в зависимости от гран-состава, гумусированности, агрегированности, механической или химической нагрузки и других причин;
- экспертно оценить скорость отдельных видов физической деградации;
- выяснить особенности развития физической деградации в зависимости от латеральной или вертикальной неоднородности почв поля;
- определить и конкретизировать генетические, экономические, экологические и социальные негативные последствия физической деградации пахотных почв;
- проработать педотрансферные модели физической деградации при участии основных ее факторов;
- оценить устойчивость почв к физической деградации;
- разработать предложения по уменьшению проявления физической деградации на пахотных почвах Украины, в том числе за счет совершенствования подходов к выводу деградированных и малопродуктивных земель с пашни, введение различных ограничений механической или иной нагрузки, совершенствование технологий и орудий почвозащитного земледелия, особенно внедрение различных способов минимальной обработки;
- обосновать концепцию организации мониторинга физической деградации пахотных почв (кризисного мониторинга);
- осветить гуманитарные и образовательные аспекты преодоления физической деградации;
- критически проанализировать законодательную базу по преодолению физической деградации;
- разработать предложения к государственной и местным программам по преодолению физической деградации, определить источники финансирования, приоритеты с учетом зональной специфики физической деградации;
- создать национальный «Резервный Банк решений информации об эффективных способах и технологии преодоления физической деградации пахотных почв Украины».

ВЫВОДЫ

В ходе исследований установлено, что большинство пахотных почв Украины являются обесструктуренными за счет сверхбольшого количества глыбистых агрегатов, уменьшенного количества агрономически-ценных слабо водоустойчивых агрегатов, в результате чего они переуплотнены, особенно в подсеменном слое после посевных работ и в плужной подошве.

На основании анализа состояния исследований по физической деградации пахотных почв Украины обозначены проблемы, требующие решения. Наиболее актуальными задачами являются регионализация информации о физической деградации пахотных почв, определение нормативных параметров потери структуры и переуплотнения и разработка предложений по ведению бездеградационного земледелия.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Научные основы предотвращения деградации почв (земель) сельскохозяйственных угодий России и формирование систем воспроизводства их плодородия в адаптивно-ландшафтном земледелии. (Теоретические и методические основы предотвращения деградации почв (земель) сельскохозяйственных угодий); под ред. А.Л. Иванова. – М.: Почвенный институт им. В.В. Докучаева Россельхозакадемии, 2013. – Т. 1. – 756 с.
2. *Медведев, В.В.* Физичекая деградація чернозкомв. Диагностика. Причины. Следствия. Предупреждения / В.В. Медведев. – Харьков: Изд-во «Городская типография», 2013. – 324 с.
3. Деградация и охрана почв / под ред. Г.В. Добровольской. – М.: МГУ, 2002. – 654 с.
4. *Lal, R.* Methods for assessment of soil degradation / R. Lal, W. H. Blum, C. Valentine // CRC Press. Boca Raton, New York. – 1998. – P. 558.
5. Почвенная карта Украинской ССР. Масштаб 1:2500000. УкрНИИ почвоведения и агрохимии им. А.Н. Соколовского; под ред. Н.К. Крупского. – М.: Главное управление геодезии и картографии при Совете Министров СССР (ГУГК), 1977.
6. База данных «Свойства почв Украины» (структура и порядок использования) / Т.Н. Лактионова [и др.]. – 2-е изд. – Харьков: Апостроф, 2012. – 150 с.
7. *Медведев, В.В.* Оптимизация агрофизических свойств черноземов / В.В. Медведев. – М.: Агропромиздат, 1988. – 160 с.
8. *Медведев, В.В.* Плотность сложения почв. Генетический, экологический и агрономический аспект / В.В. Медведев, Т.Е. Лындина, Т.Н. Лактионова. – Харьков: 13 типография, 2004. – 244 с.
9. Неоднородность почв и точное земледелие. Ч 2. Результаты исследований; под общ. ред. В.В. Медведева. – Харьков: Городская типография, 2009. – 260 с.

THE MANIFESTATION OF PHYSICAL DEGRADATION ON ARABLE LANDS IN UKRAINE (THE LITERARY REVIEW)

I.V. Plisko

Summary

A review of quantitative and qualitative criteria of physical degradation of arable lands was carried on the basis of own research and literature data about the physical degradation of arable soils. A definition physical degradation was given. The reasons of its occurrence and development were considered. The soil areas of predisposition to the physical degradation were determined. On these areas, where loss of agronomically valuable structure, manifestation of increased cloddy, dissipation and repacking, the

application of effective prophylactic measures was justified. Based on the analysis of state of research of physical degradation of arable soils, the urgent problems in Ukraine were indicated. The most pending tasks are the regionalization of information about physical degradation of arable soils, determination of normative parameters of destroying and repacking and development of proposals on implementation of non-degradation agriculture.

Поступила 21.11.16

УДК 631.4

ИНФОРМАТИВНОСТЬ ПОЧВ БЕЛАРУСИ (аналитический обзор)

Т.А. Романова

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

Генетически определенная почва содержит информацию о почве как природной системе, о содержании и формах элементов питания растений, о типе водного режима и количестве влаги, участвующей в формировании каждой почвы, об обеспеченности биологической энергией биогеоценоза, которому принадлежит данная почва, о типе водного режима как ориентире в распределении веществ в ландшафте, вероятных последствиях антропогенного воздействия и др.

«Почвоведение», как одна из ветвей естествознания, оформилось в самостоятельную науку в конце XIX века в России. В значительной мере это было спровоцировано сильнейшими засухами 1873 и 1876 гг., вызвавшими голод в юго-западных и южных губерниях с наиболее плодородными землями. Выяснение причин было поручено Вольным экономическим обществом ученому Петербургского университета В.В. Докучаеву. Его отчет, представленный в 1883 г., считается началом развития новой науки, объектом и предметом которой является особое естественно-историческое тело – *почва*, образующаяся под совместным влиянием климата, рельефа, рыхлых горных пород, растений и животных, обладающая плодородием – эмерджентным свойством совокупности пяти названных факторов.

В начале XX века весь мир был охвачен почвенными исследованиями. Развитие почвоведения обеспечивало систематизированные сведения о наличии и качественном состоянии земельных ресурсов в отдельных регионах, странах и в целом на планете. Потребность в таких сведениях особенно возросла в 70 годах прошлого века, когда в мировом сообществе громко заговорили о недостатке продовольствия в связи с ростом населения планеты, изменениями климата и падением плодородия почв – возникла «Мировая продовольственная проблема». К *продовольственной проблеме* тесно примыкает целый ряд *экологических проблем*, по большей части, также вызываемых хозяйственной деятельностью и отражающихся на состоянии почв – это эрозия, засоление, опустынивание, истощение, загрязнение и отравление отходами промышленности и сельского хозяйства.

Повсеместно разрабатываются меры профилактики и борьбы с деградацией почв: противоэрозионные системы земледелия, осушительно-увлажнительные мелиорации, ирригация, удобрение, организация охраняемых территорий.

Все эти меры, по большей части, достаточно сложны и дороги. Их эффективное применение требует не только экономического расчета, но точного «адреса» и прогнозирования нежелательных последствий как, например, усиление эрозии или недостаток влаги после мелиорации, ирригационное засоление и др.

Адрес конкретного мероприятия в натуре – это площадь, занятая одной определенной почвенной разновидностью, идентифицируемой на основе комплекса признаков и свойств, установленных как полевыми наблюдениями, так и лабораторными исследованиями, обеспеченными в настоящее время самыми совершенными приборами и установками.

Развитие почвоведения в разных странах показало, что способность производить урожай растений не является простой и единственной данностью рационального использования почвы и обеспечения продовольственной безопасности.

Для решения этой задачи следует иметь в виду тот факт, что в почве – тонком поверхностном слое земной коры (педосфере), реализуется сложнейший *почвообразовательный процесс* – вземная энергия атмосферы и солнца в результате деятельности биоты – живого населения почвы. Она взаимодействует с земной энергией минералов, превращая мертвую породу в насыщенную биологической энергией природную систему.

Нетрудно представить многообразии почв на Земле в связи с невероятным многообразием сочетаний энергетических потоков в пространстве и времени.

Вместе с тем, количество почв не безгранично: почвообразовательный процесс оставляет в каждой почве на разной глубине от поверхности – в горизонтах (слоях) вертикального профиля – свои вполне определенные и обнаруживаемые следы в виде изменений цвета и химического состава преобразуемых им пород. Это позволяет выделять почвенную разновидность из множества себе подобных, изучать как феномен природы или как объект использования, то есть в общности фундаментальных или прикладных наук.

Оба направления исследований в XXI веке заметно активизируются, и чтобы привлечь внимание общественности, на 68-й сессии Организации Объединенных Наций (ООН) 2015 г. был объявлен *«Международным годом почвы – МГП»*.

Во второй половине прошлого века в Советском Союзе активно проводилось обследование почв в соответствии с общегосударственным заданием по составлению крупномасштабных почвенных карт всех предприятий, занимающихся сельскохозяйственным производством. В Беларуси эти работы выполнялись в период с 1957 по 1964 гг. Позднее было продолжено обследование (картографирование) почв Государственного лесного фонда республики.

Обработка материалов почвенных обследований продолжалась до конца века, а их интерпретация остается актуальной и в наши дни.

В основном, современное изучение почв Беларуси носит прикладной характер – это учет и оценка (бонитировка) почвенно-земельных ресурсов, эродированность и заболоченность почв, их агрохимическое состояние и др.

Прикладные исследования, нередко приближающиеся по уровню исполнения к фундаментальным, в качестве «побочного продукта» предоставляют новые или уточненные данные о процессах, формирующих почвы, о генезисе (происхожде-

нии) почв и об их существенных свойствах. Вещественная, материальная, составляющая этих данных базируется на десятках тысяч числовых показателей, характеризующих гранулометрический и химический состав, физико-химические свойства почв, а также на сведениях о составе почвенных минералов, микроморфологии и биологической активности твердой фазы.

Кроме материальных свойств и признаков, почвы обладают нематериальными свойствами, к которым относится возможность интерпретации вещественных данных для получения новых сведений о сущности и прагматической составляющей природных явлений, то есть *информации*, являющейся одним из важнейших природных ресурсов.

Принадлежность к категории информационных имеющихся в распоряжении почвоведов данных определяют следующие их свойства:

- *объективность* – характеризуют почву, как реально существующий, не зависящий от человеческого сознания, объект;
- *достоверность* – каждый показатель является информационным сигналом, извлекаемым из «живой», функционирующей, почвы строго определенными, стандартизированными методами, исключая субъективизм;
- *полнота* – перечень аналитических показателей и их количество обеспечивает воспроизводимую идентификацию объектов;
- *актуальность* – собранные данные отвечают запросам настоящего времени;
- *полезность* – обеспечивают возможность решения конкретных задач рационального природопользования и предупреждения неблагоприятных последствий антропогенного воздействия.

Первые три пункта относятся непосредственно к почвенной разновидности, пространственно характеризующейся сочетанием информативных показателей, наделенной названием, определяющим место почвы в классификации, и ареал на почвенной карте.

Генетические типы почв в соответствии с их номенклатурой содержат информацию о наличии наиболее активной фракции гранулометрического состава (частицы диаметром меньше 0,01 и 0,001 мм), о трансформации почвенных минералов с образованием элементов-биофилов (основных источников минерального питания растений), о накоплении гумуса (свидетеле энергонасыщенности почвы), о водном режиме, как перераспределителе всех показателей по профилю почвы и о количестве влаги, участвующей в почвообразовании в средний, сухой или влажный год.

Эти сведения обеспечивают не только идентификацию (диагностику) почвы, но и роль ее в качестве информационного блока биогеоценоза (экосистемы), центром которого почва является.

Информативность почв существенно уточняет представление о плодородии. Способность производить урожай растений – это функция биосферы. Твердая фаза почвы сама по себе плодородием не обладает, но содержит информацию о продукционной способности каждого участка земной поверхности в границах распространения генетически определенной разновидности почв.

Количество (т/га) и состав органического вещества, накапливающегося в полуметровом слое почвы в виде гумуса, является маркером общей обеспеченности биогеоценоза внеземной и земной энергией (10^5 ккал/м²). Эта информация

позволяет выразить плодородие почвы в энергетических единицах и через потенциально возможную продуктивность (ц к.е./га) сельскохозяйственных культур. Содержание гумуса в пахотных почвах по сравнению с почвами под естественной растительностью позволяет оценивать влияние хозяйственной деятельности (удобрение, орошение, механическая обработка).

Важную, если не самую важную, роль в плодородии почв играет водный режим. Сведения о количестве воды и направлении ее движения в почвенном профиле обеспечивают жизненные потребности растений, характеризуют перераспределение в ландшафте влаги и химических веществ, вносимых с удобрениями, средствами защиты и др., предоставляют информацию для проектирования осушительно-увлажнительных систем.

На картах четко выделяются почвы, где поверхностные потоки воды проникают в грунтовые, а, значит, загрязнение грунтовых вод можно предупредить или хотя бы уменьшить.

Перед фронтальным загрязнением жидкими и твердыми поллютантами почва практически беззащитна, но она содействует «устойчивости» к химическому загрязнению возделываемых культур на основе информации о способностях почв к необменному поглощению некоторых веществ и об условиях выноса загрязнителей с водной миграцией – самоочищению.

Имеющиеся данные об информативности почв и наличие крупномасштабных почвенных карт можно считать предпосылкой не только корректной инвентаризации и оценки потенциальной продукционной способности земельных ресурсов любой территории, но возможности организации неистощительного природопользования.

Результаты, полученные при изучении почв Беларуси, хорошо согласуются с Мировой коррелятивной базой почвенных ресурсов (WRB), опубликованной FAO в 2006 г. в Риме и в 2007 г. на русском языке в Москве.

ЮБИЛЕИ

ПАМЯТИ АКАДЕМИКА НАН БЕЛАРУСИ НИКОЛАЯ ИВАНОВИЧА СМЕЯНА (к 85-летию со дня рождения)

Почвенная наука нашей страны насчитывает не один десяток имен известных ученых, чьи глубокие теоретические разработки были поставлены на службу сельскохозяйственного производства. Особое место среди них занимает Николай Иванович Смян – заслуженный деятель науки республики Беларусь, лауреат государственной премии БССР, академик НАН Беларуси. Его научная, организационная, педагогическая и общественная деятельность получила широкую известность не только на родине, но и далеко за ее пределами.



Международная научная конференция «Управление, использование и защита почвенных ресурсов» 15–19 мая 2005 г., г. София, Болгария
(Н.И. Смян – четвертый слева)

Николай Иванович Смян родился 3 января 1932 г. в деревне Бабичи Речицкого района Гомельской области в большой и дружной семье крестьян. В 1953 году он поступил на биолого-почвенный факультет Белорусского государственного университета имени В.И. Ленина, который окончил в 1958 г. по специальности почвоведение.

Все годы трудовой и научной деятельности Николая Ивановича Смеяна связаны с Институтом почвоведения и агрохимии. Здесь он прошел трудовой путь от инженера-почвоведа до заместителя директора и научный – от младшего научного сотрудника до академика НАН Беларуси.

С его именем связан период развития, становления и укрепления почвенных исследований на территории республики, когда глубокие теоретические разработки были поставлены на службу сельского хозяйства Беларуси. Им разработаны принципы региональной агропроизводственной группировки почв, осуществлено районирование почв, предложены методические подходы оценки соответствия существующей структуры посевных площадей сельскохозяйственных культур с учетом почвенно-экологических условий их возделывания.



Полевая командировка. Браславский район, Витебская область, 2005 г.

Под его руководством и при непосредственном участии разрабатывались и совершенствовались теоретические вопросы классификации и диагностики почв, почвенно-экологического районирования, качественной оценки почв и установления степени их пригодности под основные сельскохозяйственные культуры в целях оптимизации структуры посевных площадей и севооборотов. На основании этих исследований им лично и в соавторстве опубликованы ряд монографий и учебников: «Почвы Белорусской ССР» (1974 г.), «Кадастровая оценка почв колхозов и госхозов БССР» (1977 г.); «Пригодность почв БССР под основные сельскохозяйственные культуры» (1980 г.); «Занимательно о почве» (1984 г.); «Оценка плодородия почв Беларуси» (1989 г.); «Земледелие с основами почвоведения» (1989 г.); «Почвы и структура посевных площадей» (1990 г.); «Кадастровая

оценка земель сельскохозяйственных предприятий и крестьянских (фермерских) хозяйств» (2000 г.); «Классификация, диагностика и систематический список почв Беларуси» (2007 г.).

Во всех своих научных работах, рекомендациях, методиках и предложениях (440 изданий) популяризировал знания о почвах, подчеркивал важность проведения картографических и землеоценочных работ для обеспечения потребностей сельскохозяйственного производства. Подтверждением этому являются проведенные в республике три тура крупномасштабных почвенно-картографических исследований земель сельхозпредприятий, три тура землеоценочных работ и поучастковая кадастровая оценка, непосредственным участником и руководителем которых он являлся.

После завершения I тура кадастровой оценки земель в республике не прекращались работы по совершенствованию методики ее выполнения. Результаты исследований его аспирантов и сотрудников вошли в новую методику кадастровой оценки земель (Кадастровая оценка..., 2011 г.), по которой в настоящее время и осуществляются эти работы.

В память о Н.И. Смеяне его учениками в 2011 г. на основе новых подходов к классификации почв республики составлено и издано практическое пособие «Полевая диагностика почв Беларуси», в котором дана морфологическая характеристика почв Беларуси и представлены их фотографии, помогающие идентифицировать почвы в полевых условиях.

Исследования и труды Николая Ивановича широко известны за пределами страны и ими по праву может гордиться Беларусь. Он занимает почетное место в книге «2000 выдающихся ученых XX века», изданной Интернациональным биографическим центром (Кембридж, Англия, 2000 г.). Принимал активное участие в создании Европейской географической почвенной базы данных (SOTER), реализованной через издание Атласа почв Европы (Soil Atlas of Europe, 2005 г.), «Цифровой базы данных стран бывшего СССР», «Базы данных почв и суши по деградации и оценке их чувствительности стран Центральной и Восточной Европы» и др. Эти пионерные работы показали специфику почв Беларуси в рамках интеграционных процессов современности.

Общественная деятельность Н.И. Смеяна также тесно связана с его специальностью почвоведом. Он 10 лет являлся председателем Экспертного совета по сельскому хозяйству БелВАК, членом бюро Межгосударственного совета по земельным ресурсам стран СНГ и их рациональному использованию, членом комиссии по классификации почв при Почвенном институте им. В.В. Докучаева, членом Центрального совета Всесоюзного общества почвоведов, председателем Белорусского общества почвоведов.

На протяжении многих лет Николай Иванович возглавлял отдел почвоведения института (с 1969 по 2002 г.) и сектор методики картографирования и бонитировки почв (с 1969 по 2007 г.), являлся заместителем председателя специализированного совета по защите диссертаций по специальности агропочвоведение и агрофизика, членом специализированного совета по защите диссертаций по экономике сельского хозяйства, членом редколлегии журналов «Почвоведение», «Почвоведение и агрохимия», «Земляробства і ахова раслін», председателем редколлегии журнала «Земля Беларуси», членом ряда проблемных и научных советов и комиссий.

Признанием заслуг и авторитета Николая Ивановича Смеяна являются его награды и звания: орден «Знак почета» (1971 г.), медаль «За доблестный труд» (1970 г.), Государственная премия БССР (1976 г.), две золотые и одна бронзовая медаль ВДНХ СССР, Почетная грамота Верховного Совета БССР (1971 г.), Почетная грамота Национального собрания РБ (2001, 2007 гг.), Почетная грамота Национальной академии наук Беларуси (2006 г.) и др. В 1989 г. он избирается членом-корреспондентом НАНБ, в 1990 г. присвоено ученое звание профессора, в 1992 г. он избирается академиком ААН РБ, в 1995 присвоено звание почетного доктора Белорусской государственной сельскохозяйственной академии, в 2000 г. – звание «Заслуженного деятеля науки Республики Беларусь», а в 2003 г. он избирается академиком НАН Беларуси.

Николай Иванович обладал талантом педагога. Всегда подкупали его исключительная доброжелательность, интеллигентность, сочетание доброты и строгости, внимательное отношение к сотрудникам, их мнению, в том числе и молодых начинающих исследователей. Он был надежным другом и защитой для своих учеников. Созданный им дух взаимного уважения и доверия в коллективе способствовал плодотворной работе.

Важно отметить и блестящее умение Николая Ивановича владеть литературным стилем, четко и последовательно излагать свои мысли и идеи, что является и сейчас примером для подражания. Всегда восхищали его жизнелюбие и редкое обаяние.

Он беззаветно любил свое дело, и годы были над ним не властны. О таких людях говорят: «До последнего в строю».

Таким и останется в нашей памяти выдающийся ученый и светлый человек – Николай Иванович Смян.

Ученики, друзья, коллеги

РЕФЕРАТЫ

1. ПОЧВЕННЫЕ РЕСУРСЫ И ИХ РАЦИОНАЛЬНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ

УДК 631.434.52

Черныш А.Ф., Устинова А.М., Цырибко В.Б., Червань А.Н, Касьяненко И.И. Деградация почв сельскохозяйственных земель Беларуси: виды и количественная оценка // Почвоведение и агрохимия. – 2016. – № 2(57). – С. 7.

В статье проанализированы подходы к определению понятия деградация почв. Установлено, что на обрабатываемых почвах Беларуси выделяются пять типов их деградации, в каждом из которых присутствуют от четырех до шести видов. Разработаны качественные и количественные показатели оценки степени деградации почв, отражающих уровни потерь их природно-хозяйственного значения.

Табл. 3. Библиогр. 20.

УДК 631.47

Черныш А.Ф., Качков Ю.П., Давыдик Е.Е., Устинова А.М. Типы сельскохозяйственных земель Белорусской гряды как основа формирования адаптивно-ландшафтных систем земледелия // Почвоведение и агрохимия. – 2016. – № 2(57). – С. 18.

В статье на примере конкретных землепользователей с высоким удельным весом эродированных пахотных почв центральной почвенно-экологической провинции (Белорусской гряды) определены методические подходы к типизации земель. В процессе ее выполнения выделено 15 типов сельскохозяйственных земель, дана их детальная характеристика с определением количественных показателей неоднородности почвенного покрова.

Табл. 2. Библиогр. 8.

УДК 631.6.02:504.062.2

Матыченкова О.В., Цытрон Г.С., Шульгина С.В., Азаренок Т.Н., Матыченков Д.В. Экологический паспорт почвы и база данных как информационное обеспечение особой охраны естественных почв Беларуси // Почвоведение и агрохимия. – 2016. – № 2(57). – С. 32.

В статье изложены результаты разработки и заполнения экологического паспорта почвы как информационной основы для особой охраны естественных почв, а также приведена структура электронной базы данных для заполнения полей паспорта. Приведен пример заполнения паспорта для дерново-подзолистой почвы, развивающейся на водно-ледниковых связных песках, сменяемых

рыхлыми песками, расположенной на землях заказника «Озеры» Гродненской области.

Табл. 4. Рис. 3. Библиогр.14.

УДК 633.11.519.22/25

Балюк С.А., Лисовой Н.В., Никоненко В.Н., Карацюба Е.В. Планирование эксперимента и статистическая обработка данных полевого опыта // Почвоведение и агрохимия. – 2016 – № 2(57). – С. 48.

В статье приведены результаты исследований влияния минеральных удобрений на урожайность озимой пшеницей на черноземе типичном Лесостепи Украины. Схема полевого опыта математически спланирована, что позволило обработать данные современными статистическими методами с помощью компьютерной программы. Определены оптимальные нормы удобрений под озимую пшеницу: по азоту – 65 кг/га, по фосфору – 120 кг/га P_2O_5 .

Разработана математическая модель прогноза урожайности озимой пшеницы для чернозема типичного Лесостепи Украины. Основной показатель математической модели – это свободный член, который равен 65 ц/га. Влияние факторов (N, P, K) и их взаимодействие повышает урожай на 3,16 ц/га.

Определены оптимальные нормы удобрений для получения максимального урожая и прибыли, затрат энергоемкости и комплексного показателя.

Табл. 9. Рис. 1. Библиогр. 8.

УДК 631.421

Бындыч Т.Ю. О современном подходе к изучению неоднородности почвенного покрова // Почвоведение и агрохимия. – 2016. – № 2(57) – С. 56.

Предложен методологический подход к изучению неоднородности почвенного покрова, который основан на данных многоспектрального космического сканирования. Мультиспектральные данные со спутника Сич-2 были использованы для отображения и параметрического описания черноземных почв в условиях Северной Степи Украины: 1) для оконтуривания единиц почвенного картографирования и оценки их пространственной структуры; 2) количественного оценивания специфических свойств эродированных почв с использованием геостатистики и методов обработки многомерных данных. Полевое описание почвенных профилей выделенных классов почв показали эффективность метода К-средних кластерного анализа для определения различных элементов почвенного покрова. Картограммы содержания гумуса, созданные с помощью статистического и математического моделирования, позволили параметризовать черноземные почвы и детально проанализировать структуру скалярного поля гумуса.

Рис. 4. Библиогр. 14.

2. ПЛОДОРОДИЕ ПОЧВ И ПРИМЕНЕНИЕ УДОБРЕНИЙ

УДК 633.16:631.445

Лапа В.В., Кулеш О.Г., Мезенцева Е.Г., Шедова О.А., Симанков О.В. Агро-экономическая эффективность возделывания ярового ячменя на высоко окультуренной дерново-подзолистой легкосуглинистой почве // Почвоведение и агрохимия. – 2016. – № 2(57). – С. 68.

Установлены оптимальные с агрономической и экономической точки зрения системы удобрения ярового ячменя, характерные для разных изучаемых органических фонов: $N_{90+30}P_{15}K_{30}$ – для безнавозного фона и фона с последствием 50 т/га навоза; N_{90+30} – для фона с последствием 100 т/га органических удобрений. Выявлено влияние повышенных доз азотных удобрений (N_{90+30}) на всех изучаемых фонах на получение зерна с высокими показателями качества.

Табл. 2. Рис. 3. Библиогр. 10.

УДК 631.8:633

Богатырева Е.Н., Серая Т.М., Бирюкова О.М., Кирдун Т.М., Белявская Ю.А., Торчило М.М. Коэффициенты пересчета зерна и семян в побочную продукцию и содержание основных элементов питания в побочной продукции сельскохозяйственных культур в Республике Беларусь // Почвоведение и агрохимия. – 2016. – № 2(57). – С. 78.

На основании маршрутных исследований и обобщения результатов полевых опытов уточнены коэффициенты пересчета зерна и семян в побочную продукцию. Определены пределы изменения и среднее содержание элементов питания в побочной продукции одного и того же вида для сельскохозяйственных культур, возделываемых на территории Республики Беларусь. С 1 т побочной продукции в почву поступает 3,8–9,9 кг азота, 1,8–5,2 кг фосфора, 11,7–28,0 кг калия, 1,4–10,3 кг кальция, 0,8–6,1 кг магния и 735–801 кг органического вещества.

Табл. 3. Библиогр. 23.

УДК 631.81.095.337

Рак М.В., Пукалова Е.Н. Кобальт в почвах и растениеводческой продукции Беларуси и эффективность применения кобальтового удобрения // Почвоведение и агрохимия. – 2016. – № 2(57). – С. 90.

На основании маршрутных исследований сельскохозяйственных угодий определена обеспеченность подвижным кобальтом основных типов почв Беларуси. Установлено, что содержание кобальта в почвах и растениеводческой продукции низкое и определяется видовыми особенностями сельскохозяйственных культур и гранулометрическим составом почвы. В полевом опыте определена эффективность некорневых подкормок люпина узколистного, озимой пшеницы, ярового

ячменя и люцерны кобальтом в зависимости от уровней обеспеченности дерново-подзолистой супесчаной почвы этим элементом.

Табл. 4. Библиогр. 11.

УДК 631.81.095.337:633.854.54:631.445.2

Пукалова Е.Н. Эффективность применения микроудобрений при возделывании льна масличного на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве // Почвоведение и агрохимия. – 2014. – № 2(57). – С. 99.

По результаты исследований установлено, что более высокую эффективность (прибавку урожая льносемян 4,5 ц/га при рентабельности 202 и 217 %) обеспечивает внесение в некорневые подкормки микроудобрения МикроСил-Бор, Медь в дозе 0,075 кг/га (д.в.) и МикроСил-Бор в дозе 0,10 кг/га (д.в.).

Табл. 4. Библиогр. 10.

УДК 631.416.9:631.81.095

Шемет А.М., Фатеев А.И. Влияние физических и физико-химических свойств почв на биодоступность микроэлементов // Почвоведение и агрохимия. – 2016. – № 2(57). – С. 106.

В условиях вегетационного опыта выявлены некоторые закономерности поступления микроэлементов в растения гороха, ячменя, гречихи и кукурузы из почв, которые значительно отличаются по основным почвенным показателям. Установлена тесная корреляционная связь между поступлением микроэлементов в растения и содержанием их подвижных соединений, гранулометрическим составом, рН почв.

Табл. 4. Библиогр. 7.

УДК 633.112.9:631.445.2:631.438

Цыбулько Н.Н., Шашко А.В. Поступление ^{137}Cs в растения яровой пшеницы и многолетних трав на торфяно-глеевой почве в зависимости от уровней калийного питания // Почвоведение и агрохимия. – 2016. – № 2(57). – С. 113.

На торфяно-глеевой почве изучено влияние возрастающих доз калийных удобрений и обеспеченности почвы подвижным калием на поступление ^{137}Cs в зерно яровой пшеницы и сено многолетних бобово-злаковых трав. Установлено, что между содержанием подвижного калия в почве и поступлением ^{137}Cs в продукцию существует тесная обратно пропорциональная связь ($R^2 = 0,55$). Наиболее существенное снижение коэффициентов перехода ^{137}Cs в растения наблюдается при повышении обеспеченности почвы K_2O в диапазоне 200–700 мг/кг почвы.

При содержании в почве P_2O_5 748 мг/кг и K_2O 625 мг/кг наиболее эффективным под яровую пшеницу является применение фосфорных и калийных удобрений в дозах $\text{P}_{60}\text{K}_{120}$, снижающее поступление ^{137}Cs в зерно в среднем на 24 %. При возделывании многолетних бобово-злаковых трав максимальное снижение содержа-

ния ^{137}Cs в сене (2,2–3,0 раза) обеспечивает применение фосфорных удобрений в дозе P_{60} и калийных удобрений в дозе K_{240} .

На торфяно-глеевой почве в отличие от исходной торфяно-болотной почвы коэффициенты перехода ^{137}Cs в зерно яровой пшеницы ниже в среднем в 5 раз, в сено многолетних бобово-злаковых трав – в 2 раза, а по сравнению с дерново-подзолистой супесчаной почвой параметры миграции радионуклида в зерно яровой пшеницы выше в 2 раза, в сено многолетних бобово-злаковых трав – близкие по значению.

Табл. 3 Рис. 4. Библиогр. 24.

УДК 631.461:631.445.2

Лапа В.В., Михайловская Н.А., Касьянчик С.А., Погирницкая Т.В. Активность оксидаз в высоко окультуренной дерново-подзолистой легкосуглинистой почве при разных уровнях минерального питания сельскохозяйственных культур // Почвоведение и агрохимия. – 2016. – № 2(57). – С. 124.

В полевом опыте на высоко окультуренной дерново-подзолистой легкосуглинистой почве определены биохимические показатели активности гумификации по ключевым процессам окислительной полимеризации ароматических соединений – за счет кислорода воздуха (полифенолоксидазы) и за счет кислорода перекиси водорода (пероксидазы) в зависимости от уровня минерального питания сельскохозяйственных культур.

Табл. 6. Библиогр. 18.

УДК 634.74:631.533.3:581.143.6:631.82

Кухарчик Н.В. Минеральное питание аронии черноплодной при выращивании на искусственных питательных средах // Почвоведение и агрохимия. – 2016. – № 2(57). – С. 134.

Исследования проведены в отделе биотехнологии РУП «Институт плодоводства», ГНУ «Институт физико-органической химии НАН Беларуси». С использованием ионной хроматографии и атомно-эмиссионной спектроскопии определен химический состав питательных сред для культивирования *in vitro* растений-регенерантов аронии черноплодной на этапах микроразмножения и ризогенеза *in vitro*. Установлена структура потребления элементов питания, показаны различия в использовании ионов на различных этапах онтогенеза. Установлено существенное изменение исходного соотношения ионов, повышения концентрации отдельных ионов в питательной среде к концу пассажа, за счет неравномерного использования их растениями.

Табл. Рис. 4. Библиогр. 13.

УДК 631.41

Плиско И.В. Проявление физической деградации пахотных почв Украины и пути ее преодоления (аналитический обзор) // Почвоведение и агрохимия. – 2016. – № 2(57). – С. 141.

На основе анализа собственных исследований и литературных данных по физической деградации пахотных почв Украины осуществлен обзор количественных и качественных критериев физической деградации пахотных почв, дано определение физической деградации. Рассмотрены причины ее возникновения и развития, выявлены ареалы склонности почв к физической деградации – потери агрономически полезной структуры, проявления глыбистости, распыления и переуплотнения, обосновано применение на этих территориях эффективных профилактических мероприятий. На основании анализа состояния исследований по физической деградации пахотных почв Украины обозначены проблемы, требующие решения.

Установлено, что наиболее актуальными задачами являются регионализация информации о физической деградации пахотных почв, определение нормативных параметров обесструктурирования и переуплотнения и разработка предложений по ведению бездеградационного земледелия.

Табл. 2. Рис. 3. Библиогр. 9.

ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ

Научный журнал «Почвоведение и агрохимия» согласно приказу ВАК Республики Беларусь от 4.07.2005 № 101 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 22.02.2006 № 2) и иметь следующую структуру: индекс по Универсальной десятичной классификации (УДК); введение; основную часть (разделы – методика и объекты исследования, 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 А 4, но не менее 14 тыс. печатных знаков.

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.

Список литературы оформляется в соответствии с ГОСТ 7.1-2003 «Библиографическая запись. Библиографическое описание. Общие требования и правила составления», ссылки нумеруются согласно порядку цитирования в тексте. Порядковые номера ссылок по тексту должны быть написаны внутри квадратных скобок (например [1], [2]). Ссылка на неопубликованные работы не допускается.

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).

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.

Ответственная за выпуск *Н.Ю. Жабровская*
Редактор *Т.Н. Самосюк*
Компьютерная верстка *Е.А. Титовой*

Подписано в печать 22.12.2016. Формат 70x100 1/16. Бумага офсетная.
Усл. печ. л. 13,65. Уч.-изд. л. 10,26. Тираж 100 экз. Заказ 461.

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