

СОДЕРЖАНИЕ

Номер 10, 2020

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ СТАТЬИ

Плодородие почв

Содержание подвижного фосфора в почве в зернопаровом севообороте при разных уровнях химизации в лесостепи Новосибирского Приобья <i>В. Е. Синещиков, Т. Н. Крупская</i>	3
Оценка производительной способности и изменение свойств черноземов Красноярского края <i>А. А. Шпедт, Ю. Н. Трубников</i>	9
Сравнительная характеристика агрохимических свойств почв в агроландшафтах с западинным микрорельефом <i>О. И. Сапрыкин, Г. А. Конарбаева, Б. А. Смоленцев</i>	15
Влияние сельскохозяйственных культур на ферментативную активность черноземов Ростовской области при использовании различных агротехнологий <i>Т. В. Минникова, Г. В. Мокриков, К. Ш. Казеев, С. И. Колесников</i>	20
О методических подходах к расчету баланса гумуса в севообороте <i>С. И. Новоселов</i>	28

Пестициды

Интенсификация производства зерна пшеницы, фитосанитария и защита растений в Центральном районе России <i>С. С. Санин, Б. И. Сандухадзе, Р. З. Мамедов, Л. В. Карлова, Л. Г. Корнева, О. М. Рулева</i>	36
Фитосанитарные проблемы пшеничного поля и эффективность средств защиты от болезней <i>А. Ю. Кекало, В. В. Немченко, Н. Ю. Заргарян, А. С. Филиппов</i>	45
Десикация: современные средства и контроль остаточных количеств <i>А. Б. Лаптиева, Н. С. Волосатова</i>	51

Агроэкология

Влияние известкования различными мелиорантами на величину pH_{KCl} в свежепроизвесткованных дерново-подзолистых почвах (по данным лабораторных опытов) <i>О. Ю. Павлова, А. В. Литвинович, А. В. Лаврищев, В. М. Буре</i>	58
Влияние строительства трассы магистрального трубопровода на свойства дерново-подзолистой почвы и продуктивность фитоценозов <i>М. Ф. Овчинникова</i>	65
Исследование влияния антибиотиков различных групп на целлюлозолитическую активность дерново-подзолистой почвы методом лабораторного моделирования <i>Т. А. Трифонова, С. М. Чеснокова, А. Г. Космачева</i>	72

Экотоксикология

Экологическое нормирование состояния почв, загрязненных тяжелыми металлами <i>И. О. Плеханова, О. А. Золотарева</i>	79
--	----

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Выявление фальсифицированной продукции на основе альфа-нафтилтиомочевины <i>Л. А. Носикова, А. Н. Кочетов, Л. Г. Кузьмина</i>	89
--	----

Contents

No. 10, 2020

EXPERIMENTAL ARTICLES

Soil Fertility

- Mobile Phosphorus Content in the Soil in Grain Coupling at Different Levels Chemisations in Forest-Steppe of Novosibirsk Ob Region
V. E. Sineshchekov, T. N. Krupskaya 3
- Chernozems of the Krasnoyarsk Region: Assessment of the Current State and Production Potential
A. A. Shpedt, Yu. N. Trubnikov 9
- Comparative Description of Soil Agrochemical Properties in Agricultural Landscapes with Microdepressions
O. I. Saprykin, G. A. Konarbaeva, B. A. Smolentsev 15
- Influence of Agricultural Crops on the Enzymatic Activity of Chernozems of the Rostov Region Using Various Agrotechnologies
T. V. Minnikova, G. V. Mokrikov, K. Sh. Kazeev, S. I. Kolesnikov 20
- About Methodological Approaches to Calculation the Balance of Humus in Crop Rotation
S. I. Novoselov 28

Pesticides

- Intensification of Wheat Grain Production, Phytosanitary and Plant Protection in Central District of Russia
S. S. Sanin, B. I. Sandukhazee, R. Z. Mamedov, L. V. Karlova, L. G. Korneva, O. M. Ruleva 36
- Phytosanitary Problems of Wheat Field and Effectiveness of Means for Protection against Diseases
A. Yu. Kekalo, V. V. Nemchenko, N. Yu. Zargaryan, A. S. Filippov 45
- Desiccation: Novel Preparations and Monitoring of Residues
A. B. Laptiev, N. S. Volosatova 51

Agroecology

- Influence of Liming by Various Meliorants on the pH_{KCl} Value in Freshly Limed Sod-Podzolic Soils (according to laboratory experiments)
O. Yu. Pavlova, A. V. Litvinovich, A. V. Lavrishchev, V. M. Bure 58
- Influence of Construction of the Main Pipeline Route on the Properties of Sod-Podzolic Soil and Productivity of Phytocenoses
M. F. Ovchinnikova 65
- Estimation of the Impact of Antibiotics of Different Groups on Cellulolytic Activity of Sod-Podzolic Soil
T. A. Trifonova, S. M. Chesnokova, A. G. Kosmacheva 72

Ecotoxicology

- Ecological Regulation of the State of Soils Contaminated Heavy Metal
I. O. Plekhanova, O. A. Zolotareva 79

RESEARCH METHODS

- Detection of Counterfeited Products Based on Alpha-Naphthylthiourea
L. A. Nosikova, A. N. Kochetov, L. G. Kuz'mina 89
-

СОДЕРЖАНИЕ ПОДВИЖНОГО ФОСФОРА В ПОЧВЕ В ЗЕРНОПАРОВОМ СЕВООБОРОТЕ ПРИ РАЗНЫХ УРОВНЯХ ХИМИЗАЦИИ В ЛЕСОСТЕПИ НОВОСИБИРСКОГО ПРИОБЬЯ

© 2020 г. В. Е. Синещев^{1,*}, Т. Н. Крупская¹

¹ Сибирский научно-исследовательский институт земледелия и химизации сельского хозяйства
Сибирского федерального научного Центра агробиотехнологий РАН
630501 р.п. Краснообск, Новосибирский р-н, Новосибирская обл., Россия

*E-mail: sivi_01@mail.ru

Поступила в редакцию 03.02.2020 г.

После доработки 05.03.2020 г.

Принята к публикации 10.07.2020 г.

В лесостепи Новосибирского Приобья на основе анализа и обобщения результатов многолетних исследований (2010–2018 гг.) за период парования в 4-польном зернопаровом севообороте на экстенсивном фоне выявлено увеличение содержания подвижного фосфора в слое 0–20 см чернозема выщелоченного в интервале показателей средней обеспеченности. На интенсивном фоне количество этого элемента было на уровне очень высокой обеспеченности в начале и конце парования (1.81–1.95 мг/кг). Показана его динамика в начале и конце вегетации яровой пшеницы после парового и зерновых предшественников при разных уровнях химизации.

Ключевые слова: подвижной фосфор, чернозем выщелоченный, слой, зернопаровой севооборот, экстенсивный, интенсивный фоны, обеспеченность низкая, средняя, высокая.

DOI: 10.31857/S0002188120100129

ВВЕДЕНИЕ

В сельскохозяйственном поясе Западной Сибири достаточно широко освоены 4-польные зернопаровые, зернотравяные и другие полевые севообороты с учетом особенностей почв, климата и ресурсов сельскохозяйственных предприятий в новых социально-экономических условиях [1]. На примере лесостепи Новосибирского Приобья исследователями убедительно показана высокая агроэкологическая эффективность 4-польных полевых севооборотов [1, 2]. При этом на основе анализа многолетних экспериментальных данных получен вывод, что химические средства интенсификации земледелия являются ключевым фактором в повышении агроэкологической эффективности полевых севооборотов [1]. Однако в литературе недостаточно освещены агрохимические аспекты возделывания сельскохозяйственных культур в полевых севооборотах с короткой ротацией. В частности, не полностью раскрыты особенности фосфорного питания растений в 4-польных севооборотах на черноземах выщелоченных лесостепи Новосибирского Приобья.

Знание этих особенностей обеспечит условия для рационального применения пока еще отно-

сительно дорогостоящих фосфорсодержащих удобрений при возделывании полевых культур. Поэтому продолжение исследований по изучению особенностей фосфорного питания растений в полевых севооборотах с короткой ротацией очевидно. Также представляют научный интерес источники фосфора для растений и оценка их вклада в подвижный фонд фосфора [3], его баланс при использовании почв сельскохозяйственного назначения [4, 5], совершенствование нормативно-справочной базы с учетом происходящих изменений в сельском хозяйстве Российской Федерации [6]. Тем более, во многих регионах Российской Федерации в настоящее время серьезную озабоченность вызывает ситуация, сложившаяся с балансом фосфора, вынос которого урожаем превысил его поступление в почву, вследствие этого стали увеличиваться площади пашни с низкой обеспеченностью подвижным фосфором, в том числе и черноземных почв [7–9].

Содержание подвижного фосфора в почве определяется целым рядом факторов. Для оценки фосфорного питания растений в конкретных севооборотах необходимо иметь достаточно полное представление об их агротребованиях к мине-

ральному питанию, в частности к фосфорным удобрениям, особенностях фосфатного фонда почв, динамики подвижного фосфора в течение периода вегетации сельскохозяйственных культур после различных предшественников, характере использования земли и т.п. Одной из причин неоднозначности процессов мобилизации фосфора, в частности, в пару на территории Западной Сибири, отмеченной рядом исследователей, являются особенности фосфатного фонда почв. По результатам исследований [10] установлено, что в пределах Приобья Новосибирской обл., Присалаирье и Кулунде в питании растений преобладает сорбированный фосфор, его мобилизация в пару очень слабая. На указанной территории в почвах много высокоосновных фосфатов Ca^{2+} (17% от валового), высоки константы сорбции. В почвах Ишим-Иртышского и Тобол-Ишимского междуречий с повышенной растворимостью солей фосфора и облегченным гранулометрическим составом пахотного горизонта содержание P_2O_5 в пару возрастает на 20–25% к исходному. В Кузнецкой котловине при наличии повышенной гидролитической кислотности почв размеры мобилизации P_2O_5 в пару увеличиваются до 35–39%.

Анализ литературных данных показал, что на содержание подвижного фосфора в почве также определенное влияние оказывает характер использования почвы. Например, на черноземных почвах в лесостепи Красноярского края установлено снижение количества P_2O_5 в результате парования [11]. В вегетационном опыте с черноземом выщелоченным Новосибирского Приобья после парования содержание доступного фосфора практически осталось на уровне исходных показателей [12]. В аналогичных опытах с выщелоченными черноземами Омского Прииртышья, по данным [13], не было существенных различий содержания фосфора в почве между полями, занятыми паром и зябью. По этому вопросу имеется и другое мнение. Например, в работе [14] показали, что в черноземах лесостепи и степи Алтая статистически достоверно более высокое содержание подвижного фосфора в паровых полях, чем в полях яровой пшеницы и кукурузы. По данным [15], парование черноземных почв Новосибирской области при оптимальных условиях температуры и влажности способствовало накоплению подвижных фосфатов, извлекаемых раствором 0.03 н. K_2SO_4 . Имеются также сведения о влиянии метеорологических условий на запасы подвижного фосфора в почве [6].

Наряду с рассмотренными факторами, оказывающими влияние на запасы фосфора в почвах, к ним следует отнести длительность изучения влияния полевых севооборотов на содержание указанного элемента. Нередко в литературе освещены данные, полученные в опытах продолжительностью не более 5 лет. На наш взгляд, научная информация, полученная в длительных стационарных опытах, имеет наибольшую научную значимость.

Цель работы — анализ и обобщение многолетних экспериментальных данных (2010–2018 гг.) содержания подвижного фосфора в черноземах выщелоченных в начале и конце вегетации сельскохозяйственных культур в 4-польном зернопаровом севообороте при разных уровнях химизации в условиях лесостепи Новосибирского Приобья.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследование проводили на Центральном опытном поле СибНИИЗиХ СФНЦА РАН (ОПХ Элитное, Новосибирская обл.), расположенном в центрально-лесостепном Приобском агроландшафтном районе Северо-Предалтайской лесостепной провинции [16]. Агроэкологическая группа земель — центрально-лесостепные плакорные земли, тип земель — выщелоченный среднесуглинистый чернозем в комплексе с серыми лесными почвами до 5%.

Мощность гумусового горизонта (A1) выщелоченного среднесуглинистого чернозема — 39 см, во всех почвенных горизонтах преобладают фракции крупной пыли (41–48%) и мелкого песка (19–26%). Плотность данной почвы варьирует от 0.85–1.23 г/см³ в пахотном (0–30 см) слое, до 1.46 г/см³ — в горизонте Вк. Удельная масса почвы составляет по горизонтам 2.4–2.5 г/см³. Сумма поглощенных оснований достигает в гумусовом горизонте 35, в иллювиальном — 27 мг-экв/100 г почвы. Обменная и гидролитическая кислотность незначительны, в составе обменных оснований преобладают кальций и магний. Содержание гумуса в пахотном слое почвы равно 4.2–4.8%, общего азота — 0.27–0.41%, подвижного фосфора (по Карпинскому–Замятиной) — 0.34–0.59 мг/кг, (по Чирикову) — 18.0–18.5 мг/100 г, обменного калия — 7.0–7.7 мг/100 г почвы.

По тепло- и влагообеспеченности центрально-лесостепной Приобской агроландшафтный район характеризуется следующим агроклиматическим потенциалом: среднемноголетняя сумма температур $>10^\circ\text{C}$ — 1770–1860 $^\circ\text{C}$, среднемноголетняя сумма осадков за год — 390–450 мм, в том числе за июнь — 50–55, за июль — 60–80, за август —

55–65 мм; среднемноголетний коэффициент увлажнения – 1.00–1.08, умеренное переувлажнение с $K_y > 1.27$ в районе повторяется 15% лет, умеренное увлажнение ($K_y = 1.00–1.27$) – 30%, умеренно дефицитное ($K_y = 0.79–1.00$) – 25%, дефицитное ($K_y = 0.58–0.79$) – 20%, остродефицитное ($K_y < 0.58$) – 10%.

Стационар по изучению севооборотов заложен в 1996 г. В опыте 8 полевых севооборотов и бессменная пшеница. В данной работе изучали содержание подвижного фосфора в почве лишь в зернопаровом севообороте пар черный–пшеница–пшеница–ячмень.

Поля изученного 4-польного севооборота площадью 475 м² размещены рендомизированно по блокам в 6 ярусов в трехкратной повторности, учетная площадь делянки 50.6 м². Указанный севооборот изучали на двух фонах интенсификации: 1 – экстенсивный (малоинтенсивный) – гербициды против всего спектра сорняков на фоне без удобрений; 2 – интенсивный – комплексное применение удобрений и средств защиты растений от вредных объектов (сорняков, болезней, вредителей). Дозы удобрений – N60P30 на 1 га севооборотной площади или N240P120 за 4-летнюю ротацию. В исследованном севообороте использовали следующие сорта: пшеница Новосибирская 31, ячмень Ача.

Подвижный фосфор определяли колориметрическим методом по Карпинскому–Замятиной [17], статистическую обработку данных осуществляли – по [18], дисперсионный и корреляционный анализ результатов проводили в программе Снедекор [19].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В 4-польном зернопаровом севообороте в поле перед парованием на экстенсивном фоне содержание подвижного фосфора в слое 0–40 см почвы было низким (0.30 мг/кг). При этом в изученных почвенных горизонтах отмечали дифференциацию содержания этого элемента. В слое 0–20 см была его значительная часть (0.44 мг/кг), которая соответствовала уровню средней обеспеченности. В почвенном слое 20–40 см его количество было на уровне низкой обеспеченности (0.16 мг/кг). На фоне комплексной химизации сохранялась указанная выше закономерность распределения этого элемента в изученных слоях. В частности, в слое 0–20 см его содержание было очень высоким (1.95 мг/кг) и снижалось до уровня низкой обеспеченности в слое почвы 20–40 см (0.30 мг/кг). Количество подвижного фосфора в слое 0–40 см

характеризовалось высокой обеспеченностью (1.12 мг/кг), что обусловлено очень высокой обеспеченностью его в слое 0–20 см. Приведенные экспериментальные данные указали на достоверное снижение содержания подвижного фосфора в почве от верхнего слоя 0–20 см к слою 20–40 см на изученных фонах химизации.

К концу парования в контроле содержание подвижного фосфора возросло, например, в слое 0–20 см достигло 0.53 мг/кг, но оставалось на уровне средней обеспеченности. В слое 20–40 см его количество было на уровне низкой обеспеченности (0.19 мг/кг), в слое 0–40 см возросло до уровня средней обеспеченности (0.36 мг/кг). На интенсивном фоне химизации в конце парования содержание фосфора оставалось очень высоким в слое 0–20 см (1.81 мг/кг), высоким в слое 0–40 см (1.06 мг/кг) и средним – в слое 20–40 см (0.38 мг/кг).

Перед посевом пшеницы после пара закономерности по распределению фосфора в изученных слоях почвы были аналогичными, охарактеризованными ранее при анализе содержания этого элемента в почве за период парования на исследованных фонах химизации (табл. 1). При посеве пшеницы после пара количественные характеристики этого показателя были несколько лучше. Например, в контроле содержание подвижного фосфора составило 0.64 мг/кг в слое 0–20 см и 0.42 мг/кг в слое 0–40 см, что соответствовало среднему уровню его обеспеченности. Низкой обеспеченностью изученного элемента (0.20 мг/кг) характеризовался слой почвы 20–40 см. На интенсивном фоне перед посевом пшеницы после пара его количество изменялось от средней обеспеченности (0.36 мг/кг) в слое 20–40 см до высокой обеспеченности (1.33 мг/кг) в слое 0–40 см и очень высокой обеспеченности этого элемента (2.29 мг/кг) – в слое 0–20 см.

После уборки яровой пшеницы после пара отмечали снижение содержания изученного элемента в почве в сравнении с исходным количеством весной, особенно на интенсивном фоне. При этом сохранялись указанные ранее закономерности распределения фосфора в почве по глубине. В контроле содержание этого элемента в почве было на уровне средней обеспеченности и составило 0.54 мг/кг в слое 0–20 см и 0.36 мг/кг – в слое 0–40 см. Лишь в слое 20–40 см его содержание оставалось на уровне низкой обеспеченности (0.19 мг/кг). На интенсивном фоне его количество изменялось от низкой обеспеченности в почвенном слое 20–40 см (0.32 мг/кг) до высокой (1.01 мг/кг) в слое 0–40 см и очень высокой (1.69 мг/кг) – в верхнем слое 0–20 см.

Таблица 1. Содержание подвижного фосфора в черноземе выщелоченном в 4-польном зернопаровом севообороте в лесостепи Новосибирского Приобья (2010–2018 гг.), мг/кг

Период отбора проб почвы	Фон химизации					
	экстенсивный			интенсивный		
	горизонт, см					
	0—20	20—40	0—40	0—20	20—40	0—40
Перед парованием	0.44	0.16	0.30	1.95	0.30	1.12
После парования	0.53	0.19	0.36	1.81	0.38	1.06
Перед посевом пшеницы после пара	0.64	0.20	0.42	2.29	0.36	1.33
После уборки пшеницы после пара	0.54	0.19	0.36	1.69	0.32	1.01
Перед посевом 2-й пшеницы после пара	0.46	0.18	0.32	2.28	0.33	1.35
После уборки 2-й пшеницы после пара	0.51	0.22	0.37	1.96	0.48	1.22
Перед посевом ячменя	0.38	0.17	0.28	2.20	0.27	1.24
После уборки ячменя	0.34	0.24	0.29	1.66	0.42	1.04
Среднее в севообороте	0.49	0.19	0.35	1.98	0.36	1.17
HCP_{05}	0.08	0.05	0.05	0.44	0.11	0.24

Перед посевом 2-й пшеницы после пара в контроле снижалось содержание подвижного фосфора в сравнении с 1-й культурой после пара. В этом случае его количество в почвенном слое 0–40 см составило 0.32 мг/кг, в слое 20–40 см – 0.18 мг/кг, что соответствовало уровню низкой обеспеченности и лишь верхний слой 0–20 см почвы характеризовался средней обеспеченностью (0.46 мг/кг). Под 2-й пшеницей количество фосфора на интенсивном фоне практически не отличалось от пшеницы после пара. Например, под посевом 2-й пшеницы содержание подвижного фосфора в слое почвы 0–20 см оставалось на уровне очень высокой обеспеченности (2.28 мг/кг). В почвенном слое 0–40 см его содержание было на уровне высокой обеспеченности (1.35 мг/кг). При этом содержание фосфора в слое почвы 20–40 см было традиционно низким (0.33 мг/кг).

После уборки 2-й пшеницы после пара на экстенсивном фоне содержание изученного элемента в почве было практически на уровне весенних показателей. При этом сохранялись указанные ранее закономерности распределения фосфора в почве. В контроле содержание этого элемента в почве было на уровне средней обеспеченности и составило 0.51 мг/кг в слое 0–20 см и 0.37 мг/кг – в слое 0–40 см. Лишь в слое 20–40 см его содержание оставалось на уровне низкой обеспеченности (0.22 мг/кг). На интенсивном фоне после уборки культуры его количество снижалось в сравнении с весенними показателями (табл. 1). Содержание подвижного фосфора в почве изменялось от сред-

ней обеспеченности в слое 20–40 см (0.48 мг/кг) до высокой (1.22 мг/кг) в слое 0–40 см и очень высокой (1.96 мг/кг) – в верхнем слое 0–20 см.

Перед посевом ячменя на экстенсивном фоне содержание подвижного фосфора в слое 0–20 см почвы было на уровне средней обеспеченности (0.38 мг/кг), в слоях 20–40, 0–40 см его содержание оценивалось низким уровнем обеспеченности и составило 0.17, 0.28 мг/кг соответственно. На интенсивном фоне количество фосфора значительно увеличилось. В слое 0–20 см его содержание было на уровне очень высокой обеспеченности (2.20 мг/кг), в слое 0–40 см снижалось до уровня высокой обеспеченности (1.24 мг/кг), в слое 20–40 см – на уровне низкой обеспеченности (0.27 мг/кг).

После уборки ячменя на экстенсивном фоне содержание подвижного фосфора снижалось в сравнении с весенними показателями (табл. 1). В слоях 0–20, 20–40 и 0–40 см его содержание было на уровне низкой обеспеченности и составило 0.34, 0.24 и 0.29 мг/кг соответственно. На интенсивном фоне количество подвижного фосфора уменьшилось в сравнении с весенними показателями. В слое 0–20 см оно характеризовалось очень высокой обеспеченностью (1.66 мг/кг), в слое 0–40 см содержание подвижного фосфора снижалось до уровня высокой обеспеченности (1.04 мг/кг) и средней обеспеченности в слое 20–40 см (0.42 мг/кг).

Таким образом, в среднем в севообороте на экстенсивном фоне содержание подвижного

фосфора в почве в слое 0–20 см находилось на уровне средней обеспеченности (0.48 мг/кг) и низкой как в слое 0–20 см (0.19 мг/кг), так и в слое 0–40 см (0.34 мг/кг). На интенсивном фоне этот слой характеризовался очень высокой обеспеченностью элементом (1.98 мг/кг), в слое 0–40 – высокой (1.17 мг/кг) и средней в слое 20–40 см (0.36 мг/кг).

ВЫВОДЫ

1. В лесостепи Новосибирского Приобья на основе анализа результатов многолетнего исследования (2010–2018 гг.) в 4-польном зернопаровом севообороте на черноземе выщелоченном в слое 0–20 см выявлено, что за период парования на экстенсивном фоне химизации произошло увеличение содержания подвижного фосфора от весны (0.44 мг/кг) к осени (0.53 мг/кг) в интервале показателей средней обеспеченности. На интенсивном фоне химизации количество этого элемента было на уровне очень высокой обеспеченности в начале и конце парования (1.81–1.95 мг/кг).

2. За вегетацию яровой пшеницы после парового предшественника на экстенсивном фоне отмечено снижение количества подвижного фосфора от 0.64 мг/кг весной до 0.53 мг/кг осенью, т.е. в интервале средней обеспеченности элементом. На интенсивном фоне уменьшение содержания этого элемента в почве происходило от 2.29 мг/кг перед посевом до 1.69 мг/кг после уборки, т.е. в пределах очень высокой его обеспеченности.

3. За период вегетации ячменя после зернового предшественника на экстенсивном фоне количество подвижного фосфора несколько снизилось в пределах от нижней границы средней обеспеченности (0.38 мг/кг) весной до верхней границы низкой (0.34 мг/кг) осенью, на интенсивном фоне – от 2.20 до 1.66 мг/кг соответственно, но в пределах очень высокой обеспеченности.

4. На экстенсивном фоне химизации во всех полях изученного севооборота содержание подвижного фосфора в слое 20–40 см весной (0.16–0.20 мг/кг) и осенью (0.19–0.24 мг/кг) было на уровне низкой обеспеченности. На интенсивном фоне химизации его содержание весной изменялось от средней обеспеченности (0.36 мг/кг) до низкой (0.27–0.33 мг/кг), осенью – от низкой (0.32 мг/кг) до средней обеспеченности (0.38–0.48 мг/кг).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Власенко А.Н., Захаров Г.М., Синещев В.Е., Шоба В.Н., Крупская Т.Н., Малыгин А.Е., Гусельни-

ков В.А. Агроэкологическая эффективность полевых севооборотов в лесостепи Западной Сибири: Метод. пособ. Новосибирск: СФНЦ РАН, 2019. 34 с.

2. Семендяева Н.В., Крупская Т.Н. Влияние севооборотов на содержание гумуса в черноземе выщелоченном Новосибирского Приобья // Теория и практика современной аграрной науки // Мат-лы 11-й национал. (Всерос.) научн. конф. (Новосибирск, 26 февраля 2019 г.). Новосибирск, 2019. С. 102–104.
3. Давлятин И.Д., Лукманов А.А., Маметов М.И. Источники фосфора и оценка их вклада в подвижный фонд этого элемента в пахотных почвах в лесостепной зоне // Достиж. науки и техн. АПК. 2018. Т. 32. № 4. С. 21–24.
4. Цвей Я.П., Иванова В.В., Петрова Е.Т. Влияние севооборота и системы удобрения на фосфатный режим чернозема выщелоченного // Земледелие. 2014. № 2. С. 17–20.
5. Перфильев Н.В., Вьюшина О.А. Изменение питательного режима темно-серой лесной почвы в посевах ячменя при различных системах основной обработки // Земледелие. 2019. № 5. С. 21–24.
6. Шафран С.А. Совершенствование нормативно-справочной базы для определения потребности сельскохозяйственных культур в минеральных удобрениях // Агрохимия. 2019. № 7. С. 27–34
7. Шафран С.А., Кирпичников Н.А. Научные основы прогнозирования содержания подвижных форм фосфора и калия в почвах // Агрохимия. 2019. № 4. С. 3–10.
8. Мельников А.И., Беленева Л.Г. Состояние и динамика агрохимических показателей пахотных земель Кулундинской зоны Алтайского края // Достиж. науки и техн. АПК. 2018. Т. 32. № 5. С. 11–14.
9. Дымова Л.В., Самсонова И.Г., Скокова О.В. Мониторинг плодородия почв на юго-востоке Алтайского края // Достиж. науки и техн. АПК. 2019. Т. 33. № 4. С. 46–49.
10. Антипина Л.П. Оптимизация фосфатного режима почв Новосибирской области. Метод. рекоменд. Новосибирск, 1990. 21 с.
11. Антипина Л.П. Об обеспеченности пшеницы фосфором на черноземах лесостепной зоны Красноярского края // Тр. КрасноярскНИИСХ. 1965. Т. 3. С. 43–50.
12. Попцов С.П. Трансформация фосфора почвы и удобрений при паровании // Регулирование фосфатного режима почв: научн.-тех. бюл. СибНИИЗ-Хим СО ВАСХНИЛ. Новосибирск, 1990. С. 8–12.
13. Кочергин А.Е. Фосфатный фонд почв и его доступность растениям // Почвы Западной Сибири и повышение их плодородия. Омск: ОМСХИ, 1984. С. 12–19.
14. Бурлакова Л.М. Плодородие Алтайских черноземов в системе агроценоза. Новосибирск: Наука, 1984. 233 с.
15. Аверкина С.С. Сравнительная оценка методов определения фосфора в черноземах Приобья Новосибирской области в связи с применением удоб-

- рений: Автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. Новосибирск, 1970. 25 с.
16. Кирюшин В.И., Власенко А.Н., Каличкин В.К. Адаптивно-ландшафтные системы земледелия Новосибирской области Новосибирск: РАСХН, СО, СибНИИЗХим, 2002. 388 с.
 17. Гинзбург К.Е. Методы определения фосфора в почве // Агрохимические методы исследования почв. М.: Наука, 1975. С. 106–190.
 18. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). М.: Агропромиздат, 1985. 351 с
 19. Сорокин О.Д. Пакет прикладных программ СНЕДЕКОР // Применение математических методов и ЭВМ в почвоведении, агрохимии и земледелии: Тез. докл. 3-й научн. конф. Рос. общ-ва почвоведов. Барнаул, 1992. С. 97.

Mobile Phosphorus Content in the Soil in Grain Coupling at Different Levels Chemisations in Forest-Steppe of Novosibirsk Ob Region

V. E. Sineshchekov^{a,#} and T. N. Krupskaya^a

^a Siberian Research Institute of Agriculture and Agricultural Chemicalization
of the Siberian Federal Scientific Center for Agrobiotechnology RAS
r.p. Krasnoobsk, Novosibirsk region, Novosibirsk district 630501, Russia

[#]E-mail: sivi_01@mail.ru

Based on an analysis of the results of many years of research (2010–2018) in the forest-steppe area of the Novosibirsk Ob region for the fallow period in the four-field grain-steam crop rotation against an extensive background, an increase in the reserves of mobile phosphorus was revealed in the range of the average availability in the layer of 0–20 cm leached chernozem. Against an intensive background, the stocks of this element in the 0–20 cm layer were at a very high level of supply at the beginning and end of fallowing. Along with this, the dynamics of this element at the beginning and end of spring wheat vegetation by steam and grain precursors at different levels of chemicalization was highlighted.

Key words: wheat, mobile phosphorus, leached chernozem, grain-steam crop rotation, extensive, intensive levels of chemicalization, low, medium, high provision.

УДК 631.445.4(571.51)

ОЦЕНКА ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОЙ СПОСОБНОСТИ И ИЗМЕНЕНИЕ СВОЙСТВ ЧЕРНОЗЕМОВ КРАСНОЯРСКОГО КРАЯ

© 2020 г. А. А. Шпедт^{1,2,*}, Ю. Н. Трубников^{1,3}

¹ Красноярский научно-исследовательский институт сельского хозяйства
Федерального исследовательского центра «Красноярский научный центр СО РАН»
660041 Красноярск, просп. Свободный, 66, Россия

² Сибирский федеральный университет
660041 Красноярск, просп. Свободный, 79, Россия

³ Красноярский государственный аграрный университет
660049 Красноярск, просп. Мира, 90, Россия

*E-mail: shpedtaleksandr@rambler.ru

Поступила в редакцию 31.01.2020 г.

После доработки 27.03.2020 г.

Принята к публикации 10.07.2020 г.

Приведена современная оценка производительной способности агрочерноземов Красноярского края, трансформация их свойств в условиях интенсивного земледелия. Общая площадь агрочерноземов региона составляет 4.1 млн га, среди них доминируют типы: агрочернозем глинисто-иллювиальный (60.2%) и агрочернозем (38.0%), которые составляют основу пашни региона. Средневзвешенная величина почвенно-экологических индексов (ПЭИ) агрочерноземов региона составляет 47.5 балла, изменяется от 47.7 до 31.9 балла и уменьшается в ряду: агрочернозем глинисто-иллювиальный — агрочернозем — агрочернозем текстурно-карбонатный. Производительная способность агрочерноземов оценивается величиной 20–24 ц/га и сопряжена с уровнем их естественного плодородия, гидротермическими условиями вегетационного периода и соблюдением научно обоснованных технологий возделывания сельскохозяйственных культур. Итоговая величина ПЭИ в большей степени определяется величинами почвенного индекса.

Ключевые слова: почва, агрочерноземы, производительная способность почвы, почвенно-экологический индекс.

DOI: 10.31857/S0002188120100117

ВВЕДЕНИЕ

Почвенно-земельные ресурсы — самая востребованная часть окружающей природной среды, экономическая и экологическая нагрузка на которую имеет постоянную тенденцию к возрастанию, и, что особенно важно, эти ресурсы представляют пространственную гарантию стабильной жизни и деятельности настоящего и будущих поколений. Согласно Почвенной карте РСФСР М 1 : 2500000 [1], общая площадь Красноярского края составляет 233.97 млн га или 13.7% территории РФ. На долю почвенного покрова приходится 224.14 млн га, что составляет 95.8% площади региона. В структуре почвенного покрова почти 35% занимают горные почвы, а площадь под лесными почвами составляет 108.86 млн га или 48.5% от почвенного покрова.

Красноярский край — один из крупнейших производителей продовольствия на востоке России. Регион занимает 2-е место в СФО по производ-

ству продукции сельского хозяйства, по урожайности зерновых культур на протяжении последних 15 лет — первое место. Средняя урожайность зерновых культур стабильно держится на уровне 22–24 ц/га и имеет значительную вариацию в хозяйствах и в природных зонах. Например, земледельцы Чулымо-Енисейской котловины, ведущие свое хозяйство преимущественно на агрочерноземах, на фоне высоких доз удобрений получают до 50 ц/га, хозяйства, расположенные в Ачинско-Боготольской лесостепи — 12–15 ц/га. Природно-климатические и экономические риски создают постоянные угрозы стабильности объемов сельхозпроизводства и обуславливают высокие издержки производителей. Среднегодовое количество осадков в степных и лесостепных зонах края меняется от 200 до 450 мм, что не гарантирует стабильного уровня высокой продуктивности сельскохозяйственных культур. Две трети осадков выпадает в теплый период. В большинстве лет мак-

симальное количество осадков приходится на вторую половину вегетации, минимальное — на первую. Исследования, проведенные на агрочерноземах Канской лесостепи, а также анализ зависимости урожайности зерновых культур на 10-ти госсортоучастках Красноярского края от количества осадков показали, что критический период растений по отношению к влаге приходится на интервал от 3-й декады мая до 1-й декады июля [2].

В соответствии с интегральной оценкой качества почв для сельскохозяйственного использования, проведенной в 2013 г., Красноярский край отнесен к “наиболее неблагоприятным” регионам [3]. Доля почв, непригодных для аграрного производства составляет 81%. Площадь самых плодородных, и, следовательно, наиболее продуктивных почв — агрочерноземов, по сравнению с общей площадью, незначительна — $\approx 2\%$, что соответствует $\approx 4,1$ млн га. По данным Управления Росреестра по Красноярскому краю, площадь сельхозугодий в регионе составляет 4921.7 тыс. га, в том числе: пашня — 2966.2, залежь — 125.5, сенокосы — 669.2, пастбища — 1145.7 тыс. га. Не используется 1136.6 тыс. га ранее распаханной земли, которые, по нашему мнению, фактически являются разновозрастными залежными землями. Благодаря этой обширной площади край является одним из главных производителей продовольственного и товарного зерна в Сибири. Сельскохозяйственное производство ведется, прежде всего, на наиболее плодородных, высокобонитетных почвах, требующих меньше затрат на обработку, удобрения и средства защиты растений.

На значительной площади пашни используют экстенсивные или среднеинтенсивные (нормальные) технологии возделывания сельскохозяйственных культур, при которых урожай формируется в основном за счет естественного плодородия почв, которое отражает их производительную способность. Оценка производительной способности почв крайне важна при определении их бонитета, распределении или перераспределении почвенных ресурсов между отраслями аграрного производства, определения инвестиционной привлекательности, повышения доходности земледелия. Огромные массивы черноземов все еще не востребованы, находятся под редколесьями, залежами, либо используются как пастбища. В настоящее время они должны рассматриваться как недоуценный резерв для расширения площади пахотных угодий и как важнейший, наиболее сбалансированный для жизни человека экологический ресурс. Безусловно, сибирские агрочерноземы уступают европейским аналогам в плодородии, имеют ряд провинциальных, чаще всего негативных особенностей, однако недооценивать

их производительную способность и экологическое значение нельзя.

Цель работы — определить производительную способность агрочерноземов Красноярского края и установить изменение их свойств при различных уровнях интенсификации земледелия.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

На основании обширного экспедиционного и аналитического материала установлено, что в пределах земледельческой части Красноярского края выделяется 4 типа агрочерноземов: агрочернозем глинисто-иллювиальный оподзоленный (4.7%), агрочернозем глинисто-иллювиальный (55.5%), агрочернозем (38.0%), агрочернозем текстульно-карбонатный (1.4%). Они не образуют выраженных почвенных поясов и представлены разными родами, видами и разновидностями: от малоплодородных мелких, слабогумусированных, часто карбонатных до высокоплодородных, среднемошных и мощных, тучных. Данные почвы приурочены к 6-ти природным округам: Ачинско-Боготольскому, Красноярскому, Канскому, Назаровскому, Чулымо-Енисейскому и Южно-Минусинскому. По распространению черноземов регион занимает 2-е место в СФО. Вместе с Алтайским краем здесь сосредоточено около 50% всех сибирских черноземов.

Полевые опыты проводили на комплексах черноземов выщелоченных и обыкновенных (по классификации 1977 г. [4]). В соответствии с классификацией 2004 г. [5], эти почвы относятся к агрочерноземам глинисто-иллювиальным и агрочерноземам Канской лесостепи (Солянский стационар), а также комплексам деградированных агрочерноземов и агрочерноземов глинисто-иллювиальных Красноярской лесостепи (Мининский стационар) (табл. 1). Анализы агрохимических свойств почв проводили по общепринятым методикам [6]. Производительную способность почв оценивали по уровню урожайности культур в контрольных вариантах полевых агрохимических опытов. Почвенно-экологические индексы (ПЭИ) рассчитывали по апробированной методике [7, 8]. Результирующий ПЭИ, как итоговый показатель, определяли как произведение почвенного, климатического и агрохимического индексов. Расчет индексов выполнен при помощи автоматизированной электронной системы (АЭС), разработанной на базе Microsoft Excel. Для расчетов привлекали результаты собственных исследований и опубликованные данные [9]. По каждому из показателей имеются математически достоверные средние и их доверительный интервал.

Высокое содержание гумуса характерно для агрочерноземов глинисто-иллювиальных и агро-

Таблица 1. Агрохимическая характеристика почв опытных стационаров (слой 0–20 см почвы)

Гумус, %	рН _{KCl}	N-NO ₃ (кушение), мг/кг почвы	P ₂ O ₅	K ₂ O
			мг/100 г почвы (по Чирикову)	
Агрочернозем глинисто-иллювиальный в комплексе с агрочерноземом (Солянка)				
5.5–6.8	6.2–6.6	5.5–7.5	19.8	16.1
Агрочернозем в комплексе с агрочерноземом глинисто-иллювиальным (Минино)				
4.3–5.4	6.7–7.1	5.4–6.9	20.4	18.5

Таблица 2. Основные исходные данные для расчета ПЭИ агрочерноземов

Площадь, тыс. га		Гумус, %	Грануломет- рический состав	pH _{KCl}	Содержание		Сумма за год	
общая	пашни				P ₂ O ₅	K ₂ O	T > 10°C	осадки, мм
Агрочернозем глинисто-иллювиальный оподзоленный								
191.4	176.9	9.7	Тяжелый суглинок	6.2	Очень высокое		1725	390
Агрочернозем глинисто-иллювиальный								
2301.1	1053.0	8.5	Тяжелый суглинок	6.5	Очень высокое		1750	360
Агрочернозем								
1563.5	722.4	7.7	Тяжелый суглинок	7.1	Очень высокое		1775	320
Агрочернозем дисперсно-карбонатный								
56.5	19.9	4.5	Средний суглинок	7.1	Высокое		1825	300

черноземов (табл. 2). Агрочернозем глинисто-иллювиальный и агрочернозем дисперсно-карбонатный отличаются от него меньшим содержанием гумуса на 1 и 2% соответственно. Все почвы имеют близкую к нейтральной реакцию, очень высокую и высокую обеспеченность подвижным фосфором и обменным калием.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Агрочерноземы Красноярского края обладают хорошими физическими, водно-физическими, физико-химическими и агрохимическими свойствами. Это самые плодородные почвы региона. Температурный режим агрочерноземов относится к умеренно-холодному длительно-промерзающему фациальному подтипу [4], более напряженному по сравнению с западно-сибирскими и особенно европейскими аналогами [10]. Жесткий температурный режим определяет ряд провинциальных особенностей красноярских агрочерноземов: укороченный гумусовый горизонт, повышенная гумусированность, карманистость, наличие признаков оглеения, слоистая текстура, короткий период биологической активности и, как следствие, повышенная эффективность азот-

ных удобрений. Для данных почв характерна комплексность почвенного покрова и литологическая неоднородность почвообразующих пород. Палеокриогенный бугристо-западинный рельеф территории обуславливает формирование парагенетических рядов почв и значительную пестроту почвенного покрова, активно проявляющуюся в сильном варьировании урожайности сельскохозяйственных культур. Одно из проявлений комплексности и пестроты почвенного покрова – это наличие затеков, языков или карманов на границе гумусового и иллювиального горизонтов. Такие образования формируются под влиянием резкой засухи летом и сильного промерзания зимой, что приводит к растрескиванию почвы и перемещению мелкозема, обогащенного гумусом, вниз по профилю почвы. Примерно 50% всех черноземов распаханы, поэтому широко распространены их эродированные и дефлированные разновидности.

В структуре почвенного покрова распаханых массивов Красноярского края агрочерноземы занимают ≈62%. ПЭИ основных типов этих почв достаточно высокий, находится в пределах 47–

Таблица 3. Промежуточные индексы и итоговый ПЭИ агрочерноземов

Наименование почвы	Индекс			
	почвенный	агрохими- ческий	климати- ческий	итоговый
Агрочернозем глинисто-иллювиальный оподзоленный	10.08	1.23	3.85	47.7
То же среднеэродированный	6.96	1.03	3.85	27.6
Агрочернозем глинисто-иллювиальный	9.98	1.23	3.88	47.6
То же среднеэродированный	6.88	1.03	3.88	27.5
Агрочернозем	10.26	1.23	3.77	47.6
То же среднедефлированный	9.02	1.03	3.77	35.0
Агрочернозем дисперсно-карбонатный	7.22	1.14	3.87	31.9
То же среднедефлированный	6.37	1.03	3.87	25.4
Среднее для неэродированных почв	10.11	1.21	3.83	43.7
Средневзвешенное для неэродированных почв	—	—	—	47.5
Среднее для эродированных и дефлированных почв	7.62	1.03	3.83	30.1

48 баллов и снижается в агрочерноземе текстурно-карбонатном до 32 баллов (табл. 3).

Эрозия существенно (на 20 баллов), а дефляция менее значимо (7–13 баллов) понижают их ценность. В целом агрочерноземы региона имеют высокие для Сибири почвенный и агрохимический индексы, а также итоговый ПЭИ. Если же сравнивать по этим показателям агрочерноземы Красноярского края с агрочерноземами Краснодарского края, имеющих ПЭИ, равный 100 баллам, то оказывается, что разница в их плодородии составляет 2, а с учетом эрозии и дефляции — более чем 3 раза.

В условиях региона проведена серия полевых многолетних опытов по изучению влияния содержания гумуса, лабильных гумусовых веществ на продуктивность зерновых культур. Определены математические зависимости, на основе которых построены модели урожайности и разработаны градации содержания в почве гумуса и лабильных гумусовых веществ. Зависимости между содержанием в почве гумуса, его лабильных форм и урожайностью характеризуются как прямые и средние. Связь существенна только при достаточно низких величинах содержания гумуса (2.1–5.1%) и лабильных гумусовых веществ (90–393 мг С/100 г почвы). Этот вопрос подробно рассмотрен в ранее опубликованной работе [11]. Для агрочерноземов глинисто-иллювиальных, среднесуглинистого и тяжелосуглинистого гранулометрического состава применительно к зерновым культурам предложено использовать следующие оценочные градации: содержание гумуса (%) — <2.0 — очень низкое, 2.0–3.0 — низкое, 3.0–4.0 — среднее, 4.0–5.0 — высокое, >5.0 — очень высо-

кое; содержание лабильных гумусовых веществ (мг С/100 г почвы) — <100 — очень низкое, 100–200 — низкое, 200–300 — среднее, 300–400 — высокое, >400 — очень высокое.

На территории региона интенсивно развивается водная, ветровая и комплексная эрозия. Эрозии разных видов и интенсивности подвержено 1249.5 тыс. га сельскохозяйственных угодий, из них: дефляции — 663.9 (53.1%), водной эрозии — 397.2 (31.8%), комплексной — 188.4 тыс. га (15.1%) [12]. Наличие эрозии стало результатом взаимодействия природных факторов и хозяйственной деятельности человека, выразившейся в сведении лесных массивов, сплошной распахке земледелия, без учета ландшафтных особенностей и отсутствия противоэрозионных мероприятий. Созданные в 1960-е гг. лесные полосы в основном находятся в неудовлетворительном состоянии и не способны обеспечить защиту почвенного покрова.

На основании многолетних исследований установлено [13], что в агропочвах региона содержание лабильного органического вещества (ЛОВ) изменяется в пределах 0.15–1.55% массы почвы. По сравнению с почвами, занятыми сельскохозяйственными культурами, содержание ЛОВ уменьшается в почвах чистых паров на 30 и увеличивается в почвах разновозрастных залежей на 59%. Для оценки содержания ЛОВ пахотных почв земледельческой части края предложена градация (%): <0.30 — очень низкое, 0.31–0.60 — низкое, 0.61–0.90 — среднее, 0.91–1.20 — повышенное, 1.21–1.50 — высокое, >1.51 — очень высокое. Для оценки степени выпашанности почв используют долю содержания ЛОВ в органическом веществе почвы (%). Применительно к пахотным почвам

Таблица 4. Урожайность сельскохозяйственных культур при длительном применении удобрений, (среднее за 8 ротаций севооборота) на комплексе агрочернозема глинисто-иллювиального и агрочернозема, ц з.е./га

Вариант	Пшеница		Ячмень		Горохоовсяная смесь		Пшеница		Овес	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
Контроль	23.1	26.3	25.6	24.6	17.1	16.1	18.2	17.7	18.6	20.0
N40	25.9	27.1	38.6	40.4	23.9	21.3	25.9	24.0	27.2	26.3
N40P20K20	26.7	27.3	39.0	43.6	24.6	22.7	28.4	26.5	26.7	25.4

Примечание. В графе 1 — урожайность после чистого пара, 2 — урожайность после сидерального пара (среднее за 3 года для каждой культуры).

Красноярского края предложена градация (балл): <3.0 — очень слабая, 3.1–6.0 — слабая, 6.1–9.0 — средняя, 9.1–12.0 — сильная, >12.1 — очень сильная.

Уровень плодородия агрочерноземов и обеспеченность региона осадками обуславливает целесообразность внедрения в систему земледелия края зернопропашных севооборотов [14]. Опыты, проведенные на агрочерноземах Канской лесостепи (Солянский стационар КНИИСХ), показали, что без применения удобрений урожайность зерновых культур севооборота в среднем составляет 20–24 ц з.е./га (табл. 4). В опытах с удобрениями на агрочерноземах Красноярской лесостепи (Мининский стационар КНИИСХ) установлено, что при благоприятных гидротермических условиях вегетационного периода урожай ячменя достигает 30–35 ц/га без удобрений и до 50 ц/га — при внесении N55P20K40 [15]. Эта величина может служить оценкой производительной способности черноземов Красноярского края. Длительное применение минеральных удобрений (N40P20K20) на комплексе агрочернозема глинисто-иллювиального и агрочернозема за 7 ротаций 6-польного севооборота увеличило содержание обменного калия в почве с 16.9 до 19.4, подвижного фосфора — с 20.9 до 25.4 мг/100 г почвы. Внесение органических удобрений (навоз КРС 30–60 т/га в паровое поле) не обеспечило достоверного увеличения содержания гумуса (0.28% при $HCP_{05} = 0.30$), но определило повышение содержания подвижного фосфора ($r = 0.80$), а также улучшило нитрификационную способность почвы ($r = 0.76$). Использование удобрений привело к повышению продуктивности севооборотов на 40–50%. Наибольшую окупаемость 1 кг д.в. обеспечили азотные удобрения — 20–35 кг зерна, а окупаемость 1 кг д.в. фосфорных удобрений составила 18–27 кг зерна [16].

В Красноярском крае не используется 1.14 млн га ранее распаханых земель, которые фактически можно считать разновозрастными залежами. Накопление гумуса и его подвижных соединений, а также общего азота в почве в условиях залежи

происходит пропорционально продолжительности периода сезонной биологической активности почв: чем он продолжительнее (в границах 104–122 сут), тем быстрее восстанавливается гумусное состояние [17]. Предложен регламент освоения залежных земель в зависимости от степени интенсификации хозяйств. Для оптимизации использования и вовлечения в пахотный фонд залежных земель необходимо проведение инвентаризации земель сельскохозяйственного назначения на уровне хозяйств, формирование агроландшафтов с оптимальным соотношением угодий. Ограничением для перевода земель из залежи в пашню может служить высокая доля (в %) распаханности территории, проявление дефляции почв в сильной степени, наличие крутых склонов ($>7^\circ$), загрязнение почв химическими соединениями.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Общая площадь агрочерноземов в Красноярском крае составляет 4.1 млн га, среди них доминируют типы агрочернозем глинисто-иллювиальный (60.2%) и агрочернозем (38.0%). Почвы обладают хорошими физическими, водно-физическими, физико-химическими и агрохимическими свойствами. Жесткий температурный режим определяет ряд провинциальных особенностей красноярских агрочерноземов: укороченный гумусовый горизонт, повышенную гумусированность, короткий период биологической активности, карманность, наличие признаков оглеения, слоистую текстуру. Данные почвы составляют основу пашни региона.

Установлено, что производительная способность агрочерноземов оценивается на уровне 20–24 ц/га и зависит от уровня естественного плодородия почв, гидротермических условий вегетационного периода и соблюдения научно-обоснованных технологий возделывания сельскохозяйственных культур.

Показано, что почвенно-экологический индекс (ПЭИ) агрочерноземов изменяется от 47.7 до 31.9 балла, и уменьшаются в ряду: агрочернозем глинисто-иллювиальный — агрочернозем — агрочернозем дисперсно-карбонатный. Развитие эрозии и дефляции в средней степени понижает величину ПЭИ соответственно на 20 и 7–13 баллов.

Величина итогового почвенно-экологического индекса в большей степени определяется показателями почвенного индекса. Величины агрохимического и климатического индексов нивелированы в связи с тем, что оценивали почвы одного генезиса, близкие по свойствам и особенностям плодородия.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Почвенная карта РСФСР М 1 : 2 500 000 / Под ред. Фридланд В.М. М.: ГУГК СМ СССР, 1988. 16 л.
2. Рудой Н.Г. Производительная способность почв Приенисейской Сибири. Красноярск: Изд-во КрасГАУ, 2010. 240 с.
3. Иванов А.Л., Савин И.Ю., Столбовой В.С. Качество почв России для сельскохозяйственного использования // Докл. РАСХН. 2013. № 6. С. 41–45.
4. Классификация и диагностика почв СССР. М.: Колос, 1977. 224 с.
5. Шишов Л.Л., Тонконогов В.Д., Лебедева И.И., Герасимова М.И. Классификация и диагностика почв России. Смоленск: Ойкумена, 2004. 342 с.
6. Агрохимические методы исследования почв. М.: Наука, 1975. 656 с.
7. Карманов И.И. Методика и технология почвенно-экологической оценки и бонитировки почв для сельскохозяйственных культур. М.: РАСХН, 1990. 114 с.
8. Карманов И.И. Почвенно-экологическая оценка и бонитировка почв // Теоретические основы и пути регулирования плодородия почв. М.: Агропромиздат, 1991. С. 161–233.
9. Крупкин П.И. Черноземы Красноярского края: Монография. Красноярск: Изд-во КрасГУ, 2002. 332 с.
10. Бугаков П.С., Горбачева С.М., Чупрова В.В. Почвы Красноярского края. Красноярск: Красноярск. кн. изд-во, 1981. 128 с.
11. Шпедт А.А. Влияние гумусовых веществ черноземов Красноярского края на продуктивность зерновых культур // Агрохимия. 2016. № 2. С. 3–9.
12. Лисунов В.В. Обработка почвы в Восточной Сибири. Новосибирск: РАСХН, СО, 2002. 276 с.
13. Шпедт А.А., Вергейчик П.В., Картавых В.В. Оценка легкоразлагаемого органического вещества почв сельскохозяйственных угодий Красноярского края // Агрохимия. 2015. № 12. С. 36–43.
14. Рудой Н.Г., Трубников Ю.Н. Продуктивность зернопаропропашного севооборота на черноземах в Приенисейской Сибири // Вестн. КрасГАУ. 2016. Вып. 2. С. 134–138.
15. Ялтонский М.А., Тихонова Т.М. Влияние различных систем удобрения на величину и качество урожая и агрохимические показатели почвы в звене рапс — ячмень при различных способах основной обработки // Плодородие почв и агротехника сельскохозяйственных культур в Восточной Сибири: Сб. научн. тр. Новосибирск: ВАСХНИЛ, СО, КрасноярскНИИСХ, 1990. С. 127–134.
16. Трубников Ю.Н. Влияние длительного применения удобрений на агрохимические свойства и производительную способность черноземов Красноярского края // 75 лет Географической сети опытов с удобрениями. М.: ВНИИА, 2016. С. 279–283.
17. Шпедт А.А., Трубников Ю.Н. Гумусное состояние и рациональное использование почв залежных земель Приенисейской Сибири // Достиж. науки и техн. АПК. 2017. Т. 31. № 5. С. 5–8.

Chernozems of the Krasnoyarsk Region: Assessment of the Current State and Production Potential

A. A. Shpedt^{a,b,#} and Yu. N. Trubnikov^{a,c}

^a Krasnoyarsk Research Institute of Agriculture of the Federal Research Center “Krasnoyarsk Scientific Center SB RAS”
prosp. Svobodny, 66, Krasnoyarsk 660041, Russia

^b Siberian Federal University
prosp. Svobodny, 79, Krasnoyarsk 660041, Russia

^c Krasnoyarsk State Agrarian University
prosp. Mira, 90, Krasnoyarsk 660049, Russia

[#] E-mail: shpedtaleksandr@rambler.ru

Modern estimates of a condition of agrochernozems of the Krasnoyarsk region, their transformation in the conditions of intensive use are given. The total area of agrochernozems of the region is 4/1 million hectares, among them types dominate: Luvic agrochernozems (60.2%), agrochernozems (38.0%). These soils make a region arable land basis. The Soil-Ecological Index average value of agrochernozems of the region is 47.4 points. Soil-Ecological Index of agrochernozems changes from 47.7 to 30.7 points, and decrease among: Luvic agrochernozems — agrochernozems — Calcic agrochernozems.

Key words: soil, properties of Chernozems, assessment of agrochernozems, soil and ecological index.

УДК 631.41:504.54.062.2

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА АГРОХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПОЧВ В АГРОЛАНДШАФТАХ С ЗАПАДИННЫМ МИКРОРЕЛЬЕФОМ¹

© 2020 г. О. И. Сапрыкин¹, Г. А. Конарбаева^{1,*}, Б. А. Смоленцев¹

¹ Институт почвоведения и агрохимии СО РАН
630090 Новосибирск, просп. Академика Лаврентьева, 8/2, Россия

*E-mail: konarbaeva@issa.nsc.ru

Поступила в редакцию 30.09.2019 г.

После доработки 11.12.2019 г.

Принята к публикации 11.05.2020 г.

В часто встречающихся микрозападинах агроландшафтов лесостепной зоны Западной Сибири формируются текстурно-дифференцированные почвы: дерново-солоди и серые поверхностно-глеватые. Эти почвы по агрохимическим свойствам контрастно отличались от фоновых почв: агросерых и агрочерноземов. Почвы микрозападин характеризовались как слабо- и малогумусированные, а фоновые почвы — средние и сильногумусированные. Запасы гумуса в гумусовом слое западных почв на 62–200 т/га меньше, чем в фоновых. Пахотный горизонт почв западин по сравнению с подобным фоновых почв имел более кислую реакцию среды, был менее насыщен основаниями и менее обеспечен подвижным фосфором. По агрохимическим показателям почвы микрозападин относятся к низкоплодородным, а фоновые почвы — к плодородным и высокоплодородным.

Ключевые слова: агроландшафты, западинный микрорельеф, почвы, агрохимические свойства почв.

DOI: 10.31857/S0002188120080104

ВВЕДЕНИЕ

Агроландшафты с западинным микрорельефом — обычное явление для лесостепной зоны Западной Сибири. В замкнутых микрозападинах формируются текстурно-дифференцированные почвы, такие как дерново-солоди глеевые в пределах Барабинской низменности и серые поверхностно-глеватые в Приобской лесостепи. В рассматриваемых агроландшафтах Барабинской лесостепи фоновые почвы, представлены агрочерноземами осолоделыми и агрочерноземами квазиглеевыми осолоделыми. В Приобье фон пашни образуют агрочерноземы глинисто-иллювиальные и агросерые почвы [1, 2]. В данных агроландшафтных районах значительная часть почв микрозападин вовлечена в пашню: до 25% — в Барабинской лесостепи и до 90% — в Приобской.

Ранее было показано влияние почв западин на агрономические свойства пахотных полей [3, 4]. Исследования показали, что наиболее контрастными почвами микрозападин по отношению к фоновым черноземам являются солоди Барабинской низменности. С позиции агрономической совместимости комплексы, образуемые этими почвами, относятся к несовместимым. Серые поверхностно-глеватые почвы Приобья менее контрастны по от-

ношению к черноземам и серым почвам. Такие почвенные комбинации относятся к агрономически неоднородным совместимым. Почвы требуют небольших различий в системах агротехнических и мелиоративных мероприятий при общей их однотипности и близких сроках проведения.

Кроме агрономических свойств пашни, на рентабельное производство и урожайность сельскохозяйственных культур влияют агрохимические свойства пахотных земель, в частности, формирующих их почв. Ранее нами было показано [5], что свойства солодей Барабинской равнины изучены детально. Однако эти исследования касались солодей, формирующихся под лесными колками [6, 7]. Публикации о свойствах агропочв микрозападин лесостепной зоны Западной Сибири, их сравнительной характеристики с фоновыми почвами отсутствуют. Цель работы — сравнительная характеристика агрохимических свойств почв в агроландшафтах с западинным микрорельефом.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

В качестве объектов исследования было выбрано 2 участка, которые расположены в пределах Приобского и Барабинского центрально-лесостепных агроландшафтных районов [8]. Оба агроландшафта имеют хорошо выраженный микрорельеф.

¹ Работа выполнена по госзаданию ИПА СО РАН.

Участок в Приобской лесостепи имеет площадь 1300.5 га, из них 213 га приходится на солоды (рис. 1а, б, в). Площадь Барабинского участка — 500 га. Почвы микрозападин занимают 43.5 га (рис. 1г, д). Площади ареалов почв получены при оцифровке бумажных носителей (почвенных карт М 1: 10000) и снимков с космических аппаратов Sentinel-2 (с разрешением 10 м) в пакете QGIS, с последующей конвертацией данных в MsExcel.

Сравнение агрохимических свойств почв проводили по следующим показателям: содержание и запасы гумуса в гумусовом слое, рН среды, содержание поглощенных оснований и степень насыщенности ими почв, содержание подвижных форм фосфора и калия в пахотном горизонте.

Названия почв даны в соответствии с “Классификацией и диагностикой почв России” 2004 г. и “Полевого определителя почв” 2008 г. [1, 2].

Содержание подвижных форм фосфора и калия определяли в вытяжках по Чирикову.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

По содержанию и запасам гумуса в почвах агроландшафтов с западным микрорельефом выявили определенную закономерность. Во всех фоновых почвах содержание и запасы гумуса стабильно больше, чем в почвах микрозападин. В Приобском районе почвы западин по содержанию гумуса (<2.5%) в агрогумусовом горизонте относятся к мало гумусированным [1]. В фоновых почвах содержание гумуса в пахотном горизонте меняется от 2.7 до 5.4%, что определяет их принадлежность к грациям мало-, средне- и сильногумусированных почв (рис. 1б).

Средние запасы гумуса в фоновых агросерых почвах составляли 78 т/га, в сопутствующих агросерых поверхностно-глееватых почвах микрозападин — 73 т/га. Разница в запасах составила 5 т/га. В фоновых агрочерноземах средние запасы гумуса — 182 т/га, у сопутствующих почв микрозападин — 120 т/га (рис. 1в). Соответственно, разница в запасах составила 62 т/га. Данную разницу между запасами гумуса фоновых почв и почв микрозападин назвали термином “гипотетические потери гумуса”. Для ландшафта в целом гипотетические потери гумуса рассчитывали путем умножения данной величины на площадь почв микрозападин.

В Барабинском агроландшафтном районе контраст по содержанию и запасам гумуса в фоновых агрочерноземах и агросолодах микрозападин выражен еще резче. Содержание гумуса в агрочерноземах стабильно было больше 5.5% (5.7–6.2%) при мощности гумусового слоя от 36 до 44 см. Средние запасы гумуса в этих почвах равны

240 т/га (рис. 1д). В агросолодах гумуса содержалось от 1.1 до 2.0%. Средняя мощность агрогумусового горизонта составляла 22 см. Запасы гумуса менялись от 33 до 59 т/га. Гипотетические потери гумуса в среднем составляли ≈200 т/га площади солодей.

Таким образом, чем выше контрастность (классификационная неоднородность) почв микрозападин по сравнению с фоновыми почвами, тем больше гипотетические потери гумуса в соответствующем агроландшафте.

Показано, что верхняя часть профиля почв микрозападин, включая пахотный горизонт, в обоих районах характеризовалась слабо кислой реакцией среды (табл. 1). Солоды Барабинской лесостепи имели менее кислую реакцию по сравнению с агросерыми поверхностно-глееватыми почвами Приобской лесостепи. Это связано с количеством поглощенного натрия: в солодах его содержание на порядок было больше, чем в агросерых поверхностно-глееватых почвах. Кроме того, отмечено повышенное содержание поглощенного натрия в профиле солодей по сравнению с фоновыми черноземами. Причина этому видится в транспортировке обменного натрия из фоновых черноземов осолоделых в почвы западин. В пахотном горизонте фоновых агрочерноземов реакция среды нейтральная. Насыщенность основаниями агрогумусового горизонта почв микрозападин была средней из-за средних величин суммы поглощенных оснований и высокой гидролитической кислотности. Вниз по профилю показатели степени насыщенности основаниями росли. Вся верхняя часть профиля черноземов, в т.ч. агротемногумусовый горизонт, имела высокую степень насыщенности основаниями. Сумма поглощенных оснований в этих почвах была высокой и очень высокой, а величина гидролитической кислотности — низкой.

В пахотных горизонтах фоновых почв обоих агроландшафтных районов содержание подвижных форм фосфора было больше, чем в почвах микрозападин (табл. 2). В почвах распаханых западин Приобского агроландшафтного района подвижного фосфора содержалось почти в 3 раза больше, чем в нераспаханных почвах под лесом. Это связано с внесением фосфорных удобрений в почвы пашни. Обеспеченность всех распаханых почв (фоновых и микрозападин) подвижным фосфором в этом районе очень высокая. В естественных почвах западин под лесом обеспеченность менялась от низкой до повышенной. В фоновых почвах Барабинского агроландшафтного района содержание подвижного фосфора намного меньше (в 2 и более раза), чем в почвах Приобского района. Такая закономерность обусловлена общим повышенным содержанием валового фос-

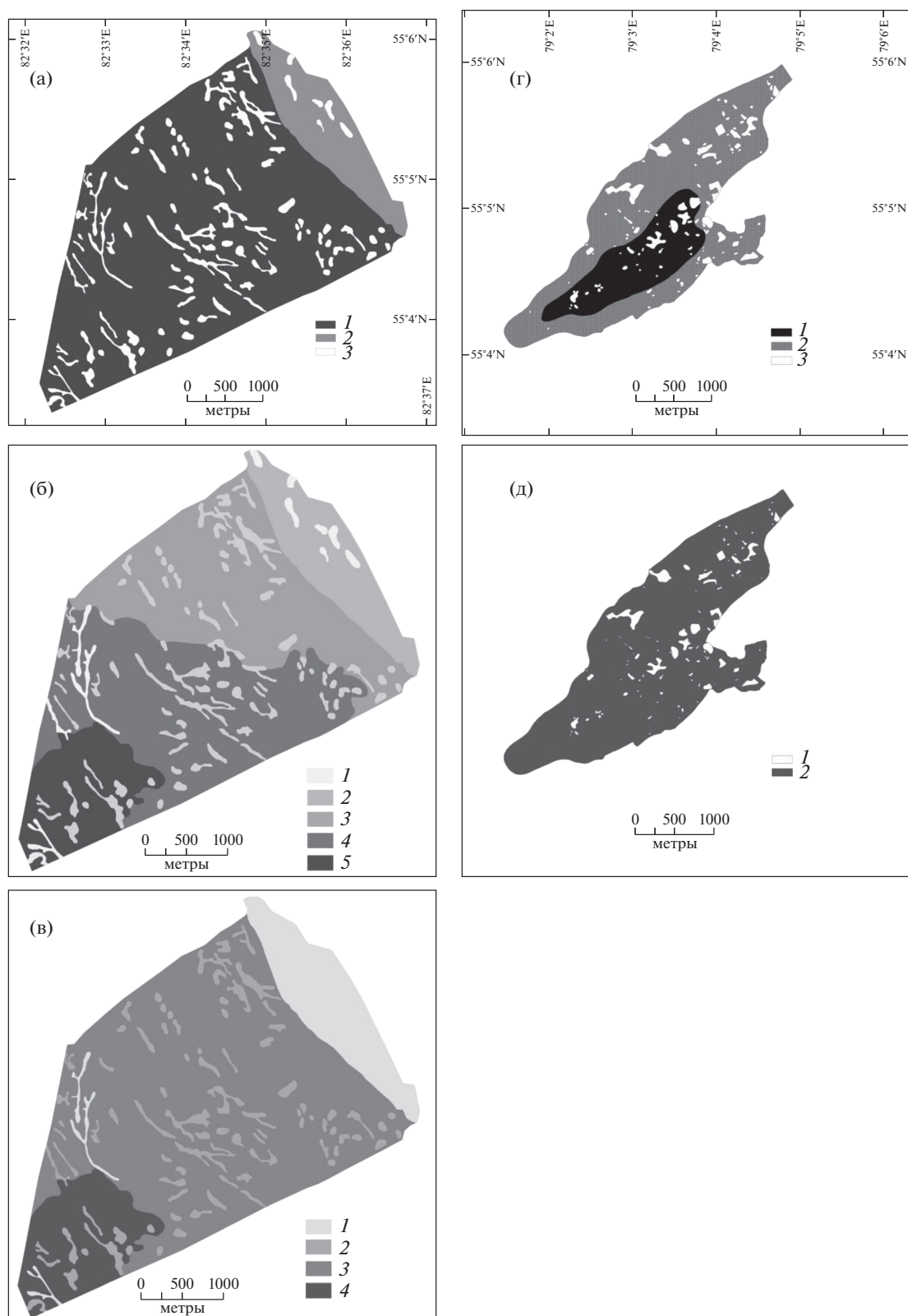


Рис. 1. Почвенные карты и картограммы содержания и запасов гумуса в почвах Приобского (а, б, в) и Барабинского (г, д) центрально-лесостепных агроландшафтных районов; (а): 1 – агрочерноземы глинисто-иллювиальные, 2 – агросерые, 3 – агросерые поверхностно-глееватые; (б) – содержание гумуса (%): 1 – <2.5, 2 – 2.6–3.4, 3 – 3.5–4.4, 4 – 4.5–5.4, 5 – >5.4; (в) – запасы гумуса (т/га): 1 – <80, 2 – 81–140, 3 – 141–200, 4 – >200; (г): 1 – агрочерноземы осолоделые, 2 – агрочерноземы квазиглеевые осолоделые, 3 – дерново-солоди и агросолоди; (д) – запасы гумуса (т/га): 1 – <60, 2 – >200.

Таблица 1. Насыщенность основаниями и кислотность почв

Агро- ландшафтный район	Горизонт	Глубина взятия образца	pH _{H₂O}	Поглощенные					H _г	V, %
				Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	Сумма		
				мг-экв/100 г почвы						
Приобский центрально- лесостепной	Агросерая поверхностно-глееватая (микрозападина на пашне)									
	PU	0—24	6.1	12.8	1.8	0.1	0.6	15.3	7.1	68
	AELg	30—40	6.1	4.6	0.8	0.1	0.4	5.9	3.3	64
	BT1g	52—62	6.0	7.8	1.9	0.1	0.7	10.5	3.9	73
	Агрочернозем глинисто-иллювиальный									
	PU	0—27	6.7	20.6	1.9	0.1	0.6	23.1	1.4	94
	AB	28—38	6.8	20.0	1.7	0.1	0.4	22.2	1.1	95
	BI	41—51	7.2	17.0	1.5	0.1	0.4	19.0	0.7	96
	Барабинский центрально- лесостепной	Агросолодь поверхностно-глееватая (микрозападина на пашне)								
P		0—22	6.5	11.5	1.8	0.8	0.2	14.3	6.3	69
BELg		22—32	6.3	6.0	2.1	0.6	0.2	8.9	4.9	65
BTg		36—46	6.7	7.4	3.7	0.9	0.3	12.3	2.1	85
Агрочернозем осолоделый										
PU		0—24	6.8	36.2	4.6	0.5	0.6	41.9	0.8	98
ABel		26—36	6.7	22.0	5.2	0.5	0.4	28.1	1.1	96
BM		45—55	7.5	26.9	1.3	0.7	0.7	29.6	0.6	98

Примечание. H_г – гидролитическая кислотность, V – степень насыщенности основаниями.

Таблица 2. Содержание подвижных форм фосфора и калия в пахотном горизонте

Агроландшафтный район	Глубина взятия образца, см	P ₂ O ₅	K ₂ O
		мг/кг	
Приобский центрально-лесостепной	Серые поверхностно-глееватые под лесом (<i>n</i> = 7)		
	0–10 (±2)	71 ± 52	202 ± 48
	10–20 (±3)	32 ± 25	83 ± 26
	Агросерые поверхностно-глееватые в микрозападине (<i>n</i> = 18)		
	0–21 (±6)	247 ± 37	205 ± 97
	Агросерые (<i>n</i> = 5)		
	0–22 (±5)	284 ± 53	124 ± 51
	Агрочерноземы глинисто-иллювиальные (<i>n</i> = 17)		
	0–24 (±3)	383 ± 75	152 ± 32
Барабинский центрально-лесостепной	Агросолоди поверхностно-глееватые в микрозападине (<i>n</i> = 3)		
	0–22	37 ± 12	156 ± 34
	Агрочерноземы осолоделые (<i>n</i> = 18)		
	0–24 (±4)	153 ± 49	217 ± 51

Примечание. n – количество проанализированных смешанных образцов.

фора в черноземах Приобского плато [9, 10]. В агросолодях западин отмечено самое низкое содержание подвижных форм фосфора. Обеспеченность фоновых пахотных почв Барабинского агроландшафтного района подвижным фосфором была повышенной и высокой, а почв распашанных западин – низкой.

В содержании подвижного калия исследованных почв выявлены следующие закономерности. Фоновые черноземы и серые почвы Приобского района характеризовались самым низким содержанием элемента, почвы западин – наоборот высоким. Такое распределение подвижного калия в микрозападном агроландшафте обусловлено

миграцией калийных удобрений с поверхностным стоком к центру микрозападин. Подобные наблюдения описаны в работе [11] по данным опыта с нитратным азотом удобрений.

В Барабинских микрозападинных агроландшафтах наблюдали обратную закономерность в распределении подвижного калия: в фоновых агрочерноземах — максимальное его содержание, в агросолодах — минимальное.

В целом, несмотря на неравномерное распределение подвижных форм калия по элементам рельефа, обеспеченность почв подвижным калием обоих районов была высокой и очень высокой.

ВЫВОДЫ

1. В лесостепных агроландшафтах с микрозападинным рельефом фоновые почвы контрастно отличались от почв западин по основным агрохимическим показателям: содержанию и запасам гумуса, реакцией среды, степенью насыщенности основаниями, содержанием подвижных форм фосфора и калия.

2. По агрохимическим показателям агропочвы западин намного беднее фоновых почв. Содержание гумуса в почвах микрозападин в 2–4 раза меньше, чем в фоновых почвах, разница в запасах гумуса составляет 62–200 т/га. Пахотный горизонт почв западин по сравнению с подобным фоновых почв имел более кислую реакцию среды, был менее насыщен основаниями и менее обеспечен подвижным фосфором.

3. По агрохимическим показателям почвы микрозападин относятся к низкоплодородным, а фоновые почвы — к плодородным и высоко плодородным.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Классификация и диагностика почв России. Смоленск: Ойкумена, 2004. 342 с.
2. Полевой определитель почв. М.: Почвенный ин-т им. В.В. Докучаева, 2008. 182 с.
3. Смоленцев Б.А., Сапрыкин О.И., Соколова Н.А., Елизаров Н.В. Влияние почв микрозападин на структуру агроландшафтов лесостепной зоны Западной Сибири // Сибир. вестн. сел.-хоз. наук. 2017. № 6 (48). С. 11–18.
4. Капустянич С.Ю., Добровольская Н.И. Микроклимат почв и урожайность яровой пшеницы в плакорном микрозападинном агроландшафте // Вестн. АлтайГАУ. 2012. № 2 (88). С. 32–35.
5. Конарбаева Г.А., Смоленцев Б.А., Сапрыкин О.И. Влияние физико-химических свойств солодей Кулундинской равнины на содержание в них йода // Агрохимия. 2015. № 3. С. 72–80.
6. Конарбаева Г.А., Смоленцев Б.А. Пространственно-генетические особенности распределения йода в почвах Западной Сибири // Агрохимия. 2018. № 7. С. 94–105.
7. Зайдельман Ф.Р., Устинов М.Т., Пахомова Е.Ю. Солоди Барабинской низменности и Приобского плато: свойства, генезис, методы диагностики // Почвоведение. 2010. № 10. С. 1155–1170.
8. Кирюшин В.И. Адаптивно-ландшафтные системы земледелия Новосибирской области. Новосибирск: СО РАСХН, СибНИИЗХим, 2002. 388 с.
9. Степанов М.И., Ефимова Г.И. Оценка плодородия пахотных почв Новосибирской области // Сибир. вестн. сел.-хоз. наук. 2011. № 5–6(220). С. 13–18.
10. Хмелев В.А., Танасиенко А.А. Земельные ресурсы Новосибирской области и пути их рационального использования. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2009. 348 с.
11. Капустянич С.Ю., Добровольская Н.И. Влияние микрорельефа на распределения нитратного азота удобрений и продуктивность яровой пшеницы в лесостепи Приобья // Вестн. НГАУ. 2012. Т. 2. № 23. С. 12–16.

Comparative Description of Soil Agrochemical Properties in Agricultural Landscapes with Microdepressions

O. I. Saprykin^a, G. A. Konarbaeva^{a, #}, and B. A. Smolentsev^a

^a Institute of Soil Science and Agrochemistry SB RAS
prosp. Akademika Lavrentieva, 8/2, Novosibirsk 630090, Russia

[#]E-mail: konarbaeva@issa.nsc.ru

The findings have been stated on comparison of agrochemical properties of soils of microdepressions and background in agricultural landscapes of forest steppe belt of Western Siberia. Textural and differentiated soil are formed in microdepressions such as Planosols and Epigleyic Phaeozems. These soils differ sharply from background Hortic Greyzemic Phaeozems and Hortic Chernozems by agrochemical properties. The soils of microdepressions are characterized as weak and low in humus content and background soils as medium and high in humus content. Humus supply in soils of microdepressions is 62–200 t/ha in humus thickness less than in background soils. Plowing horizon of soils of microdepressions as compared with similar horizon of background soils has more acid reaction, less saturation by bases and less content of movable phosphorus. According to agrochemical indices the soils of microdepressions are classified as low fertile and background soils as fertile and highly fertile.

Key words: agrolandscapes, deep microrelief, soils, agrochemical properties of soils.

УДК 633:631.465:631.5(470.61)

ВЛИЯНИЕ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР НА ФЕРМЕНТАТИВНУЮ АКТИВНОСТЬ ЧЕРНОЗЕМОВ РОСТОВСКОЙ ОБЛАСТИ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ РАЗЛИЧНЫХ АГРОТЕХНОЛОГИЙ¹

© 2020 г. Т. В. Минникова^{1,*}, Г. В. Мокриков¹, К. Ш. Казеев¹, С. И. Колесников¹

¹ Южный федеральный университет
344006 Ростов-на-Дону, ул. Б. Садовая, 105/42, Россия

*E-mail: loko261008@yandex.ru

Поступила в редакцию 12.09.2019 г.

После доработки 07.02.2020 г.

Принята к публикации 10.07.2020 г.

В производственных условиях исследовано воздействие сельскохозяйственных культур (озимой пшеницы, нута, кориандра, льна) в агроценозах Ростовской обл. на активность почвенных ферментов (каталазы, дегидрогеназы, уреазы, фосфатазы и β -фруктофуранозидазы) при разных технологиях обработки почвы. Сравнивали влияние на ферментативную активность почв под озимой пшеницей при прямом посеве (No-Till) после разных культур-предшественников. В течение сезона нут ингибировал активность оксидоредуктаз на 42 и 53% больше, чем подо льном и кориандром. Активность гидролаз под этой культурой была больше на 39 и 65% соответственно. Под прямым посевом нута показано наибольшее по сравнению со льном и кориандром ингибирование активности оксидоредуктаз и стимуляция активности гидролаз. В почвах с прямым посевом озимой пшеницы, выращенной после кориандра и льна, показано увеличение активности инвертазы на 15–25% и значительное ингибирование активности уреазы после кориандра и рожьки на 58–67%. При сравнении технологий обработки при выращивании озимой пшеницы, благодаря наличию мульчирующего слоя и сохранению влаги при прямом посеве активность β -фруктофуранозидазы была простимулирована, уреазы – ингибирована.

Ключевые слова: сельскохозяйственные культуры, технология No-Till, плодородие, биологическая активность, способы обработки почвы, биодиагностика,

DOI: 10.31857/S0002188120100051

ВВЕДЕНИЕ

Интенсивная обработка почв в различных климатических зонах вызывает переуплотнение, осолонцевание, дефляцию и дегумификацию почв и, как следствие, снижение уровня плодородия и урожайности сельскохозяйственных культур [1–4]. Длительное использование традиционной технологии с глубокой отвальной вспашкой на глубину >20–30 см оказывает негативное влияние на структуру, плотность почв, баланс элементов питания, содержание органического углерода и ферментативную активность почв [5–14]. Применение такой ресурсосберегающей и почвозащитной технологии обработки почвы, как прямой посев или нулевая технология (No-Till), способствует снижению затрат топливных ресурсов, сохранению влаги и повышению содержания органического углерода за счет мульчирующего

слоя, что ведет к повышению плодородия и оптимизации экологического состояния почв [3, 15–18].

В процессе роста и развития каждая культура выделяет специфичные конкретной культуре экссудаты, вносящие существенный вклад в биологическую активность почвы. Состав растительных экссудатов зависит от стадии развития растения (ритмичности корневых выделений), условий его роста и типа почв. Корневые экссудаты разных видов сельскохозяйственных культур проявляют различные физиологические свойства и представлены широким диапазоном органических соединений: аминокислот, органических кислот, сахаров, фенольных смол и высокомолекулярных соединений, фитонцидов, гликозидов, флавоноидов, алкалоидов и других соединений [19]. Разнообразие корневых выделений растений является звеном связи между растением и микроорганизмами ризосферы, обеспечивая микроорганизмы питательными веществами [20]. Корневые

¹ Исследование выполнено при государственной поддержке ведущей научной школы РФ (НШ–2511.2020.11).

Таблица 1. Исследованные сельскохозяйственные культуры при прямом посеве и их предшественники

Поле, №	Сельскохозяйственная культура	Культура-предшественник
1	Кориандр (<i>Coriandrum sativum</i> L.)	Ячмень озимый (<i>Hordeum aestivum</i> L.)
3	Лен (<i>Linum usitatissimum</i> L.)	Пшеница озимая (<i>Triticum aestivum</i> L.)
12	Нут (<i>Cicer arietinum</i> L.)	Пшеница озимая (<i>Triticum aestivum</i> L.)

экссудаты влияют на ризобиоту, выделяя хелатирующие, солубирующие и окислительные вещества. Кроме того, корневые системы растений самостоятельно выделяют ферменты. Вклад растений в ферментный пул почвы осуществляется как прямым путем в результате выделения экзоферментов корневой системой в процессе метаболизма и пожнивными остатками в процессе разложения, так и косвенным, проявляясь через регуляцию продуцирования ферментов микроорганизмами [21]. Культуры могут оказывать как ингибирующее воздействие на ферментативную активность почв (яровая пшеница), так и стимулирующее (просо, кукуруза, бобовые) [22, 23]. Ферментативная активность — это чувствительный индикатор состояния и степени изменения почв в условиях различных систем ее обработки и выращивания сельскохозяйственных культур [8, 9, 21, 24]. При разных технологиях обработки почв интенсивность выделения растениями разных видов корневых экссудатов и соответственно выработка почвенной микробиотой ферментов изменяется неоднозначно.

В связи с этим цель работы — исследование влияния различных сельскохозяйственных культур на ферментативную активность черноземов Ростовской обл., а также сравнение влияния технологий обработки почвы на ферментативную активность почв агроценозов озимой пшеницы.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследование проводили на 16-ти полях, возделываемых с использованием технологии прямого посева (No-Till). Опытные участки расположены в Октябрьском р-не Ростовской обл. В качестве контрольных участков исследовали поля соседних хозяйств, обрабатываемые по традиционной технологии (отвальная вспашка). Расстояние между опытными и контрольными полями — 50–100 м. На исследованных объектах технологию прямого посева применяют с 2009 г. на общей пло-

щади 5.5 тыс. га. Площади исследованных полей и название хозяйства и/или собственника при прямом посеве и традиционной обработке почвы представлены в табл. 1.

Почвы исследованной территории представлены черноземами обыкновенными разной мощности, степени выщелоченности от карбонатов и гумусированности [25]. Исследованные почвы, согласно Классификации и диагностики почв России, относят к агрочерноземам миграционно-сегрегационным, по World Research Base (WRB) к — Voronic Chernozems [26, 27]. Мощность гумусовых горизонтов черноземов, по литературным данным, составляет в среднем ≈ 70 –80 см, гранулометрический состав — тяжелосуглинистый, содержание гумуса — 4–5%, $pH_{KCl} = 7.2$ –7.8 [25]. Образцы отбирали из верхнего слоя почвы (0–10 см) с максимальным распространением корней растений в 3–6-кратной биологической и 3-кратной аналитической повторностях. Образцы почв отбирали в течение вегетационного сезона: июнь, июль и сентябрь. Уборку пшеницы, ячменя и льна проводили в июле, нута и кориандра — в августе. Культуры, возделываемые по технологии No-Till: лен (*Linum usitatissimum* L.) сорта Небесный с урожайностью 12 ц/га (поля № 1, 2); кориандр (*Coriandrum sativum* L.) сорта Алексеевский-190 с урожайностью 10 ц/га (поле № 4); ячмень озимый (*Hordeum vulgare* L.) сорта Агродеум с урожайностью 67 ц/га (поле № 5); озимая пшеница (*Triticum aestivum* L.) сорта Зустрич с урожайностью 57 ц/га (поля № 6, 7, 8); нут (*Cicer arietinum* L.) сорта Приво-1 с урожайностью 15 ц/га (поле № 12). Участки с традиционной обработкой почвы были засеяны озимой пшеницей (*Triticum aestivum* L.) сорта Гром. Практически все исследованные поля, опытные и контрольные, за исключением контрольного поля № 12 были свободны от сорно-полевой (сегетальной) растительности. На контрольном поле № 12 сафлор был засорен злаковой растительностью (просяница, пырей и др.).

Поля с кориандром, нут, подсолнечником и льном были удобрены до посева N40 в первой декаде апреля, при посеве — аммофосом (12% N, 40–60% P_2O_5) — 80 кг/га, поля с озимой пшеницей и ячменем (№ 5, 6, 7, 8) были удобрены при посеве аммофосом (12% N, 40–60% P_2O_5) — 100 кг/га. Весной в фазе кушения проводили подкормку N50 и после выхода в трубку — 2-ю подкормку N40. Кроме того, для стимуляции роста, развития и ускорения прохождения фенологических фаз кориандра, льна, нута, пшеницы и ячменя использовали удобрение “Росток”: 0.5 л/га — для кориандра и льна и 1 л/га — для зерновых. В фазе цветения льна (1-я декада мая–3-я декада июня)

Таблица 2. Озимая пшеница (над чертой) и культуры-предшественники (под чертой) при разных технологиях возделывания

Поле, №	Прямой посев	Традиционная технология
5	пшеница озимая (<i>Triticum aestivum</i> L.) кориандр (<i>Coriandrum sativum</i> L.)	пшеница озимая (<i>Triticum aestivum</i> L.) подсолнечник (<i>Helianthus annuus</i> L.)
6	пшеница озимая (<i>Triticum aestivum</i> L.) лен (<i>Linum usitatissimum</i> L.)	пшеница озимая (<i>Triticum aestivum</i> L.) кукуруза (<i>Zea mais</i> L.)
7	пшеница озимая (<i>Triticum aestivum</i> L.) лен (<i>Linum usitatissimum</i> L.)	пшеница озимая (<i>Triticum aestivum</i> L.) пшеница озимая (<i>Triticum aestivum</i> L.)
8	пшеница озимая (<i>Triticum aestivum</i> L.) рыжик озимый (<i>Camelina silvestris</i> Waller)	пшеница озимая (<i>Triticum aestivum</i> L.) рыжик озимый (<i>Camelina silvestris</i> Waller)

повторно применяли “Росток” в дозировке 1 л/га. Это удобрение применяли в фазе настоящих листьев кориандра, фазе колошения и молочной спелости зерна пшеницы и ячменя (1 л/га), фазе настоящих листьев подсолнечника (0.5 л/га).

Территория Октябрьского р-на Ростовской обл. расположена на юге европейской части России в жарком сухом климате. Сумма положительных температур воздуха ($>10^{\circ}\text{C}$) составляет 3200°C . Лето – жаркое (температура июля 24.6°C), зима – умеренно холодная (температура января -4.2°C). Годовое количество осадков в 2016 г. составило 704 мм, в том числе выпавших за период вегетации (при температуре $>10^{\circ}\text{C}$) – 399 мм. Превышение количества атмосферных осадков в 2016 г. по сравнению с нормой составило 66%. Повышенная влажность в 2016 г. была обусловлена очень влажным маем, когда выпало 43% от го-

довой нормы осадков. Гидротермический коэффициент Селянинова (ГТК = 3.2) в 2016 г. превысил показатель 2015 г. на 48% (ГТК = 2.1).

Особенности технологии прямого посева заключаются в использовании следующих агрегатов: трактор Buhler Versatile 2375 с пневматической сеялкой Great Plains NTA 3510 (10.7 м) и трактором Case Magnum 315 с пневматической сеялкой Great Plains NTA 3510 (10.7 м). Все культуры высевали с междурядьем шириной 19 см.

В первой части эксперимента исследовали влияние разных сельскохозяйственных культур на ферментативную активность почв при прямом посеве (культуры и их предшественники представлены в табл. 2). Во второй части эксперимента оценивали изменение ферментативной активности почв в период максимальной вегетации озимой пшеницы (июнь) при прямом посеве в сравнении с традиционной технологией обработки. Культуры-предшественники озимой пшеницы на полях с прямым посевом и традиционной обработкой представлены в табл. 3.

Средняя урожайность культур в агроценозах с прямым посевом в исследованном хозяйстве в 2016–2018 гг. существенно превышала урожайность на контрольных полях соседних хозяйств, где применяли традиционную технологию, а также среднюю урожайность в Ростовской обл. [28].

Ферментативную активность (ФА) почв оценивали традиционными в почвенной энзимологии методами при естественной реакции почвенной среды [29, 30]. Были определены следующие показатели ферментативной активности: активность каталазы ($\text{H}_2\text{O}_2 : \text{H}_2\text{O}_2$ – оксидоредуктаза, КФ 1.11.1.6.), дегидрогеназ (субстрат : НАД(Ф)-оксидоредуктазы, КФ 1.1.1), фосфатазы (фосфогидролазы моноэфиров ортофосфорной кислоты, КФ 3.1.3.1–2), уреазы (карбамид-амидогидролаза, КФ 3.5.1.5) и β -фруктофуранозидазы (инвертаза, сахараза, КФ 3.2.1.26).

Статистическую обработку данных проводили с использованием пакета программ Statistica 12.0 с

Таблица 3. Влияние различных сельскохозяйственных культур на ферментативную активность при использовании технологии прямого посева в динамике ($M \pm m$)

Поле, №	Культура	Активность фосфатазы, мг $\text{P}_2\text{O}_5/100$ г почвы/ч			Активность β -фруктофуранозидазы, мг глюкозы/г почвы/сут		
		июнь	июль	сентябрь	июнь	июль	сентябрь
1	лен	1.8 ± 0.01	1.8 ± 0.01	$2.2 \pm 0.12^*$	$7.9 \pm 0.04^{**}$	6.3 ± 0.03	6.6 ± 0.06
3	кориандр	4.6 ± 0.10	$1.8 \pm 0.03^{**}$	4.3 ± 0.26	$6.5 \pm 0.02^*$	7.2 ± 0.01	$5.6 \pm 0.04^*$
12	нут	$9.2 \pm 0.1^{**}$	$3.5 \pm 0.07^*$	$4.8 \pm 0.22^*$	7.8 ± 0.01	$8.9 \pm 0.03^*$	$9.2 \pm 0.05^*$

Достоверность различия: $*p < 0.05$, $**p < 0.001$.

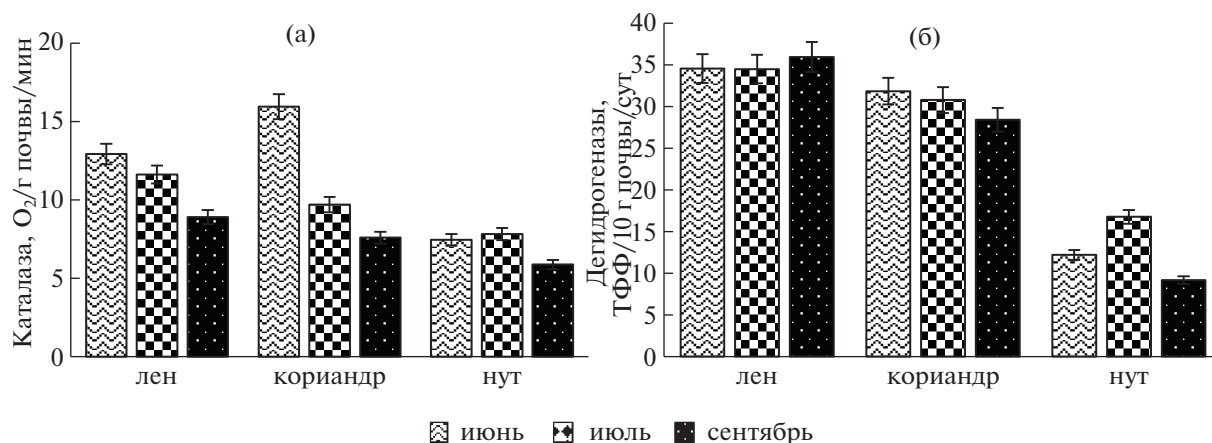


Рис. 1. Влияние сельскохозяйственных культур на активность каталазы (а) и дегидрогеназ (б) в динамике при использовании технологии прямого посева.

оценкой t -критерия Стьюдента на 5%-ном уровне значимости при доверительном интервале 95–99% ($p < 0.01$ и 0.05). Данные представлены как среднее величины из 3-х повторностей ($M \pm m$).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В первой части работы сравнивали влияние нута, льна и кориандра на ферментативную активность почв, возделываемых по технологии прямого посева в течение вегетационного сезона. Обнаружена существенная вариабельность активности каталазы: от 5.8 мл O_2/g почвы/мин на поле с нутом в сентябре до 15.8 мл O_2/g почвы/мин на поле с кориандром в июне (рис. 1а). Все сравниваемые культуры благоприятно влияли на активность каталазы в течение вегетационного сезона, обеспечивая высокое обогащение почв. Максимальная активность каталазы была зафиксирована в июне на участках со льном и кориандром — 12.8 и 15.8 мл O_2/g почвы/мин соответственно.

Подобный эффект был обусловлен фазой активной вегетации растений и соответственно максимальным выделением органических веществ и физиологически активных соединений в почву. Максимальная величина активности каталазы под кориандром в июне со снижением в июле и сентябре на 39 и 25%, вероятно, была обусловлена воздействием L-триптофана кориандра на ризосферную микрофлору и ферментативную активность почвы в том числе [31]. В сентябре обнаружено снижение активности под всеми культурами на 22–25%. Для нута наблюдали меньшую активность каталазы, чем для кориандра и льна на 42 и 53% соответственно. Подобный эффект обусловлен более поздним посевом нута и, как

следствие, смещением сроков вегетации. При этом нут относят к высоко требовательным к температуре и влажности почвы культурам. В связи с этими гидротермическими условиями максимальная активность каталазы (7.8 мл O_2/g почвы/мин) под нутотом отмечена именно в сухом жарком июле.

Максимальная активность дегидрогеназ (рис. 1б) обнаружена в течение всего вегетационного сезона в почве на участке подо льном — 34.3–35.7 мг ТФФ/10 г почвы/сут и под кориандром — 30.6–31.7 мг ТФФ/10 г почвы/сут. Согласно шкале обогащенности ферментами Д.Г. Звягинцева (1978), почвы подо льном и кориандром относят к богатым, а под нутотом — средней обогащенности. Подо льном с июня по сентябрь активность дегидрогеназ не изменилась и осталась на высоком уровне обогащения. Вероятно, стабильные показатели активности дегидрогеназ в течение сезона обусловлены постоянным поступлением других экссудатов корневой системы льна. На поле с кориандром также отмечали высокую активность дегидрогеназ (28.3–31.7 мг ТФФ/10 г почвы/сут), но это было на 8–20% меньше, чем подо льном. Не выявлено различий в активности дегидрогеназ в течение вегетационного сезона в почвах агроценозов кориандра и льна. Для нута продемонстрирована меньшая активность дегидрогеназ на 62 и 65%, чем для почв под кориандром и льном. В почве с нутотом прослежена высокая активность в июле, на 37% больше, чем в июне, что было связано с более поздним посевом культуры по сравнению с кориандром и льном и, соответственно, более поздним выделением экссудатов корневой системой нута, повышавшим выработку дегидрогеназ. Поскольку субстратами дегидрирования

служат органические вещества, вероятно, что снижение активности было связано с развитием растений и, соответственно, снижением количества и обеднением состава корневых экссудатов, неспецифических (углеводы, аминокислоты, фитонциды, колины, маразмины) и специфических (гуминовых кислот и фульвокислот) соединений в почве.

В отличие от оксидоредуктаз, активность всех изученных гидролаз не показала какой-либо одной закономерности (табл. 4). Согласно шкале Звягинцева (1978), почвы под всеми сельскохозяйственными культурами были достаточно обогащены фосфатазой (1.8–9.2 мг P_2O_5 /100 г почвы/ч). В июне в активные фазы роста нута при оптимальных температуре и влажности почв фосфатазная активность почв была максимальной — 9.2 мг P_2O_5 /100 г почвы/ч ($p < 0.01$). Однако в почве под посевом льна был обнаружен максимум активности фермента в сентябре — 2.2 мг P_2O_5 /100 г почвы/ч. Сезонная динамика активности фосфатазы различалась для разных культур. Под нутом в июле активность снизилась на 61%, далее с повышением на 27%; подо льном, наоборот, повысилась на 20%. Повышение активности фермента в сентябре было обусловлено разложением органических остатков культуры-предшественника (пшеницы озимой) и вовлечением фосфора в биогенный круговорот. Вероятно, снижение активности фосфатазы в почве под нутом в июле определяли цветение и формирование семян. Черноземы обыкновенные относят к почвам с нестабильным уровнем содержания подвижных форм фосфора, содержание которых зависит от температуры, влажности почв и периода вегетации культур.

Активность β -фруктофуранозидазы при прямом посеве варьировала в диапазоне 5.6–9.2 мг глюкозы/г почвы/сут. Выявлено снижение активности β -фруктофуранозидазы под посевами кориандра и льна в течение сезона на 17 и 13% ($p < 0.05$). В то же время нут простимулировал активность фермента с июня по сентябрь на 17% ($p < 0.05$). Активность β -фруктофуранозидазы под нутом в сентябре была больше на 39 и 65% по сравнению со льном и кориандром. Нут, как представитель бобовых, содержит в своей корневой системе азотфиксирующие бактерии и способствует выделению органических кислот, аминокислот и витаминов в большем объеме, чем зерновыми и прочими культурами. Активность β -фруктофуранозидазы коррелировала с содержанием гумуса, что подтверждает связь фермента с плодородием почв при различных видах землепользования [3, 24].

Активность β -фруктофуранозидазы, как фермента класса гидролаз, связана не только с корневыми экссудатами, пожнивными остатками, а также с плотностью, сопротивлением пенетрации, количеством влаги в почве, величиной pH [4]. Ранее было определено, что в условиях аномально влажной весны и начала лета самыми плотными в сентябре были почвы на участках с прямым посевом нута и кориандра [17]. В этот период плотность почв на этих участках была неблагоприятно высокой (1.40–1.53 г/см³), и сопротивление пенетрации под кориандром на глубине 15 см достигло 9.9 МПа. В связи с этим именно в агроценозе кориандра наблюдали наибольшее снижение активности β -фруктофуранозидазы по сравнению со льном и нутом на 14 и 43% ($p < 0.05$) соответственно.

По А.Ш. Галстяну (1974), активность оксидоредуктаз по сравнению с гидролазами в меньшей степени подвергается изменениям при сельскохозяйственном использовании под пашней. Однако ранее показана информативность и чувствительность применения активности каталазы и дегидрогеназ при оценке состояния почв под бинарными посевами подсолнечника с донником, связи с гидротермическими условиями и ферментативной активностью в динамике при использовании традиционной и почвосберегающей (прямой посев) технологий обработки почвы [9, 10, 24].

Во второй части эксперимента для оценки влияния технологий обработки почвы (прямой посев и традиционная технология) на ферментативную активность черноземов были выбраны поля с одинаковой культурой — озимой пшеницей (рис. 2). Анализ изменения ферментативной активности проводили в период максимальной вегетации озимой пшеницы — в июне. Выбор периода наблюдения был обусловлен тем, что в остальные периоды (в июле и сентябре) было отмечено сезонное снижение активности ферментов: оксидоредуктаз (каталазы и дегидрогеназ) на 19–75% ($p < 0.05$), гидролаз (инвертазы и уреазы) — на 20–60% ($p < 0.05$) [24]. В июле с ростом температуры воздуха и почвы активность каталазы была простимулирована, а активность уреазы, напротив, ингибирована, что обусловлено окислительно-восстановительными реакциями и нитрификацией иммобилизованных форм азота за счет пожнивных остатков культуры-предшественника. При сравнении разных технологий обработки почвы роль культуры-предшественника была значима. При анализе активности дегидрогеназ в поле после предшественника льна (поле № 6) с полем с традиционной обработкой после предшествен-

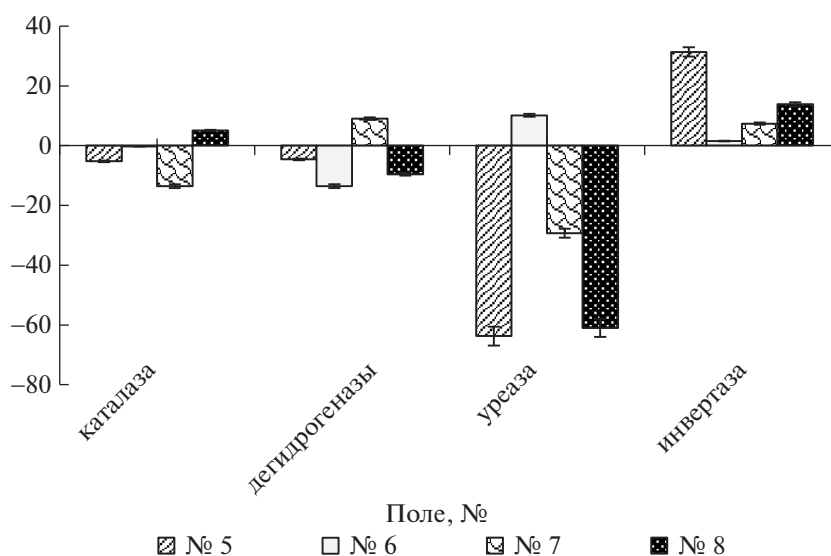


Рис. 2. Изменение ферментативной активности почв под озимой пшеницей в июне при использовании прямого посева, % от ферментативной активности почв, обрабатываемых по традиционной технологии.

ника кукурузы отмечено ингибирование активности дегидрогеназ и стимулирование активности уреазы. Подобное воздействие кукурузы, как и подсолнечника, было обусловлено мощной биомассой верхней части растений и корневой системой, способствующей истощению почвы. На поле № 5, где предшественником озимой пшеницы был подсолнечник (при традиционной обработке), в сравнении с полем после кориандра показаны ингибирование уреазы и стимуляция активности инвертазы. На поле № 8 с одинаковыми высеваемыми культурами и предшественниками (рыжиком озимым) констатировали влияние именно технологии прямого посева на резкое уменьшение активности уреазы (на 61%) и небольшое увеличение активности инвертазы (на 14%). На большинстве полей не выявлено различий по влиянию технологий обработки почвы под озимую пшеницу на активность каталазы, за исключением поля № 7. На этом поле обнаружено снижение активности каталазы на 14% ($p < 0.05$).

Исследования, проведенные на полях с одинаковой возделываемой культурой — озимой пшеницей, показали высокую чувствительность ферментов класса гидролаз, активность которых, в целом, была выше в полях с прямым посевом, чем на пахотных полях. Активность ферментов класса оксидоредуктаз меньше зависела от вида обработки почвы, чем активность гидролаз [32–35]. Аналогичные результаты о стимулировании активности гидролаз были получены и другими авторами. Это связано с тем, что гидролитические ферменты участвуют в метаболизме органиче-

ских веществ, повышенные количества которых образуются на поверхности почвы при прямом посеве. В итоге активность этих ферментов связана с содержанием органического углерода в почвах [36, 37]. В исследованных почвах было установлено повышение степени гумификации органического вещества и содержания перманганат-окисляемого органического вещества при применении технологии прямого посева [38]. Это, наряду с повышением влагообеспеченности почв при использовании технологии прямого посева [38], объясняет повышение активности гидролаз, связанных с гидролитическими процессами преобразования органических веществ в почве.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате исследования выявлено, что различные сельскохозяйственные культуры оказывали влияние на активность ферментов в черноземах Ростовской обл. в течение периода вегетации и при использовании различных приемов обработки почвы. На активность гидролаз оказывали влияние технология обработки почвы и культура-предшественник. На активность оксидоредуктаз большее влияние оказывали сезонные изменения температуры почвы. Среди возделываемых культур нут оказывал ингибирующее влияние на активность оксидоредуктаз и стимулирующее — на активность гидролаз. При сравнении технологий обработки почвы при выращивании озимой пшеницы, благодаря наличию мульчирующего слоя и сохранению влаги при прямом по-

селе активность инвертазы была простимулирована, а уреазы — ингибирована. Снижение активности уреазы было связано с замедлением гидролиза мочевины в почве в виду изменения реакции среды и высокой сезонной температуры почвы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Байбеков Р.Ф. Природоподобные технологии — основа стабильного развития земледелия // Земледелие. 2018. № 2. С. 5—8.
2. Derpsch R., Franzluebbers A.J., Duiker S.W., Reicosky D.C., Koeller K., Friedrich T., Sturny W.G., Sa J.C.M., Weiss K. Why do we need to standardize no-tillage research? Letter to the Editor // Soil Till. Res. 2014. 137 p.
3. Khasanova R.F., Suyundukov Ya.T., Semenova I.N. Biological activity of the humus horizon of ordinary chernozems as an indicator of the ecological state of agroecosystems in Bashkortostan // Euras. Soil Sci. 2014. № 47 (8). P. 819—823.
4. Vazquez E., Teutschero N., Almorox J., Navas M., Espejo R., Benito M. Seasonal variation of microbial activity as affected by tillage practice and sugar beet foam amendment under Mediterranean climate // Appl. Soil Ecol. 2017. № 117—118. P. 70—80.
5. Вальков В.Ф., Денисова Т.В., Казеев К.Ш., Колесников С.И., Кузнецов Р.В. Плодородие почв и сельскохозяйственные растения: экологические аспекты. Ростов н/Д: Изд-во Южного федерал. ун-та, 2008. 416 с.
6. Даденко Е.В., Мясникова М.А., Казеев К.Ш., Колесников С.И., Вальков В.Ф. Биологическая активность чернозема обыкновенного при длительном использовании под пашню // Почвоведение. 2014. № 6. С. 724—733.
7. Melero S., López-Bellidom R.J., López-Bellido L., Muñoz-Romero V., Moreno F., Murillo J.M. Long-term effect of tillage, rotation and nitrogen fertiliser on soil quality in a Mediterranean Vertisol // Soil Till. Res. 2011. № 114. P. 97—107.
8. Papp R., Marinari S., Moscatell M.C., van der Heijden M.G.A., Wittwer R., Campiglia E., Radicetti E., Mancinelli R., Fradgley N., Pearce B., Bergkvist G., Finckh M.R. Short-term changes in soil biochemical properties as affected by subsidiary crop cultivation in four European pedo-climatic zones // Soil Till. Res. 2018. № 180. P. 126—136.
9. Минникова Т.В., Мокриков Г.В., Казеев К.Ш., Акименко Ю.В., Колесников С.И. Оценка ферментативной активности черноземов Ростовской области под бинарными посевами подсолнечника // Изв. Тимирязев. сел.-хоз. академии. 2017. № 6. С. 141—155.
10. Минникова Т.В., Кравцова Н.Е., Мокриков Г.В., Казеев К.Ш., Колесников С.И. Влияние прямого посева на содержание в черноземе элементов питания озимой пшеницы // Агрохимия. 2019. № 10. С. 75—82.
11. Кравцова Н.Е., Мокриков Г.В., Казеев К.Ш., Минникова Т.В., Колесников С.И. Динамика содержания элементов питания в черноземах Ростовской области при разных технологиях обработки почв // Агрохим. вестн. 2019. Т. 1. № 1. С. 33—36.
12. Казеев К.Ш., Минникова Т.В., Мокриков Г.В., Мясникова М.А., Колесников С.И. Оценка воздействия прямого посева на физические свойства черноземов Ростовской области // Агрофизика. 2019. № 2. С. 15—24.
13. Гедгафова Ф.В., Горбוצова О.Н., Улигова Т.С., Темботов Р.Х., Хакунова Е.М. Оценка изменения биологической активности горных серых лесных почв Центрального Кавказа (терский вариант поясоности в пределах Кабардино-Балкарии) в результате агроиспользования // Агрохимия. 2019. № 4. С. 23—30.
14. Гребенников А.М., Фрид А.С., Сапрыкин С.В., Чевердин Ю.И. Влияние применения различных способов основной обработки на запасы продуктивной влаги в агрочерноземах // Агрохимия. 2019. № 8. С. 40—47.
15. Mbuthia L.W., Acosta-Martínez V., De Bruyna J., Schaeffera S., Tyler D., Odoia E., Mpheshea M., Walkera F., Easha N. Long term tillage, cover crop, and fertilization effects on microbial community structure, activity: Implications for soil quality // Soil Biol. Biochem. 2015. № 89. P. 24—34.
16. Soane B.D., Ball B.C., Arvidsson J., Basch G., Moreno F., Roger-Estrade J. No-till in northern, western and south-western Europe: A review of problems and opportunities for crop production and the environment // Soil Till. Res. 2012. V. 118. P. 66—87.
17. Мокриков Г.В., Казеев К.Ш., Акименко Ю.В., Колесников С.И. Влияние технологии прямого посева на эколого-биологические свойства черноземов // Изв. высш. уч. завед. Северо-Кавказский регион. Сер. Естеств. науки. 2017. Т. 194. № 2. С. 68—74.
18. Тулина А.С. Влияние температуры, влажности и внесения соломы на динамику минерализации органического вещества и почвенные пулы углерода и азота // Агрохимия. 2019. № 3. С. 3—18.
19. Gámiz B., Facenda G., Celis R. Modulating the persistence and bioactivity of allelochemicals in the rhizosphere: salicylic acid, a case of study // Arch. Agron. Soil Sci. 2018. № 65. P. 581—595.
20. Steinauer K., Chatzinotas A., Eisenhauer N. Root exudate cocktails: the link between plant diversity and soil microorganisms? // Ecology and Evolution. 2016. № 6(20). P. 7387—7396.
21. Calderon F.J., Nielsen D., Acosta-Martinez V., Vigil M.F., Lyon D. Cover crop and irrigation effects on soil microbial communities and enzymes in semiarid agroecosystems of the central great plains of North America // Pedosphere. 2016. № 26. P. 192—205.
22. Ларионов А.А., Казеев К.Ш. Изменение ферментативной активности чернозема обыкновенного Ботанического сада ЮФУ при выращивании сельскохозяйственных культур // Изв. вуз. Северо-Кавказский регион: Естеств. науки. 2009. № 6. С. 52—54.
23. Franke A.C., Brand G.J., Vanlauwe B., Giller K.E. Sustainable intensification through rotations with grain legumes in Sub-Saharan Africa: a review // Agricult. Ecosyst. Environ. 2018. № 261. P. 172—185.
24. Минникова Т.В., Мокриков Г.В., Казеев К.Ш., Акименко Ю.В., Колесников С.И. Оценка зависимостей

- между гидротермическими показателями и ферментативной активностью черноземов Ростовской области при использовании различных агротехнологий // *Агрофизика*. 2018. № 1. С. 9–17.
25. Вальков В.Ф., Казеев К.Ш., Колесников С.И. Почвы Ростовской области. Ростов-н/Д.: Изд-во ЮФУ, 2012. 492 с.
 26. Классификация и диагностика почв России. Смоленск: Ойкумена, 2004. 342 с.
 27. IUSS Working Group WRB. World Reference Base for Soil Resources 2014. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. World Soil Resources Reports. 2014. № 106. 181 p.
 28. Мокриков Г.В., Минникова Т.В., Казеев К.Ш., Колесников С.И. Влияние запасов продуктивной влаги и количества атмосферных осадков на урожайность при условии прямого посева сельскохозяйственных культур в Ростовской области // *Самар. научн. вестн.* 2019. Т. 8. № 1 (26). С. 69–75.
 29. Казеев К.Ш., Колесников С.И., Акименко Ю.В., Даденко Е.В. Методы биодиагностики наземных экосистем. Ростов-н/Д.: Изд-во ЮФУ, 2016. 356 с.
 30. Хазиев Ф.Х. Методы почвенной энзимологии. М., 2005. 189 с.
 31. Демина О.С., Ларинова Ю.С., Кондратьев М.Н. Аллелопатический потенциал люпина узколистного (*Lupinus angustifolius* L.) во взаимодействии с другими сельскохозяйственными культурами // *Изв. ТСХА*. 2016. № 4. С. 27–40.
 32. Conservation tillage: short- and long-term effects on soil carbon fractions and enzymatic activities under Mediterranean conditions // *Soil Till. Res.* 2009. V. 104. P. 292–298.
 33. Sinsabaugh R.L. Phenol oxidase, peroxidase and organic matter dynamics of soil // *Soil Biol. Biochem.* 2010. V. 42. P. 391–404.
 34. Roldan A., Salinas-García J.R., Alguacil M.M., Díaz E., Caravaca F. Soil enzyme activities suggest advantages of conservation tillage practices in sorghum cultivation under subtropical conditions // *Geoderma*. 2005. V. 129. P. 178–185.
 35. Acosta-Martínez V., Acosta-Mercado D., Sotomayor-Ramírez D., Cruz-Rodríguez L. Microbial communities and enzymatic activities under different management in semiarid soils // *Appl. Soil Ecol.* 2008. V. 38. P. 249–260.
 36. Katsalirou E., Deng S., Nofziger D.L., Gerakis A., Fuhlendorf S.D. Spatial structure of microbial biomass and activity in prairie soil ecosystems // *Eur. J. Soil Biol.* 2010. V. 46. P. 181–189.
 37. Mangalassery S., Mooney S.J., Sparkes D.L., Fraser W.T., Sjogersten S. Impacts of zero tillage on soil enzyme activities, microbial characteristics and organic matter functional chemistry in temperate soils // *Eur. J. Soil Biol.* 2015. V. 68. P. 9–17.
 38. Мокриков Г.В., Минникова Т.В., Мясникова М.А., Казеев К.Ш., Колесников С.И. Изменение содержания и состава органического вещества черноземов Приазовья при использовании технологии прямого посева // *Агрохимия*. 2020. № 1. С. 18–24.

Influence of Agricultural Crops on the Enzymatic Activity of Chernozems of the Rostov Region Using Various Agrotechnologies

T. V. Minnikova^{a, #}, G. V. Mokrikov^a, K. Sh. Kazeev^a, and S. I. Kolesnikov^a

^a South Federal University

ul. B. Sadovaya 105/42, Rostov-on-Don 344006, Russia

[#]E-mail: loko261008@yandex.ru

The effect of agricultural crops (winter wheat, chickpeas, coriander, flax) in the agrocenoses of the Rostov region on the activity of soil enzymes (catalase, dehydrogenase, urease, phosphatase and β -fructofuranosidase) under different soil treatment technologies was studied in production conditions. The effect on the enzymatic activity of soils under winter wheat under direct seeding (No-Till) after different precursor crops was compared. During the season, chickpeas inhibited the activity of oxidoreductases by 42 and 53%, than under flax and coriander. Hydrolase activity under this culture was higher by 39 and 65%, respectively. Under direct seeding of chickpeas, the greatest inhibition of oxidoreductase activity and stimulation of hydrolase activity was shown in comparison with flax and coriander. In soils with direct seeding of winter wheat grown after coriander and flax, there was an increase in invertase activity by 15–25% and a significant inhibition of urease activity after coriander and ginger by 58–67%. When comparing processing technologies for growing winter wheat, due to the presence of a mulch layer and the preservation of moisture during direct sowing, the activity of β -fructofuranosidase was stimulated, and urease was inhibited.

Key words: agricultural crops, No-Till technology, fruit production, biological activity, methods of tillage, biodiagnosics.

УДК 631.417.2:631.582

О МЕТОДИЧЕСКИХ ПОДХОДАХ К РАСЧЕТУ БАЛАНСА ГУМУСА В СЕВООБОРОТЕ

© 2020 г. С. И. Новоселов

Марийский государственный университет
424002 Йошкар-Ола, ул. Красноармейская, 71, Россия

E-mail: Serg.novoselov2011@yandex.ru

Поступила в редакцию 12.03.2020 г.

После доработки 27.03.2020 г.

Принята к публикации 10.07.2020 г.

Представлена модифицированная методика расчета баланса гумуса в севообороте. В основе предлагаемого метода расчета баланса гумуса положен фотобиохимический подход к минерализации гумусовых веществ почвы. Минерализация почвенного гумуса происходит за счет фотохимической деструкции гумусовых веществ под воздействием солнечного света и большой группы микроорганизмов. Воздействие солнечной энергии на почву приводит к разрушению сложных по составу и ценных по свойствам гуминовых кислот и образованию подвижных лабильных гумусовых веществ, которые легко подвергаются микробиологической минерализации. Гумификационные процессы рассматриваются в соответствии с окислительно-восстановительными условиями, складывающимися в зависимости от способов заделки органических удобрений и растительных остатков в почву.

Ключевые слова: почва, гумус, солнечная энергия, микроорганизмы, урожайность, растительные остатки, баланс.

DOI: 10.31857/S0002188120100075

ВВЕДЕНИЕ

Органическое вещество почвы представляет сложный комплекс органических веществ, состоящий из негумифицированных органических веществ растительного или животного происхождения и специфических гумусовых веществ. Гумусовое состояние почв принято характеризовать содержанием гумуса. Его роль в почве многогранна. Гумус играет важную роль в формировании как эффективного, так и потенциального плодородия почвы. От содержания гумуса зависят водно-воздушные, физические, физико-химические, агрохимические, микробиологические и экологические свойства почвы [1]. Любые изменения в структуре севооборотов, системах обработки почвы, удобрения приводят к его количественным и качественным изменениям [2–5]. Разработка и совершенствование методов контроля и прогнозирования содержания гумуса в почвах сельскохозяйственного назначения является важной научной и практической задачей. Расчет баланса гумуса дает возможность оценить характер изменений его содержания в почве при сложившейся системе земледелия.

При оценке гумусового состояния почв наиболее достоверными являются данные, полученные непосредственно при проведении агрохимического анализа почвы. При разработке севооборотов, обосновании агротехнических приемов и мероприятий применяют расчетные методы оценки гумусового состояния. При этом расчеты ведут либо по выносу азота почвы урожаем, либо по нормативным показателям поступления и минерализации органического вещества, установленным по данным полевых опытов. Расчетные методы менее точны, поскольку процессы минерализации и гумификации сложны, зависят от многих факторов, а используемые в расчетах коэффициенты весьма условны. Существенным недостатком имеющихся методов является то, что не учитывается влияние агротехнического фактора. Например, многочисленными исследованиями установлено, что при использовании в севообороте отвальной вспашки интенсивность минерализации гумусовых веществ выше, чем при поверхностной обработке почвы. Не берется во внимание и способ заделки органических удобрений, корневых и пожнивных остатков, хотя исследования свидетельствуют, что при глубокой заделке их минерализация почвенной биотой замедляется, а при

поверхностной — ускоряется [6, 7]. При расчете баланса гумуса через азот сравнивают показатели вообще с разными измерениями. Содержание гумуса оценивают в пахотном слое, а потребление азота растениями происходит и из более глубоких слоев почвы. При применении минеральных и органических удобрений можно лишь приблизительно оценить, какая доля азота потребляется из почвы, а какая из удобрений. Интервалы коэффициентов использования азота настолько велики, что можно лишь условно считать, какое его количество было поглощено растениями из удобрений, а какое из почвы. Неоднозначными являются и данные по вкладу биологического азота. Все это вносит элементы условности в расчеты и снижает достоверность полученных данных.

Цель работы — совершенствование методики расчета баланса гумуса в севообороте на основе современных представлений о процессах гумификации и минерализации гумусовых веществ почвы.

МЕТОДИКА РАСЧЕТА БАЛАНСА ГУМУСА

В основе предлагаемого метода расчета положен фотобиохимический подход к минерализации гумусовых веществ обрабатываемых почв. Баланс гумуса рассчитывают, как разность между его образованием и минерализацией. Образование гумуса происходит при гумификации органического вещества растений, почвенных животных, органических удобрений, отходов органического происхождения. По способности к образованию гумусовых веществ растительные остатки и органические удобрения значительно отличаются. Максимальное количество гумуса образуется при заделке растительных остатков и соломы, а минимальное — при заделке сидератов (табл. 1). Гумификационные процессы рассматривают в соответствии с окислительно-восстановительными условиями, складывающимися в зависимости от способов заделки органических удобрений и растительных остатков в почву. Глубокая заделка органического вещества обеспечивает анаэробные условия, способствующие восстановительным процессам и гумусообразованию. Поверхностная заделка создает аэробные условия, которые активизируют минерализационные процессы. Интенсивная минерализация гумуса начинается с распашки целинных и залежных земель и вовлечения их в сельскохозяйственное использование [4]. Дегумификационные процессы во многом зависят от интенсивности воздействия на почву. Чем чаще происходит механическое воздействие на почву, тем интенсивнее идет минерализация

гумуса. Механизм данного процесса можно представить следующим образом. Минерализация почвенного гумуса происходит за счет фотохимической деструкции гумуса под воздействием солнечного света и большой группы микроорганизмов, которые используют гумусовые вещества как источник питания и энергии. Воздействие солнечной энергии на почву приводит к разрушению сложных по составу и ценных по свойствам гуминовых кислот и образованию более подвижных лабильных гумусовых веществ, которые легко подвергаются микробиологической минерализации [6, 8]. Процесс минерализации зависит от общих запасов гумуса, климатических условий, интенсивности фотохимического воздействия, вида севооборота и применяемой системы обработки почвы. Минимальная минерализация гумусовых веществ почвы происходит под многолетними травами. При этом важную роль в минерализационных процессах играет почвенная фауна. Землеройки, кроты, дождевые черви выносят на поверхность значительные количества почвы, которая в дальнейшем подвергается воздействию солнечного света. Учитывая, что их деятельность носит регулярный характер, ее масштабы весьма существенны. Минерализация органических удобрений и растительных остатков при глубокой заделке замедляется, а при поверхностной — ускоряется (табл. 1). Поскольку фотохимическое облучение — явление поверхностное, то его воздействие на почву зависит от ряда факторов: 1 — зональности почв: чем интенсивнее и продолжительнее воздействие солнечной радиации на почву, тем масштабнее результат деструкции гумусовых веществ; 2 — интенсивности обработки почвы: чем интенсивнее воздействуют на почву, тем чаще обновляется ее облучаемая поверхность и возрастает деструктивное воздействие; 3 — структуры севооборотов: максимальное воздействие солнечной энергии на почву и как следствие наибольшие потери гумуса происходят при обработке чистых паров и возделывании пропашных культур, минимальные — при выращивании многолетних трав; 4 — применяемой агротехники: снижают фотохимическое воздействие поверхностная заделка растительных остатков, использование соломы в качестве мульчи, выращивание многолетних трав, пожнивных и промежуточных культур.

Баланс гумуса в севообороте ($B_{гс}$) складывается из баланса гумуса в почве под отдельными культурами ($B_{гк}$) и в чистом пару ($B_{гчп}$):

$$B_{гс} = B_{гчп} + B_{гк}.$$

Баланс гумуса в почве при возделывании культуры — это разность между гумусообразованием,

Таблица 1. Коэффициенты гумификации растительных остатков и органических удобрений

Растительные остатки сельскохозяйственных культур и виды удобрений	Способ заделки растительных остатков и органических удобрений	
	Отвальная вспашка	Дискование
Зерновые, рапс, лен, однолетние и многолетние травы	0.18	0.14
Картофель, корнеплоды, овощи	0.06	0.05
Солома зерновых	0.18	0.13
Сидеральное удобрение	0.04	0.03
Навоз подстилочный	0.06	0.05
Торфо-навозный компост 1 : 1	0.07	0.06

его минерализацией и потерей гумуса при эрозионных процессах:

$B_{гк}$ = гумусообразование – минерализация –
– эрозионные потери.

Гумусообразование в почве происходит за счет гумификации растительных остатков возделываемой культуры ($\Gamma_{ро}$ (т/га) = $Y_{ро}$ (т/га) $\times K_{гро}$) и применяемых под культуру органических удобрений ($\Gamma_{оу}$ (т/га) = Доза оу (т/га) $\times K_{гоу}$), гумусообразование = $\Gamma_{ро}$ (т/га) + $\Gamma_{оу}$ (т/га).

Поступление в почву пожнивных и корневых растительных остатков ($Y_{ро}$, т/га) зависит от урожайности основной продукции сельскохозяйственных культур и определяется через коэффициенты выхода – K_p или через использование рекомендованных для зоны уравнений регрессии (табл. 2). Гумификация корневых и пожнивных остатков зависит от вида культур и способа заделки их в почву. Коэффициенты гумификации органических удобрений ($K_{гоу}$) и растительных остатков ($K_{гро}$) представлены в табл. 1. При применении других органических удобрений их следует привести в стандартный подстилочный полуперепревший навоз КРС с учетом пересчетных коэффициентов.

Расход гумуса почв складывается из минерализации и потерь гумуса от эрозии: расход Γ = минерализация Γ + Γ эрозии. Минерализация гумуса зависит от вида возделываемых культур, способов обработки почвы в севообороте и может быть рассчитана через коэффициенты минерализации гумуса. Они установлены на основании обобщения полевых опытов и показывают долю (в %) ежегодной минерализации запасов гумуса пахотного слоя почвы (табл. 3). Потери гумуса в результате эрозии почвы носят локальный характер и зависят от степени ее развития. При наличии эрозионных процессов расчеты ведут согласно степени смывости почвенного покрова [9, 10].

Расчет баланса гумуса следует вести в абсолютных величинах, т.е. в т/га. Вначале определяют общие запасы гумуса ($\Gamma_{общ}$) в пахотном слое почвы по формуле:

$$\Gamma_{общ} \text{ (т/га)} = M \times C : 100, \quad \text{где}$$

M – масса пахотного слоя почвы на 1 га, т; C – содержание гумуса в почве, %; 100 – коэффициент для перерасчета.

Массу пахотного слоя рассчитывают по формуле: M (т/га) = $h \times OM \times 100$, где h – мощность пахотного слоя, см; OM – объемная масса почвы, г/см³;

100 – коэффициент пересчета массы почвы из граммов в тонны на площадь 1 га.

Общий запас гумуса в почве можно также рассчитать и по формуле:

$$\Gamma_{общ} \text{ (т/га)} = h \times OM \times C.$$

ПРИМЕР РАСЧЕТА БАЛАНСА ГУМУСА В СЕВООБОРОТЕ

Для расчета баланса гумуса были использованы данные стационарных опытов, проводимых на опытном поле Марийского государственного университета. Опыт № 1 проводили с 1990 по 1997 г., опыт № 2 – с 2002 по 2008 г. Почва опытов – дерново-среднеподзолистая среднесуглинистая малогумусная. Почва перед закладкой опыта № 1 имела следующие агрохимические показатели: pH_{KCl} 5.8, H_T – 1.9 мг-экв/100 г, $S_{очн}$ – 10.0 мг-экв/100 г, содержание гумуса – 1.85%, легкогидролизуемого азота – 7.0 мг/100 г, подвижных форм фосфора – 15.0 и калия – 13.0 мг/100 г почвы. При мощности пахотного слоя 22 см и объемной массе 1.36 г/см³ масса пахотного слоя составляла 2992 т/га ($22 \times 1.36 \times 100$), запасы гумуса – 55.35 т/га ($22 \times 1.36 \times 1.85$). Почва опыта № 2 перед закладкой имела следующие агрохимические показатели: pH_{KCl} 6.0, H_T – 1.6 мг-экв/100 г почвы,

Таблица 2. Коэффициенты выхода (K_p) корневых и пожнивных остатков при различной урожайности основной продукции

Культура	Урожайность, т/га	K_p	Культура	Урожайность, т/га	K_p
Озимые зерновые	0–1.0	1.6	Кукуруза на силос	0–10.0	0.18
	1.1–2.0	1.5		10.1–20.0	0.14
	2.1–3.0	1.3		20.1–30.0	0.13
	3.1–4.0	1.1		30.1–40.0	0.11
	>4.0	1.1		>40.0	0.10
Яровые зерновые, зернобобовые	0–1.0	1.6	Однолетние травы на зеленую массу	0–10.0	0.25
	1.1–2.0	1.3		10.1–20.0	0.20
	2.1–3.0	1.2		20.1–30.0	0.14
	3.1–4.0	1.0		30.1–40.0	0.13
	>4.0	1.0		>40.0	0.12
Лен-долгунец, соломка	0–1.0	0.52	Многолетние травы на зеленую массу	0–10.0	0.35
	1.1–2.0	0.47		10.1–20.0	0.31
	2.1–3.0	0.39		20.1–30.0	0.28
	3.1–4.0	0.35		30.1–40.0	0.26
	>4.0	0.33		>40.0	0.22
Картофель, корнеплоды	0–10.0	0.14	Рапс	0–1.0	1.5
	10.1–20.0	0.13		1.1–1.5	1.3
	20.1–30.0	0.12		1.6–2.0	1.2
	30.1–40.0	0.11		2.1–2.5	1.0
	Выше 40.0	0.11		2.6–3.0	1.0

$S_{\text{осн}}$ – 13.1 мг-экв/100 г почвы, содержание гумуса – 1.97%, легкогидролизуемого азота – 7.3 мг/100 г почвы, подвижных форм фосфора – 33.7 и калия – 19.4 мг/100 г почвы. При мощности пахотного слоя 22 см и объемной массе 1.35 г/см³ масса пахотного слоя составляла 2970 т/га ($22 \times 1.35 \times 100$), запасы гумуса – 58.51 т/га. Результаты исследований в этих опытах были опубликованы в 2012 и 2013 гг. [4, 6]. Вследствие выровненности участка

эрозионные потери гумуса при расчетах не учитывали.

Расчет баланса гумуса в опыте № 1. Урожайность культур 1-й и 2-й ротаций севооборота опыта № 1 представлена в табл. 4. Первой культурой 1-й ротации севооборота был рапс, возделываемый на зеленое удобрение, а первой культурой 2-й ротации была викоовсяная смесь, выращиваемая на зеленый корм. Торфо-навозный компост (ТНК) с содержанием азота 0.75, фосфора – 0.57 и калия – 0.51% был внесен в 1996 г. под картофель в дозе 80 т/га.

Таблица 3. Коэффициенты минерализации гумуса, % от валовых запасов в почве

Культура севооборота	Способ основной обработки почвы в севообороте	
	Отвальная вспашка	Поверхностная
Зерновые, зернобобовые	1.8	1.4
Пропашные	2.8	2.8
Однолетние травы	1.6	1.5
Многолетние травы	0.15	0.15
Чистый пар	3.3	3.3

Расчеты показали, что при выращивании рапса на сидерат баланс гумуса в почве был положительным, а при возделывании зерновых культур – отрицательным. Викоовсяная смесь, выращиваемая на зеленый корм, при использовании в качестве основной обработки почвы отвальной вспашки обеспечила близкий к бездефицитному баланс гумуса, а при применении поверхностной обработки почвы – отрицательный. Возделывание картофеля на неудобренном фоне и при применении минеральных удобрений приводило к отрицательному балансу гумуса. Внесение под

Таблица 4. Урожайность культур в севообороте (опыт № 1), т/га

Способ основной обработки почвы в севообороте	Удобрения	1-я ротация				2-я ротация			
		рапс, (сидерат) 1990 г.	озимая рожь, 1991 г.	картофель, 1992 г.	ячмень, 1993 г.	Викоовсяная смесь (зеленая масса), 1994 г.	Озимая рожь, 1995 г.	Картофель, 1996 г.	Ячмень, 1997 г.
Вспашка	Без удобрений	20.0	3.21	16.7	2.67	38.7	2.09	15.8	2.10
	N680P365K690	20.0	3.83	20.7	2.80	37.7	3.89	21.2	3.86
	ТНК 80 т/га (N600P456K408)	20.0	4.67	21.2	2.73	38.5	2.24	23.8	3.62
Комбинированная	Без удобрений	20.0	3.44	16.8	2.83	35.5	1.97	15.6	2.25
	N680P365K690	20.0	4.09	23.9	2.98	38.7	3.70	22.0	3.92
	ТНК 80 т/га (N600P456K408)	20.0	4.81	20.0	2.60	29.5	2.09	23.5	3.41

Таблица 5. Баланс гумуса при возделывании культур севооборота, т/га

Обработка почвы в севообороте	Удобрения	Статьи баланса	1-я ротация				2-я ротация			
			рапс, 1990 г.	озимая рожь, 1991 г.	картофель, 1992 г.	ячмень, 1993 г.	викоовсяная смесь, 1994 г.	озимая рожь, 1995 г.	картофель, 1996 г.	ячмень, 1997 г.
Вспашка	Без удобрений	Приход	+1.52	+0.64	+0.13	+0.58	+0.91	+0.49	+0.12	+0.49
		Расход	-0.89	-1.00	-1.55	-1.00	-0.89	-1.00	-1.55	-1.00
		Баланс	+0.63	-0.36	-1.42	-0.42	+0.02	-0.51	-1.43	-0.51
	NPK	Приход	+1.52	+0.76	+0.15	+0.61	+0.88	+0.77	+0.15	+0.69
		Расход	-0.89	-1.00	-1.55	-1.00	-0.89	-1.00	-1.55	-1.00
		Баланс	+0.63	-0.24	-1.40	-0.39	-0.01	-0.23	-1.40	-0.31
	ТНК 80 т/га	Приход	+1.52	+0.92	+0.15	+0.59	+0.83	+0.52	+4.97	+0.65
		Расход	-0.89	-1.00	-1.55	-1.00	-0.89	-1.00	-1.55	-1.00
		Баланс	+0.63	-0.08	-1.40	-0.41	-0.06	-0.48	+3.42	-0.35
Комбинированная	Без удобрений	Приход	+1.52	+0.53	+0.10	+0.48	+0.65	+0.41	+0.10	+0.38
		Расход	-0.89	-0.78	-1.55	-0.78	-0.83	-0.78	-1.55	-0.78
		Баланс	+0.63	-0.23	-1.45	-0.30	-0.18	-0.37	-1.45	-0.40
	NPK	Приход	+1.52	+0.63	+0.14	+0.50	+0.70	+0.57	+0.13	+0.55
		Расход	-0.89	-0.78	-1.55	-0.78	-0.83	-0.78	-1.55	-0.78
		Баланс	+0.63	-0.19	-1.41	-0.28	-0.13	-0.21	-1.42	-0.23
	ТНК 80 т/га	Приход	+1.52	+0.74	+0.36	+0.44	+0.58	+0.44	+4.94	+0.48
		Расход	-0.89	-0.78	-1.55	-0.78	-0.83	-0.78	-1.55	-0.78
		Баланс	+0.63	-0.04	-1.19	-0.34	-0.25	0.34	+3.39	-0.30

картофель в 1996 г. торфо-навозного компоста в дозе 80 т/га обеспечило значительное превышение приходной части баланса над расходной (табл. 5).

В целом за 2 ротации севооборота возделывание сельскохозяйственных культур на неудобренном фоне и при применении минеральных удобрений приводило к отрицательному балансу гумуса, при

Таблица 6. Баланс гумуса за 2 ротации севооборота

Обработка почвы, удобрения		Статьи баланса гумуса, т/га			Содержание гумуса в почве, %		
		приход	расход	баланс	до закладки опыта	в конце ротации	расчетное
Вспашка	Без удобрений	+4.88	–8.88	–4.00	1.85	1.72	1.72
	N680P365K690	+5.53	–8.88	–3.35	1.85	1.71	1.73
	ТНК 80 т/га (N600P456K408)	+10.95	–8.88	+2.07	1.85	1.96	1.92
Комбинированная	Без удобрений	+4.17	–7.94	–3.77	1.85	1.75	1.73
	N680P365K690	+4.74	–7.94	–3.2	1.85	1.75	1.75
	ТНК 80 т/га (N600P456K408)	+10.55	–7.94	+2.61	1.85	2.08	1.94

Таблица 7. Урожайность культур в севообороте (зеленая масса, зерно, клубни) (опыт № 2), т/га

Вид севооборота, удобрения	Пар, 2002 г.	Озимая рожь, 2003 г.	Картофель, 2004 г.	Ячмень, 2005 г.	Клевер, 2006 г.	Озимая пшеница, 2007 г.	Ячмень, 2008 г.
С чистым паром без удобрений	—	1.97	6.94	2.00	22.40	2.37	1.65
С чистым паром N275P100K285	—	3.20	8.48	3.00	25.37	2.83	1.72
С чистым паром навоз 60 т/га (N275P100K285)	—	3.34	7.93	2.48	30.47	2.93	1.67
С занятым паром без удобрений	12.0	1.62	7.00	1.58	23.73	2.41	1.60
С сидеральным паром без удобрений	12.0	1.81	8.25	2.17	26.80	2.58	1.62

применении торфо-навозного компоста — к положительному. Корректность произведенных расчетов подтверждают и аналитические данные (табл. 6). Результаты анализов почвы по содержанию гумуса в почве до закладки опыта и после 2-й ротации севооборота были опубликованы в 2013 г. [6]. Фактическое содержание гумуса в почве и расчетное были очень близкими, а различия не выходили за пределы ошибки метода определения. Расчетное содержание гумуса в почве для первого варианта проводили следующим образом: $55.35 \text{ т/га} - 4.00 \text{ т/га} \times 100 : 2992 \text{ т/га} = 1.72\%$.

Корреляционный анализ результатов показал, что связь между содержанием гумуса в почве в конце 2-й ротации севооборота и расчетной величиной была сильной, коэффициент корреляции был равен $r = 0.98$.

Расчет баланса гумуса в опыте № 2. Урожайность культур в 7-польных севооборотах с разными видами паров представлена в табл. 7. Навоз с содержанием азота 0.46, фосфора — 0.17 и калия

0.48% был внесен в 2002 г. под озимую рожь в дозе 60 т/га. В занятом и сидеральном пару возделывали викоовсяную смесь. В занятом пару ее убрали на зеленый корм, в сидеральном — запахали.

Расчеты показали, что при возделывании зерновых и пропашных культур баланс гумуса был отрицательным. Максимальные потери гумуса были в чистом пару и при возделывании картофеля.

Применение минеральных удобрений несколько снижало дефицит, а внесение навоза 60 т/га обеспечило в чистом пару положительный баланс гумуса. Возделывание в севооборотах клевера значительно пополняло почву органическим веществом и обеспечивало положительный баланс гумуса (табл. 8). В целом за ротацию во всех севооборотах баланс гумуса был отрицательным. Наибольшие потери гумуса (–4.59 т/га) были в севообороте с чистым паром при возделывании культур без применения удобрений, минимальные (–0.39 т/га) — при внесении навоза 60 т/га. Внесение в 7-польном севообороте навоза 60 т/га

Таблица 8. Баланс гумуса в почве паровых полей и культур севооборотов, т/га

Вид севооборота, удобрения	Статьи баланса	Пар, 2002 г.	Озимая рожь, 2003 г.	Картофель, 2004 г.	Ячмень, 2005 г.	Клевер, 2006 г.	Озимая пшеница, 2007 г.	Ячмень, 2008 г.
С чистым паром (без удобрений)	Приход	—	+0.54	+0.06	+0.54	+1.13	+0.55	+0.45
	Расход	–1.93	–1.05	–1.64	–1.05	–0.09	–1.05	–1.05
	Баланс	–1.93	–0.51	–1.58	–0.51	+1.04	–0.50	–0.60
С чистым паром N275P100K285	Приход	—	+0.75	+0.07	+0.70	+1.28	+0.66	+0.46
	Расход	–1.93	–1.05	–1.64	–1.05	–0.09	–1.05	–1.05
	Баланс	–1.93	–0.3	–1.57	–0.35	+1.19	–0.39	–0.59
С чистым паром навоз 60 т/га (N275P100K285)	Приход	+3.60	+0.66	+0.06	+0.58	+1.43	+0.69	+0.45
	Расход	–1.93	–1.05	–1.64	–1.05	–0.09	–1.05	–1.05
	Баланс	+1.67	–0.39	–1.58	–0.47	+1.34	–0.36	–0.60
С занятым паром (без удобрений)	Приход	+0.43	+0.44	+0.06	+0.43	+1.20	+0.56	+0.43
	Расход	–1.05	–1.05	–1.64	–1.05	–0.09	–1.05	–1.05
	Баланс	–0.62	–0.61	–1.58	–0.62	+1.11	–0.49	–0.62
С сидеральным паром (без удобрений)	Приход	+1.03	+0.32	+0.06	+0.51	+1.42	+0.60	+0.44
	Расход	–1.05	–1.05	–1.64	–1.05	–0.09	–1.05	–1.05
	Баланс	–0.02	–0.73	–1.58	–0.54	+1.33	–0.45	–0.61

Таблица 9. Баланс гумуса в севооборотах с разными видами паров

Вид севооборота, удобрения	Статьи баланса гумуса, т/га			Содержание гумуса в почве, %		
	приход	расход	баланс	до закладки опыта	в конце ротации	расчетное
С чистым паром (без удобрений)	+3.27	–7.86	–4.59	1.97	1.76	1.81
С чистым паром (NPK)	+3.92	–7.86	–3.94	1.97	1.74	1.84
С чистым паром (навоз)	+7.47	–7.86	–0.39	1.97	1.96	1.96
С занятым паром (без удобрений)	+3.55	–6.98	–3.43	1.97	1.80	1.85
С сидеральным паром (без удобрений)	+4.38	–6.98	–2.60	1.97	1.82	1.88

и выращивание клевера обеспечило близкий к бездефицитному баланс гумуса (табл. 9). Сравнение содержания гумуса в почве в конце ротации севооборотов с расчетными показателями выявило, что они имели близкие величины и хорошо между собой коррелировали. Коэффициент корреляции составил $r = 0.96$. Различия в содержании гумуса в почве в конце ротации севооборотов с расчетными показателями составляли от 0.5 до 0.1% и одинаково характеризовали изменения гумусового состояния почвы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, представленная методика расчета баланса гумуса в севообороте, учитывающая

количество поступившего в почву органического вещества, условия его гумификации и минерализации, позволяет достоверно прогнозировать содержание гумуса в дерново-подзолистой суглинистой почве при сложившейся системе земледелия. Расчеты показали, что в опыте № 1 в целом за 2 ротации севооборота, возделывание сельскохозяйственных культур на неудобренном фоне и при применении минеральных удобрений приводило к отрицательному балансу гумуса, а при применении торфо-навозного компоста 80 т/га — к положительному балансу.

В опыте № 2 наибольшие потери гумуса (–4.59 т/га) были в севообороте с чистым паром при возделывании культур без применения удоб-

рений, минимальные (-0.39 т/га) — при внесении навоза. Внесение в 7-польном севообороте навоза 60 т/га и выращивание клевера одного года пользования обеспечило близкий к бездефицитному баланс гумуса. Сравнение фактических показателей содержания гумуса в почве опытов с расчетными показало их близкие величины, коэффициенты корреляции между которыми составляли 0.96–0.98.

Поскольку фотохимическое воздействие на гумус почвы — явление поверхностное и зависит от зональности, интенсивности обработки почвы, структуры севооборотов и применяемой агротехники, поэтому в расчетах необходимо использовать коэффициенты, установленные для конкретных почвенно-климатических условий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мерзлая Г.Е. Научные основы и рекомендации по эффективному применению органических удобрений. М., 1991. 216 с.
2. Программа и методы исследований гумусного состояния почв длительных опытов Геосети, реперных участков и полигонов агроэкологического мониторинга. М.: ВНИИА, 2008. 36 с.
3. Сафонов А.Ф., Платонов И.Г. Методика разработки адаптивно-ландшафтных систем земледелия Нечерноземной зоны. М.: АНО "Изд-во МСХА", 2001. 104 с.
4. Минеев В.Г., Сычев В.Г., Романенко В.А. Бюллетень Географической сети опытов с удобрениями. Научные основы, состояние и рекомендации применения удобрений в Поволжском регионе. М., 2012. Вып. 13. 64 с.
5. Никитин С.Н. Изменение содержания гумуса в почве за ротацию севооборота при использовании удобрений // Достиж. науки и техн. АПК. 2015. Т. 29. № 10. С. 13–15.
6. Новоселов С.И., Завалин А.А. Роль фотохимического фактора в деструкции гумусовых веществ почвы // Агрохимия. 2013. № 1. С. 59–64.
7. Шеуджен А.Х. Агробιοгеохимия чернозема. 2-е изд. доп. и перераб. Майкоп: ООО "Полиграф-ЮГ", 2018. 308 с.
8. Novoselov S. I. Influence of photochemical reactions on the content and transformation of mineral nitrogen in sod-podzol soil // Key engineering materials ISSN: 1662-9795. V. 781. P. 195–199. doi:10.4028/www.scientific.net/KEM.781.195
9. Методические указания по определению баланса питательных веществ азота, фосфора, калия, гумуса, кальция. М.: ЦИНАО, 2000. 40 с.
10. Титова В.И. Баланс гумуса в земледелии: Метод. пособ. Н. Новгород: НГСХА, 1999. 23 с.

About Methodological Approaches to Calculation the Balance of Humus in Crop Rotation

S. I. Novoselov

Mari State University

Krasnoarmeyskaya ul. 71, Yoshkar-Ola 424002, Russia

E-mail: Serg.novoselov2011@yandex.ru

A method for calculating the humus balance for sod-podzolic loamy soils is presented. The proposed method for calculating the humus balance is based on a photo-biochemical approach to the mineralization of humus substances in the soil. Soil humus mineralization occurs due to photochemical destruction of humus substances under the influence of sunlight and a large group of microorganisms. The effect of salt energy on the soil leads to the destruction of complex and valuable humic acids and the formation of mobile labile humus substances, which are easily subjected to microbiological mineralization. Humification processes are considered in accordance with the redox conditions that develop depending on the methods of embedding organic fertilizers and plant residues in the soil.

Key words: soil, humus, solar energy, microorganisms, yield, plant residues, balance.

УДК 632.952:633.11

ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА ЗЕРНА ПШЕНИЦЫ, ФИТОСАНИТАРИЯ И ЗАЩИТА РАСТЕНИЙ В ЦЕНТРАЛЬНОМ РАЙОНЕ РОССИИ

© 2020 г. С. С. Санин^{1,*}, Б. И. Сандухадзе², Р. З. Мамедов², Л. В. Карлова¹,
Л. Г. Корнева¹, О. М. Рулева¹

¹ *Всероссийский научно-исследовательский институт фитопатологии
143050 Московская обл., Одинцовский р-н, р. п. Большие Вяземы, ул. Институт, влад. 5, Россия*

² *Федеральный исследовательский центр “Немчиновка”
143026 Московская обл., Одинцовский р-н, пос. Новоивановское, ул. Агрохимиков, 6, Россия*

**E-mail: sanin@vniif.ru*

Поступила в редакцию 27.02.2020 г.

После доработки 17.03.2020 г.

Принята к публикации 10.07.2020 г.

В условиях роста населения, прогрессирующего уменьшения площадей землепользования, глобальных изменений климата интенсификация растениеводства является проблемой устойчивого развития человечества в XXI веке. Интенсификация зернового производства базируется на 3-х основных составляющих: 1 — высокоурожайных сортах, отзывчивых на применение удобрений, 2 — высоких дозах минерального питания (прежде всего азотного), 3 — эффективной защите растений. Устойчивость пшеницы к патогенным организмам при интенсивных технологиях ее возделывания с повышением уровней азотного питания существенно снижается, увеличиваются потери урожая зерна. Различные сорта по-разному реагируют на высокий агрофон. На некоторых сортах при применении высоких доз удобрений потери урожая от болезней могут достигать 20–30% и более, что не позволяет сорту реализовывать свои потенциальные урожайные возможности. Современные химические пестициды в значительной степени (на 70% и более) способны компенсировать негативные фитосанитарные последствия высоких фонов азотного питания. На разных сортах компенсаторное воздействие средств защиты проявляется неодинаково. Современное интенсивное растениеводство может быть рациональным и экологичным только при применении агроэкологически адаптированных региональных технологий, учитывающих биологические и фитосанитарные особенности районированных сортов.

Ключевые слова: пшеница, интенсивная технология, защита растений, фитосанитария, сорт, устойчивость, урожай, потери урожая, пестицид, Центральный район России.

DOI: 10.31857/S0002188120100105

ВВЕДЕНИЕ

Обеспечение всевозрастающего населения планеты продуктами питания является критической проблемой XXI века. В условиях роста населения, сопровождающегося уменьшением возделываемых площадей, истощаемостью ресурсов Земли, глобальными изменениями климата. Эта проблема может быть решена только посредством прогрессирующей интенсификации растениеводства, которое, по образному выражению А.А. Жученко, представляет собой “индустрию жизни” [1]. Интенсификация зернопроизводства базируется на 3-х главных составляющих: 1 — высокоурожайном сорте, 2 — высоком фоне минерального питания, 3 — защите растений. Основой этой

триады безусловно является генетический потенциал возделываемых растений, реализуемый селекционерами посредством создания новых, все более урожайных сортов [1, 2]. По данным ученых и практиков, только за счет генетического потенциала новых сортов пшеницы без учета достижений в области агротехнологий ее урожайность в XX веке в разных регионах мира каждые 10 лет увеличивалась на 2–4 ц/га. Новые сорта в настоящее время обеспечивают получение 100 и более ц зерна/га [2–4].

Однако высокая продуктивность новых сортов не всегда сочетается с другими полезными свойствами и, в частности, с устойчивостью к биотическим (болезням, вредителям) и абиотическим (низким и высоким температурам, засухе и др.)



Рис. 1. Вклад болезней пшеницы разной органотропной приуроченности в общие потери урожая зерна в Центральном районе РФ.

факторам. Если говорить об иммунитете пшеницы к болезням, то селекционеры сегодня могут предложить производству продуктивные сорта, устойчивые к ржавчине и мучнистой росе. В то же время мало сортов с высокой устойчивостью к септориозу и фузариозу, нет сортов, устойчивых к комплексу болезней и вредителей. Сорта, устойчивые к одним патогенам, зачастую сильно поражаются другими. Устойчивость не постоянна во времени, с появлением новых вирулентных и агрессивных рас она теряется [5, 6].

Сорта интенсивного типа могут реализовать свою потенциальную урожайность только на агрофоне, удовлетворяющем их потребность в питательных веществах, и в первую очередь, в азоте. Азот входит в состав каждой растительной клетки (белки, аминокислоты, хлорофилл и др.), определяя количество и качество урожая. Применение высоких доз азотных удобрений, сбалансированных с другими элементами питания, является второй базовой составляющей интенсивных технологий растениеводства. Однако при высоких дозах азотного питания устойчивость многих сельскохозяйственных культур к вредящим организмам (болезням, вредителям) снижается, увеличивается засоренность посевов [7, 8]. Эти проблемы особенно отчетливо проявились, начиная с 1960-х гг., когда во многих странах мира (прежде всего в Европе) стали широко применять технологии интенсивного зернопроизводства, основанные на возделывании высокопродуктивных сортов и применении высоких доз азотных удобрений [8, 9]. Такие технологии, как показала мировая практика, невозможны без эффективной защиты растений, обеспечивающей сохранение урожая и его качество.

От болезней, вредителей и сорняков Россия ежегодно теряет от 20 до 30% потенциального урожая зерна [10]. По данным ФАО, такая же картина имеет место и в других странах мира [8, 9].

Структуры консорциумов вредящих биообъектов территориально существенно различаются. Они зависят от почвенных, климатических, агротехнологических и иных особенностей регионов. На рис. 1 показан вклад отдельных групп фитопатогенных комплексов озимой пшеницы в потери урожая зерна от болезней в Центральном районе России. Наибольший урон урожаю (до 70%) в этом случае причиняют болезни вегетативных и репродуктивных органов (листья, стебли, колоса). Основными являются септориоз листьев (*Septoria tritici* Rob. et Desm), септориоз колоса (*Stagonospora nodorum* Berk.), бурая ржавчина (*Puccinia triticina* f. sp. Erikss.), стеблевая ржавчина (*Puccinia graminis* f. sp. *tritici* Pers.), мучнистая роса (*Blumeria graminis* D.C.), фузариоз колоса (*Fusarium* spp.) [10].

Зерновой клин озимой пшеницы в Центральном районе РФ представлен главным образом сортами селекции Федерального научного центра «Немчиновка», созданными академиком Б.И. Сандухадзе и его сотрудниками. Наиболее возделываемыми из них в настоящее время являются Московская 56, Московская 40, Московская 39, Немчиновская 57, Немчиновская 24, Немчиновская 17 и некоторые другие.

Цель работы — изучение фитосанитарных особенностей сортов озимой пшеницы, возделываемых в Центральном районе РФ по технологиям интенсивного зернопроизводства, исследование компенсаторного воздействия средств химиче-

ской защиты растений на улучшение фитосанитарного состояния посевов пшеницы, возделываемых по интенсивным технологиям.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследование проводили в 2015, 2017 и 2019 гг. на полях ФИЦ “Немчиновка” (Московская обл., Наро-Фоминский р-н, пос. Соколово). Объектами исследования служили районированные в Центральном районе сорта озимой пшеницы селекции ФИЦ “Немчиновка” и комплексы паразитирующих на них возбудителей болезней. Инфекционный фон — естественный. Почвы опытных участков — дерново-подзолистые, предшественник — пар. Возделывание пшеницы осуществляли согласно принятым в регионе методическим указаниям [11]. Осенью перед посевом вносили основное удобрение N30P30K30. Весной в фазе кушения проводили азотную подкормку посевов N_{aa} в дозах, соответствующих разным технологиям возделывания озимой пшеницы.

Варианты опыта: 1 — контроль (без азотной подкормки), 2 — экстенсивная (базовая) технология — подкормка N60, 3 — интенсивная технология — подкормка N90, 4 — высокоинтенсивная технология — подкормка N120. Размер опытных делянок — 25 м², повторность трехкратная.

Иммунологической оценке в годы исследования подвергали от 10 до 20 сортов и сортообразцов. В фазе молочно-тестовой спелости (ф. 80) проводили учеты интенсивности поражения растений комплексом болезней. В этой фазе развитие листостебельных и колосовых инфекций достигает, как правило, максимального уровня. При определении фаз развития растений и оценке степени развития болезней применяли рекомендуемые методы и шкалы [12]. Уборку урожая проводили комбайном HEGE 212.

Исследования компенсации потерь урожая зерна применением средств защиты растений проводили в 2004–2019 гг. на опытных полях ВНИИФ (Московская обл., Одинцовский р-н, пос. Летний Отдых).

Объектами исследования служили возделываемые в Центральном районе сорта озимой пшеницы и химические фунгициды, применяемые в интенсивных технологиях.

Почва на опытных полях — дерново-подзолистая среднесуглинистая. Предшественник — пар и озимая пшеница. Обработка почвы — зяблевая вспашка на глубину 15–18 см отвальным плугом ПН-4-35 и предпосевная культивация культиватором КИН-4 на глубину 5–8 см. Посев проводи-

ли в оптимальные для региона сроки — 2–3-я декады сентября. Норма высева семян — 220 кг/га. Перед посевом в разные годы проведения эксперимента семена протравливали одним из следующих препаратов — девидент Стар КС, максим Экстра КС или раксил КС. Удобрения под предпосевную культивацию — N30P30K30. В фазе кушения (ф. 29–31) проводили азотную подкормку посевов дозой N_{aa} 100–120. Весной (ф. 31) для защиты от сорняков посевы опрыскивали гербицидами фенизан ВР, линтур, ВДГ и др.

Для защиты от болезней в фазе начала колошения–цветения (ф. 39–59) проводили опрыскивание посевов одним из фунгицидов — альто Супер, КЭ, амистар Экстра, КЭ, титул Дуо, ККР или пропи Плюс, КЭ. Эти фунгициды широко применяют в РФ в последние годы на зерновых культурах для защиты от листовых и колосовых инфекций. Нанесение препаратов на растения осуществляли с помощью экспериментального штангового опрыскивателя ОРШ-2. Нормы расхода препаратов и рабочей жидкости — согласно рекомендациям разработчиков. Контролем служили необработанные (незащищенные) посевы. Размеры опытных делянок — от 200 до 2000 м², повторность четырехкратная.

В течение вегетационного сезона вели наблюдения за фитосанитарным состоянием посевов и фенологией развития растений. Интенсивность развития болезней оценивали по принятым во ВНИИФ методам; фазы развития растений определяли по шкале ЕУКАРПИА [12]. Урожай убирали малогабаритным комбайном HEGE. Исследования вели на естественном инфекционном фоне.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Фитосанитарные особенности сортов озимой пшеницы, возделываемых в центральном районе РФ по интенсивным технологиям. Патогенный комплекс листовых инфекций на полях, отведенных под опыт, был представлен септориозом листьев, бурой ржавчиной, мучнистой росой. Его состав и интенсивность проявления болезней варьировали в зависимости от вегетационного сезона. Приведены результаты изучения фитосанитарных особенностей 5-ти наиболее востребованных в настоящее время сортов озимой пшеницы в вариантах возделывания по интенсивным технологиям.

Септориоз листьев отмечали во все годы исследования; бурая ржавчина интенсивно проявлялась в 2019 г. (в комплексе с септориозом), а мучнистая роса — в 2015 г. Интенсивность развития болезней существенно отличалась в зависимости от сорта. В контроле (без защиты) септориозом

Таблица 1. Интенсивность развития листовых инфекций на сортах озимой пшеницы, районированных в Центральном районе РФ, при разных дозах внесения азотных удобрений (Московская обл., ФИЦ “Немчиновка”, 2015–2019 гг.)

Сорт	Технология	N, кг д.в./га*	Интенсивность развития болезней, %		
			септориоз ¹	бурая ржавчина ²	мучнистая роса ³
Московская 56	Экстенсивная (контроль)	0	27.2	11.4	1.1
	Базовая	60	36.7	16.8	2.3
	Интенсивная	90	40.9	19.9	3.1
	Высокоинтенсивная	120	45.5	23.8	5.5
Московская 39	Экстенсивная (контроль)	0	27.7	19.0	3.2
	Базовая	60	31.7	21.5	5.0
	Интенсивная	90	36.3	28.0	7.0
	Высокоинтенсивная	120	43.1	41.5	10.0
Московская 40	Экстенсивная (контроль)	0	30.6	13.0	2.8
	Базовая	60	38.2	19.5	3.3
	Интенсивная	90	41.0	24.4	6.5
	Высокоинтенсивная	120	43.6	32.0	10.7
Немчиновская 57	Экстенсивная (контроль)	0	42.1	13.8	0.1
	Базовая	60	44.0	19.5	1.0
	Интенсивная	90	50.3	22.5	1.9
	Высокоинтенсивная	120	53.8	28.0	2.4
Немчиновская 17	Экстенсивная (контроль)	0	36.4	4.0	2.7
	Базовая	60	39.6	5.9	8.1
	Интенсивная	90	44.9	7.3	10.2
	Высокоинтенсивная	120	46.0	12.0	11.8

*Весенняя подкормка в фазе начала трубкования (ф. 29–31). То же в табл. 2, 3.

¹Среднее за 2015, 2017, 2019 гг.; ²2019 г.; ³2015 г.

листьев наиболее сильно поражаются сорта Немчиновская 57 и Немчиновская 17, а наибольшую устойчивость проявляли сорта Московская 56 и Московская 59 (табл. 1). Бурая ржавчина сильнее развивалась на сортах Московская 39 и Немчиновская 57, слабее – на сортах Немчиновская 17 и Московская 56. Интенсивность развития мучнистой росы во все годы исследования была слабой (0.1–3.2% в контроле).

При применении высоких доз азота, рекомендуемых в виде подкормки для интенсивных (N90) и высокоинтенсивных (N120) технологий интенсивность поражения сортов листостебельными инфекциями существенно (в 2–3 раза) возрастала. Например, пораженность сорта Московская 56 септориозом возросла с 27.2 (контроль), до 45.5% (N120), бурой ржавчиной – с 11.4 до 23.8% (N120), мучнистой росой – с 1.1 до 5.3% (N120). Такую же фитосанитарную ситуацию наблюдали и на других испытанных сортах.

Сорта по-разному отзывались на высокий азотный фон. Меньше других реагировали сорта Немчиновская 17 и Немчиновская 57, больше – сорта Московская 56 и Московская 39. Сильнее возрастала пораженность бурой ржавчиной и мучнистой росой, слабее – септориозом. Это вполне объяснимо, т.к. возбудители ржавчины и мучнистой росы являются облигатными паразитами и чем лучше состояние растений, тем интенсивнее они проявляются.

В табл. 2 приведены данные, характеризующие развитие колосовых инфекций пшеницы на разных фонах азотного питания. Патогенный комплекс на колосе был представлен возбудителями септориоза колоса (2015, 2017, 2019 гг.), фузариоза колоса и альтернариоза (2017 г.). Септориозом сильнее других поражаются сорта Московская 40 и Немчиновская 17, фузариозом и альтернариозом – сорта Московская 56 и Московская 39. Наиболее устойчивыми к колосовым инфекциям были сорта Московская 56 и Немчиновская 57.

Таблица 2. Интенсивность развития колосовых инфекций на сортах озимой пшеницы, районированных в Центральном районе РФ, при разных дозах внесения азотных удобрений (Московская обл., ФИЦ “Немчиновка”, 2015–2019 гг.)

Сорт	Технология	N, кг д.в./га *	Интенсивность развития болезней, %		
			септориоз ¹	фузариоз ²	альтернариоз ³
Московская 56	Экстенсивная (контроль)	0	9.6	4.6	16.7
	Базовая	60	20.5	8.7	26.0
	Интенсивная	90	24.5	8.8	53.0
	Высокоинтенсивная	120	28.9	19.9	57.0
Московская 39	Экстенсивная (контроль)	0	13.6	8.7	18.5
	Базовая	60	15.4	14.5	25.0
	Интенсивная	90	19.2	17.0	31.5
	Высокоинтенсивная	120	22.8	17.5	53.0
Московская 40	Экстенсивная (контроль)	0	16.8	8.4	25.0
	Базовая	60	22.6	13.3	37.5
	Интенсивная	90	25.7	20.5	40.0
	Высокоинтенсивная	120	26.5	30.0	55.0
Немчиновская 57	Экстенсивная (контроль)	0	11.3	2.9	7.4
	Базовая	60	13.2	3.4	12.2
	Интенсивная	90	20.0	5.2	17.2
	Высокоинтенсивная	120	21.4	16.1	21.5
Немчиновская 17	Экстенсивная (контроль)	0	16.7	1.2	4.6
	Базовая	60	17.2	1.4	5.0
	Интенсивная	90	18.6	1.7	7.0
	Высокоинтенсивная	120	19.7	2.7	12.5

¹Среднее за 2015, 2017 и 2019 гг.; ²2017 г.; ³2017 г.

Как и в случае с листовыми инфекциями, с повышением азотного фона возрастала интенсивность развития болезней. При этом амплитуда повышения пораженности была различной. Сильнее реагировали на изменение агрофона сорта Московская 56 и Немчиновская 57, слабее других – сорта Немчиновская 17 и Московская 39. Оценка пораженности растений или их отдельных органов с помощью применяемых в опыте шкал характеризовала визуально видимый уровень проявления признаков заболеваний.

Для решения практических задач растениеводства важно знать, в какой степени изменения пораженности растений, отмеченные на разных фонах азотного питания, отражались на вредности болезней – потерях урожая зерна.

Определение потерь урожая непосредственно в поле на производственных или опытных посевах представляет собой методически сложный и материально затратный процесс. Чтобы оценить потери урожая от болезни, вредителя или сорняка необходимо знать величину потенциального урожая, возможного в отсутствии вредных организ-

мов. Это может быть установлено экспериментальным путем, посредством выделения на поле участков, на которых в течение сезона проводят многократные защитные обработки посевов пестицидами – чистый контроль. Сравнение урожая в чистом контроле с фактическим урожаем на всем поле позволяет определить потери зерна с единицы площади в натурном (весовом) исчислении или в процентах.

Контрольные участки, учитывая невыровненность полей по ландшафту и почвенному плодородию, должны закладываться с соблюдением необходимой повторности. Кроме того, пестициды, участвуя в процессах метаболизма растений, сами по себе влияют на урожай. Все это делает “экспериментальную” оценку сложной, не всегда объективной и зачастую недоступной как для аграриев-производственников, так и для ученых, проводящих подобного рода исследования.

Во Всероссийском научно-исследовательском институте фитопатологии многие годы проводили работы по изучению эпидемиологии болезней озимой и яровой пшеницы. Выполнено большое

Таблица 3. Урожай и потери урожая от комплекса болезней сортов озимой пшеницы, районированных в Центральном районе РФ, при разных дозах внесения азотных удобрений (Московская обл., ФИЦ “Немчиновка”, 2015–2019 гг.)

Сорт	Технология	N, кг д.в./га*	Урожай**, ц/га		Потери урожая от болезней**, ц/га	
			общий	прибавка при N-подкормке (к контролю)	общие	на фоне N-подкормки (к контролю)
Московская 56	Экстенсивная (контроль)	0	76.4	—	12.4	—
	Базовая	60	79.1	2.7	19.2	6.8
	Интенсивная	90	77.1	0.7	20.6	8.2
	Высокоинтенсивная	120	74.9	–1.5	26.7	13.6
Московская 39	Экстенсивная (контроль)	0	70.3	—	14.3	—
	Базовая	60	72.0	1.7	19.0	4.7
	Интенсивная	90	76.6	6.9	25.3	11.0
	Высокоинтенсивная	120	76.9	6.6	38.1	23.8
Московская 40	Экстенсивная (контроль)	0	64.7	—	12.3	—
	Базовая	60	74.9	0.2	19.1	6.8
	Интенсивная	90	76.1	11.4	27.4	15.1
	Высокоинтенсивная	120	77.9	13.2	33.5	21.2
Немчиновская 57	Экстенсивная (контроль)	0	69.1	—	16.0	—
	Базовая	60	78.5	9.4	22.3	6.3
	Интенсивная	90	78.3	9.2	26.1	10.1
	Высокоинтенсивная	120	81.2	12.1	30.6	14.6
Немчиновская 17	Экстенсивная (контроль)	0	68.8	—	13.1	—
	Базовая	60	80.9	12.1	16.9	3.8
	Интенсивная	90	82.6	13.8	18.6	5.5
	Высокоинтенсивная	120	84.3	15.5	28.1	15.0

**Средние данные за 2015, 2017, 2019 гг.

количество экспериментов на разных сортах пшеницы при разных агроэкологических условиях, в ходе которых вели наблюдения за развитием болезней и оценивали причиненный ими урон урожая.

Наличие большой экспериментальной базы позволило разработать и предложить для производственных и научных целей расчетные методы определения потерь урожая пшеницы от болезней. Они основаны на эмпирических моделях (уравнениях), характеризующих связь потерь урожая зерна с периодом развития той или иной болезни в посевах и интенсивностью ее проявления в конце вегетации растений [13]. В табл. 3 приведены данные, характеризующие урожай и потери урожая зерна от болезней при возделывании пшеницы по технологиям разной интенсивности на разных фонах азотного питания.

С повышением доз азота урожайность всех сортов увеличивалась, однако величина прибавки

у разных сортов была различной. В наибольшей степени урожай возрастал у сортов Немчиновская 17 и Московская 39, в наименьшей — у сортов Московская 39 и Московская 56. У последнего сорта на фоне N120 он даже несколько снизился по сравнению с контролем.

С увеличением доз азота возрастали потери урожая от болезней. Как и урожай, потери урожая у разных сортов с увеличением азотного фона также были неодинаковыми. Наибольшие потери урожая отмечены у сортов Московская 39 и Московская 40, а наименьшие — у сортов Московская 56 и Немчиновская 17. Если сравнить темпы роста урожая и темпы увеличения потерь урожая, то следует отметить, что последний показатель существенно превышал первый. Это означало, что именно болезни и их рост на высоком агрофоне являлись главным препятствием в достижении сортом его потенциального урожая, возможного

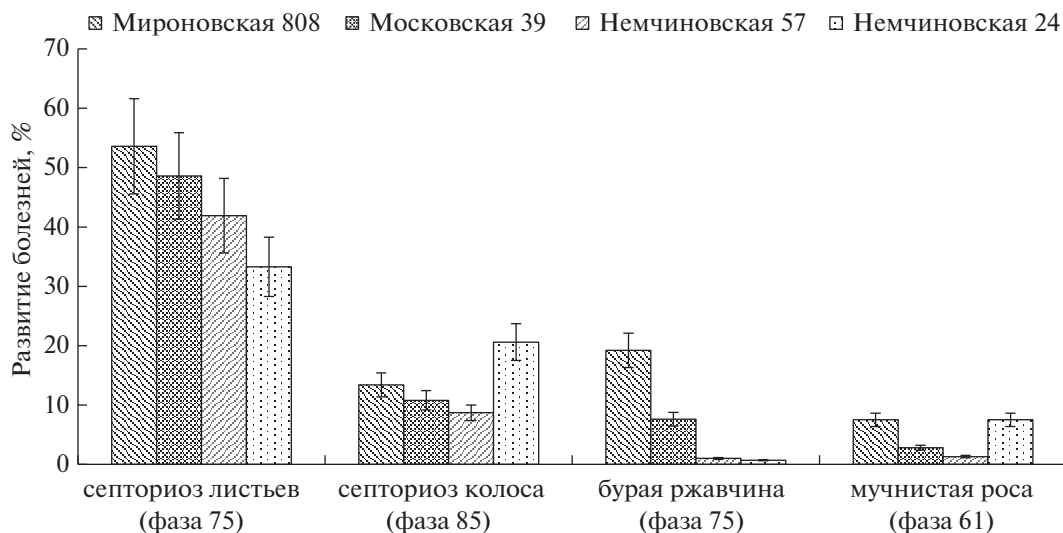


Рис. 2. Развитие грибных патогенов на опытных сортах озимой пшеницы (Московская обл., ВНИИФ, 2003–2009 гг.).

при интенсивных технологиях возделывания на высоком фоне азотного питания.

Таким образом, при возделывании сортов пшеницы интенсивного типа на высоком агрофоне получение высоких и стабильных урожаев зерна невозможно без эффективной защиты растений от болезней.

Компенсаторное воздействие средств химических средств защиты растений на фитосанитарное состояние посевов озимой пшеницы, возделываемых по интенсивным технологиям. Приведенные выше факты показали, что с увеличением доз азотного питания при интенсивном зернопроизводстве иммунитет озимой пшеницы к болезням ослабевает, что приводит к повышению пораженности растений болезнями и увеличению потерь урожая зерна. Различные сорта проявляли разную реакцию на этот агроприем. В какой степени снижение устойчивости того или иного сорта может быть компенсировано применением средств защиты растений?

За годы исследования было проведено 13 опытов, отличающихся возделываемыми сортами, использованными фунгицидами, погодными условиями и интенсивностью развития заболеваний. Общим для всех опытов было применение технологий с высокими дозами азотного питания.

Основу патогенных комплексов в период осенне-летней вегетации составляли септориоз листьев, бурая ржавчина, мучнистая роса, септориоз колоса. В отдельные сезоны наблюдали развитие стеблевой и желтой ржавчины, фузариоза и альтернариоза колоса.

Обсудить в настоящей работе весь экспериментальный материал вследствие его большого объема не представлялось возможным. Поэтому на рис. 2. и в табл. 4 приведены обобщенные данные, характеризующие устойчивость использованных в опыте сортов и эффективность применения средств защиты.

Сорта отличались по устойчивости к болезням. Сильнее других поражаются сорта Мироновская 808 и Московская 39, слабее – сорта Немчиновская 24 и Немчиновская 57. Чем выше была восприимчивость сортов, тем больше была эффективность применения фунгицидов – величина сохраненного урожая. Для сорта Мироновская 808 во всех 13-ти повторениях эксперимента она составила в среднем 10.2, Московская 39 – 9.6, Немчиновская 24 – 7.5, Немчиновская 57 – 6.8 ц/га.

Если сопоставить данные, характеризующие величину сохраненного урожая испытанных сортов (табл. 4) с потерями урожая от болезней (табл. 3), то окажется, что доля сохраненного урожая при применении фунгицидов варьировала в годы исследования от 55 до 75% в зависимости от сорта и технологии его возделывания (уровня интенсификации).

В Центральной России, где погодные условия практически ежегодно благоприятствуют развитию опасных фитопатогенных комплексов, возделывание озимой пшеницы по интенсивным технологиям, включающим использование урожайных сортов, отзывчивых на агрофон, и высокие дозы азотных удобрений, невозможно без химической защиты посевов. Каждому сорту, в связи с его индивидуальными биологическими особен-

Таблица 4. Эффективность химической защиты озимой пшеницы от комплекса болезней* при интенсивной технологии ее возделывания в Центральном районе РФ (Московская обл., ВНИИФ, 2015–2019 гг.)

Сорт	Количество опытов	Фунгицид, норма применения, л/га, г/га	Урожайность, ц/га					
			без защиты		с защитой		сохраненный	
			min–max	среднее	min–max	среднее	min–max	среднее
Мироновская 808	2	Альто Супер КЭ, 0.5	40.4–63.6	52.0	46.5–78.0	62.2	6.1–14.4	10.2
Московская 39	5	Альто Супер КЭ, 0.5 Амистар-Экстра КЭ, 0.25 Титул Дуо ККР, 0.3	32.1–64.1	48.3	41.0–78.1	59.6	7.7–11.6	9.6
Немчиновская 24	3	Альто Супер КЭ, 0.5 Пропи Плюс КЭ, 250	43.8–75.4	60.1	53.6–81.8	67.7	6.4–8.7	7.5
Немчиновская 57	3	Альто Супер КЭ, 0.5 Пропи Плюс КЭ, 250	57.0–78.3	67.6	61.8–87.2	74.5	4.8–8.9	6.8

*Септориоз листьев, бурая ржавчина, мучнистая роса, септориоз колоса.

ностями, должна соответствовать адаптированная ему технология возделывания и фитосанитарного контроля.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Современное интенсивное зернопроизводство базируется на 3-х главных составляющих: 1 – высокоурожайные сорта, отзывчивые на применение удобрений, 2 – высокий фон минерального питания (прежде всего азотного), 3 – эффективная защита растений. Сорта озимой пшеницы интенсивного типа не всегда сочетают высокую урожайность с комплексной устойчивостью к болезням. Будучи устойчивыми к одним заболеваниям, они могут в значительной степени поражаться другими. При повышении уровня азотного питания, что является обязательным элементом технологии интенсивного зернопроизводства, пораженность растений фитопатогенами существенно возрастает. Различные сорта и поражающие их патогенные комплексы по-разному реагируют на высокий агрофон. Сильнее проявляются болезни, вызываемые облигатными паразитами (ржавчина, мучнистая роса), слабее – факультативными сапрофитами (септориоз, фузариоз, альтернариоз). У восприимчивых сортов пораженность растений увеличивается в 2.5–3.0 раза по сравнению с базовым (обычным) агрофоном; у относительно более устойчивых – в 1.5–2.5 раза. Соответственно росту пораженности на высоком агрофоне возрастают потери урожая зерна от болезней. Для некоторых сортов они бывают настолько значительными, что полностью нивелируют эффект от применения удобрений.

В Центральной России, где погодные условия практически ежегодно складываются благопри-

ятно для развития опасных патогенов, получение высоких и стабильных урожаев озимой пшеницы невозможно без применения средств защиты растений.

При интенсивных технологиях зернопроизводства приоритетной является химическая защита, т.к. она обеспечивает лучший контроль опасных фитосанитарных ситуаций в сравнении с биологической, агротехнической и другими методами и способами. Химическая защита с использованием современных фунгицидов позволяет компенсировать от 55 до 75% возможных потерь урожая от болезней. Ее эффективность зависит от биотических и абиотических факторов, в числе которых решающее значение принадлежит сорту и агроприемам его возделывания. Каждому сорту, в связи с его индивидуальными особенностями (иммунитетом, отзывчивостью на удобрения и др.), должна соответствовать адаптированная ему технология возделывания и фитосанитарного контроля.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Жученко А.А. Адаптивное растениеводство. М.: Агрорус, 2008. Т. 1. 814 с.
2. Жученко А.А. Ресурсный потенциал производства зерна в России. М.: Агрорус, 2004. 1109 с.
3. Сандухадзе Б.И. Селекция озимой пшеницы в Центральном регионе Нечерноземной зоны России. М., 2011. 501 с.
4. Романенко А.А., Беспалова Л.А., Кудряшов И.Н., Аблова И.В. Новая сортовая политика и сортовая агротехника озимой пшеницы. Краснодар, 2005. 221 с.
5. Санин С.С. Фитосанитарные проблемы интенсивного растениеводства // Защита и карантин растений. 2013. № 12. С. 3–9.

6. Санин С.С. Роль сорта в интегрированной защите зерновых культур // Защита и карантин растений. 2007. № 3. С. 16–20.
7. Вавилов Н.И. Иммуитет растений к инфекционным заболеваниям. М., 1919. 266 с.
8. Шнаар Д. Защита растений в устойчивых системах земледелия. Кн. 3. Берлин, 2004. 336 с.
9. Шнаар Д. Рост населения в мире, экологически устойчивое сельское хозяйство и защита растений на рубеже XXI века // Вестн. защиты раст. 1999. № 1. С. 36–43.
10. Санин С.С., Назарова Л.Н. Фитосанитарная обстановка на посевах пшеницы в Российской Федерации // Защита и карантин раст. 2010. № 2. С. 2–19.
11. Васютин А.С., Сандухадзе Б.И., Гончаренко А.А., Войтович Н.В. Технологии производства зерна озимых зерновых культур в Центральном федеральном округе Российской Федерации. Рекомендации. М.: МосНИИСХ, 2015. 176 с.
12. Санин С.С., Соколова Е.А., Черкашин В.И., Назарова Л.Н., Стрижекозин Ю.А., Ибрагимов Т.З., Неклеса Н.П. Болезни зерновых культур. М., 2010. 138 с.
13. Санин С.С., Ибрагимов Т.З., Стрижекозин Ю.А. Метод расчета потерь урожая пшеницы от болезней // Защита и карантин раст. 2018. № 1. С. 11–15.

Intensification of Wheat Grain Production, Phytosanitary and Plant Protection in Central District of Russia

S.S. Sanin^{a, #}, B.I. Sandukhazee^b, R.Z. Mamedov^b,
L.V. Karlova^a, L.G. Korneva^a, and O.M. Ruleva^a

^a All-Russian Research Institute of Phytopathology
ul. Institut 5, Bolshiye Viazomy, Odintsovo district, Moscow region 143050, Russia

^b Federal Research Center "Nemchinovka"
ul. Agrokhimikov 6, Novoivanovskoye, Odintsovo district, Moscow region 143026, Russia

[#] E-mail: sanin@vniif.ru

Under the conditions of persisting population growth, decrease of land utilization and global climate change, intensification of plant growing is the issue of sustainable development of humanity in XXI century. Intensification of grain production is based on three main components: 1 – high yielding sorts responsive to fertilizer application, 2 – high rates of mineral (primarily nitrogen) nutrition, 3 – efficient plant protection. Wheat's resistance to pathogenic organisms considerably decreases when intensive wheat growing technologies employing higher nitrogen nutrition level are used; grain harvest losses increase. Different breeds demonstrate different reaction on intensive soil preparation. Some of them, when fertilizer usage is high, can demonstrate 20–30% and higher loss from disease, which does not allow the breed to perform its potential yield. Modern chemical pesticides can considerably (70% and more) compensate for negative phytosanitary consequences of extensive nitrogen application in plant growing. The effect appears at different degree depending on the breed. Modern intensive plant growing can be rational and environment friendly only subject to implementation of the technologies adapted for regional agroecology that take into account biological and phytosanitary profile of area-specific breeds.

Key words: wheat, intensive technology, plant protection, phytosanitary, breed, resistance, harvest, harvest loss, pesticide, Central district of Russia.

УДК 633.11:632.9

ФИТОСАНИТАРНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ПШЕНИЧНОГО ПОЛЯ И ЭФФЕКТИВНОСТЬ СРЕДСТВ ЗАЩИТЫ ОТ БОЛЕЗНЕЙ¹

© 2020 г. А. Ю. Кекало^{1,*}, В. В. Немченко¹, Н. Ю. Заргарян¹, А. С. Филиппов¹

¹ Уральский федеральный аграрный научно-исследовательский центр Уральского отделения РАН
(УрФАНИЦ УрО РАН)

620142 Екатеринбург, ул. Белинского, 112а, Россия

*E-mail: alena.kekalo@mail.ru

Поступила в редакцию 03.02.2020 г.

После доработки 03.03.2020 г.

Принята к публикации 10.07.2020 г.

Приведены результаты исследований и наблюдений в течение 11 лет за фитосанитарным состоянием посевов яровой пшеницы и результативностью действия фунгицидных средств защиты растений на продуктивность и качество зерна в различные по уровню поражения годы. Меры защиты от фитопатогенов требовались в 64% лет, когда развитие болезней было эпифитотийным либо умеренным. В среднем за годы массового развития аэрогенных инфекций на пшенице хозяйственная эффективность применения препаратов фунгицидного действия была значительной (24%). При умеренном поражении пшеницы фунгицидная защита сохраняла 18% урожайности культуры. В годы с депрессивным развитием аэрогенных инфекций применение химических фунгицидов было нецелесообразным. Своевременное применение фунгицидной защиты при опасности массового распространения листовых инфекций позволяло стабилизировать получение зерна пшеницы хорошего качества с содержанием клейковины >23%.

Ключевые слова: яровая пшеница, болезни растений, фунгициды, биологическая эффективность, урожайность.

DOI: 10.31857/S0002188120100038

ВВЕДЕНИЕ

Уровень урожайности и качества зерна пшеницы, как и большинства сельскохозяйственных культур, определяется сочетанием многочисленных факторов, таких как погодные условия периода вегетации, генетические особенности возделываемых сортов, потенциал почвенного плодородия и т.п. [1]. Помимо перечисленных факторов, важнейшая роль отводится технологии возделывания и эффективной системе защиты растений от вредных организмов [2, 3]. Анализ результативности работы растениеводческих хозяйств региона показал, что в один год при схожем сортовом наборе получают зерно, существенно отличающееся по количественным и качественным пока-

зателям, следовательно, и разную экономическую эффективность [4].

Применение в растениеводческих хозяйствах Уральского региона элементов минимальных и нулевых технологий возделывания сельскохозяйственных культур привело к изменениям в составе хозяйственно-значимых болезней, сорняков и вредителей. Это в свою очередь требует разработки адекватных мер защиты растений.

Аэрогенные (листочечковые) инфекции проявляются на пшеничном поле нерегулярно, но потери урожайности в случае их массового развития могут составить >50%. Хозяйственное значение в регионе имеют такие болезни листьев злаковых культур, как бурая ржавчина, мучнистая роса, септориоз, темно-бурая пятнистость. Массовые вспышки распространения мучнистой росы в посевах пшеницы, как правило, наблюдают в 4-х–5-ти из 10 лет, как и темно-бурой пятнистости листьев [4, 5]. Бурая ржавчина может проявляться ежегодно, но в разные сроки. Массовое развитие инфекции отмечали, как правило, в годы с обильным увлажнением второй половины

¹ Исследование выполнено в рамках Государственного задания Министерства науки и высшего образования по направлению 153 Программы ФНИ государственных академий наук по теме “Усовершенствовать систему интегрированной защиты растений в ресурсосберегающих технологиях на основе одностороннего применения биологических и химических средств защиты растений нового поколения и комплексного их использования с регуляторами роста и внекорневыми подкормками”.

периода вегетации (2–3 раза в 10 лет) в сочетании с температурным режимом 18–20°C. Результаты многолетних наблюдений свидетельствуют о том, что потери урожайности пшеницы от бурой листовой ржавчины составляют в обычные годы 3–5, а в годы эпифитотий – 20–30% [4–6]. Поражение растений септориозом в основной массе лет находилось на депрессивном уровне, но с ростом числа стерневых фонов усилилась вредоносность данного фитопатогена [7, 8]. В отсутствии оборота почвенного пласта и усиления пестицидного прессинга на агроценоз имеет место усиление развития желтой пятнистости листьев (пиренофороза), фузариоза колоса [9, 10]. В период 2015–2017 гг. на пшенице практически всех возделываемых сортов отмечали развитие стеблевой ржавчины пшеницы. Аналогичные поражения наблюдали в Западной Сибири [11–13], в Казахстане [3], в Центральном регионе РФ [14].

Современный российский рынок средств защиты растений предлагает широкий набор препаратов фунгицидного действия для пшеницы [15]. Но эффективность защитных обработок не всегда бывает хорошей. Причины этого – как в несоблюдении технологии внесения пестицидов, так и в ошибках со сроками внесения, а также с выбором препаратов [16, 17].

Цель работы – изучение уровня поражения растений в посевах в различные годы и оценка действия фунгицидов (химических и биологических) на яровую мягкую пшеницу (*Triticum aestivum* L.) для стабилизации продуктивности культуры и качества зерна в условиях УрФО.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследование выполнено в лаборатории регуляторов роста и защиты растений Курганского научно-исследовательского института сельского хозяйства – филиала Уральского федерального аграрного научно-исследовательского центра Уральского отделения РАН (УрФАНИЦ УрО РАН) в 2009–2019 гг. В опытах использовали яровую мягкую пшеницу (*Triticum aestivum* L.) сорта Омская 36. Почва опытного участка – чернозем выщелоченный среднегумусный среднесуглинистый. Предшественником яровой пшеницы был чистый ранний пар. Обработки посевов фунгицидами проводили в фазе выхода флагового листа (ф. 37 по Цадоксу) опрыскивателем “Solo 456”, расход рабочего раствора 300 л/га. Схема опыта включала контроль без фунгицидной защиты, обработки фунгицидами альто супер 0.5 л/га (ципроконазол + пропиконазол), колосаль ПРО 0.4 л/га (тебуконазол + пропиконазол), фалькон

0.6 л/га (спироксамин + тебуконазол + триадименол), триада 0.6 л/га (пропиконазол + тебуконазол + эпоксиконазол), абакус Ультра 1.5 л/га (пираклостробин + эпоксиконазол), рекс Дуо 0.5 л/га (тиофанат-метил + эпоксиконазол) и микробиологическим препаратом на основе сенной палочки фитоспорин-М, Ж 1 л/га. Площадь делянки 20 м², повторность четырехкратная, размещение делянок систематическое. Погодные условия периода вегетации в годы эпифитотий листовых инфекций характеризовались обильным увлажнением во второй ее половине (ГТК за май–август составил 0.9–1.2) и существенным количеством дней в июле–августе, когда солнечная жаркая погода сменялась дождливыми днями. В годы с умеренным распространением инфекций ГТК был также >1, но имелись отличия по годам. Например, в 2015 г. июль был с пониженным температурным режимом и обилием осадков, а в 2011 г. недобор тепла имел место во 2-й декаде июля, а в августе установилась жаркая погода; кроме этого, запас инфекционных начал после острозасушливого 2010 г. был низким. Депрессивный уровень поражения пшеницы отмечали в годы с ярко выраженной июльской засухой. Наблюдения и учеты проведены по общепринятым в РФ методикам [17–20].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В период с 2009 по 2019 гг. массовое поражение посевов пшеницы аэрогенными инфекциями отмечено в 45% лет (2009, 2013, 2014, 2016, 2017 гг.). В 2011 и 2015 гг. развитие болезней носило умеренный характер, а в 2018 и 2019 гг. уровень поражения характеризовался как депрессия. Отличия наблюдали в видовой представленности паразитических грибов на растениях пшеницы. Основными хозяйственно значимыми болезнями культуры, как правило, были бурая ржавчина (*Puccinia recondita* Rob. ex Desm f. sp. *tritici*), мучнистая роса (*Blumeria graminis* (DC.) Speer f. sp. *tritici* March), линейная ржавчина (*Puccinia graminis* Pers. f. sp. *tritici* Erikss. et Henn.). В последние 2 года (2018–2019 гг.) доминирующим фитопатогеном на листьях был гриб *Pyrenophora tritici-repentis* (Died.) Drechsler., соседствовавший с мучнисто-росяными грибами. В 2010 и 2012 гг. отмечали единичное поражение листьев пятнистостями в силу острозасушливых условий периода вегетации (ГТК = 0.3).

В годы эпифитотий появление болезней фиксировали в период конец выхода в трубку–начало выхода флагового листа (ф. 32–37 по Цадоксу) с существенной скоростью процесса заражения, чему благоприятствовали погодные условия

Таблица 1. Биологическая и хозяйственная эффективность фунгицидов в посевах яровой пшеницы против листовых инфекций в годы массового и умеренного поражения (2013–2017 гг.)

Вариант	Бурая ржавчина (<i>Puccinia recondita</i> Rob. ex Desm f. sp. <i>tritici</i>), %		Мучнистая роса (<i>Blumeria graminis</i> (DC.) Speer f. sp. <i>tritici</i> March), %		Урожайность, ц/га
	%				
	развитие*	биологическая эффективность	развитие	биологическая эффективность	
Контроль	10.2	—	30.5	—	20.5
Фитоспорин-М, Ж 1 л/га	5.4	47	19.9	35	21.9
Альто Турбо 0.4 л/га	0.7	94	8.9	71	26.3
Колосаль ПРО 0.4 л/га	0.1	99	7.2	76	27.1
Абакус Ультра 1.5 л/га	0.2	98	6.0	80	27.3
Рекс Дуо 0.5 л/га	0.1	99	6.9	78	28.3
Фалькон 0.6 л/га	0.2	98	5.1	82	27.5
НСР ₀₅					1.7

*Определение фитосанитарного состояния посевов в период колошение—цветение, через 10 сут после фунгицидной обработки.

(влажно, тепло). Кроме того, в 2015–2017 гг. в период созревания зерна отмечали поражение соломины линейной ржавчиной, ставшей еще одной причиной существенного снижения продуктивности пшеницы (потери 9–12% только от одного вида инфекции) и массовой доли клейковины в зерне.

Вредоносность комплекса аэрогенных инфекций в годы эпифитотий составила 21–50%, и на 11–21% снижалось содержание клейковины в зерне. В таких условиях своевременное применение фунгицидов имело положительное действие на фитосанитарное состояние посевов и результативность производства зерна.

Наблюдала высокую биологическую эффективность системных препаратов против возбудителя бурой ржавчины в опыте (94–98%), биологического фунгицида — низкую (47%). В отношении мучнисто-росяных грибов подавление было несколько слабее (71–82%), результативнее боролась с данным видом инфекции поликомпонентные препараты на основе сочетаний следующих действующих веществ: спироксамин + тебуконазол + триадименол (фалькон), пираклостробин + + эпоксиконазол (абакус Ультра) (80–82%). Биофунгицид фитоспорин-М (*Bacillus subtilis*) малоэффективно подавлял мучнистую росу на листьях пшеницы (табл. 1).

В годы эпифитотий хозяйственная эффективность применения препаратов фунгицидного действия была значительной — в среднем в линейке препаратов была равна 24% при защите системными фунгицидами, при использовании биопрепарата — 8% (табл. 2). Корреляционная зависимость между

степенью поражения болезнями и урожайностью в эти годы характеризовалась как сильная отрицательная ($r = -0.75...-0.94$). Экономическая оправданность защитных мероприятий при применении фунгицидов обеспечила повышение рентабельности на 23% относительно контроля.

В годы умеренного поражения листьев инфекциями за счет химической защиты посевов сохранялось 18% урожайности, при использовании биологического препарата — 9%. Проведенные ранее исследования доказали эффективность применения в таких условиях баковых смесей половинной нормы расхода химического фунгицида с биопрепаратом на основе *Bacillus subtilis* [4]. Применение баковой смеси химического фунгицида в сниженной норме и биофунгицида способствовало сокращению фунгицидной нагрузки на посевы зерновых культур, обеспечивало надежную защиту посевов от комплекса листовых фитопатогенов на 77–81%. Сохраненный урожай составил 3.7 ц/га при использовании биопрепарата, 4.7 ц/га — при защите химическим фунгицидом и 5.3 ц/га — в варианте смеси защит. Отмечено повышение экономической эффективности защиты растений: рентабельность биологизированной защиты была больше на 13%, чем химической защиты (табл. 3).

Важно получение качественного зерна, что в большинстве случаев без использования средств защиты невозможно. В условиях региона белковость зерна пшеницы может достигать 14–16%. Большинство районированных современных сортов пшеницы способны формировать зерно с

Таблица 2. Эффективность фунгицидной защиты яровой пшеницы в зависимости от уровня развития листовых фитопатогенов (2009–2019 гг.)

Вариант	Урожайность, ц/га	Хозяйственная эффективность	Суммарное развитие болезней	Биологическая эффективность препарата	Рентабельность*
		%			
Единичное поражение листьев (2010, 2012 гг.)					
Контроль	12.0	—	0.8	—	—12
Системный фунгицид	12.0	0	0.3	63	—22
Биофунгицид	13.7	14	0.1	88	—4
Депрессия листовых инфекций (2018, 2019 гг.)					
Контроль	27.5	—	3.9	—	93
Системный фунгицид	29.9	8	1.2	69	88
Биофунгицид	29.0	5	2.6	33	94
Умеренное развитие болезней (2011, 2015 гг.)					
Контроль	27.9	—	9.9	—	89
Системный фунгицид	32.8	18	3.8	62	96
Биофунгицид	30.5	9	4.4	56	100
Массовое развитие болезней (2009, 2013, 2014, 2016, 2017 гг.)					
Контроль	21.2	—	48.6	—	44
Системный фунгицид	27.8	24	8.8	82	67
Биофунгицид	23.0	8	30.0	38	50

Примечание. Расчеты (среднее в линейке изученных препаратов): системный фунгицид — 1200 руб./га, биофунгицид — 206 руб./га.

Таблица 3. Эффективность комбинированной фунгицидной защиты посевов яровой пшеницы (2011–2014 гг.)

Вариант	Урожайность		Рентабельность, %
	ц/га	+/– к контролю	
Контроль	23.0	—	40
Биофунгицид на основе <i>Bacillus subtilis</i> (Фитоспорин-М 1, л/га)	25.4	3.7	61
Системный фунгицид (фалькон 0.6 л/га)	26.4	4.7	58
Системный фунгицид 1/2 нормы расхода + биофунгицид	27.0	5.3	71
<i>НСР</i> ₀₅	1.9		

содержанием клейковины >23% при надлежащем питании растений и защите от вредных организмов.

В опыте массовая доля клейковины в зерне пшеницы в среднем за годы исследования в контроле составила 24.9%, в вариантах с защитой биопрепаратом — 25.3%, а при использовании химических фунгицидов — >28.0%. В годы массового и умеренного поражения листьев пшеницы болезнями корреляционная зависимость между развитием инфекций и содержанием клейковины в зерне характеризовалась как сильная и очень сильная отрицательная ($r = -0.89...-0.97$).

Достаточно часто ограничивающим фактором для качества зерна пшеницы был показатель упругости клейковины. В опыте ее ослабление до

80–92 ед. ИДК отмечали в 2009, 2013, 2014 и 2016 гг. Заметная корреляционная зависимость ($r = 0.66-0.70$) была у обсуждаемого показателя с температурным режимом в период формирования зерна и его налива (во 2-й и 3-й декадах июля и в 1-й декаде августа), что согласуется с данными других исследователей в схожих почвенно-климатических условиях.

Оценивая данные качества зерна пшеницы за годы исследования, следует отметить, что после парового предшественника с гербицидной прополкой среднеранний сорт яровой мягкой пшеницы обеспечивал получение зерна 3-го класса в контроле в 40% лет, а при использовании системных фунгицидов — в 80% лет.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

За период наблюдений за поражением пшеницы листовыми инфекциями меры защиты требовались в 64% лет, когда развитие болезней было эпифитотийным либо умеренным. В годы эпифитотий аэрогенных инфекций своевременное применение фунгицидов имело положительное действие на фитосанитарное состояние посевов и результативность производства зерна. Биологическая эффективность системных препаратов против *Puccinia recondita* была высокой (94–98%), в отношении мучнисторосяных грибов подавление было слабее, составив 71–82%. Биофунгицид фитоспорин-М слабо боролся с инфекциями (35–47%).

В среднем за годы массового развития аэрогенных инфекций в посевах пшеницы хозяйственная эффективность применения препаратов фунгицидного действия была значительной, составив 24%. Экономически целесообразно было применение химических фунгицидов, обеспечивших рентабельность 67%, что было больше контроля на 23%.

При умеренном поражении пшеницы листовыми инфекциями хозяйственная эффективность фунгицидной защиты составила 18%, если применяли препараты на основе 2–3-х действующих веществ. Биофунгицид на основе сенной палочки позволял сохранять 9% продуктивности культуры. Целесообразным было использование баковых смесей биофунгицида с половинной нормой расхода химического препарата.

В годы с депрессивным уровнем поражения листовыми инфекциями применение химических препаратов для защиты от болезней не целесообразно, применение микробиологических средств оправдано в высокопродуктивных посевах яровой пшеницы.

Своевременное применение фунгицидной защиты при опасности массового распространения листовых инфекций позволяло стабилизировать получение зерна пшеницы хорошего качества с содержанием клейковины >23%, особенно в годы проявления не только инфекций на листьях, но и поражения соломины стеблевой ржавчиной.

Следует учитывать, что при использовании фунгицидной защиты посевов возможны затягивание периода вегетации культуры (особенно среднепоздних интенсивных сортов), сложности с уборкой и подработкой урожая, возможно наличие остаточных количеств пестицидов в продукции. Применять фунгициды нужно адресно, с соблюдением технологии внесения их в агроценоз.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Санин С.С. Фитосанитарная экспертиза зернового поля и принятие решений по опрыскиванию пшеницы фунгицидами // Прилож. к журн. "Защита и карантин растений". 2016. № 5. С. 83–88.
2. Система защиты растений в ресурсосберегающих технологиях / Под ред. Немченко В.В. Куртамыш: Куртамышская типография, 2011. 524 с.
3. Власенко Н.Г. К вопросу об агротехнологиях вообще и фитосанитарных технологиях в частности // Вестн. защиты раст. 2008. № 2. С. 3–10.
4. Кекало А.Ю., Немченко В.В., Заргарян Н.Ю., Цыпышева М.Ю. Защита зерновых культур от болезней. Куртамыш: Куртамышская типография, 2017. 172 с.
5. Санин С.С. Фитосанитарная экспертиза зерновых культур (Болезни растений): Рекомендации. М.: Росинформагротех, 2002. 140 с.
6. Койшибаев М. Болезни пшеницы. Анкара, 2018. 365 с.
7. Торопова Е.Ю., Казакова О.А., Пискарев В.В., Порсеев И.Н., Христов Ю.А. Роль сортов и фунгицидов в контроле септориоза яровой пшеницы // Агрохимия. 2019. № 5. С. 66–75. <https://doi.org/10.1134/S0002188119050107>
8. Обзор фитосанитарного состояния посевов сельскохозяйственных культур в Российской Федерации в 2018 году и прогноз развития вредных объектов в 2019 году. М., 2019. 150 с.
9. Евсеев В.В. Пиренофороз пшеницы в лесостепи Южного Зауралья. Beau Bassic: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2018. 148 с.
10. Гагкаева Т.Ю., Гаврилова О.П., Левитин М.М., Новажилов К.В. Фузариоз зерновых культур // Прилож. к журн. "Защита и карантин растений". 2011. № 5. С. 70–120.
11. Шаманин В.П. Селекция яровой пшеницы на устойчивость к стеблевой ржавчине в условиях Западной Сибири. Омск: ОмскГАУ, 2015. 149 с.
12. Васильева Н.В., Синещев В.Е. Листостебельные инфекции яровой пшеницы при почвозащитном земледелии в лесостепи Западной Сибири // Вестн. НГАУ. 2014. № 2(31). С. 7–13.
13. Россеева Л.П., Белан И.А., Мешкова Л.В., Блохина Н.П., Ложникова Л.Ф., Осадчая Т.С., Трубочева Н.В., Першина Л.А. Селекция на устойчивость к стеблевой ржавчине яровой мягкой пшеницы в условиях Западной Сибири // Вестн. АлтайГАУ. 2017. № 7(153). С. 5–10.
14. Сколотнева Е.С., Волкова В.Т., Зайцева Л.Г., Лекомцева С.Н. Вирулентность возбудителя стеблевой ржавчины пшеницы в Центральном регионе России // Микол. и фитопатол. 2010. Т. 44. Вып. 4. С. 367–372.
15. Список пестицидов и агрохимикатов, разрешенных к применению на территории РФ // Прилож. к журн. "Защита и карантин растений". 2018. № 5. 816 с.
16. Тютерев С.Л. Механизмы действия фунгицидов на фитопатогенные грибы. СПб.: ВИЗР, 2010. 172 с.

17. Экологический мониторинг и методы совершенствования защиты зерновых культур от вредителей, болезней и сорняков: Метод. рекоменд. / Под ред. Танского В.И. СПб.: ВИЗР, 2002. 76 с.
18. Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. М.: Колос, 1989. 239 с.
19. ГОСТ Р 54478-2011 Зерно. Методы определения количества и качества клейковины в пшенице. М.: Стандартиформ, 2012. 39 с.
20. Методические указания по регистрационным испытаниям фунгицидов в сельском хозяйстве. СПб.: ВИЗР, 2009. 378 с.

Phytosanitary Problems of Wheat Field and Effectiveness of Means for Protection against Diseases

A. Yu. Kekalo^{a, #}, V. V. Nemchenko^a, N. Yu. Zargaryan^a, and A. S. Filippov^a

*^a Ural Federal Agrarian Scientific Research Centre,
Ural Branch of the RAS*

ul. Belinskogo 112a, Ekaterinburg 620142, Russia

[#]E-mail: alena.kekalo@mail.ru

It was presented the results of observations over 11 years of the phytosanitary condition of wheat crops and the effectiveness of the action of fungicide plant protection products on the productivity and quality of grain in years with different levels of damage. Protection measures against leaf infections were required in 64% of years, when the development of diseases was epiphytotic or moderate. On average, over the years of the mass development of infections on wheat, the economic efficiency of the use of fungicides was significant (24%). With moderate damage to wheat, their use retained 18% of the crop yield. In years with depressive development of infections, the use of chemical fungicides was not advisable. Timely application of fungicidal protection in case of the danger of mass spread of leaf infections made it possible to stabilize the production of good—quality wheat grain with a gluten content of more than 23%.

Key words: spring wheat, plant diseases, fungicides, biological effectiveness, yield.

УДК 632.954

ДЕСИКАЦИЯ: СОВРЕМЕННЫЕ СРЕДСТВА И КОНТРОЛЬ ОСТАТОЧНЫХ КОЛИЧЕСТВ

© 2020 г. А. Б. Лаптиева^{1,*}, Н. С. Волосатова²

¹ *Всероссийский научно-исследовательский институт защиты растений
196608 С.-Петербург—Пушкин, шоссе Подбельского, 3, Россия*

² *ООО “Инновационный центр защиты растений”
196607 С.-Петербург—Пушкин, ул. Пушкинская, 20, Россия*

**E-mail: abl@icrz.ru*

Поступила в редакцию 05.03.2020 г.

После доработки 19.04.2020 г.

Принята к публикации 10.07.2020 г.

Систематическое, а в некоторых регионах и постоянное, проявление осложнений погодных условий в период уборки полевых культур, а также обострение в фитосанитарной обстановке их посевов или посадок во второй половине вегетации, реально вызывают угрозу прямых потерь урожая и/или его качества. Одним из значимых элементов в решении одной и другой проблем выступает своевременное искусственное снижение влажности через осуществление десикации путем обработок соответствующими средствами. Проведенные исследования позволили определить эффективность целого ряда препаратов в рамках расширения ассортимента десикантов, проконтролировать содержание остаточных количеств некоторых из них и подтвердить отсутствие рисков загрязнения урожая зерновых культур при проведении обработок в установленные регламентами сроки.

Ключевые слова: десикация, ассортимент пестицидов, остаточные количества препаратов, полнота извлечения, деградация десикантов, зерновые культуры.

DOI: 10.31857/S000218812010004X

ВВЕДЕНИЕ

Целевое использование современных десикантов, значительная часть которых одновременно имеет также статус гербицидов сплошного действия, связано с воздействием на посевы целого ряда полевых культур на стадии созревания урожая. Решаемые с помощью десикации задачи в первую очередь направлены на снижение до определенного уровня и выравнивание в посеве влажности убираемой продукции. В спектр применения этой группы средств чаще всего попадают зерновые, зернобобовые, масличные культуры, лен-долгунец и картофель. Сроки проведения обработок могут составлять от 7–10 сут у зерновых культур и до 28 сут — у льна до уборки урожая или ориентироваться на состояние посева. Показателем для обработки десикантами может быть влажность зерна на уровне <30%, побурение семян у рапса, бобов — у сои и корзинок — у подсолнечника, у картофеля — завершение формирования клубней. У льна-долгунца в качестве дополнительного фактора оценочным критерием выступает еще и наличие засоренности посевов однолетними сорняками [1].

Естественно, что основными из позитивных результатов десикации выступают улучшение экономических, в том числе за счет сокращения сроков, показателей при проведении уборочных работ и повышение сохранности урожая. Из негативных моментов в этом случае в первую очередь следует указать на определенные сложности присутствия в продукции растениеводства остаточных количеств десикантов и/или их метаболитов [2–4]. В отношении данной группы пестицидов изыскания ведутся уже давно в направлении расширения и одновременно совершенствования ассортимента, а также контроля уровней деградации их остатков в полученном урожае. В число решаемых за счет десикации задач бесспорно входит не только стабилизация показателей во влиянии на влажность урожая и засоренность посевов к уборке в текущем сезоне, но и наличие сорняков в посевах последующей культуры севооборота.

Фактически весь процесс регистрации и применения пестицидов, предназначенных для предуборочной обработки посевов, контролируют и обязательно основывают на многочисленных и разносторонних исследованиях, анализах, экспертизах и тестированиях. Однако важнейшим

модернизирующим блоком пока выступает расширение сферы применения уже проверенных, и прежде всего из группы гербицидов, препаратов [5, 6].

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

В исследование были включены препараты из состава средств, предназначенных для проведения десикации и представленных на изучение в связи с возможным использованием их для обработки посевов и посадок полевых культур. Для закладки опытов использовали посеvy сортов культур, соответствующих региональному районированию. Например, посеvy пшеницы яровой в Свердловской обл. были представлены сортом Гранни, в Саратовской — Саратовской 70 и в Астраханской обл. — Саратовской 42.

В процессе изучения применяли оригинальную методологическую базу оценки безопасности и эффективности препаратов разного назначения, созданную при взаимодействии специалистов ВИЗР и ИЦЗР. В полевых условиях научно-исследовательские работы проводили преимущественно в соответствии с положениями “Методических указаний по регистрационным испытаниям гербицидов в сельском хозяйстве” [7] и “Методических указаний по регистрационным испытаниям пестицидов в части биологической эффективности” [8], гармонизированных с международными методиками ЕОЗР (1998 г.) и современными методиками ЕС (Bulletin OEPP/EPPO Bulletin 2014, 2017, 2018).

Аналитические исследования растительного материала и разработка методов определения остаточных количеств пестицидов базировались на оригинальных, подтвержденных в последнее время “Свидетельствами о метрологической аттестации” методических указаниях (МУК 4.1.3205-14; МУК 4.1.3266-15; МУК 4.1.3513-17 и некоторых других) по определению остаточных количеств действующих веществ (д.в.) пестицидов и по ряду позиций, связанных с наличием метаболитов этих д.в. в растительной продукции [9–11].

Количественное определение проводили на жидкостных хроматографах “Alliance” с флуоресцентным детектором и “ACQUITY” фирмы “Waters” с УФ-детектором и на хромато-масс-спектрометре Bruker EVOQ Cube, включавшим высокоэффективный жидкостный хроматограф и масс-спектрометр с тройным квадруполом [12–14].

Определяющие величины максимально допустимых уровней (МДУ) десикантов для зерновых культур согласно “Решения Комиссии таможенного союза от 28.05.2010 № 299 (ред. от 02.12.2015) “О применении санитарных мер в Евразийском

экономическом союзе” соответствовали: дикват — 0.01, глюфосинат аммония — 0.4 и глифосат — 20 мг/кг [15].

Оперативный контроль погрешности и воспроизводимости измерений осуществляли в соответствии с ГОСТ Р ИСО 5725-1-6-2002 “Точность (правильность и прецизионность) методов и результатов измерений” [16].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Одной из самых перспективных составляющих ассортимента средств десикации выступают препараты, созданные на основе диквата [1]. Повышение интереса к этому действующему веществу обусловлено целым рядом причин, среди которых из общегосударственных преобладают возникшие в последнее время ограничения в отношении использования глифосатсодержащих средств, а из чисто производственных — повышение в ряде регионов страны потребности в десикации товарных и семенных посевов и посадок экономически важных культур. При этом используемые средства и технологии должны обеспечивать как высокую биологическую эффективность проводимых мероприятий, так и по последствиям максимально приближаться к экологически безопасным как для самой культуры, так и окружающей среды [3].

Реальность в плане развития десикации такова, что за последние 10 лет наличие в регистрации препаратов, правда почти без изменений с позиции представляющих их действующих начал, увеличилось более чем в 2 раза (табл. 1), но в общем их доля в каталоге зарегистрированных для применения пестицидов не превышает и 3% на фоне того, что по количественным характеристикам ассортимент последней редакции “Государственного каталога пестицидов ...” (М., 2019) или в бумажной редакции “Список пестицидов и агрохимикатов ...” [1] содержит более 1700 наименований.

При этом явно выделяются некоторые трансформации, происходящие в последнее время в наборе данной группы пестицидов. Они имеют определенное назначение и обусловлены наряду с повышением биологической эффективности еще и степенью безопасности. Эти изменения основываются на расширении сферы применения уже проверенных препаратов и регистрации средств, создаваемых с использованием ранее известных действующих веществ химического происхождения: т.е. большинство изученных в последние годы десикантов соответствуют статусу “расширение сферы” применения, опираясь на необходимость дальнейшего формирования ассортимента препаратов данной группы для таких

Таблица 1. Количество зарегистрированных десикантов и объемы их применения в РФ

Показатели	Год						
	2005	2010	2015	2016	2017	2018	2019
Количество препаратов, шт.	14	22	49	51	58	51	52
в том числе с д.в. дикват, шт. (%)	1 (7.1)	5 (22.7)	21 (42.9)	21 (41.2)	25 (43.1)	25 (49.0)	25 (48.1)
Объемы применения*, тыс. т	—	1.0	3.2	3.7	4.3	3.7	—

*По данным Россельхозцентра РФ (журн. “Защита и карантин растений”, 2010–2019 гг.).

культур как соя, нут, рапс, лен и все зерновые (табл. 2).

Этот подход, разумеется, не самый прогрессивный в совершенствовании ассортимента, но однозначно обеспечивает высокую степень универсальности. В том числе данное положение касается и препаративных форм, в каковых выпускают средства для десикации. Явное преимущество (49 препаратов из 52-х, разрешенных к применению) имеют водные растворы (ВР), что довольно существенно облегчает и унифицирует способы и технологии применения препаратов и технические средства для проведения мероприятий по их внесению. Однако и в этом плане имеются определенные изменения. Например, в процессе изучения на текущий момент среди десикантов уже присутствуют препараты в форме микроэмульсии (МЭ), водорастворимых гранул (ВГ) и гранул (Г). В целом объемы осуществляемых научно-исследовательских работ в рамках биологического тестирования и регистрации десикантов в последние сезоны имеют характеристики с показателями до 9-ти препаратов в год.

Что касается биологической эффективности, то даже такой путь расширения ассортимента обеспечивает стабилизацию показателей по снижению влажности урожая любой из зерновых и зернобобовых культур на уровне, в среднем превышающем 5% в абсолютных величинах или 20% — в относительных, и исключает существенные изменения урожайности при гарантированном сохранении качества продукции.

На этом фоне элементом повышения безопасности ассортимента десикантов и мероприятий по их внесению выступают исследования не только конкретизации регламентов применения, но и оценки содержания остаточных количеств в урожае обрабатываемых культур. Практической реализацией этого положения выступает разработка оригинальных методик контроля остатков действующих веществ пестицидов, в том числе и данной группы, в сельскохозяйственной продукции и объектах окружающей среды. Например, уже прошли метрологическую экспертизу и апробированы такие методы (МУК), как “Определение

остаточных количеств глифосата в зеленой массе растений, зерне и соломе зерновых колосовых культур, зерне гороха, зерне кукурузы, семенах подсолнечника, рапса, льна, бобах сои, растительном масле, плодах и соке плодовых семечковых и плодовых косточковых, ягодах и соке винограда методом высокоэффективной жидкостной хроматографии” (МУК 4.1.3513-17), “Определение остаточных количеств диквата в зерне и соломе зерновых колосовых культур методом высокоэффективной жидкостной хроматографии с масс-спектрометрическим детектированием” и “Определение остаточных количеств глюфосината аммония и его метаболита 3-метилфосфинопропионовой кислоты в ботве и клубнях картофеля, зерне и соломе зерновых колосовых культур методом высокоэффективной жидкостной хроматографии с масс-спектрометрическим детектированием”, которые после утверждения Роспотребнадзором РФ автоматически приобретут статус государственных, т.е. могут и должны использоваться для контроля содержания данных д.в. всеми аналитическими лабораториями, в задачи которых входит мониторинг окружающей среды, анализ сельскохозяйственной продукции и продуктов питания в рамках контроля остатков пестицидов.

Разработанные методики прошли тестирование в рамках оценки их надежности и полноты извлечения применяемых для десикации веществ. Они уже применены при оценке рисков, присутствующих в процессе десикации зерновых, так необходимой в целом ряде регионов возделывания этой группы культур. Контроль надежности методов с опорой на существующие пределы в количественном определении каждого из исследованных веществ проведен, в частности, на пшенице яровой (табл. 3).

Результаты исследований, проведенных с использованием высокоэффективной жидкостной хроматографии и в том числе с масс-спектрометрическим детектированием, указали на то, что данные разработки обеспечивают полноту извлечения всех охваченных изучением веществ на уровнях >80% при том, что по установленным требованиям для таких анализов этот показатель

Таблица 2. Элементы расширения ассортимента препаратов для проведения десикации посевов полевых культур

Препарат	Культура	Регион	Влажность семян (ботвы) к уборке, %		Урожайность, % к контролю
			обработка препаратом	контроль	
*Баста, ВР (150 г глю- фосината аммония/л)	Соя	Алтайский край	***8.0—7.6	14.6	98.0—96.0
		Краснодарский край	12.0—11.6	14.3	95.0—93.0
		Астраханская обл.	9.0—8.3	13.4	—
*Молоток (150 г диквата (дибромид)/л)	Горох	Свердловская обл.	17.4	22.1	99.8
		Воронежская обл.	13.0	13.7	98.5
		Волгоградская обл.	11.0	15.4	99.6
	**Картофель	Ленинградская обл.	0 (5 баллов)	100	93.6
		Тамбовская обл.	0 (5 баллов)	100	100.8
		Астраханская обл.	4.0 (4.8 балла)	100	97.9
	Пшеница яровая	Свердловская обл.	16.4	19.8	99.3
	Рапс	Свердловская обл.	18.4	22.1	99.0
		Краснодарский край	13.5	14.6	94.8
		Волгоградская обл.	10.0	11.7	100.6
Соя	Алтайский край	14.0	22.3	98.0	
	Краснодарский край	11.3	14.7	93.0	
	Астраханская обл.	8.0	13.2	—	
Ячмень яровой	Ростовская обл.	11.7	13.7	98.9	
*Реглон Форте, ВР (200 г диквата/л)	Горох	Свердловская обл.	16.8—16.5	18.3	100
		Воронежская обл.	13.0—12.5	13.0	111.7
		Волгоградская обл.	11.3—10.0	12.0	99.5
	Соя	Рязанская обл.	14.6—12.5	17.3	—
Краснодарский край		12.0—11.6	14.8	94.4	
Астраханская обл.		9.8—7.5	12.2	—	
*Реглон ЭЙР, ВР (200 г диквата/л)	Лен	Тверская обл.	11.4—9.8	15.4	98.6—95.9
		Краснодарский край	10.4—10.1	14.1	94.4—92.6
		Волгоградская обл.	15.6—13.0	18.8	99.1
	Нут	Алтайский край	14.2—13.6	19.9	97.3—91.8
		Краснодарский край	11.0—10.6	14.5	95.1—93.3
*Суходей, ВР (150 г диквата /л)	Горох	Астраханская обл.	8.9—7.4	13.2	—
		Свердловская обл.	19.3—17.2	21.9	99.2—96.5
		Краснодарский край	16.9—12.5	21.3	95.4—91.2
	Лен	Волгоградская обл.	12.7—11.4	15.2	100
		Тверская обл.	13.1—10.4	17.0	100.8—101.4
		Краснодарский край	10.6—10.2	14.4	94.8—92.7
	Рапс	Волгоградская обл.	15.1—14.2	18.2	99.2—98.5
		Свердловская обл.	18.8—20.3	22.5	98.0—94.3
		Краснодарский край	11.1—10.9	14.7	94.8—93.9
	Соя	Волгоградская обл.	10.8—10.1	11.6	101.2—100
		Рязанская обл.	13.8—13.5	14.2	—
		Краснодарский край	11.2—10.9	14.9	94.4—93.4
Астраханская обл.	13.8—13.5	14.2	—		
Ячмень яровой	Ростовская обл.	11.6—11.1	13.9	98.2—97.1	
Пшеница	Свердловская обл.	13.9—13.8	15.6	—	
	Тамбовская обл.	16.6—15.6	19.3	99.8—98.8	

*Расширение сферы регистрации.

**Листья и стебли.

***В интервале изученных норм применения.

Таблица 3. Определяющие показатели и уровни извлечения действующих веществ десикантов из урожая пшеницы яровой ($n = 20$, $P = 0.95$)

Проба	Предел количественного определения,	Диапазон контроля концентраций, мг/кг	Полнота извлечения вещества, %
	мг/кг		
Глюфосинат аммония			
Зерно	0.025	0.025–0.2	80.9 ± 1.9
Солома	0.125	0.125–1.0	80.8 ± 1.4
3-метилфосфино-пропионовой кислота (метаболит глюфосината аммония)			
Зерно	0.025	0.025–0.2	82.0 ± 1.8
Солома	0.125	0.125–1.0	86.7 ± 1.5
Дикват			
Зерно	0.01	0.01–0.1	89.3 ± 2.2
Солома	0.05	0.05–0.5	85.8 ± 2.3
Глифосат			
Зерно	0.5	0.5–10.0	84.1 ± 2.6
Солома	1.25	1.25–25.0	87.0 ± 3.4

Таблица 4. Содержание действующих веществ десикантов в растениях и урожае зерновых культур, мг/кг

Культура	Сроки отбора проб, сутки после обработки						
	0	4	8	10	12	14	
						солома	зерно
Глюфосинат аммония							
Пшеница яровая	1.40	1.00	0.30	Не обнаружено			
Ячмень яровой	1.38	1.10	0.25				
Пшеница озимая	1.50	1.30	0.20				
Метаболит глюфосината аммония — 3-метилфосфино-пропионовая кислота							
Пшеница яровая	0.029	0.050	0.010	Не обнаружено			
Ячмень яровой	0.031	0.053	н/о				
Пшеница озимая	0.030	0.060	0.010				
Дикват							
Пшеница яровая	0.85	0.70	0.35	0.03	<0.01	Не обнаружено	
Ячмень яровой	1.18	0.20	0.05	0.04	0.02		
Пшеница озимая	0.99	0.58	0.13	0.06	<0.01		
Глифосат							
Пшеница яровая	48.42	2.08	0.77	0.30	0.23	0.23	Не обнаружено
Ячмень яровой	41.58	1.16	0.95	0.25	0.21	0.17	
Пшеница озимая	47.37	1.30	0.23	0.21	0.11	0.09	

должен составлять $\geq 75\%$. На этом фоне максимальные ($\approx 90\%$) величины показателей относятся к извлечению диквата в зерне и глифосата в соломе. Таким образом, предложенные методики позволяют гарантированно и с высокой достоверностью осуществлять контроль содержания действующих веществ десикантов, в том числе и метаболита глюфосината аммония, в растениях и элементах урожая зерновых культур.

Анализы с охватом 3-х основных зерновых культур в целом и отдельно каждого объекта ис-

следования указали на определенную безопасность как десикации в целом, так и примененных для ее проведения средств (табл. 4). Например, опираясь на величины пределов количественного определения, диапазоны контроля концентраций (табл. 3) для исследованных веществ и установленные величины их МДУ в зерне, доказано, что при использовании любого из указанных десикантов присутствие его остаточных количеств к уборке в зерне не обнаруживалось. Что касается конкретно глюфосината аммония и его метаболита, то в соломе и зерне не обнаружилось.

Таблица 5. Дegrадация действующего вещества препарата лайфлайн, ВР (280 г/л) в растениях и урожае пшеницы яровой в условиях различных почвенно-климатических зон

Место отбора проб	Сроки отбора проб, сутки после обработки						
	0	4	8	10	12	14	
						зерно	солома
Глюфосинат аммония							
1-я зона (Свердловская обл.)	0.24	0.19	0.18	0.14	Не обнаружено		
2-я зона (Саратовская обл.)	0.20	0.16	0.15	0.025			
3-я зона (Астраханская обл.)	0.25	0.23	0.13	н/о			
3-метилфосфино-пропионовая кислота – метаболит глюфосината аммония							
1-я зона (Свердловская обл.)	Не обнаружено	0.025	0.025	Не обнаружено	Не обнаружено		
2-я зона (Саратовская обл.)		0.075	0.047	0.02			
3-я зона (Астраханская обл.)		0.069	0.025	0.025			

лита, то уровень их присутствия в растениях всех 3-х культур достигал безопасного уже на 8 сут после обработки; диквата в пшенице — на 12-е, в ячмене — на 14-е сут. Остатки д.в. после применения глифосатсодержащих препаратов обнаружены в соломе в количестве, близком к МДУ, до самой уборки яровых культур. Полученные данные позволили также утверждать, что при одинаковых нормах применения десикантов в озимой пшенице с 8-х сут снижение содержания любого из изученных веществ в 2–3 раза, в том числе и глифосата, идет интенсивнее.

Сравнительный анализ деградации остаточных количеств одного из препаратов для десикации в период от обработки до уборки урожая пшеницы яровой в разных климатических зонах страны указывал на наличие определенного влияния на процесс климатических, региональных условий (табл. 5). Установлено, что в растениях пшеницы яровой в течение 10 сут после применения десиканта лайфлайн, ВР (280 г/л) содержание определяемой части глюфосината аммония снижалось до предела обнаружения метода в образцах, отобранных в Астраханской обл., т.е. в более южной зоне страны. В Свердловской обл. процесс деградации имел гораздо меньшую скорость, и за указанный период величина показателя не достигла двукратного изменения. При этом в условиях Саратовской обл. снижение содержания глюфосината аммония было 8-кратным.

На этом фоне присутствие метаболита, образующегося в результате распада глюфосината аммония, во всех тестируемых образцах было менее продолжительным и отвечало критериям противоположной зависимости в отношении мест отбора проб. Концентрация 3-метилфосфино-пропионовой кислоты достигала максимума на 4-е

сут после обработки, и данный метаболит присутствовал в растениях не более 1 нед. Особо следует указать, что в последующие сроки, т.е. позже 10 сут после обработки, в пробах и соломы, и зерна пшеницы яровой, отобранных в 3-х обозначенных точках, оба исследованные вещества обнаружены не были.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, тенденция, подкрепленная объективными факторами, среди которых присутствует экологическая безопасность, к расширению ассортимента десикантов есть, но фактически количественный блок таких препаратов в перечне существенно отстает от темпов прироста новых препаратов в составе тех же гербицидов. База для увеличения представляемых на регистрацию десикантов в России пока больше определяется расширением спектра защищаемых культур и одновременно ограничивается положениями и требованиями, предопределяющими развитие биологического земледелия.

В целом, на что указывали результаты проведенных исследований, применение десикации на зерновых культурах в установленные (за 2 нед до уборки урожая) регламентами сроки при использовании каждого из протестированных пестицидов не сопровождалось особыми или дополнительными рисками в любом из регионов возделывания этих культур.

Что касается отдельных действующих веществ, которые выступают основой для создания десикантов, то в этом случае обращают на себя внимание представители глифосатов, у которых сравнительно меньше скорость деградации, и снижение содержания данного д.в. ближе к МДУ зафиксиро-

вано лишь к 12-м сут после обработки. Причем в дальнейшем остаточные количества действующего вещества обнаруживали в соломе даже в момент уборки. В то же время в зерне глифосат в этот период не был зафиксирован ни в одной из проб.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Список пестицидов и агрохимикатов, разрешенных к применению на территории Российской Федерации. Справ. изд-е // Защита и карантин растений. 2010–2019.
2. Гигиенические нормативы содержания пестицидов в объектах окружающей среды (перечень). ГН 1.2.3539-18. 2018. 134 с. (www.pravo.gov.ru).
3. Петрова М.О., Черменская Т.Д. Поиск остаточных веществ пестицидов в сельскохозяйственной продукции – путь к безопасному продовольствию // Биосфера, 2019. Т. 11. № 1. С. 40–47.
4. Долженко В.И., Петунова А.А., Маханькова Т.А. Биотоксикологические требования к ассортименту гербицидов // Защита и карантин растений. 2001. № 5. С. 14.
5. Дряхлов А.И., Головин А.В. Предуборочная десикация подсолнечника – важнейшее средство против белой и серой гнилей // Научн.-техн. бюл. ВНИИ масличных культур. Краснодар, 2013. Вып. 1. С. 153–154.
6. Липтеев А.Б. Формирование ассортимента пестицидов в современных условиях // Биологическая защита растений – основа стабилизации агроэкосистем: Мат-лы Международ. научн.-практ. конф. Краснодар, 2016. С. 495–498.
7. Методические указания по регистрационным испытаниям гербицидов в сельском хозяйстве. СПб., 2013. 280 с.
8. Методические указания по регистрационным испытаниям пестицидов в части биологической эффективности. Общ. часть. М.: Минсельхоз России, 2018. 64 с.
9. Определение остаточных количеств диквата в зерне гороха, семенах рапса и подсолнечника, растительных маслах методом высокоэффективной жидкостной хроматографии. МУК 4.1.2350-08. М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2008. 36 с.
10. Определение остаточных количеств глюфосината аммония и его метаболита в клубнях картофеля методом капиллярной газожидкостной хроматографии. МУК 4.1.3205-14. М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2015. 26 с.
11. Методические указания по определению микроколичеств пестицидов в продуктах питания, кормах и внешней среде (МУ № 6190-91). Сб. № 22. М.: Центр научн.-техн. информ., пропаганды и рекламы, 1994. 20 с.
12. Волосатова Н.С., Человечкова В.В. Определение остаточных количеств глюфосината аммония в рапсе после обработки препаратом мортал, ВР // Мат-лы 9-й Международ. научн.-практ. конф. “Защита растений от вредных организмов”. Краснодар, 2019. С. 49–51.
13. Волосатова Н.С., Человечкова В.В. Определение остаточных количеств диквата при обработке зерновых культур гербицидом суховой, ВР // Современное состояние, проблемы и перспективы развития аграрной науки: Мат-лы IV Международ. научн.-практ. конф. Ялта, 2019. Симферополь: ИТ “АРИАЛ”, 2019. С. 28–29.
14. Измерение остаточного содержания глюфосината аммония и его метаболита 3-метилфосфино-пропионовой кислоты в семенах и масле подсолнечника, семенах и масле рапса, семенах гороха методом высокоэффективной жидкостной хроматографии с tandemным масс-спектрометрическим детектированием (МУК 4.1.3343-16). М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2016. 19 с.
15. Решение комиссии Таможенного союза от 28.05.2010 № 299 (ред. от 02.12.2015) “О применении санитарных мер в Евразийском экономическом союзе”. <https://www.garant.ru/prod-ucts/ipo/prime/doc/12076765/>
16. Унифицированные правила отбора проб сельскохозяйственной продукции, продуктов питания, объектов окружающей среды для определения микроколичеств пестицидов. № 2051-79. М., 1980. 45 с.

Desiccation: Novel Preparations and Monitoring of Residues

A. B. Laptiev^{a,*} and N. S. Volosatova^b

^a All-Russia Scientific-Research Institute for Plant Protection
shosse Podbelskogo 3, St. Petersburg–Pushkin 196608, Russia

^b Innovation Centre for Plant Protection Ltd. (ICPP)
Pushkinskaya ul. 20, St. Petersburg–Pushkin 196607, Russia

*E-mail: abl@iczr.ru

Due to systematic and in some regions constant manifestation of complications in weather conditions during harvesting of field crops as well as aggravation of phytosanitary situation in the crops and plantings in the second half of vegetation, there appears a real threat of direct yield losses and/or its quality. One of significant elements in solving both problems is well-timed artificial decrease of humidity by means of desiccation through treatment by appropriate preparations. The conducted researches made it possible to determine effectiveness of a number of preparations within the frames of desiccant assortment broadening, to monitor residues content of some of them and confirm absence of pollution risk of cereal crops yield when conducting treatments according to regulations.

Key words: desiccation, pesticide assortment, pesticide residues, degradation of desiccants, cereal crops.

УДК 631.415.1:631.821.1:631.445.24:631.421.2

ВЛИЯНИЕ ИЗВЕСТКОВАНИЯ РАЗЛИЧНЫМИ МЕЛИОРАНТАМИ НА ВЕЛИЧИНУ pH_{KCl} В СВЕЖЕПРОИЗВЕДСТВЕННЫХ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТЫХ ПОЧВАХ (ПО ДАННЫМ ЛАБОРАТОРНЫХ ОПЫТОВ)

© 2020 г. О. Ю. Павлова¹, А. В. Литвинович^{1,*}, А. В. Лавришев², В. М. Буре^{1,3}¹ Агрофизический научно-исследовательский институт
196600 С.-Петербург—Пушкин, Гражданский просп., 14, Россия² Санкт-Петербургский государственный аграрный университет
196601 С.-Петербург—Пушкин, Петербургское шоссе, 2, Россия³ Санкт-Петербургский государственный университет
199034 С.-Петербург, Университетская наб., 7–9, Россия

*E-mail: avlavr@rambler.ru

Поступила в редакцию 25.01.2020 г.

После доработки 28.02.2020 г.

Принята к публикации 10.07.2020 г.

В серии лабораторных экспериментов, проведенных со свежепроизвесткованными почвами, изучена динамика изменения величины pH_{KCl} на начальном этапе взаимодействия мелиорантов с почвами. Показано, что при определении pH_{KCl} в свежепроизвесткованных почвах в 1 н. растворе KCl создаются условия для ускоренной реакции почва—мелиорант. Сдвиг pH тем больше, чем уже отношение почва : мелиорант. Продолжительность реакции почва—мелиорант в растворе 1 н. KCl не заканчивалась спустя 1 ч взаимодействия. При увеличении продолжительности взаимодействия величина pH_{KCl} суспензии возрастала. Средняя скорость изменения pH_{KCl} за 9 ч нахождения в растворе 1 н. KCl мелиорированной известняковой мукой (ИМ) почвы была равна: $v = 0.13$, доломитовой мукой (ДМ): $v = 0.12$ ед. pH. Первые 5 сут после взаимодействия влажность почвы не оказывала существенного влияния на скорость реакции. Разработаны эмпирические модели кинетики реакции взаимодействия почва—мелиорант в растворе 1 н. KCl. Сделан вывод, что при наличии в почве непрореагировавших карбонатов величина pH_{KCl} не отражала истинного состояния кислотности почвы, а характеризовала количество непрореагировавших карбонатов, попавших в колбу.

Ключевые слова: дерново-подзолистые почвы, лабораторные эксперименты, известкование, мелиоранты, кинетика реакции почва—мелиорант, математические модели.

DOI: 10.31857/S0002188120100087

ВВЕДЕНИЕ

Известно, что эффективность известкования зависит от темпов взаимодействия мелиорантов с почвенными частицами [1–18]. Существуют различные точки зрения на вопрос о скорости растворения мелиорантов в почвах. Например, в лабораторных опытах [8] для нейтрализации почвенной кислотности требовалось 3–5 сут. Напротив, в работах [11, 14] полное растворение известняковой муки, внесенной в научно обоснованной дозе, заканчивалось спустя 3 года после применения. По мнению [9], лишь спустя 6 мес. после попадания в почву известь полностью растворяется, а Са переходит в почвенный поглощающий комплекс.

При известковании в первую очередь изменяется почвенная кислотность, о которой чаще всего судят по величине pH. Величина pH является универсальным почвенным показателем, отражающим разнообразие почв и характер происходящих в них почвенных процессов. Определение pH_{KCl} относится к числу обязательных агрохимических показателей и совершенно необходимо при установлении динамики изменения почвенной кислотности в мелиорируемых почвах.

Несмотря на обширные данные о темпах нейтрализации почвенной кислотности при мелиорации кислых почв эти сведения нельзя считать исчерпывающими. До настоящего времени не до конца выясненными остаются вопросы о скорости изменения величины pH на начальном этапе

взаимодействия почв с мелиорантами. Практически отсутствуют данные о влиянии влажности свежепроизвесткованных почв на скорость растворения мелиорантов. Встречаются лишь единичные результаты сопряженного изучения воздействия мелиорантов различного химического состава на показатели почвенной кислотности при различном соотношении почва : мелиорант.

Цель работы — в условиях лабораторных опытов, проведенных со свежепроизвесткованными дерново-подзолистыми почвами различного уровня кислотности, установить динамику изменения величины pH_{KCl} на начальной стадии растворения мелиорантов.

В задачи исследования входило изучение влияния известняковой и доломитовой муки на величину почвенной кислотности при различном соотношении почва : мелиорант; выявление влияния влажности почвы на показатель pH_{KCl} почв после внесения мелиоранта; определение кинетики реакции почва—мелиорант в растворе KCl при растворении мелиоранта в почвенной суспензии; расчет средней скорости изменения pH_{KCl} в процессе разложения известняковой муки (ИМ) и доломитовой муки (ДМ); разработка эмпирических моделей динамики изменения величины pH_{KCl} почвенной суспензии.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Для выполнения поставленной цели была проведена серия лабораторных опытов. В опыте 1 устанавливали влияние дозы применения ИМ на динамику изменения величины pH_{KCl} в почвах различного гранулометрического состава при изменении соотношения почва : мелиорант. В опыте использовали 3 разновидности сильноокислых дерново-подзолистых почв: 1 — дерново-подзолистую супесчаную (pH_{KCl} 4.3, доза применения ИМ 4.5 т/га), 2 — дерново-подзолистую легкосуглинистую (pH_{KCl} 4.1, доза ИМ 4.5 т/га), 3 — дерново-подзолистую тяжелосуглинистую (pH_{KCl} 4.4, доза ИМ 8.0 т/га).

Навески почвы в воздушно-сухом состоянии массой 35, 40 и 45 г увлажняли соответственно 15, 10 и 5 мл H_2O , доводя таким образом массу почв до 50 г. Добавляли необходимое количество мелиоранта из расчета нейтрализации 50 г влажной почвы, тем самым уменьшая научно обоснованную дозу применения, создавая неодинаковое соотношение воздушно-сухая почва : мелиорант.

Таким образом, одну и ту же дозу мелиоранта распределяли в неодинаковом объеме почвы, моделируя неравномерность размещения мелио-

ранта в отдельных частях поля. Известно, что при механизированном внесении достигнуть равномерного распределения известковых материалов по поверхности поля сложно [9, 19], что связано с технологическими возможностями машин и механизмов. Кроме того, при заделке известь обычно распределяется в толще пахотного слоя неравномерно [4].

Почвы в стаканах компостировали с мелиорантом при $t = 28^\circ C$ в термостате Бруве в течение 5-ти сут, регулярно перемешивая. Влажность почвы в течение всего эксперимента поддерживали на исходном уровне, ежедневно добавляя испарившееся количество воды. Повторность опыта десятикратная.

Замеры величины pH_{KCl} проводили ежедневно, добавляя к влажным почвам раствор 1 н. KCl . Соотношение влажная почва : раствор — 1 : 2.5.

Сопряженное изучение влияния неравномерного распределения равных доз ИМ и ДМ в толще пахотного слоя на динамику величины pH_{KCl} в течение 5 первых суток взаимодействия мелиорантов с почвой проводили в опыте 2. Методика закладки и проведения опыта 2 была аналогична опыту 1. В опыте использовали очень сильноокислую дерново-подзолистую среднесуглинистую почву (pH_{KCl} 3.85). Доза применения ИМ и ДМ — 8 т/га.

Влияние собственно влажности на скорость растворения ИМ на начальном этапе взаимодействия мелиоранта с сильноокислой дерново-подзолистой супесчаной почвой (pH_{KCl} 4.3, доза ИМ 3.1 т/га) устанавливали в опыте 3 следующим образом. Воздушно-сухую почву (50 г), мелиорированную ИМ, увлажняли соответственно 5, 10 и 15 мл дистиллированной воды. Компостировали в течение 5-ти сут в термостате, регулярно перемешивая и ежедневно добавляя количество испарившейся влаги. Замеры pH_{KCl} проводили ежедневно, заливая навески почвы различной влажности 1 н. KCl , выдерживая соотношение 1 : 2.5.

Изменение величины pH в суспензии 1 н. KCl при добавлении к почвам ИМ и ДМ определяли в опытах 4 и 5. К навеске воздушно-сухой почвы добавляли строго определенную навеску мелиоранта и заливали 1 н. KCl (соотношение почва : раствор — 1 : 2.5). Замеры pH_{KCl} проводили после 1-часового встряхивания на ротаторе. В опытах использовали очень сильноокислую (pH_{KCl} 3.85, доза мелиорантов 8.0 т/га) и слабоокислую (pH_{KCl} 5.3, доза мелиорантов 4.5 т/га) дерново-подзолистые среднесуглинистые почвы.

В опыте 6 устанавливали кинетику реакции взаимодействия ИМ и ДМ с почвой в солевом

Таблица 1. Изменение величины pH_{KCl} кислых дерново-подзолистых почв при изменении соотношения почва : мелиорант

Вариант	Срок взаимодействия мелиорантов с почвой, сут				
	1	2	3	4	5
Опыт 1					
Дерново-подзолистая супесчаная почва, pH_{KCl} 4.3 (доза ИМ 4.5 т/га)					
45 г почвы + 5 мл H_2O	5.00 ± 0.10	4.92 ± 0.11	5.04 ± 0.11	5.06 ± 0.09	5.07 ± 0.08
40 г почвы + 10 мл H_2O	5.07 ± 0.06	5.10 ± 0.05	5.17 ± 0.10	5.23 ± 0.11	5.26 ± 0.05
35 г почвы + 15 мл H_2O	5.20 ± 0.07	5.50 ± 0.10	5.63 ± 0.15	5.68 ± 0.15	5.80 ± 0.18
Дерново-подзолистая тяжелосуглинистая почва, pH_{KCl} 4.1 (доза ИМ 8.0 т/га)					
45 г почвы + 5 мл H_2O	5.62 ± 0.10	5.62 ± 0.08	5.65 ± 0.05	5.68 ± 0.06	5.59 ± 0.11
40 г почвы + 10 мл H_2O	5.61 ± 0.12	5.71 ± 0.09	5.75 ± 0.10	5.90 ± 0.18	5.95 ± 0.15
35 г почвы + 15 мл H_2O	5.95 ± 0.11	6.07 ± 0.07	6.24 ± 0.15	6.34 ± 0.17	6.36 ± 0.09
Дерново-подзолистая легкосуглинистая почва, pH_{KCl} 4.8 (доза ИМ 5.0 т/га)					
45 г почвы + 5 мл H_2O	5.48 ± 0.10	5.48 ± 0.12	5.51 ± 0.11	5.53 ± 0.08	5.63 ± 0.15
40 г почвы + 10 мл H_2O	5.59 ± 0.05	5.60 ± 0.10	5.76 ± 0.06	5.80 ± 0.06	5.90 ± 0.09
35 г почвы + 15 мл H_2O	5.65 ± 0.13	5.86 ± 0.13	5.98 ± 0.11	6.03 ± 0.11	6.21 ± 0.20
Опыт 2					
Дерново-подзолистая суглинистая, pH_{KCl} 3.85 (доза ИМ 8.0 т/га)					
45 г почвы + 5 мл H_2O	<u>4.97 ± 0.06</u>	<u>4.99 ± 0.04</u>	<u>5.0 ± 0.05</u>	<u>5.02 ± 0.1</u>	<u>5.05 ± 0.05</u>
	<u>4.43 ± 0.04</u>	<u>4.51 ± 0.03</u>	<u>4.82 ± 0.04</u>	<u>4.84 ± 0.05</u>	<u>4.90 ± 0.05</u>
40 г почвы + 10 мл H_2O	<u>4.99 ± 0.05</u>	<u>5.0 ± 0.07</u>	<u>5.03 ± 0.03</u>	<u>5.09 ± 0.09</u>	<u>5.12 ± 0.07</u>
	<u>4.39 ± 0.03</u>	<u>4.47 ± 0.02</u>	<u>4.84 ± 0.04</u>	<u>4.88 ± 0.06</u>	<u>5.00 ± 0.08</u>
35 г почвы + 15 мл H_2O	<u>5.10 ± 0.09</u>	<u>5.24 ± 0.10</u>	<u>5.36 ± 0.12</u>	<u>5.45 ± 0.01</u>	<u>5.62 ± 0.09</u>
	<u>4.41 ± 0.06</u>	<u>4.68 ± 0.05</u>	<u>4.99 ± 0.03</u>	<u>5.29 ± 0.06</u>	<u>5.20 ± 0.07</u>

Примечание. Над чертой – известковая мука (ИМ), под чертой – доломитовая мука (ДМ).

растворе 1 н. KCl . Методика проведения опыта аналогична опытам 4 и 5. Измерение pH почвенной суспензии проводили непрерывно в течение 9 ч через каждый час взбалтывания суспензии. Данные динамики изменения величины pH_{KCl} в процессе эксперимента легли в основу построения математических моделей скорости растворения мелиорантов в почвах.

В опытах использовали стандартные ИМ и ДМ ГОСТ 14050-93 [20]. Нейтрализующая способность ИМ ($CaCO_3$) – 92, ДМ ($CaCO_3$ – 67%, $MgCO_3$ – 30%) – 97%. Необходимое для нейтрализации почвенной кислотности количество мелиорантов рассчитывали, исходя из 100%-ной нейтрализующей способности мелиорантов. Дозу применения мелиорантов в опытах устанавливали по нормативам СЗНИИСХ [21]. Пересчет величин на навеску почвы, принимая, что масса 20-см слоя почвы на 1 га равна 3 млн кг. Гранулометрический состав почв определяли органолептическим методом.

Определение pH_{KCl} проводили по ГОСТ 26483-85 [22]. Данные определения обрабатывали статистически [23].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Данные влияния неравномерности распределения ИМ в почвах на динамику величины pH_{KCl} представлены в табл. 1. Изменение величины pH_{KCl} при добавлении расчетной дозы мелиоранта для каждой конкретной почвы различалось. Это следствие естественной неоднородности почв по содержанию гумуса, количеству и составу глинистых минералов, количеству полутонких оксидов и др. Установлено, что максимальный сдвиг pH был достигнут спустя 1 сут после известкования. Чем больше была доза применения ИМ и уже соотношение почва : мелиорант, тем сдвиг pH_{KCl} был больше. На 2-, 3-, 4- и 5-е сут компостирования реакция почва : мелиорант замедля-

Таблица 2. Динамика изменения величины pH_{KCl} при различной влажности свежепроизвесткованной почвы

Вариант	Срок взаимодействия мелиоранта с почвой, сут				
	1	2	3	4	5
Дерново-подзолистая супесчаная, pH 4.3, доза ИМ 3.1 т/га					
Опыт 3					
50 г почвы + 5 мл H_2O	4.81 ± 0.05	4.77 ± 0.02	4.74 ± 0.05	4.74 ± 0.04	4.76 ± 0.05
50 г почвы + 10 мл H_2O	4.79 ± 0.04	4.82 ± 0.05	4.75 ± 0.05	4.75 ± 0.04	4.80 ± 0.06
50 г почвы + 15 мл H_2O	4.85 ± 0.05	4.78 ± 0.04	4.77 ± 0.07	4.77 ± 0.06	4.84 ± 0.08

лась. Установленная закономерность не зависела ни от дозы применения мелиоранта, ни от гранулометрического состава почв. После завершения эксперимента наибольшей величиной pH_{KCl} характеризовались варианты с наиболее узким соотношением почва : мелиорант.

Аналогичная картина выявлена в опыте 2 при сравнительном изучении влияния ИМ и ДМ, использованных в равных дозах, на динамику pH_{KCl} . Следует подчеркнуть, что эффект от применения ИМ был больше, чем от ДМ. В данном случае решающее значение оказывали различия в твердости карбонатных пород, из которых приготовлены мелиоранты.

Для ответа на вопрос, какой из изученных факторов (доза применения мелиоранта или исходная влажность мелиорируемой почвы) оказывал решающее значение на достижение мелиоративного эффекта, был заложен опыт 3. Результаты свидетельствовали, что диапазон изменений величины pH_{KCl} за 5 сут компостирования в варианте 50 г почвы + 5 мл воды составил от 4.74 до 4.81, в варианте 50 г почвы + 15 мл воды — от 4.77 до 4.85 (табл. 2). Какой-либо закономерности, связанной с изменением величины pH в процессе

взаимодействия ИМ с почвой, не выявлено. Установленные отличия были недостоверными. Следует подчеркнуть, что изменения величины pH_{KCl} в опыте 1 при варьировании дозы применения для той же почвы за 5 сут составили от 5.0 до 5.07 (вариант 45 г почвы + 5 мл H_2O) и от 5.2 до 5.8 (вариант 35 г почвы + 15 мл H_2O). Отличия между вариантами были достоверными. Следовательно, решающее влияние на изменение величины pH почвенной суспензии оказывало соотношение почва : мелиорант.

В работах [3, 14] есть указание на то, что при попадании непрореагировавших частиц карбонатов Ca и Mg в колбу при определении pH в растворе 1 н. KCl создаются условия для ускоренной реакции почва—мелиорант. Авторы связали это с разложением углекислых солей Ca и Mg соляной кислотой, образовавшейся при вытеснении из ППК ионов водорода катионами калия. Действительно, полученные данные показали, что при добавлении мелиорантов к воздушно-сухой почве после 1-часового взбалтывания в 1 н. KCl достигается сдвиг pH (табл. 3).

Возникает вопрос, соответствует ли величина pH почвенной суспензии свежепроизвесткованной почвы после 1-часового взаимодействия в растворе 1 н. KCl величине pH_{KCl} почвы после полного растворения мелиоранта в полевых условиях? Вероятно, это не так. Изучение кинетики реакции почва—мелиорант в 1 н. растворе KCl свидетельствовало, что реакция не заканчивалась после 1-часового взбалтывания. Вне зависимости от вида мелиоранта величина pH_{KCl} в течение 9 ч взаимодействия почвы с мелиорантом постепенно росла (табл. 4).

Линейная эмпирическая модель (1) динамики pH (y) для известняковой муки описывается уравнением:

$$y_1 = 4.7 + 0.13t, \quad (1)$$

Таблица 3. Изменение величины pH_{KCl} при добавлении мелиоранта к навеске воздушно-сухой почвы после 1-часового взбалтывания в растворе 1 н. KCl

Вариант	pH_{KCl}
Дерново-подзолистая среднесуглинистая, pH_{KCl} 5.30	
Опыт 4	
Известковая мука	6.41 ± 0.15
Доломитовая мука	5.74 ± 0.09
Дерново-подзолистая среднесуглинистая, pH_{KCl} 3.84	
Опыт 5	
Известковая мука	4.87 ± 0.05
Доломитовая мука	4.27 ± 0.04

Таблица 4. Изменение величины рН в растворе 1 н. КСl в процессе взаимодействия мелиоранта с почвой

Вид мелиоранта	Продолжительность взаимодействия почва–мелиорант, ч								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Известняковая мука	5.25	5.31	5.43	5.4	5.46	5.5	5.46	5.85	5.61
Доломитовая мука	4.62	4.59	4.75	4.8	4.81	5.0	5.08	5.23	5.23

Примечание. Исходная величина pH_{KCl} почвы 3.85.

где y_1 — величина pH_{KCl} , t — время, $v_1 = 0.13$ — средняя скорость изменения pH во всем промежутке измерений.

Линейная эмпирическая модель (2) динамики pH (y_2) для доломитовой муки описывается уравнением:

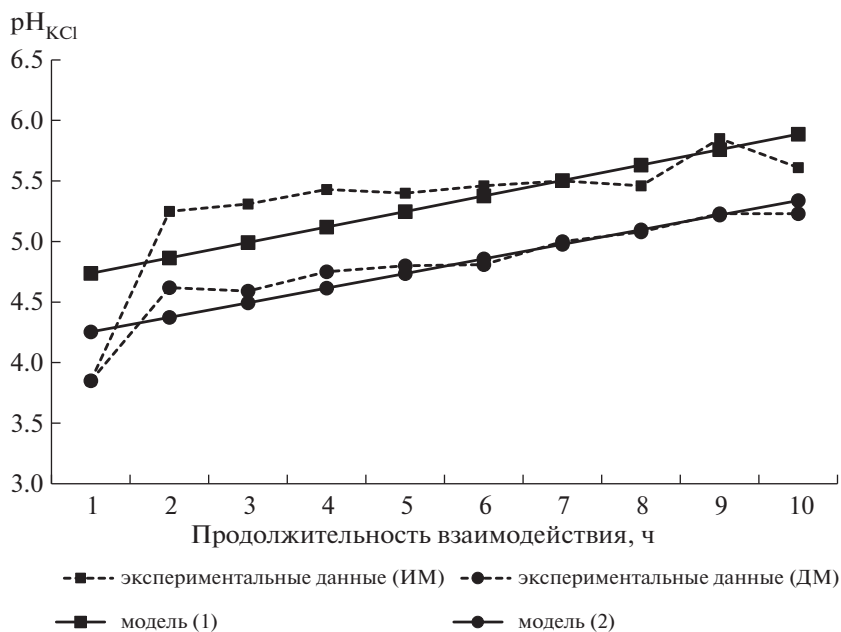
$$y_2 = 4.3 + 0.12t, \quad (2)$$

где y_2 — величина pH_{KCl} , t — время, $v_2 = 0.12$ — средняя скорость изменения pH во всем промежутке измерений.

Эмпирические модели (1) и (2) статистически значимы на высоком уровне значимости и правильно описывают динамику pH во всем промежутке измерений: $p = 0.0198$ (p -value по критерию Фишера), коэффициент детерминации $R^2 = 0.71$ — для эмпирической модели (1). Для эмпирической модели (2) $p = 0.0003$ (p -value по критерию Фише-

ра), коэффициент детерминации $R^2 = 0.9$. Графики моделей представлены на рис. 1.

Показано, что мелиоранты, использованные для нейтрализации почвенной кислотности, на начальном этапе взаимодействия не успевали полностью прореагировать с почвой. Попадая в колбу с навеской почвы, углекислые соли кальция и магния подвергались ускоренному растворению (“колбовый” эффект). При этом достигался определенный сдвиг pH_{KCl} . “Мелиоративный” эффект был тем больше, чем больше непрореагировавших карбонатов попадало в колбу. Исходная влажность известкованной почвы на начальном этапе растворения мелиоранта оказывала незначительное влияние на скорость реакции почва–мелиорант в колбе. Величина pH_{KCl} в данном случае характеризовала количество непрореагировавших карбонатов, оказавшихся в растворе. Проведенное исследование позволило сделать

**Рис. 1.** Изменение величины pH_{KCl} в процессе взаимодействия мелиорантов с почвой в растворе 1 н. КСl.

важный в практическом отношении вывод: определение величины pH_{KCl} в свежепроизвесткованных почвах дает завышенные результаты. О состоянии кислотности почвы можно судить только после полного растворения мелиорантов. В каждой конкретной ситуации темпы разложения известковых материалов в полевых условиях будут разными.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, при определении величины pH_{KCl} в свежепроизвесткованных почвах создавались условия для ускоренной реакции почва–мелиорант. Влажность свежепроизвесткованной почвы на начальном этапе взаимодействия мелиоранта с частицами почвы не оказала существенного влияния на скорость разложения мелиорантов. Решающее значение на изменение величины pH почвенной суспензии оказывало соотношение почва : мелиорант. Величина pH_{KCl} в данном случае характеризовала количество непрореагировавших карбонатов, попавших в колбу, и не отражала действительного состояния кислотности почв на данный момент времени. Продолжительность реакции почва–мелиорант в растворе 1 н. KCl больше по времени, чем при взаимодействии в течение 1 ч. При увеличении времени взаимодействия мелиорированной почвы с солевым раствором величина pH_{KCl} возрастала. Реакция разложения доломитовой муки в растворе 1 н. KCl происходила медленнее, чем известняковой муки. Разработаны эмпирические модели кинетики взаимодействия мелиорантов с почвой в растворе 1 н. KCl .

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кириштейн Ф.Э. К вопросу о способах внесения извести // Химизация соц. земледелия. 1941. № 5. С. 40–44.
2. Белоконов В.Д., Игнатов В.Г., Шильников И.А. Изменение кислотности отдельных слоев пахотного горизонта дерново-подзолистых почв при известковании // Химия в сел. хоз-ве. 1971. № 12. С. 14–17.
3. Голубева А.П., Пекова З.Н. Об определении величины pH солевой вытяжки в известкованных почвах // Бюл. ВИУА. 1971. № 11. С. 75–81.
4. Кнаиш В.И. Эффективность различных способов заделки известковых удобрений // Вопросы известкования кислых почв. Вып. 3. Пермь, 1976. С. 36–42.
5. Савич В.И., Трубицина Е.В., Демина Н.П., Кузовлева Е.Г. Взаимодействие подзолистых почв разной степени гидроморфности с известью // Изв. ТСХА. 1981. Вып. 6. С. 76–85.
6. Симачинский В.Н. Исследование миграции кальция и магния в дерново-подзолистой почве в зависимости от известкования и удобрения: Автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. Киев, 1976. 26 с.
7. Мазур Г.А., Симачинский В.Н., Дмитренко П.А., Томашевская Е.Г. Миграция и характер превращения кальция извести в дерново-подзолистых почвах // Почвоведение. 1980. № 3. С. 34–41.
8. Горбунов Н.И., Юдина Л.П., Зарубина Т.Г. Скорость нейтрализации кислотности почв известью // Почвоведение. 1981. № 1. С. 150–156.
9. Нормы расхода известковых материалов для сдвига реакции почвенной среды до оптимального уровня pH . М., 1980. 92 с.
10. Шильников И.А., Лебедева Л.А. Известкование почв. М.: Агропромиздат, 1987. 167 с.
11. Яковлева Л.В. Изменение кислотно-основного равновесия при внесении минеральных удобрений на кислых и известкованных дерново-подзолистых почвах. СПб., 2010. С. 90–95.
12. Окорков В.В. Взаимодействие извести и гипса с поглощающим комплексом кислых почв // Мат-лы научн. конф., посвящ. 150-летию со дня рожд. В.Р. Вильямса. 3–5 декабря. М.: РГАУ–МСХА им. К.А. Тимирязева, 2014. С. 75–82.
13. Окорков В.В. О возможности взаимодействия доломитовой муки с подпахотными горизонтами кислых почв // Земледелие. 2015. № 2. С. 14–19.
14. Небольсин А.Н., Небольсина З.П. Теоретические основы известкования почв. СПб., 2005. 252 с.
15. Литвинович А.В., Павлова О.Ю., Лаврищев А.В., Бирюков В.А. Разложение конверсионного мела в дерново-подзолистой почве в связи с угрозой ее загрязнения стабильным стронцием // Агрохимия. 2001. № 11. С. 64–68.
16. Литвинович А.В., Небольсина З.П. Продолжительность действия известковых мелиорантов в почве и эффективность известкования // Агрохимия. 2012. № 10. С. 79–94.
17. Литвинович А.В., Павлова О.Ю., Лаврищев А.В., Буре В.М., Ковлева А.О. Мелиоративные свойства, удобрительная ценность и скорость растворения в почвах различных по размеру фракций отсева доломита, используемого для дорожного строительства // Агрохимия. 2016. № 2. С. 31–41.
18. Литвинович А.В., Павлова О.Ю., Лаврищев А.В., Буре В.М., Салаев И.В. Скорость растворения в почвах мелиорантов карбонатной природы (эмпирические модели динамики растворения) // Агрохимия. 2016. № 12. С. 42–50.
19. Литвинович А.В. Пространственная неоднородность агрохимических показателей пахотных дерново-подзолистых почв // Агрохимия. 2007. № 5. С. 89–94.
20. ГОСТ 14050-93 Мука известняковая (доломитовая). Технические условия. Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации. Минск, 1993.
21. Научные основы и технологии использования удобрений и извести. Метод. рекоменд. СПб., 1997. 52 с.
22. ГОСТ 26483-85 Приготовление солевой вытяжки и определение ее pH по методу ЦИНАО. М., 1985.
23. Буре В.М. Методология статистического анализа опытных данных. СПб.: СПбГУ, 2007. 141 с.

Influence of Liming by Various Meliorants on the pH_{KCl} Value in Freshly Limed Sod-Podzolic Soils (according to laboratory experiments)

O. Yu. Pavlova^a, A. V. Litvinovich^{a, #}, A. V. Lavrishchev^b, and V. M. Bure^{a, c}

^a Agrophysical Research Institute

Grazhdanskii prosp. 14, St. Petersburg—Pushkin 196600, Russia

^b St. Petersburg State Agrarian University

Peterburgskoe shosse 2, St. Petersburg—Pushkin 196601, Russia

^c St. Petersburg State University,

Universitetskaya nab. 7–9, St. Petersburg 199034, Russia

[#] E-mail: avlavr@rambler.ru

In a series of laboratory experiments conducted with freshly-graded soils, the dynamics of changes in the pH_{KCl} value at the initial stage of interaction of meliorants with soils was studied. It is shown that when determining the pH_{KCl} in freshly graded soils in 1 n. solution of KCl, conditions are created for an accelerated soil—meliorant reaction. The greater the pH_{KCl} shift, the narrower the soil: ameliorant ratio. The duration of the soil—meliorant reaction in a solution of 1 n. KCl did not end after 1 h of interaction. As the duration of interaction increased, the pH_{KCl} of the suspension increased. The average rate of change in pH_{KCl} for 9 hours of being in a solution of 1 n. KCl reclaimed limestone flour (LF) of the soil was equal to: $\nu = 0.13$, dolomite flour (DF): $\nu = 0.12$ units pH. The first 5 days after the interaction, soil moisture did not significantly affect the reaction rate. Empirical models of the reaction kinetics of the soil—meliorant interaction in a solution of 1 n. KCl have been developed. It was concluded that if there were unreacted carbonates in the soil, the pH_{KCl} value did not reflect the true state of soil acidity, but characterized the amount of unreacted carbonates that got into the flask.

Key words: sod-podzolic soils, laboratory experiments, liming, meliorants, kinetics of the soil—meliorant reaction, mathematical models.

УДК 632.124:631.445.24:631.559

ВЛИЯНИЕ СТРОИТЕЛЬСТВА ТРАССЫ МАГИСТРАЛЬНОГО ТРУБОПРОВОДА НА СВОЙСТВА ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ ПОЧВЫ И ПРОДУКТИВНОСТЬ ФИТОЦЕНОЗОВ

© 2020 г. М. Ф. Овчинникова

Учебно-опытный почвенно-экологический центр МГУ им. М.В. Ломоносова
141592 п/о Ударный, Солнечногорский р-н, Московская обл., Россия

E-mail: biochem.ovchinnikova@yandex.ru

Поступила в редакцию 08.11.2019 г.

После доработки 24.01.2020 г.

Принята к публикации 11.05.2020 г.

Обобщены результаты многолетнего изучения параметров кислотно-основного и гумусного состояния дерново-подзолистой почвы, нарушенной строительством трассы магистрального трубопровода. Через 1 год, 10, 15 и 30 лет после прокладки трассы охарактеризованы особенности изменения показателей в техногенной почве в сравнении с контрольной в зависимости от специфики экологической ситуации и оценена степень выраженности признаков техногенной деградации гумуса. Через один год после прокладки трассы в условиях доминирования техногенных воздействий зафиксированы максимально выраженные признаки деградации гумуса. В слоях 0–20 и 20–40 см отмечены 2.4–2.6-кратное снижение содержания гумуса, 1.9–2.1-кратное снижение общего количества гуминовых кислот, смена фульватно-гуматного типа гумуса на очень фульватный. В последующие сроки исследования в слое 0–20 см отмечено ослабление признаков деградации гумуса, в слое 20–40 см – их усиление. Это явилось следствием ухудшения гидрологического режима нижней части профиля в связи с образованием вымочек вдоль трассы и проявлением вторичных деградационных процессов химической природы. В специфическом характере многолетней динамики продуктивности фитоценозов прослежены последствия воздействий техногенного, агрогенного и метеорологического факторов.

Ключевые слова: кислотно-основное состояние, гумусовые вещества, техногенная деградация, урожайность трав.

DOI: 10.31857/S0002188120080098

ВВЕДЕНИЕ

Характерное для современного периода усиление техногенного давления на почву в значительной мере связано с расширением строительства магистральных газопроводов (МТ), нередко на землях сельскохозяйственного назначения. Неизбежными последствиями строительства трасс с прокладкой траншей глубиной 2–4 м являются нарушение почвенного покрова и формирование техногенных почв. При заполнении траншей вскрышным материалом происходит перемешивание генетических горизонтов, почвообразующих и подстилающих пород, свойства которых во многом определяют свойства техногенной почвы. В почвах на покровных суглинках, подстилаемых кислой мореной, отмечено ухудшение физико-химических свойств (возрастание актуальной, обменной и гидролитической кислотности), сни-

жение суммы обменных оснований. При разбавлении техногенных слоев мореной, содержащей карбонаты, наблюдалось снижение кислотности и возрастание суммы обменных оснований. Независимо от свойств почвообразующих пород и специфики изменений физико-химических свойств в техногенных почвах разных климатических зон и разных ландшафтов зафиксировано существенное снижение уровня гумусированности, наиболее характерное для верхних слоев [1–4]. Влияние строительства трасс МТ на качественные характеристики гумусовых веществ, особенности их трансформации на уровне групп, фракций и молекулярных структур следует отнести к малоизученным аспектам проблемы, несмотря на их значимость в решении вопросов рекультивации техногенных почв. Изучение этих вопросов чрезвычайно актуально для дерново-подзолистых почв, неблагоприятные биоклима-

тические условия формирования которых не обеспечивают оптимального уровня плодородия и экологической устойчивости к негативным воздействиям [5–7].

Цель работы — изучить особенности многолетней динамики параметров почвенно-поглощающего комплекса (ППК), характеристик гумуса, продуктивности фитоценозов на участках производственного поля, нарушенных и не затронутых строительством МТ, во взаимосвязи с изменениями экологической ситуации.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследование проводили на дерново-подзолистой среднесуглинистой почве восточной части территории Учебно-опытного почвенно-экологического центра МГУ им. М.В. Ломоносова (Московская обл.). Почвообразующая порода — покровные суглинки на моренных отложениях. Морена представляет собой тяжелый красноватый суглинок очень плотного сложения с ничтожной водопроницаемостью. И материнская, и подстилающая породы характеризуются кислой реакцией (pH_{KCl} 4.4–4.8, гидролитическая кислотность — 4–10 смоль(экв)/кг). Исследованный участок — производственное поле площадью 17 га. В 1985 г. через поле проложена траншея магистрального трубопровода глубиной 2.0–2.3 м, шириной 2 м. Нарушение почвенного покрова привело к формированию техногенной почвы с унаследованными от материнской и подстилающей пород свойствами, неблагоприятными для сельскохозяйственных культур. До 2000 г. поле находилось в структуре 4-польного зернотравяно-пропашного севооборота. В 1986–1995 гг. на всей площади поля (в том числе на участках, нарушенных строительством МТ) проведены следующие агромероприятия: в 1986 г. под пропашную культуру внесен торфонавозный компост в количестве 60 т/га; в 1987 и 1994 гг. проведено известкование (по 0.75 и 0.5 H_2); за период с 1986 по 1995 гг. внесено N340P300K360. С 1996 г. агрохимические средства не применяли. В 2000 г. поле выведено из структуры севооборота с бессменным по настоящее время возделыванием многолетних трав, периодическим проведением поверхностной обработки почвы (дискованием) и кошением трав.

Образцы почв отбирали на участках, нарушенных строительством МТ (трасса), и на участках, не затронутых строительством (контроль). Отбор образцов с глубины 0–20, 20–40 и 40–60 см в пятикратной повторности проведен через 1 год, 10, 15 и 30 лет после строительства МТ. В образцах почв определяли содержание гумуса по Тюрину в модификации Орлова—Гриндель, pH солевой вытяжки — потенциометрическим методом, гидро-

литическую кислотность — по Каппену, содержание обменных оснований — трилонометрическим методом [8]. Групповой и фракционный состав гумуса определяли по Тюрину в модификации Пономаревой—Плотниковой [9], оптическую плотность фракций гуминовых кислот — по [10]. По результатам анализа фракционного состава гумусовых кислот рассчитывали показатели интенсивности новообразования гуминовых кислот (ГК) и формирования гуматов [11]. Оценку состава гумуса и свойств гуминовых кислот проводили по уточненной системе показателей гумусного состояния [12]. Продуктивность фитоценозов оценивали в годы возделывания злако-бобовых травосмесей с пробной площади 1 м². Статистическая обработка результатов исследования проведена методом вариационного анализа по [13].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Строительство трассы МТ на дерново-подзолистой почве, сформированной на кислых тяжелосуглинистых породах, привело к глубокому нарушению почвенного покрова с проявлением признаков механической (физической) деградации свойств по сравнению с почвой, не нарушенной строительством. Вследствие разбавления возвращенного на место гумусово-аккумулятивного горизонта материалом из иллювиальных горизонтов, материнской и подстилающей пород в верхней части техногенного профиля наблюдали утяжеление гранулометрического состава преимущественно за счет илстой фракции, что значительно ухудшило физико-химические свойства почвы и условия гумификации.

Параметры ППК и содержание гумуса. В течение 30-летнего периода наблюдений прослежено существенное варьирование параметров кислотного-основного состояния почв нарушенных и контрольных участков и, соответственно, степени выраженности деградационных изменений показателей.

Через 1 год после строительства трассы (1986 г.) в пределах 60-сантиметровой толщи техногенной почвы по сравнению с контролем зафиксировано снижение величин pH_{KCl} на 9–13%, суммы обменных оснований — на 18–31% увеличение показателей гидролитической кислотности на 36–46% (табл. 1). В этот срок, т.е. в условиях доминирования техногенных воздействий, максимально выраженные признаки деградационных изменений показателей проявились в слое 0–20 см. В связи с образованием вымочек вдоль трассы МТ в последующие сроки исследования наблюдали ухудшение гидрологического режима техногенной почвы, особенно нижней части профиля с менее контрастными изменениями увлажнения.

Таблица 1. Изменение химических свойств дерново-подзолистой почвы, нарушенной строительством МТ

Слой почвы, см	Гумус, %	рН _{KCl}	H_{Γ}	Ca ²⁺ + Mg ²⁺	Гумус, %	рН _{KCl}	H_{Γ}	Ca ²⁺ + Mg ²⁺
			смоль(экв)/кг				смоль(экв)/кг	
Контроль					Трасса			
1986 г.								
0–20	3.22	5.95	1.92	14.5	1.36	5.15	2.80	10.0
20–40	2.15	5.40	2.65	11.7	0.83	4.70	3.60	9.5
40–60	0.61	4.50	3.35	11.0	0.61	4.10	4.65	9.0
1995 г.								
0–20	2.76	6.70	1.40	15.2	1.53	5.90	2.50	12.8
20–40	1.95	6.20	1.90	13.8	0.71	4.80	3.30	10.9
40–60	0.48	4.70	3.00	12.9	0.52	4.40	4.00	9.8
2000 г.								
0–20	2.47	6.50	1.50	15.0	1.97	6.10	2.45	11.3
20–40	1.84	6.10	2.00	12.5	0.59	4.50	3.25	9.8
40–60	0.50	5.00	3.05	11.8	0.41	4.00	4.18	8.8
2015 г.								
0–20	2.59	6.35	1.70	13.0	1.55	5.20	2.80	12.2
20–40	1.86	5.81	2.50	11.5	0.64	3.90	4.65	10.5
40–60	0.57	4.58	2.90	13.3	0.40	3.75	6.05	13.0
HCP_{05}								
0–20	0.21	0.30	0.13	0.5	0.16	0.24	0.18	0.6
20–40	0.09	0.36	0.18	0.6	0.05	0.20	0.32	0.3
40–60	0.06	0.22	0.11	0.5	0.06	0.13	0.46	1.0

Негативные изменения показателей кислотно-основного состояния — одного из значимых факторов гумификации — сопряжены с четко выраженными признаками дегумусирования. Снижение содержания гумуса в пределах 40-сантиметрового слоя техногенной почвы (на 20–66 отн. %) прослежено во все исследованные сроки. Максимальное проявление признака деградации гумуса по этому показателю зафиксировано в слое 0–20 см через год после прокладки трассы (1986 г.) — в условиях доминирования техногенных воздействий, не осложненных влиянием факторов иной природы. В последующие сроки исследования (1995, 2000 гг.) наблюдали снижение контрастности почв по содержанию гумуса в слое 0–20 см и возрастание — в слое 20–40 см, что связано со спецификой экологической ситуации в каждом из объектов. Ослабление негативного влияния техногенного фактора в слое 0–20 см в значительной мере связано с проведением мероприятий по рекультивации техногенной почвы (в частности, возвращением на исходное место гумусированного слоя). Формирование полноценного профиля было осложнено образованием вымочек вдоль трассы, развитием процесса оглеения, особенно в

нижней части техногенного профиля, где изменения увлажнения имели менее контрастный характер.

В те же сроки исследования (1995 и 2000 гг.) в пахотном и подпахотном слоях контрольной почвы зафиксировано снижение содержания гумуса по сравнению с 1986 г., что охарактеризовано как проявление слабой (1995 г.) и средней (2000 г.) степени агрогенной деградации гумуса. Проявление признаков дегумусирования в контрольной почве явилось следствием ослабления мероприятий по агротехническому обслуживанию полей севооборота. Длительное возделывание многолетних трав (2000–2015 гг.) способствовало стабилизации уровня гумусированности в профиле контрольной почвы. Это могло быть следствием возрастания количества поступающих в почву растительных остатков, в основном за счет корневой системы; скошенная надземная масса трав была удалена с поля. В то же время после длительного возделывания травосмесей, т.е. в 2015 г., содержание гумуса в слое 0–20 см техногенной почвы снизилось до уровня 1995 г., предположительно в результате ослабления мероприятий по рекультивации техногенной почвы. В нижней ча-

Таблица 2. Изменение состава гумуса и гумусовых кислот в дерново-подзолистой почве, нарушенной строительством МТ

Год	Слой почвы, см	C _{общ} , %	Доля от C _{общ} , %			C _{ГК} : C _{ФК}	C _{ГК-1} : C _{ФК-1}	C _{ГК-2} : C _{ФК-2}
			C _{ГК}	C _{ФК}	C _{НО}			
Контроль								
1986	0—20	1.87	34.7	34.0	31.3	1.02	1.85	0.67
	20—40	1.25	25.0	38.0	37.0	0.66	1.63	0.29
1995	0—20	1.60	33.1	36.0	30.9	0.92	1.44	0.74
	20—40	1.13	22.7	38.2	39.1	0.59	1.11	0.43
2000	0—20	1.43	29.6	35.8	34.6	0.83	1.35	0.58
	20—40	1.07	19.6	40.6	39.8	0.48	1.03	0.30
2015	0—20	1.50	24.7	34.8	40.5	0.71	1.06	0.63
	20—40	1.08	20.5	36.7	42.8	0.56	0.86	0.39
HCP ₀₅	0—20	0.12	2.7	0.5	2.4	0.07	0.18	0.04
	20—40	0.05	1.2	1.0	1.3	0.04	0.17	0.03
Трасса								
1986	0—20	0.79	16.6	42.9	40.5	0.39	0.75	0.13
	20—40	0.48	13.5	45.0	41.5	0.30	0.71	0.07
1995	0—20	0.89	20.6	42.0	37.4	0.49	1.08	0.17
	20—40	0.41	13.0	47.8	39.2	0.27	1.06	—
2000	0—20	1.14	23.6	41.8	34.6	0.56	1.15	0.23
	20—40	0.34	11.8	49.2	39.0	0.24	0.95	—
2015	0—20	0.90	22.5	41.2	36.3	0.55	0.88	0.36
	20—40	0.37	15.4	44.5	40.1	0.35	0.56	0.18
HCP ₀₅	0—20	0.09	1.7	0.5	1.4	0.04	0.25	0.06
	20—40	0.03	1.4	1.1	0.8	0.02	0.12	—

сти техногенного профиля сохранялся стабильно низкий уровень гумусированности. Таким образом, характер многолетней динамики содержания гумуса позволил констатировать явное преимущество контрольной почвы над техногенной во все исследованные сроки. Через 30 лет после прокладки трассы, как и через один год, техногенная почва по масштабам потерь гумуса оставалась сильно деградированной.

По литературным материалам (к сожалению, весьма немногочисленным), содержание гумуса в пахотном слое дерново-подзолистой почвы на глинистых покровных отложениях оставалось ниже исходного уровня на 42% через 21 год после строительства МТ [1]; в верхнем слое черноземной почвы содержание гумуса не достигло исходного уровня после 30-летней эксплуатации трубопровода [4].

Фракционно-групповой состав гумуса. В течение 30 лет наблюдений на фоне существенного снижения содержания гумуса в техногенной почве прослежены четко выраженные признаки дегумификации, т.е. ослабления процесса гумификации на разных стадиях, приводящего к уменьше-

нию содержания и изменению состава гуминовых кислот, упрощению их структуры, усилению признака фульватного характера превращения органического вещества, в конечном итоге, ухудшению качества гумуса. Отклонения качественных характеристик гумуса от контрольных показателей в разные периоды исследования существенно варьировали в зависимости от экологической ситуации в каждом из объектов и характера их ответных реакций.

Во все сроки исследования интенсивность первой стадии гумификации (или новообразования ГК) в пределах 40-сантиметрового слоя техногенной почвы была меньше контроля на 5–59% с проявлением максимальной контрастности показателей (56–59%) через 1 год после прокладки трассы (табл. 2).

Характерной особенностью техногенной почвы была очень низкая активность 2-й стадии гумификации – стадии полимеризации гумусовых структур, или формирования гуматов. Максимально выраженное снижение интенсивности этой стадии (4–5-кратное) зафиксировано в слоях 0–20 и 20–40 см через 1 год после строитель-

Таблица 3. Состав и оптическая плотность фракций гуминовых кислот

Год	Глубина, см	Фракции ГК, % от C _{общ}				E _с ^{мг/мл}		
		ГК-1	ГК-2	ГК-3	сумма	ГК-1	ГК-2	ГК-3
Контроль								
1986	0–20	21.3	7.0	6.4	34.7	8.8	10.7	4.0
	20–40	15.0	4.3	5.7	25.0	8.3	10.1	4.5
1995	0–20	16.1	9.5	7.5	33.1	8.0	9.5	3.9
	20–40	11.0	5.2	6.5	22.7	8.1	9.0	4.6
2000	0–20	14.8	7.5	7.3	29.6	8.2	9.6	4.9
	20–40	9.1	4.0	6.5	19.6	8.5	9.8	5.0
2015	0–20	9.5	8.1	7.1	24.7	7.1	8.6	3.8
	20–40	8.0	5.5	7.0	20.5	6.6	7.9	3.2
HCP ₀₅	0–20	2.7	0.6	0.5	2.7	0.4	0.6	0.3
	20–40	1.7	0.4	0.6	1.2	0.5	0.7	0.4
Трасса								
1986	0–20	8.3	2.0	6.3	16.6	6.7	8.6	3.8
	20–40	7.0	1.2	5.3	13.5	5.2	6.8	4.1
1995	0–20	11.4	2.5	6.7	20.6	6.4	8.7	4.0
	20–40	7.4	Следы	5.6	13.0	4.2	—	3.2
2000	0–20	12.0	3.3	8.3	23.6	6.5	9.1	4.5
	20–40	6.1	Следы	5.7	11.8	3.9	—	2.6
2015	0–20	9.7	5.6	7.2	22.5	5.8	7.1	3.5
	20–40	5.3	2.8	7.3	15.4	4.8	6.2	2.9
HCP ₀₅	0–20	0.9	0.8	0.9	1.7	0.2	0.5	0.2
	20–40	0.6	0.6	1.0	1.4	0.3	—	0.3

ства МТ (1986 г.). Через 10 и 15 лет (1995, 2000 гг.) в слое 20–40 см техногенной почвы отмечено полное ингибирование процесса и отсутствие гуматов (табл. 3). Некоторая активизация процесса и появление гуматов в слое 20–40 см зафиксированы после многолетнего возделывания злаково-бобовых травосмесей.

С ослаблением обеих стадий гумификации в техногенной почве тесно были связаны и более низкие показатели степени и глубины гумификации. В разные сроки исследования общее содержание ГК уступало контрольным показателям на 9–52 отн. %. Максимальные величины отклонений (46–52%) зафиксированы через 1 год после прокладки трассы, в период наибольшего ослабления обеих стадий гумификации. В последующие сроки исследования (1995, 2000 гг.) контрастность почв по содержанию ГК в слое 0–20 см снизилась, в слое 20–40 см оставалась на высоком уровне вследствие образования вымочек и ухудшения условий гумификации в нижней части техногенного профиля. После многолетнего возделывания травосмесей прослежена тенденция к стабилизации показателей (табл. 2).

При значительных отклонениях степени гумификации от контрольных показателей (по нашим данным, не менее чем на 20%) наблюдали неблагоприятную смену типа гумуса с понижением уровня признака на 1–3 градации в зависимости от величины отклонений. Четко выраженная смена фульватно-гуматного типа гумуса на очень фульватный с понижением уровня признака на 3 градации отмечена в слое 0–20 см через 1 год после строительства трассы, что соответствовало максимальным величинам ослабления обеих стадий гумификации и снижения степени гумификации.

Оптическая плотность фракций гуминовых кислот. Общее содержание ГК в техногенной почве во все периоды наблюдений снижалось за счет фракций ГК-1 (на 33–64%) и ГК-2 (на 24–45%), что ухудшило агрономическую ценность гумуса. К тому же более низкие величины оптической плотности (E_c) ГК-1 и ГК-2 свидетельствовали об упрощении их структуры. Отклонения от контроля показателей E_c фракций ГК-1 и ГК-2 в слое 0–20 см варьировали в пределах 18–24 и 5–20% (табл. 3), максимальные величины отклонений, как и других качественных характеристик гумуса, зафиксированы через 1 год после строительства

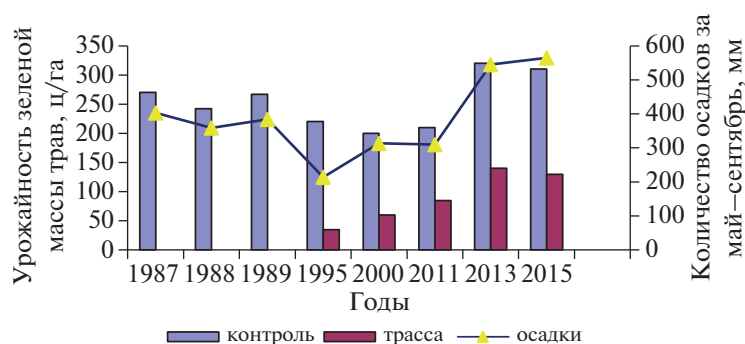


Рис. 1. Урожайность зеленой массы трав.

трассы (1986 г.). Отклонения от контроля показателей E_c фракции ГК-1 в слое 20–40 см варьировали в пределах 27–54% с проявлением максимума через 15 лет (2000 г.). Многолетняя динамика E_c фракции ГК-2 в слое 20–40 см не прослежена, поскольку в 1995 и 2000 гг. гуматы в этом слое не были обнаружены.

Биопродуктивность почвы. Различия в параметрах плодородия почв контрольных и нарушенных строительством трассы участков отражены в уровне их биопродуктивности. В первые несколько лет после строительства (1987–1989 гг.) на участках, приуроченных к трассе, наблюдали выпад сельскохозяйственных культур и даже сорной растительности (рис. 1). Через 10 лет (1995 г.) на отдельных участках трассы появились единичные куртинки клевера и злаков, урожайность которых была меньше контроля более чем в 6 раз. Через 15 лет (2000 г.) куртинки низкорослого клевера (высотой 6–10 см) составляли $\approx 20\%$ проективного покрытия; редкие злаковые растения имели высоту 10–15 см. На контрольных участках клевер (высотой 50–60 см) составлял 55–60% проективного покрытия; высота злаковых растений достигала 1 м. Общий вес зеленой массы растений в 3.3 раза превысил величины, характерные для участков трассы. В период функционирования поля вне севооборота в условиях многолетнего возделывания травосмесей и ослабления механического воздействия на почву контрастность показателей снизилась до 2.3–2.5-кратного превышения контроля над нарушенными участками. От 85 до 92% вариабельности урожайности трав и на контрольных ($HCP_{05} = 16$ ц/га), и на нарушенных участках ($HCP_{05} = 20$ ц/га) обусловлено количеством осадков за вегетационный период, что по шкале Чеддока оценивается как весьма высокая корреляционная зависимость между признаками [14]. Наиболее высокие показатели в обоих случаях зафиксированы в 2013 и 2015 гг., когда количество осадков в 1.7–1.8 раза превысило среднюю многолетнюю норму.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В дерново-подзолистой почве, нарушенной строительством трассы магистрального трубопровода (глубина 2.0–2.3 м), выявлены отчетливо выраженные негативные изменения показателей кислотно-основного состояния, характеристик гумуса, продуктивности фитоценозов в результате нарушения почвенного покрова, перемешивания генетических горизонтов с почвообразующей и подстилающей породами, характеризующимися неблагоприятными физическими и химическими свойствами.

В течение 30-летнего периода исследования наблюдали существенное варьирование показателей свойств техногенной и контрольной почв в зависимости от специфики экологической ситуации в каждом из объектов, соответственно, с проявлением разной степени выраженности признаков деградации.

Четко выраженная реакция на изменение экологических условий во времени (с учетом действия техногенного, агрогенного, гидрологического факторов) прослежена в отношении характеристик гумуса. Признаки дегумусирования (снижение содержания и запаса гумуса) и дегумификации (ухудшение качества гумуса на уровне групп и фракций гумусовых кислот и молекулярных структур гуминовых кислот) зафиксированы во все сроки исследования, но с разной степенью выраженности в зависимости от природы доминирующих воздействий. Наибольшие потери органического вещества и максимально выраженные признаки деградации его качества зафиксированы через один год после строительства (1986 г.) в слое 0–20 см в условиях доминирования техногенных воздействий. В последующие сроки исследования более высокий уровень в проявлении признаков деградации гумуса отмечен в слое 20–40 см, что явилось следствием образования вымочек вдоль трассы, развития оглеения и проявле-

ния вторичных деградационных процессов химической (физико-химической) природы. В специфическом характере многолетней динамики продуктивности фитоценозов помимо техногенных и агрогенных воздействий четко было отражено влияние метеорологического фактора.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гельцер Ю.Г., Гельцер В.Ю. Изменение свойств дерново-подзолистых почв агроценозов при строительстве магистральных трубопроводов // Почвоведение. 1993. № 10. С. 71–77.
2. Парамонова Т.А., Горбунова И.А., Шамшурина Е.Н. Оценка деградации и загрязнения земель магистрального трубопроводного транспорта на территории Ярославской области // Закономерности изменения почв при антропогенных воздействиях и регулирование состояния и функционирования почвенного покрова. Мат-лы Всерос. научн. конф. М.: Почв. ин-т им. В.В. Докучаева РАСХН, 2011. С. 605–609.
3. Сеньчева Е.В. Изменение физических, физико-химических и агрохимических свойств светло-серой лесной почвы при ее техногенном нарушении // Сел.-хоз. науки. 2016. Вып. 2. С. 113–115.
4. Карпачевский Л.О., Горошевский А.В., Зубкова Т.А. Взаимодействие почв и газопроводов // Почвоведение. 2011. № 3. С. 365–372.
5. Овчинникова М.Ф. Влияние факторов природного и техногенного происхождения на свойства и биопродуктивность дерново-подзолистой почвы // Агрохимия. 2001. № 8. С. 18–20.
6. Овчинникова М.Ф., Гомонова Н.Ф., Минеев В.Г. Специфика состава и свойств гумусовых веществ в дерново-подзолистых почвах // Докл. РАСХН. 2006. № 6. С. 27–30.
7. Митрофанов Ю.М., Петрова Л.И., Гуляев М.В. Агрохимические свойства осушаемых почв при разных режимах их использования // Плодородие. 2016. № 2. С. 23–25.
8. Практикум по агрохимии. М.: Изд-во МГУ, 2001. 689 с.
9. Пономарева В.В., Плотникова Т.А. Гумус и почвообразование. Л.: Наука, 1980. 221 с.
10. Плотникова Т.А., Орлова Н.Е. Использование модифицированной схемы Пономаревой–Плотниковой для определения состава, природы и свойств гумуса почв // Почвоведение. 1984. № 8. С. 120–130.
11. Овчинникова М.Ф. Признаки природной устойчивости и агрогенной трансформации гумуса почв // Почвоведение. 2013. № 12. С. 1449–1463.
12. Орлов Д.С., Бирюкова О.Н., Розанова М.С. Дополнительные показатели гумусного состояния почв и их генетических горизонтов // Почвоведение. 2004. № 8. С. 918–926.
13. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). М., 2011. 392 с.
14. Кремлев А.Г. Математика. Раздел “Статистика”. Екатеринбург: Изд-во УрГЮА, 2001. 140 с.

Influence of Construction of the Main Pipeline Route on the Properties of Sod-Podzolic Soil and Productivity of Phytocenoses

M. F. Ovchinnikova

*Educational and experimental soil and environmental center of M.V. Lomonosov Moscow State University
Solnechnogorsky district, Moscow region, p/o Udarny 141592, Russia*

E-mail: biochem.ovchinnikova@yandex.ru

The results of a long-term study of the parameters of the acid-base and humus state of the sod-podzolic soil disturbed by the construction of the main pipeline route are summarized. After 1 year, 10, 15 and 30 years after the route was laid, the features of changes in indicators in technogenic soil in comparison with the control one were characterized, depending on the specifics of the environmental situation, and the degree of severity of the signs of technogenic degradation of humus was estimated. One year after the route was laid, the most pronounced signs of humus degradation were recorded in the conditions of the dominance of technogenic impacts. In layers 0–20 and 20–40 cm, there was a 2.4–2.6-fold decrease in the humus content, 1.9–2.1-fold decrease in the total amount of humic acids, and a change of the fulvate-humate type of humus to a very fulvate type. In the subsequent study period, the signs of humus degradation decreased in the 0–20 cm layer, and increased in the 20–40 cm layer. This was a consequence of the deterioration of the hydrological regime of the lower part of the profile due to the formation of washouts along the route and the occurrence of secondary degradation processes of a chemical nature. The specific nature of the long-term dynamics of productivity of phytocenoses traces the effects of anthropogenic, agrogenic and meteorological factors.

Key words: acid-base state, humus substances, techno-genetic degradation, herb productivity.

УДК 631.463:631.461.61:631.445.24:631.42.2

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ АНТИБИОТИКОВ РАЗЛИЧНЫХ ГРУПП НА ЦЕЛЛЮЛОЗОЛИТИЧЕСКУЮ АКТИВНОСТЬ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ ПОЧВЫ МЕТОДОМ ЛАБОРАТОРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

© 2020 г. Т. А. Трифонова^{1,2}, С. М. Чеснокова¹, А. Г. Космачева^{1,*}

¹ Владимирский государственный университет им. А.Г. и Н.Г. Столетовых
600000 Владимир, ул. Горького, 87, Россия

² Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова
119991 Москва, Ленинские горы, 1, стр. 12, Россия

*E-mail: hijadelaluna@mail.ru

Поступила в редакцию 08.10.2019 г.

После доработки 02.03.2020 г.

Принята к публикации 10.07.2020 г.

Исследовали влияние антибиотиков различных групп (бензилпенициллина, окситетрациклина и тилозина) на целлюлозолитическую активность окультуренной легкосуглинистой дерново-подзолистой почвы при индивидуальном и комбинированном воздействии в модельном эксперименте. Целлюлозолитическую активность почвы оценивали по потере массы хлопчатобумажной ткани в загрязненной антибиотиками почве. Установлено, что при индивидуальном воздействии эффекты проявлялись в зависимости от вида антибиотика и его концентрации. Тилозин оказывал явно выраженный эффект ингибирования целлюлозолитической активности, а бензилпенициллин и окситетрациклин стимулировали процесс разложения целлюлозы. При комбинированном воздействии окситетрациклина и тилозина отмечено ингибирование разложения хлопчатобумажного полотна. При комбинированном воздействии бензилпенициллина и тилозина биологические эффекты варьировались в зависимости от их концентрации в почве. При влиянии трехкомпонентной смеси использованных антибиотиков эффекты воздействия проявлялись весьма слабо, т.е. функционирование комплекса целлюлозоразрушающих микроорганизмов в исследованной почве не нарушалось. Определены корреляционные зависимости между концентрацией антибиотиков и эффектами их воздействия.

Ключевые слова: целлюлозолитическая активность, дерново-подзолистая почва, антибиотики, индивидуальное и комбинированное воздействие, корреляционные зависимости.

DOI: 10.31857/S0002188120100142

ВВЕДЕНИЕ

Целлюлозолитическая активность почв является наиболее чувствительным комплексным показателем нарушения деятельности микробиоценоза почв в результате ее загрязнения и в целом отражает экологическую ситуацию, т.к. целлюлоза в почве разрушается представителями разных систематических групп микроорганизмов — от грибов до аэробных и анаэробных бактерий [1–3]. Деятельность целлюлозоразрушающих микроорганизмов обеспечивает сопряжение биологических и геологических круговоротов в почве, уровень плодородия и биохимической активности почвы и зависит как от антропогенных, так и природных факторов [1]. В настоящее время достаточно хорошо изучено влияние на целлюлозо-

литическую активность почв тяжелых металлов [4], нефти и нефтепродуктов [5], минеральных и органических удобрений и способов обработки почв [6–8].

Тем не менее, слабо изучено влияние антибиотиков, как загрязнителей различных компонентов природной среды. Эти поллютанты во всех странах мира обнаружены в почвах, поверхностных и сточных водах, осадках сточных вод и отнесены к наиболее опасным загрязнителям различных экосистем вследствие их значительного негативного влияния на структуру микробиоценоза и ферментативную активность почвы [9–13], а также распространения в окружающей среде опасных для здоровья человека и животных антибиотикорезистентных патогенных микроорганизмов [14].

Таблица 1. Агрохимические показатели исследованной дерново-подзолистой почвы

Показатель	Величина показателя	Методика исследования
Кислотность солевой вытяжки, pH_{KCl} , ед. pH	5.83 ± 0.1	ГОСТ 26483-85
Кислотность обменная, ммоль/100 г почвы	0.03 ± 0.01	ГОСТ 26484-85
Кислотность гидролитическая, ммоль/100 г почвы	1.53 ± 0.18	ГОСТ 26212-91
P_2O_5 подвижный, мг/кг	178 ± 35.60	ГОСТ Р 54650-2011
K_2O подвижный, мг/кг	161.0 ± 24.15	ГОСТ Р 54650-2011
Органическое вещество (гумус), %	2.38 ± 0.48	ГОСТ 26213-91
Азот аммонийный, мг/кг	1.64 ± 0.33	ГОСТ 26489-85
Азот нитратный, мг/кг	2.44 ± 0.73	ГОСТ 26951-86
Содержание глины, %	27.8 ± 0.03	ГОСТ 12536-2014

Значительная часть медицинских и ветеринарных антибиотиков хорошо растворимы в воде и из организма человека и животных выделяются в окружающую среду с мочой (до 90%) и экскрементами ($\approx 75\%$) [9].

В почвы антибиотики поступают с навозом крупного рогатого скота, свиней и птицы и осадками сточных вод сооружений биологической очистки, используемых в качестве органического удобрения [9]. В отличие от стран ЕС и США, в России осуществляется только мониторинг содержания антибиотиков в продуктах питания органами Роспотребнадзора. В силу различных причин мониторинг загрязнения антибиотиками почв сельскохозяйственных угодий не проводят. Известно использование в России антибиотиков при исследовании вклада грибов и бактерий в субстрат-индуцированное дыхание почвы, определении структуры микробного сообщества (грибы/бактерии) в почвах разных экосистем и оценке вклада грибного и бактериального компонентов в продуцирование CO_2 и N_2O дерново-подзолистыми почвами постаграрных биогеоценозов [15–17].

Изучали также влияние различных антибиотиков на структуру микробиоценоза и ферментативную активность чернозема обыкновенного: было показано, что наиболее токсичными для микробиоценоза этих почв являлись антибактериальные антибиотики, менее токсичными — фунгицидные [18]. Изучено воздействие антибиотиков на активность пероксидазы, каталазы, полифенолоксидазы, дегидрогеназы, инвертазы, фосфотазы [18]. Однако влияние антибиотиков на целлюлозолитическую активность не изучали. Так как значительную часть пахотных земель Владимирской обл. составляют дерново-подзолистые почвы, представляло интерес исследование влияния наиболее широко используемых в медицине и ветеринарии антибиотиков на цел-

люлозолитическую активность такой почвы. Цель работы — исследование влияния антибиотиков различных групп на целлюлозолитическую активность дерново-подзолистой почвы при их индивидуальном и комбинированном воздействии методом лабораторного моделирования.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Объект исследования — дерново-подзолистая легкосуглинистая почва с участка сельскохозяйственного назначения на территории Суздальского р-на Владимирской обл. [19]. Почвенные образцы отбирали из верхнего слоя почвы (0–20 см) в соответствии с ГОСТ 17.4.4.02-84. Агрохимические показатели почвы приведены в табл. 1.

Целлюлозолитическую активность почвы определяли в лабораторных условиях модифицированным аппликационным методом Кристенсена [20]. Данный метод основан на выявлении доли (в %) разложившейся целлюлозы. Преимущество лабораторного метода состоит в возможности поддержания заданных оптимальных условий (температуры и влажности) для жизнедеятельности целлюлозолитических микроорганизмов. Опыт проводили в четырехкратной повторности. В качестве источника целлюлозы использовали хлопчатобумажное полотно. Для проведения эксперимента на дно каждой стерильной чашки Петри помещали кусок хлопчатобумажной ткани размером 3×4 см, предварительно выдержанный в сушильном шкафу при 105°C в течение 2 ч и взвешенный на аналитических весах с погрешностью 0.0001 г. Далее в каждую чашку Петри добавляли 50 г исследуемой почвы, увлажненной до 60% ПВ и загрязненной антибиотиками в концентрациях, соответствующих 50–700 мг/кг почвы. Антибиотики в образцы почв вводили в виде водных растворов, приготовленных путем разбавления исходного раствора с концентрацией 10 мг/см³.

В качестве контроля использовали почву без внесения антибиотиков. Чашки Петри взвешивали, помещали в термостат и инкубировали при температуре 27°C в течение 30 сут. Ежедневно чашки взвешивали и доводили до исходной массы дистиллированной водой. По прошествии 30 сут остатки ткани извлекали из чашек Петри, очищали от почвы, высушивали при 105°C и взвешивали на аналитических весах. Показателем целлюлозолитической активности почвы служит разница в массе ткани (%), разложившейся за время опыта.

Целлюлозолитическая активность исследованной почвы без внесения антибиотиков (контроль) равнялась $47.4 \pm 4.2\%$, что соответствовало средней интенсивности разрушения целлюлозы [20]. Невысокий уровень целлюлозолитической активности исследованной почвы связан с низким содержанием в ней нитратного азота [21].

В работе использовали препараты антибиотиков окситетрациклина и бензилпенициллина в виде порошков для приготовления инъекционного раствора, расфасованные в пенициллиновые склянки в количестве 1 г (1000000 ЕД), тилозин — в лекарственной форме раствора для инъекций с концентрацией 200 мг д.в./см³. Исходные растворы антибиотиков с концентрацией 10 мг/см³ готовили путем разбавления препаратов в дистиллированной воде. Исследованные концентрации антибиотиков были выбраны на основании литературных данных об их количествах, обнаруженных в почвах [18], и для рассмотрения эффектов их влияния в случаях экстремального загрязнения почв санитарных защитных зон фармацевтических предприятий и крупных животноводческих комплексов и птицефабрик.

Для статистической обработки результатов исследования использовали программы Microsoft Excel и Statistica 8. В качестве погрешности указаны величины стандартной ошибки эксперимента.

В работе использовали окситетрациклин — бактериостатический антибиотик, подавляет синтез белка на рибосомах. Образуется бактериями рода *Streptomyces*. Обладает широким антибиотическим спектром в отношении грамположительных и грамотрицательных бактерий. Окситетрациклин применяют в медицинской практике и ветеринарии для лечения ряда бактериальных заболеваний и риккетсиозов, а также в животноводстве для увеличения скорости роста и массы животных и птиц [22, 23]. Этот эффект достигается за счет изменения структуры микрофлоры кишечника и повышения усвояемости растительной пищи животными [23].

Бензилпенициллин относится к группе β-лактамовых антибиотиков, образуется мицелиальными грибами рода *Penicillium*. Эффективен против некоторых грамположительных бактерий, не оказывает действия на грамотрицательные бактерии, грибы и другие группы организмов. Механизм действия основан на ингибировании синтеза пептидогликана — основного компонента клеточной стенки бактерий. Проявляет как бактерицидное, так и бактериостатическое действие. Антибиотик широко применяют в медицине и ветеринарии [22].

Тилозин — антибиотик группы макролидов. Образуется культурой *Streptomyces fradiae*. Оказывает бактериостатическое действие, подавляет синтез белка, воздействуя на бактериальные рибосомы, применяется в животноводстве, в качестве добавок к кормам животных, а также как консервант в пищевой промышленности для подавления развития плесневых грибов при хранении продуктов [22, 24].

В почвы антибиотики обычно попадают вместе с навозом, осадками сточных вод и стоками с территорий птицефабрик и ферм крупного рогатого скота.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Было установлено, что эффекты индивидуального воздействия антибиотиков на целлюлозолитическую активность исследованной почвы зависели как от их свойств, так и от их концентрации (рис. 1). Биологические эффекты их воздействия на целлюлозоразрушающую микробиоту в разной степени возрастали при увеличении их концентраций.

Тилозин во всем диапазоне исследованных концентраций ингибировал процесс разрушения хлопчатобумажного полотна, проявляя слабую острую (ЕС 10 = 100 мг/кг) и слабую хроническую токсичность (ЕС 50 = 680 мг/кг). Вероятно, этот эффект был связан с угнетением тилозином комплекса целлюлозолитических ферментов, выделяемых микробиотой — основного участника разложения целлюлозы в дерново-подзолистых почвах и целлюлозоразрушающих прокариотов [2, 3, 16–18, 25, 27].

При индивидуальном воздействии бензилпенициллина и окситетрациклина происходила достаточно заметная стимуляция разрушения хлопчатобумажного полотна в чашках Петри, что, по видимому, было связано со смещением структуры микробиоценоза почвы в сторону увеличения биомассы грибов из-за снижения количества бактерий [22, 26]. Эти результаты хорошо согласуются

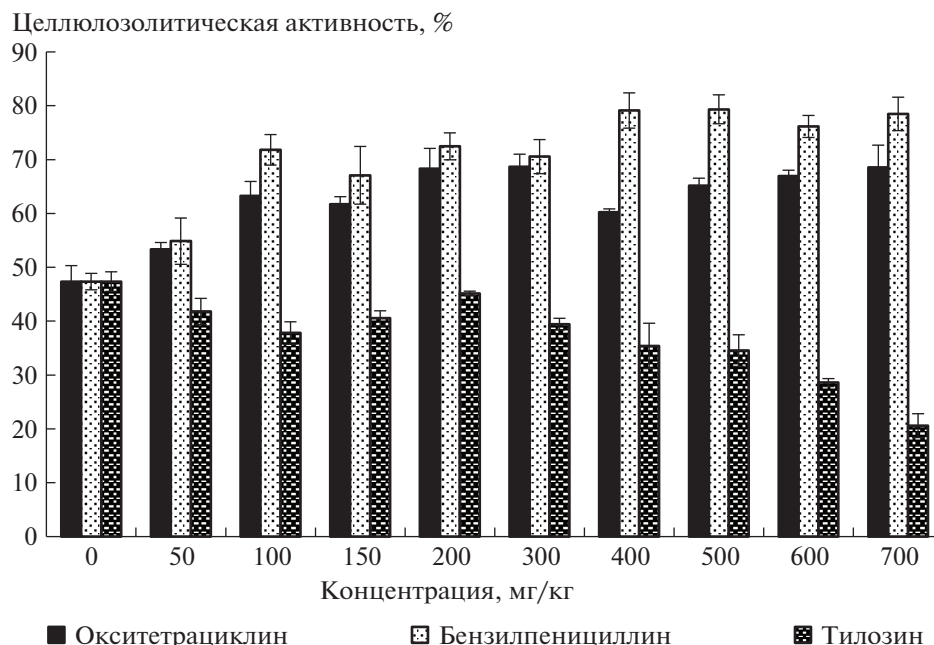


Рис. 1. Зависимость целлюлозолитической активности почвы от концентрации антибиотиков при индивидуальном воздействии.

ся с данными, полученными при изучении воздействия сульфамидов и тетрациклина на структуру почвенной микробиоты [26].

При комбинированном воздействии бинарных смесей антибиотиков тилозин подавлял эффекты стимуляции целлюлозолитической активности бензилпенициллином и окситетрациклином (рис. 2). При этом эффект комбинированного воздействия тилозина и окситетрациклина был идентичен эффекту индивидуального воздействия тилозина, т.е. происходило существенное ингибирование активности целлюлозоразрушающих микроорганизмов.

Исходя из этого, можно полагать, что при длительном систематическом поступлении в дерново-подзолистые почвы антибиотиков бензилпенициллина и окситетрациклина, в результате увеличения целлюлозолитической активности микробиоты, может произойти нарушение баланса углерода в почве и снижение ее плодородия.

При комбинированном воздействии окситетрациклина и бензилпенициллина в целом происходила стимуляция целлюлозолитической активности почвы. Однако эти эффекты были меньше, чем при индивидуальном воздействии этих антибиотиков, т.е. наблюдали эффект антагонизма.

Эффекты комбинированного воздействия бензилпенициллина и тилозина варьировались в зависимости от их концентрации. В интервале концентраций 50–100 и 400–700 мг/кг происхо-

дила незначительная стимуляция разложения хлопчатобумажного полотна. В интервале концентраций 150–300 мг/кг отмечена суммация положительного (стимуляция) и отрицательного (ингибирование) биологических эффектов.

При комбинированном воздействии смеси 3-х антибиотиков в интервале концентраций 50–300 мг/кг наблюдали незначительную стимуляцию разложения полотна, а в интервале 400–700 мг/кг процесс разложения целлюлозы практически не происходил.

Рассчитаны корреляционные зависимости “доза–эффект” при индивидуальном и комбинированном воздействии бинарных и трехкомпонентных смесей антибиотиков на процесс разложения целлюлозы в модельном эксперименте с указанием доверительных интервалов (табл. 2). Показано, что существует высокая корреляционная зависимость между степенью ингибирования разрушения целлюлозы и концентрацией антибиотиков при воздействии тилозина и комбинированном влиянии смеси тилозина и окситетрациклина. Также отмечена высокая корреляционная зависимость между степенью стимулирования целлюлозолитической активности и концентрацией бензилпенициллина при его индивидуальном воздействии; средняя корреляционная зависимость – между степенью стимулирования разрушения целлюлозы и концентрацией окситетрациклина. Корреляционная зависимость не обнаружена

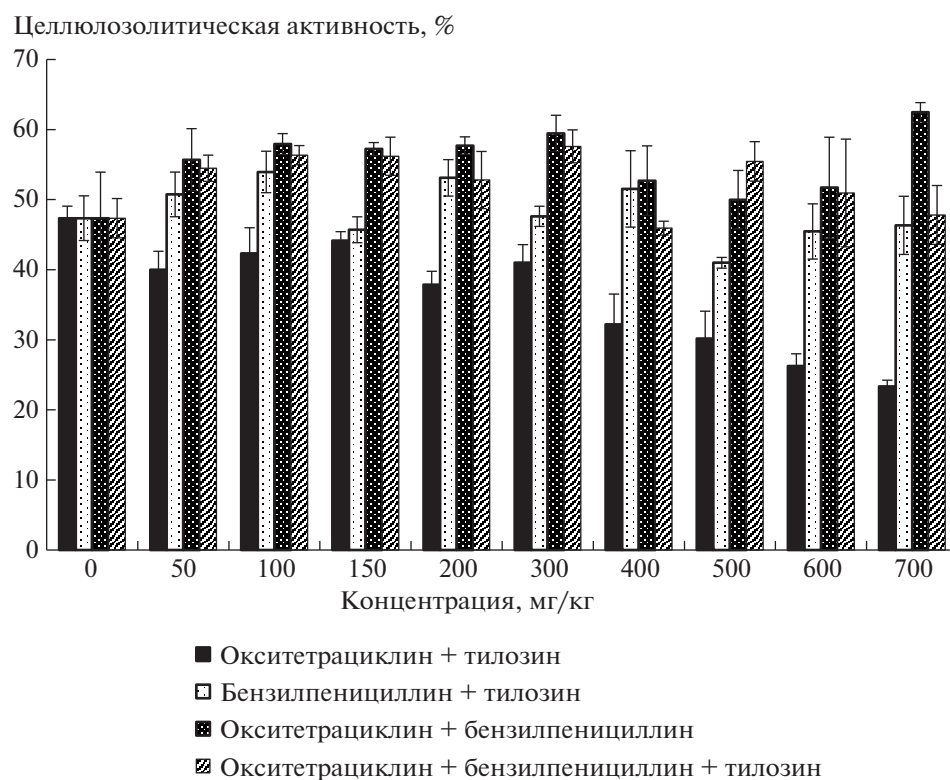


Рис. 2. Эффекты комбинированного воздействия антибиотиков на целлюлозолитическую активность почвы.

между концентрацией и их биологическими эффектами при комбинированном воздействии бинарных смесей бензилпенициллина и окситетрациклина, бензилпенициллина и тилозина, а также трехкомпонентной смеси антибиотиков.

Исходя из полученных результатов, можно предположить, что наибольшую опасность для исследованной дерново-подзолистой почвы пред-

ставляет ее загрязнение антибиотиками только какой-либо одной группы, которое может вызвать либо существенное замедление разложения пожнивных остатков, либо, наоборот, значительное ускорение их разложения, но что во всех случаях будет приводить к снижению почвенного плодородия.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, впервые изучены эффекты воздействия антибиотиков различных групп на целлюлозолитическую активность дерново-подзолистой почвы методом лабораторного моделирования при индивидуальном и комбинированном воздействии бинарных и трехкомпонентных смесей. Было установлено, что эффекты влияния антибиотиков на целлюлозолитическую активность легкосуглинистой дерново-подзолистой почвы при индивидуальном воздействии зависели от вида препарата и возрастали с увеличением их концентрации в почве. Тилозин ингибировал процессы разрушения целлюлозы, благодаря широкому бактериостатическому спектру действия как против грамположительных, так и против грамотрицательных организмов. Кроме этого, в связи с содержанием в препарате дополнитель-

Таблица 2. Корреляционные зависимости воздействий антибиотиков на целлюлозолитическую активность почвы

Вариант	Коэффициент корреляции (r)	Доверительный интервал (p)
Окситетрациклин	0.67	0.04
Бензилпенициллин	0.79	0.01
Тилозин	-0.90	0.00
Окситетрациклин + тилозин	-0.95	0.00
Бензилпенициллин + тилозин	-0.50	0.15
Окситетрациклин + бензилпенициллин	0.17	0.64
Смесь 3-х антибиотиков	-0.29	0.41

ных веществ (пропандиола и бензилового спирта), обладающих антисептическими свойствами [28, 29], возможно он способен проявлять и фунгицидное воздействие, вследствие чего подавляется активность микроскопических грибов — основных разрушителей целлюлозы в дерново-подзолистой почве.

Эффекты стимуляции разложения целлюлозы при индивидуальном воздействии наблюдали для антибиотиков с антибактериальным спектром действия (бензилпенициллина и окситетрациклина). Можно предположить, что это было связано со смещением структуры микробиоценоза почвы в сторону увеличения доли микобиоты при снижении количества прокариотических организмов, исходя из аналогичных данных, описанных в литературе [22, 26]. При комбинированном воздействии различных антибиотиков на почвенную биоту разрушение целлюлозы было слабывраженным.

Обнаружена корреляционная зависимость между степенью ингибирования целлюлозолитической активности и концентрацией при индивидуальном воздействии тилозина ($r = 0.90$) и комбинированном воздействии тилозина и окситетрациклина ($r = 0.95$), а также между степенью стимулирования целлюлозолитической активности бензилпенициллином ($r = 0.79$) и окситетрациклином ($r = 0.67$).

Присутствие антибиотиков в дерново-подзолистой почве оказывало неоднозначное влияние на процесс разложения клетчатки: они могли как стимулировать, так и ингибировать целлюлозолитическую активность почвенных микроорганизмов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Полянская Л.М., Звягинцев Д.Г. Содержание и структура микробной биомассы как показатель экологического состояния почв // Почвоведение. 2005. № 6. С. 706–714.
2. Шипилин Н.Н. Техногенно загрязненные почвы пашни и их биоиндикация: Автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. Барнаул, 1996. 20 с.
3. Мишустин Е.Н. Ассоциации почвенных микроорганизмов. М.: Наука, 1975. 169 с.
4. Громакова Н.В., Минкина Т.М., Манджиева С.С., Чаплыгин В.А., Бауэр Т.В., Сушкова С.Н. Влияние подвижных форм тяжелых металлов на показатели целлюлозоразлагающей и уреазной активности чернозема обыкновенного (модельный эксперимент) // Агрохимия. 2017. № 2. С. 73–81.
5. Колесников С.И., Казеев К.Ш., Вальков В.Ф., Азнаурьян Д.К., Жаркова М.К. Биодиагностика экологического состояния почв, загрязненных нефтью и нефтепродуктами. Ростов н/Д.: Росиздат, 2007. 192 с.
6. Шур А.В., Виноградов Д.В., Валько В.П. Целлюлозолитическая активность почв при различных уровнях агротехнического воздействия // Вестн. КрасГАУ. 2015. № 7. С. 45–49.
7. Климкина Ю.М. Влияние удобрений на урожайность ячменя и целлюлозолитическую активность дерново-подзолистой почвы // Агрохим. вестн. 2015. № 3. С. 34–36.
8. Зинченко М.К., Бибик Т.С., Стоянова Л.Г. Влияние систем удобрения на жизнедеятельность отдельных физиологических групп микроорганизмов в серой лесной почве Владимирского ополья // Фундамент. исслед.-я. 2014. № 12. С. 552–557.
9. Kaczala F., Blum S.E. The Occurrence of veterinary pharmaceuticals in the environment: A Review // Current Analyt. Chem. 2016. V. 12. P. 169–182.
10. Chen W., Liu W., Pan N., Jiao W., Wang M. Oxytetracycline on functions and structure of soil microbial community // J. Soil Sci. Plant Nutr. 2013. V. 13. P. 967–975.
11. Liu W., Pan N., Chen W., Jiao W., Wang M. Effect of veterinary oxytetracycline on functional diversity of soil microbial community // Pant Soil Environ. 2012. V. 58. P. 295–301.
12. Grenni P., Ancona V., Caracciolo A.B. Ecological effects of antibiotics on natural ecosystems: A review // Microchem. J. 2018. V. 136. P. 25–39.
13. van de Vijver L., Verwer C., Smolders G., Hospers-Brands M., van Eekeren N. The cycle of veterinary antibiotics in the ecosystem. Louis Bolk Institute, 2016. P. 31.
14. Всемирная организация здравоохранения. Глобальная стратегия ВОЗ по сдерживанию устойчивости к противомикробным препаратам. Женева: ВОЗ, 2001. 168 с.
15. Ананьева Н.Д., Сусьян Е.А., Чернова О.В., Чернов И.Ю., Макарова О.Л. Соотношение грибов и бактерий в биомассе разных типов почв, определяемое селективным ингибированием // Микробиология. 2006. Т. 5. № 6. С. 807–813.
16. Сусьян Е.А., Ананьева Н.Д., Благодатская Е.В. Разделение грибного и бактериального субстрат-индуцированного дыхания с использованием антибиотиков в почвах разных экосистем // Микробиология. 2005. Т. 74. № 3. С. 394–400.
17. Ананьева Н.Д., Стольникова Е.В., Сусьян Е.А., Ходжаева А.К. Грибная и бактериальная микробная биомасса (селективное ингибирование) и продуцирование CO_2 и N_2O дерново-подзолистыми почвами постагарных биогеоценозов // Почвоведение. 2010. № 11. С. 1387–1393.
18. Акименко Ю.В. Влияние загрязнения антибиотиками на биологические свойства чернозема обыкновенного: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Ростов-н/Д., 2015. 24 с.
19. Герасимова М.И., Красильников П.В. Мировая реферативная база почвенных ресурсов 2014. Международная система почвенной классификации для диагностики почв и создания легенд почвенных карт. Исправл. и допол. верс. 2015. Продовольственная и сельскохозяйственная организация объединенных наций, Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова. Рим, 2018. 216 с.

20. Основные микробиологические и биохимические методы исследования почвы: метод. рекоменд. / Под ред. Возняковской Ю.М. Л.: ВНИИСХМ, 1987. 47 с.
21. Лазарев А.П., Абрашин Ю.И., Гордеюк Л.Л. Целлюлолитическая активность обрабатываемого чернозема обыкновенного лесостепной зоны Ишимской равнины // Почвоведение. 1997. № 10. С. 1230–1234.
22. Егоров Н.С. Основы учения об антибиотиках. М.: Изд-во МГУ, 2004. 528 с.
23. Хохрин Н.С. Кормление сельскохозяйственных животных. М.: КолосС, 2004. 692 с.
24. Голубев В.Н., Чичева-Филатова Л.В., Шленская Т.В. Пищевые и биологически активные добавки. М.: Академия, 2003. 208 с.
25. Титова В.И., Козлов А.В. Методы оценки функционирования микробиоценоза почвы, участвующего в трансформации органического вещества: Науч.-метод. пособ. / Нижегородская СХА. Н. Новгород, 2012. 64 с.
26. Thiele-Bruhn S., Beck I.C. Effects of sulfonamide and tetracycline antibiotics on soil microbial activity and microbial biomass // Chemosphere. 2005. V. 59. P. 457–465.
27. Благовещенская Г.Г., Духанина Т.М. Микробные сообщества почв и их функционирование в условиях применения средств химизации // Агрохимия. 2004. № 2. С. 80–88.
28. Encyclopedia of Toxicology. 2nd Edit. / Eds. Anderson B., de Peyster A., Gad S.C., Hakkinen P.J.B., Kamrin M., Locey B., Mehendale H.M., Pope C., Shugart L., Wexler P. Academic Press, 2005. 2000 p.
29. Химическая энциклопедия: в 5 т. / Под ред. Зефирова Н.С. М.: БРЭ, 1995. Т. 4. С. 103–104.

Estimation of the Impact of Antibiotics of Different Groups on Cellulolytic Activity of Sod-Podzolic Soil

Т. А. Trifonova^{a,b}, S. M. Chesnokova^a, and A. G. Kosmacheva^{a, #}

^a A.G. and N.G. Stoletovs Vladimir University, ul. Gorkogo 87, Vladimir 600000, Russia

^b M.V. Lomonosov Moscow State University, Leninskie Gory 1, bld. 12, Moscow 119991, Russia

[#]E-mail: hijadelaluna@mail.ru

The purpose of the present work is to the effect of antibiotics of various groups (benzylpenicillin, oxytetracycline and tylosin) on the cellulolytic activity of cultivated light loamy sod-podzolic soil under individual and combined exposure in a model experiment was studied. The cellulolytic activity of the soil was evaluated by the loss of mass of cotton tissue in soil contaminated with antibiotics. It was established that with individual exposure, the effects were manifested depending on the type of antibiotic and its concentration. Tylosin had a pronounced effect of inhibiting cellulolytic activity, and benzylpenicillin and oxytetracycline stimulated the process of cellulose decomposition. With the combined effects of oxytetracycline and tylosin, inhibition of decomposition of the cotton fabric was observed. When combined with benzylpenicillin and tylosin, biological effects varied depending on their concentration in the soil. Under the influence of a three-component mixture of antibiotics used, the effects of exposure were very weak, i.e. the functioning of the complex of cellulose-destroying microorganisms in the studied soil was not disturbed. The correlation dependencies between the concentration of antibiotics and the effects of their effects are determined.

Key words: cellulolytic activity, sod-podzolic soil, antibiotics, individual and combined effects, correlation dependencies.

УДК 631.445:632.122.1

ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ НОРМИРОВАНИЕ СОСТОЯНИЯ ПОЧВ, ЗАГРЯЗНЕННЫХ ТЯЖЕЛЫМИ МЕТАЛЛАМИ

© 2020 г. И. О. Плеханова^{1,*}, О. А. Золотарева¹

¹Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, факультет почвоведения
119992 Москва, Ленинские горы, 1, стр. 12, Россия

*E-mail: irinaoplekhanova@mail.ru

Поступила в редакцию 15.03.2020 г.

После доработки 03.04.2020 г.

Принята к публикации 10.07.2020 г.

Концентрации тяжелых металлов (ТМ), способные оказывать достоверное негативное воздействие на растения и на почвенное микробное сообщество, выявлены при разных уровнях загрязнения дерново-подзолистой (Albeluvisols), и серой лесной (Luvisols) почв. Признаки экотоксичности проявляются при разных уровнях содержания ТМ для тест-растений и микробного сообщества. При загрязнении почв ацетатами Pb, Zn и Cd содержание их подвижных соединений увеличивалось в значительно большей степени, чем валовое содержание. Коэффициенты концентрации подвижных и кислоторастворимых соединений этих элементов были в 1.5–2.0 раза больше, чем при загрязнении почв одним металлом.

Ключевые слова: загрязнение, тяжелые металлы, подвижность соединений, фитотестирование, биотестирование, экотоксичность.

DOI: 10.31857/S0002188120100099

ВВЕДЕНИЕ

Под экологическим состоянием почвы понимают ее способность обеспечивать устойчивое функционирование естественных и антропогенных экосистем. Экологическую норму состояния почв можно определить, как те предельные величины показателей экологического состояния, при которых еще обеспечивается допустимый уровень функционирования биогеоценозов. Таким образом, нормирование экологического состояния окружающей среды в целом должно основываться на оценке выполнения почвами основных биогеохимических функций [1].

В настоящее время наиболее разработан санитарно-гигиенический подход к оценке качества окружающей среды. Существующая система гигиенической регламентации является единственной законодательно утвержденной базой данных для оценки и нормирования концентраций загрязняющих веществ в почвах. Недостатком этих нормативов является отсутствие учета почвенно-экологических и геохимических условий образования и функционирования почв [2–4].

Многие исследователи считают, что нормативы содержания тяжелых металлов (ТМ) должны разрабатываться согласно конкретной почвенно-

экологической обстановке [3, 5, 6]. Эти соображения учтены, отчасти, при разработке ОДК ТМ для 3-х групп почв: песчаных и супесчаных, суглинистых и глинистых, близких к нейтральным и нейтральным суглинистым и глинистым почвам [7]. Отсутствие дифференциации нормативов по природно-климатическим зонам и видам хозяйственного использования ограничивает возможности объективной оценки уровней загрязнения почв

Система ПДК, основанная на дифференцированном изучении аналитическими методами отдельных веществ, не всегда отвечает современным принципам системности в экологии и не может в полной мере обеспечить сохранение приемлемого уровня экологической безопасности. Очень часто в окружающую среду поступает целый набор загрязняющих веществ, идентифицировать каждое из них весьма затруднительно, т.к. может наблюдаться эффект синергического действия загрязняющих веществ. В этом случае необходимо привлекать методы биотестирования и изучать отклик биологических систем на нагрузку с помощью выявления и анализа зависимости “доза–эффект” [6–8].

Таблица 1. Показатели химических свойств исследованных почв

Почва	Содержание гумуса, %	pH _{KCl}	pH _{H₂O}	Сумма обменных оснований, ммоль*экв/100 г почвы	ЕКО, мг*экв/100 г почвы	Гидролитическая кислотность, ммоль*экв/100 г почвы
Дерново-подзолистая	2.2	5.2	6.4	16	21.7	1.9
Серая лесная	5.0	5.7	6.7	15	28	3.2

Пределом допустимой концентрации загрязняющих веществ в почвах является тот уровень, при котором начинает изменяться количество и качество живого вещества, т.е. биологическая продукция [9]. Этот уровень загрязнения почвы прямо или косвенно влияет на контактирующие сопредельные среды, что необходимо учитывать при разработке показателей экологического нормирования для реальных почв.

В настоящее время не существует общепринятой и хорошо разработанной теории экологического нормирования. Вместе с тем, в последние десятилетия трудами многих отечественных и зарубежных ученых сделан существенный вклад в разработку этой концепции: формируются основные подходы, принципы экологического контроля, предложены различные критерии для оценки качества водных и наземных экосистем, которые базируются на биотической концепции контроля качества природной среды [4, 7, 9–11]. Эти критерии должны включать характеристику химических, физических и биологических свойств почв, определение форм соединений металлов в почвах, что необходимо для оценки их влияния на окружающую среду, а также устойчивость почв к загрязнению ТМ.

Цель работы – оценка и нормирование экологического состояния дерново-подзоистой и серой лесной почв при искусственном загрязнении

соединениями Zn, Pb, Cd при отдельном и совместном их поступлении в почвы по показателям состояния тяжелых металлов, микробиологической активности и фитотоксичности почв.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследовали пробы из пахотных горизонтов почв: дерново-подзоистой (Eutric Albic Retisol (Loamic, Aric, Cutanic, Differentic, Ochric)) (Московская обл.), серой лесной (Eutric Retisol (Loamic, Aric, Cutanic, Ochric)) (Тульская обл.) и тест-культуры: 1 – овес посевной (*Avena sativa*), 2 – горчица белая (*Sinapis alba*), 3 – ячмень обыкновенный (*Hordeum vulgare*).

В почвенных образцах определяли следующие показатели: содержание органического углерода фотометрическим методом по Тюрину в модификации ЦИНАО, pH – потенциометрическим методом, интенсивность “дыхания” в почве определяли методом газовой хроматографии на хроматографе модели 3700 с детектором по теплопроводности, гидролитическую кислотность – при вытеснении 1 н. раствором CH₃COONa, емкость катионного обмена – методом Бобко–Аскинази–Алешина в модификации ЦИНАО. Определение уровня загрязнения почв ТМ и их подвижности проводили после экстракции проб почв ацетатно-аммонийным буферным раствором pH 4.8, кислоторастворимые формы – 1 н. HNO₃, валовое содержание ТМ – смесью HCl и HNO₃ в соотношении 3 : 1 [12]. Основные химические свойства исследованных почв приведены в табл. 1. С учетом свойств почв уровни ОДК, используемые для оценки дерново-подзоистой почвы, в 2 раза меньше, чем для серой лесной почвы [13] (табл. 2).

В почвы вносили водный раствор уксуснокислых солей ТМ из расчета следующих доз: 1 ОДК, 2 ОДК, 3 ОДК, 5 ОДК, 10 ОДК для Pb, Zn, Cd и их смеси. Соли уксусной кислоты были выбраны для опыта в связи с их хорошей растворимостью, что способствовало быстрому взаимодействию с почвенными компонентами, гидролиз этих солей не сопровождался резким сдвигом pH в область кислой реакции среды. Ацетат-ионы являются есте-

Таблица 2. Уровни ОДК и дозы тяжелых металлов, внесенные в почвы, мг/кг

Серая лесная почва					
Кратность ОДК	1	2	3	5	10
Pb	130	260	390	650	1300
Zn	220	440	660	1100	2200
Cd	2	4	6	10	20
Дерново-подзолистая почва					
Кратность ОДК	1	2	3	5	10
Pb	65	130	195	325	650
Zn	110	220	330	550	1100
Cd	1	2	3	5	10

ственным продуктом метаболизма растений и незначительно изменяют питательный режим почв.

Почву инкубировали в течение 14 сут после внесения загрязняющего вещества при влажности 60% ПВ. Затем высаживали семена горчицы и семена овса по 30 шт./сосуд с массой почвы 500 г для определения уровня фитотоксичности почв и транслокационного показателя. Продолжительность вегетационных опытов составляла 40 сут. Опыты проводили в 3-х повторностях [14].

Для изучения динамики развития тест-культур определяли всхожесть семян, энергию прорастания, длину корней и проростков. Уровень фитотоксичности почв отмечали при концентрации ТМ, вызывающей подавление роста и развития растений на 20% от контроля. Полученные результаты анализов обработали с помощью пакета программ “Excel”, “Statistica”.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Валовое содержание элементов в незагрязненных почвах находилось в пределах типичных изменений содержания микроэлементов [13, 15]. Содержание цинка в дерново-подзолистой почве было больше кларка по Виноградову (табл. 3), что соответствовало современной тенденции накопления этого элемента в почвах [15].

Валовое содержание ТМ определяют для оценки уровней загрязнения почв с целью сравнения с фоновым, эталонным содержанием или с ПДК [15–17]. Содержание подвижных соединений определяли в ацетатно-аммонийной вытяжке из почв, тем более что ряд ПДК разработан только для подвижных соединений, которые извлекают ацетатно-аммонийным буфером pH 4.8. Эту вытяжку широко используют в агрохимии для определения доступных для растений соединений микроэлементов и ТМ. По мнению многих исследователей, степень загрязнения почв ТМ правильнее оценивать по содержанию их наиболее подвижных и доступных растениям форм [6, 13, 17]. По валовому содержанию ТМ в почве не всегда можно судить об экологической ситуации и влиянии загрязняющих веществ на растения. Если содержание ТМ превышает фоновый уровень в 2–3 раза, такие почвы не всегда можно отнести к загрязненным. Кроме того, реакция почвы на загрязнение сильно зависит от ее свойств. В процессе жизнедеятельности растения контактируют в основном с доступными соединениями ТМ, количество которых, в свою очередь, тесно связано с буферностью почв [4], которая определяется кислотностью почв, содержанием органического вещества, составом обменных катионов и

Таблица 3. Валовое содержание ТМ в почвах опыта (мг/кг) и коэффициент концентрации ТМ (K_c) относительно контроля

Дерново-подзолистая почва						
Вариант	Zn	K_c	Pb	K_c	Cd	K_c
Контроль	56.3	1	9.4	1	0.12	1
1 ОДК	166	2.9	74.4	7.9	1.12	9.3
2 ОДК	276	4.9	139	14.4	2.12	17.7
3 ОДК	386	6.9	204	21.3	3.12	26
5 ОДК	606	10.8	334	35.1	5.12	42.7
10 ОДК	1160	20.5	659	70.1	10.1	84.3
Серая лесная почва						
Контроль	47.5	1	10.5	1	0.2	1
1 ОДК	268	5.6	141	13.4	2.2	11
2 ОДК	488	10.3	271	25.8	4.2	21
3 ОДК	708	14.9	401	38.1	6.2	31
5 ОДК	1150	24.2	661	62.9	10.2	51
10 ОДК	2250	47.3	1310	125	20.2	101
10 ОДК	2250	46	1320	84.9	20.1	155

анионов, а также гранулометрическим и минералогическим составом почв.

При внесении в дерново-подзолистую почву Zn, Pb и Cd в дозе, равной 1 ОДК, их содержание относительно фона увеличилось в 3, 8 и 9 раз соответственно. Для серой лесной почвы эти коэффициенты были еще больше, т.е. допустимые концентрации перечисленных элементов превышали фоновое содержание в 5–10 раз (табл. 3). При искусственном загрязнении почв соединениями Pb, Zn и Cd увеличивалось не только общее содержание этих металлов в почвах, но изменялось соотношение между формами соединений. Например, при внесении максимальной дозы Zn его общее содержание увеличилось в 20 раз, а содержание подвижных соединений – в 211 раз по сравнению с контрольными пробами (табл. 4). Значительно увеличилась подвижность соединений Pb, Zn и Cd в почвах при загрязнении, но наибольшие изменения произошли при комплексном загрязнении почв 3-мя металлами одновременно. Вероятно, это было связано с увеличением конкуренции ионов металлов за реакционные центры. Используемые экстрагенты не были селективными, что не позволило судить о преимущественном поглощении ТМ определенными компонентами почв. Однако способность соединений Pb к образованию прочных комплексов соединений с органическими соединениями позволило предположить, что именно эти

позиции в большей степени были заняты ионами Pb [13, 18, 19].

Следует отметить, что доля подвижных соединений в загрязненной дерново-подзолистой почве была больше, чем в серой лесной почве, несмотря на более низкое общее содержание ТМ. Сравнение содержания подвижных соединений ТМ с ПДК показало, что при уровне загрязнения 1 ОДК количество подвижных соединений ТМ превышало этот показатель в 2.5–5.0 раза. ОДК для валового содержания элементов разработаны с учетом почвенных свойств и логично ожидать, что при валовом содержании 1 ОДК ТМ содержание подвижных соединений будет равным 1 ПДК. Несоответствие этих показателей для всех ТМ в исследованных почвах свидетельствовало о том, что и для подвижных соединений ТМ нормативное содержание зависит от свойств почв.

Известно, что токсичность ТМ непосредственно связана с их биологической доступностью почвенным организмам, которая определяется пулом загрязняющих веществ, способных переходить в почвенный раствор. Корневая система растений способна усваивать не только растворимые в воде соединения, но и более прочно связанные, как за счет растворения их корневыми выделениями растений [20], так и в результате адсорбции и избирательного поглощения клеточными стенками [21].

С ростом дозы загрязняющего вещества для всех почв отмечено увеличение подвижности соединений элементов, входящих в его состав, а также доля от валового содержания и, следовательно, возросла опасность загрязнения почв и сопредельных сред. Причем соединения Zn и Cd в исследованных почвах были более подвижными, чем соединения Pb, что, вероятно, связано с их более низким сродством к органическому веществу и более высокой растворимостью их соединений.

Подвижность Cd, как и других ТМ, в значительной степени зависела от pH, содержания и состава глинистых минералов. В дерново-подзолистой почве со слабокислой реакцией среды подвижность Cd была больше, чем в серой лесной почве, которая имела нейтральную реакцию и более высокое содержание илстой фракции. Несмотря на низкое содержание в почве, доля Cd, переходящего в вытяжку ААБ, была больше, чем Zn и Pb. С увеличением уровня загрязнения содержание подвижных форм Cd быстро возрастало.

Следует отметить, что наибольшая подвижность Pb, Zn и Cd отмечена при комплексном загрязнении почв ТМ. Этот факт следует учитывать,

т.к. на практике чаще всего наблюдается полиэлементное загрязнение почв как в случае промышленного, так и транспортного загрязнения.

Для ландшафтно-геохимической оценки загрязнения почв используют коэффициент аномалии (K_c) — отношение среднего содержания металла в загрязненной почве к его фоновому содержанию или местному геохимическому фону [3, 5, 22]. Эти коэффициенты были рассчитаны для валового содержания (табл. 3), подвижных и кислоторастворимых соединений в загрязненных почвах (табл. 4). Полученные величины чрезвычайно контрастно отражали различия между загрязненными и незагрязненными почвами. При дозе, равной 1 ОДК, валовое содержание Zn в дерново-подзолистой почве увеличилось в 2.9 раза, а содержание его подвижных и кислоторастворимых соединений возросло в 13.7 и 15.5 раза соответственно. Еще более значительное увеличение подвижности металлов наблюдали с ростом уровня загрязнения почв. Кроме того, при полиэлементном загрязнении почв коэффициенты концентрации подвижных и кислоторастворимых соединений ТМ были в 1.5–2.0 раза больше, чем при загрязнении почв одним металлом.

Таким образом, при загрязнении почв наблюдали резкое увеличение подвижности ТМ, которое было наиболее чувствительным диагностическим признаком загрязнения почв. Это подтверждено сравнением величин коэффициентов концентрации металлов для валового содержания и для подвижных соединений. Масштабы изменения подвижности элементов БЫЛИ различными, что приводило к изменению соотношения между содержанием отдельных элементов как в твердой, так и в жидкой фазе почв. Такая перестройка состояния ТМ несомненно приводила к изменению их поглощения растениями. Следует отметить, что при полиэлементном загрязнении разница между содержанием подвижных соединений в загрязненных и незагрязненных почвах значительно возрастала.

Для оценки уровня загрязнения почв используют разные показатели: один из них — доля подвижных соединений от валового содержания. Для фоновых почв эта доля составляла 2–10%, при уровне загрязнения, равном 1 ОДК, — 15–30%, для комплексного загрязнения этот показатель увеличивался до 30–40%. При дозе ТМ, равной 10 ОДК, в группу подвижных соединений переходило от 50 до 70% от валового содержания. С увеличением уровня загрязнения росла и доля кислоторастворимых соединений, которая достигала 70–90% при максимальном уровне загрязнения, что позволило использовать кислот-

Таблица 4. Содержание кислоторастворимых и подвижных соединений ТМ в почвах опыта и коэффициент концентрации ТМ (K_c) относительно контроля

Вариант	Zn				Pb				Cd		
	ААБ	K_c	1 М HNO_3	K_c	ААБ	K_c	1 М HNO_3	K_c	ААБ	1 М HNO_3	K_c
Дерново-подзолистая почва											
Контроль	2.1 ± 0.043 4 ± 0.12	1	4.5 ± 0.11 8 ± 0.19	1	0.6 ± 0.041 5.5 ± 0.13	1	1.2 ± 0.082 20 ± 1.11	1	0.02	0.03 ± 0.028 16 ± 1.17	1
1 ОДК	55 ± 2.1 33 ± 1.1	26	70 ± 2.45 42 ± 1.47	15.5	10 ± 1.12 14 ± 1.18	16.6	28 ± 1.12 39 ± 2.22	23.3	0.35 ± 0.005 31 ± 1.12	0.6 ± 0.02 53 ± 1.41	20
2 ОДК	118 ± 4.11 43 ± 1.22	29.5	145 ± 3.12 52 ± 1.33	32.2	34 ± 2.45 25 ± 1.35	56.7	55 ± 2.43 41 ± 1.42	45.8	0.8 ± 0.006 38 ± 1.88	1.2 ± 0.01 57 ± 2.32	60
3 ОДК	207 ± 5.72 53 ± 1.48	51.7	277 ± 6.14 71 ± 2.31	61.6	73 ± 2.41 36 ± 1.42	122	113 ± 2.43 56 ± 1.33	94.2	1.5 ± 0.035 48 ± 1.42	2 ± 0.02 64 ± 2.32	100
5 ОДК	374 ± 6.53 62 ± 2.11	93.5	437 ± 7.33 72 ± 2.41	97.1	121 ± 3.43 37 ± 1.22	202	210 ± 3.41 64 ± 1.42	175	3 ± 1.22 58 ± 1.43	3.6 ± 0.022 70 ± 3.41	180
10 ОДК	845 ± 7.22 73 ± 2.12	211	964 ± 6.28 83 ± 1.35	214	241 ± 4.22 52 ± 1.26	401	459 ± 4.42 70 ± 2.43	383	6.9 ± 0.01 68 ± 2.32	9.3 ± 0.22 92 ± 2.43	465
Полиэлементное загрязнение											
1 ОДК	69 ± 1.88 41 ± 1.11	32.8	106 ± 3.42 63 ± 2.11	23.5	24 ± 1.11 34 ± 1.88	40	45 ± 2.02 64 ± 2.56	37.5	0.4 ± 0.002 36 ± 1.42	0.7 ± 0.003 63 ± 1.43	35
2 ОДК	128 ± 3.22 46 ± 1.17	61	187 ± 4.22 67 ± 1.88	41.5	55 ± 2.12 41 ± 1.92	91.7	77 ± 2.71 57 ± 1.93	64.2	0.9 ± 0.005 43 ± 1.51	1.5 ± 0.13 70 ± 2.11	75
3 ОДК	196 ± 4.22 51 ± 1.18	93.3	274 ± 5.33 71 ± 2.13	60.9	99 ± 3.42 49 ± 2.11	165	129 ± 3.42 64 ± 2.11	108	1.7 ± 0.01 55 ± 1.88	2.4 ± 0.18 77 ± 2.17	120
5 ОДК	395 ± 7.12 65 ± 1.42	188	469 ± 6.11 77 ± 2.35	104	186 ± 4.55 56 ± 2.18	310	221 ± 4.15 67 ± 2.22	184	3.3 ± 0.01 65 ± 1.93	4.0 ± 0.28 78 ± 2.19	200
10 ОДК	882 ± 10.1 76 ± 2.11	420	1010 ± 13.8 87 ± 3.31	225	426 ± 6.33 65 ± 3.13	710	510 ± 7.14 78 ± 2.33	425	7.6 ± 0.08 75 ± 2.1	9.5 ± 0.37 94 ± 2.32	475
Серая лесная почва											
Контроль	1.7 ± 0.021 3.3 ± 0.032	1	6.8 ± 0.21 14 ± 0.82	1	1 ± 0.02 9 ± 1.33	1	3 ± 0.02 27 ± 1.17	1	0.02	0.022 ± 0.0004 11 ± 0.2	1
1 ОДК	64 ± 2.12 24 ± 1.22	37.6	105 ± 3.11 39 ± 1.25	21.3	29 ± 1.23 20 ± 1.11	29	55 ± 2.42 39 ± 2.88	18.3	0.5 ± 0.03 23 ± 1.11	0.6 ± 0.03 27 ± 1.1	27
2 ОДК	145 ± 3.72 30 ± 1.11	85.3	200 ± 3.88 41 ± 1.17	29.4	54 ± 1.83 20 ± 0.99	54	114 ± 4.1 42 ± 1.35	38	1 ± 0.022 24 ± 1.23	1.2 ± 0.033 29 ± 1.42	54.5
3 ОДК	288 ± 4.12 41 ± 1.14	169	327 ± 5.13 47 ± 1.17	48.1	125 ± 2.88 31 ± 1.11	125	200 ± 4.12 50 ± 1.82	66.7	2.0 ± 0.02 32 ± 1.23	2.4 ± 0.03 39 ± 1.28	109
5 ОДК	490 ± 5.32 43 ± 2.32	288	591 ± 6.13 52 ± 2.42	86.9	195 ± 3.11 30 ± 1.41	195	330 ± 5.22 50 ± 1.92	110	3.4 ± 0.02 33 ± 1.42	5.0 ± 0.021 49 ± 1.33	227
10 ОДК	1130 ± 9.33 51 ± 2.41	667	1750 ± 14.1 78 ± 3.13	257	650 ± 8.72 49 ± 2.33	650	801 ± 10.12 61 ± 2.11	267	9.2 ± 0.21 46 ± 1.58	13 ± 0.82 64 ± 2.11	591
Полиэлементное загрязнение											
1 ОДК	75 ± 2.33 28 ± 1.12	44.1	141 ± 3.99 53 ± 2.22	20.7	34 ± 2.11 24 ± 1.11	34	69 ± 1.11 49 ± 0.82	23	0.6 ± 0.02 27 ± 1.13	1.1 ± 0.033 45 ± 1.42	50
2 ОДК	186 ± 4.22 38 ± 1.33	109.4	277 ± 5.33 57 ± 2.18	40.7	81 ± 2.31 30 ± 1.11	81	109 ± 1.32 40 ± 0.72	36.3	1.4 ± 0.022 33 ± 1.11	2.3 ± 0.011 54 ± 2.12	104
3 ОДК	301 ± 5.78 43 ± 1.72	177	422 ± 3.42 60 ± 1.93	62	148 ± 4.22 37 ± 1.12	148	198 ± 4.13 50 ± 1.28	66	2.2 ± 0.011 35 ± 1.42	3.4 ± 0.012 55 ± 1.89	154
5 ОДК	529 ± 8.13 46 ± 1.88	311	723 ± 9.42 63 ± 2.32	106	244 ± 2.43 37 ± 0.88	244	357 ± 3.23 54 ± 1.88	119	4.0 ± 0.33 39 ± 1.11	5.8 ± 0.1 57 ± 1.1	264
10 ОДК	1490 ± 17.2 66 ± 2.72	876	1790 ± 13.9 80 ± 3.15	263	765 ± 5.23 58 ± 1.22	765	911 ± 9.11 70 ± 2.33	304	13.1 ± 0.82 64 ± 1.32	17 ± 0.32 84 ± 2.8	773
ПДК подвижных соединений	23				6				—		

Примечание. Над чертой — мг/кг воздушно-сухой почвы, под чертой — % от валового содержания; приведены средние величины $\pm$ стандартная ошибка.

ную вытяжку из сильно загрязненных почв для характеристики общего содержания ТМ.

Для оценки экологического состояния загрязненных почв одни авторы предлагают коэффициент подвижности металлов, показывающий соотношение непрочносвязанных и прочносвязанных соединений ТМ [18]. Другие авторы [23] предлагают использовать коэффициент защитных свойств почв (*КЗ*) по отношению к ТМ, который показывает, какая доля металла от его валового содержания в почве находится в недоступной для растений форме:

$$KZ = 100 - C_{\text{подв}}/C_{\text{вал}} \times 100.$$

На примере исследованных почв коэффициент защитных свойств с увеличением уровня загрязнения почв уменьшался от 80–90% до 10–15%.

Все предложенные показатели уровня загрязнения почв являются достаточно чувствительными, они объективно отражают изменения в состоянии ТМ в почвах и могут являться характеристикой уровня загрязнения почв. Однако большое разнообразие почвенных свойств, взаимное влияние соединений металлов друг на друга и взаимодействие с компонентами окружающей среды усложняют процедуру нормирования.

Несмотря на то что показатели химического состояния почв чутко реагируют на загрязнение, основным критерием для экологического нормирования является реакция биологических систем на загрязнение. Определение концентраций загрязняющих веществ, которые не нарушают основные экологические функции почв, является основой для разработки критериев качества почв [5, 7–11]. Таким образом, для разработки критериев качества почв необходим системный подход, обеспечивающий уровень безопасного воздействия на живые организмы и качество сопредельных сред.

Оценка биологической активности незагрязненных почв по показателю базального дыхания показала, что для серой лесной почвы эмиссия CO_2 составила 2.1 мкмоль/г/сут, для дерново-подзолистой была в 3.5 раза меньше. Вероятно, это объясняется невысоким содержанием органического вещества и менее благоприятными физико-химическими свойствами дерново-подзолистой почвы.

Внесение в почвы ТМ в дозе 1 ОДК вызвало небольшое увеличение интенсивности дыхания при загрязнении почв Zn, а при загрязнении Cd и смесью металлов наблюдали тенденцию к снижению активности дыхания. При увеличении уровня загрязнения было отмечено постепенное

снижение интенсивности дыхания почв, которое было выражено сильнее при загрязнении почв соединениями Cd и при полиэлементном загрязнении.

При внесении ТМ в дозе 5 ОДК произошло заметное снижение интенсивности дыхания во всех вариантах опыта. Интенсивность дыхания дерново-подзолистой почвы снизилась на 30–40% при загрязнении Zn и Pb, на 50–60% – при загрязнении Cd и при полиэлементном загрязнении. Для серой лесной почвы, загрязненной соединениями Zn и Pb, интенсивность дыхания снизилась на 25%, при таком же уровне загрязнения этой почвы Cd и смесью металлов интенсивность дыхания снизилась на 50% (рис. 1). Следует отметить более высокую токсичность соединений Cd и смеси металлов для почв. Таким образом, при уровне загрязнения, равном 5 ОДК, отмечено значительное угнетение микробиологической активности почв. При концентрации загрязняющих веществ, равной 10 ОДК, интенсивность почвенного дыхания была минимальной. Наибольшее снижение (до 80%) наблюдали при загрязнении почв соединениями кадмия и комплексном загрязнении. Большей устойчивостью к загрязнению ТМ обладала серая лесная почва. Почвенное дыхание является чувствительным и информативным показателем функционального состояния почв, что показано во многих публикациях [24, 25].

Фитотестирование часто используют в природоохранной практике для оценки экологического состояния природных сред. Этот показатель характеризует границу, определяющую изменение продуктивности экосистемы, что является существенным для экологической оценки почв. По наблюдениям многих авторов, уровень фитотоксичности почв отмечают при более высоких концентрациях ТМ, чем ПДК [4, 13, 19]. Уровень фитотоксичности почв обычно отмечают при снижении урожайности сельскохозяйственных растений на 20%.

Результаты вегетационных опытов показали, что концентрации ТМ, оказывающие достоверное негативное воздействие на растения, выявлены при разных уровнях загрязнения для дерново-подзолистой и серой лесной почв. Различия проявились по количеству проросших семян, высоте растений и энергии прорастания. Максимальная всхожесть семян горчицы белой отмечена на серой лесной почве, меньшая – на дерново-подзолистой, что, видимо, отражало естественное плодородие и различную буферную способность изученных почв (рис. 2).

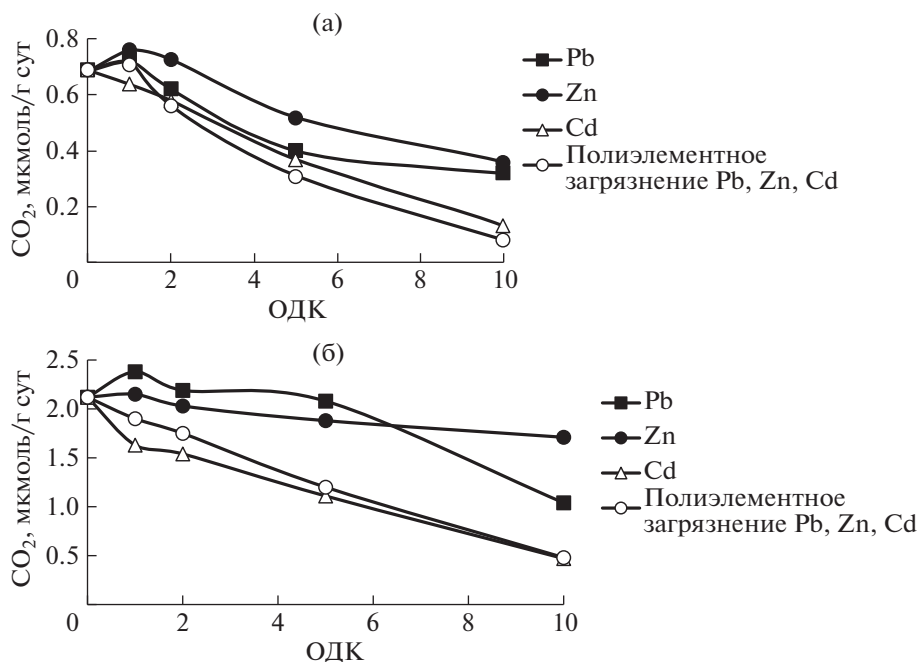


Рис. 1. Интенсивность эмиссии CO_2 при различном содержании тяжелых металлов в дерново-подзолистой (а) и серой лесной почве (б).

При загрязнении дерново-подзолистой почвы Zn в дозах 1 и 2 ОДК культура росла хорошо, всхожесть была близкой к контролю, признаков угнетения не наблюдали на протяжении всего периода эксперимента. При уровне загрязнения 3 ОДК количество проростков тест-культуры было меньше, чем в контроле всего на 16%. При концентрации Zn, равной 5 ОДК, отмечали резкое снижение всхожести семян – более чем на 50% по сравнению с контролем. Культура обладала небольшой энергией прорастания и к концу срока опыта наблюдали почти полное ингибирование роста растений горчицы. При максимальном уровне загрязнения (10 ОДК) количество проростков было на 74% меньше, чем в контроле. Проростки были ослаблены, отмечали замедление роста растения в высоту и к концу опыта наблюдали гибель растений.

При загрязнении почв Pb в дозах 1 и 2 ОДК признаков угнетения не наблюдали. Однако всхожесть и энергия прорастания были несколько меньше, чем в контроле. При дозе 3 ОДК всхожесть была меньше на 40%, чем в контроле. При более высоких концентрациях свинца (5 и 10 ОДК) растения имели угнетенный вид и небольшую биомассу. Количество проростков было на 75% меньше, чем в контроле.

При загрязнении дерново-подзолистой почвы соединениями Cd и смесью металлов достоверное снижение всхожести отмечали уже при дозе

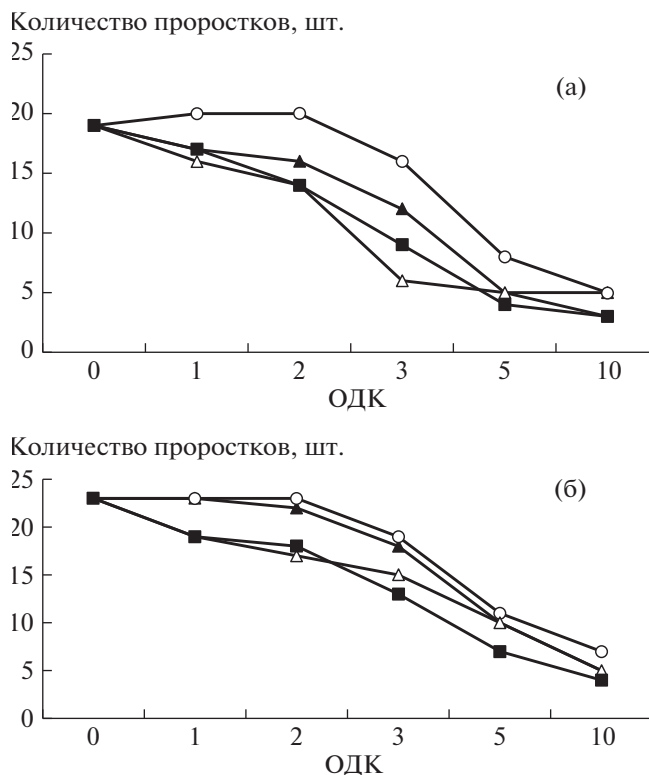


Рис. 2. Всхожесть семян *Sinapis alba* на почвах: дерново-подзолистой (а), серой лесной (б).
○ Загрязнение соединениями Zn.
▲ Загрязнение соединениями Pb.
△ Загрязнение соединениями Cd.
■ Полиэлементное загрязнение Zn, Pb и Cd.

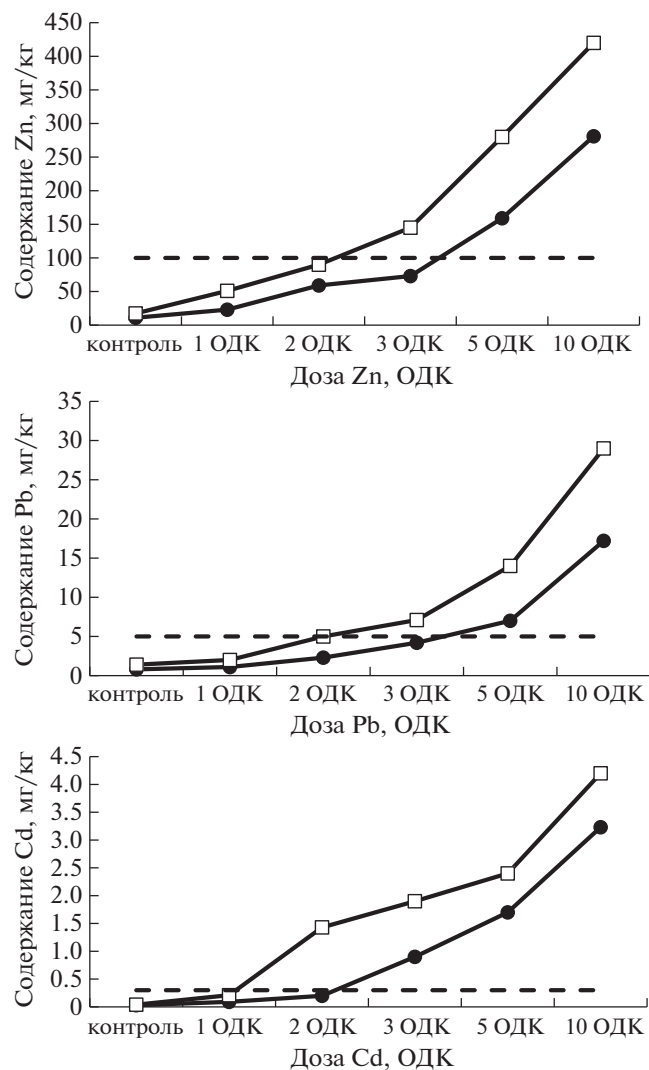


Рис. 3. Содержание Pb, Zn и Cd в зеленой массе проростков овса.

● Дерново-подзолистая почва.

□ Серая лесная почва.

---- ПДК для зерновых культур.

2 ОДК. Всхожесть и энергия прорастания были меньше контроля на 26%. При дозах 5 и 10 ОДК всхожесть горчицы составляла 25% от контроля, а к концу эксперимента было отмечено практически полное ингибирование роста тест-культуры, что свидетельствовало о высокой токсичности Cd и смеси металлов.

На серой лесной почве тест-культура отличалась довольно высокой всхожестью и энергией прорастания. Отмечено незначительное стимулирование роста растений при загрязнении почвы в дозах 1 и 2 ОДК Pb и Zn, признаков угнетения тест-культуры в этих вариантах не было отмечено в течение всего опыта. При загрязнении

почвы, равном 3 ОДК Pb и Zn, показано снижение всхожести растений, а на 30-е сут количество жизнеспособных растений начало сокращаться.

Наибольший токсический эффект был отмечен при загрязнении почв Cd и смесью металлов. При дозе, равной 2 ОДК, отмечено снижение всхожести на 32 и 41% соответственно по сравнению с контролем. При 5 ОДК наблюдали сильное подавление роста растений и уменьшение всхожести семян более, чем в 2 раза при всех типах загрязнения.

Таким образом, для исследованных почв были определены критические уровни загрязнения, оказывающие негативное воздействие на всхожесть и нормальное функционирование растений горчицы белой при разных видах загрязнения. Длина проростков горчицы является чувствительным показателем загрязнения почв ТМ. Даже при дозе 1 ОДК наблюдали некоторое снижение длины проростков, а при дозах 3–5 ОДК отмечали резкое угнетение тест-культуры. Причем при загрязнении почв Cd отмечали пожелтение надземной части растений. Следует отметить, что Cd является наиболее токсичным элементом, который оказывает максимальное угнетающее действие на растения. Загрязнение почв Zn или Pb оказывает меньшее токсическое действие на тест-культуру, чем загрязнение Cd или смесью ТМ. Невысокая фитотоксичность Pb, возможно, связана с наличием действующей в растении системы инактивации элемента, проникающего в корневую систему. Основная часть свинца задерживается в корнях растений, как показано в работах [13, 19].

Важнейшей характеристикой качества растительной продукции является содержание ТМ в биомассе. Поступление ТМ в растения зависит от свойств почв, содержания подвижных соединений металлов и физиологических особенностей растений [13, 17, 19]. Между содержанием металлов в почвах и поглощением их корнями растений существует определенная зависимость (рис. 3). Содержание Zn и Pb в зеленой массе горчицы достигло ПДК при дозе этих элементов в почвах, равной 2 ОДК, несмотря на высокую чувствительность горчицы к загрязнению. Вероятно, это явление связано с достаточно строгими нормативами содержания этих элементов в почвах. При загрязнении почв кадмием содержание этого элемента в горчице достигло ПДК для растений при дозе 1 ОДК.

Показатели функционирования растений и почвенных микроорганизмов дают различные границы экотоксичности почв, загрязненных ТМ

Таблица 5. Биологические показатели экотоксичности почв, загрязненных тяжелыми металлами

Показатели состояния почв	Показатели фитотоксичности почв								Микробиологический показатель			
	Уменьшение длины проростков/корней <i>Sinapis alba</i>				Снижение всхожести <i>Sinapis alba</i>				Эмиссия CO ₂			
Критерии	20% от контроля								25% от контроля			
Элементы	Pb	Zn	Cd	ΣMe	Pb	Zn	Cd	ΣMe	Pb	Zn	Cd	ΣMe
	Дозы тяжелых металлов (кратность ОДК)											
Тип почвы												
Дерново-подзолистая	2	2	1	1	3	3	2	2	4	3	2	2
Серая лесная	2	2	1	1	3	3	2	2	4	4	3	3

(табл. 5). Снижение всхожести *Sinapis alba* при загрязнении почв Pb или Zn отмечали при дозах этих металлов, равных 3 ОДК, а при загрязнении почв Cd или смесью металлов — при дозах 2 ОДК. Угнетение почвенного дыхания было отмечено при более высоком уровне загрязнения почв.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, при загрязнении почв отмечали резкое увеличение подвижности ТМ, которое является наиболее чувствительным диагностическим признаком загрязнения почв. Это подтверждено сравнением величин коэффициентов концентрации металлов для валового содержания и для подвижных соединений. Масштабы изменения подвижности элементов различны, что приводило к изменению соотношения между содержаниями отдельных элементов, как в твердой, так и в жидкой фазе почв. Следует отметить, что при полиэлементном загрязнении разница между содержанием подвижных соединений в загрязненных и незагрязненных почвах значительно возрастала.

С ростом дозы загрязняющего вещества для всех почв отмечено увеличение подвижности соединений элементов, входящих в его состав, а также доля от валового содержания и, следовательно, возрастала опасность загрязнения почв и сопредельных сред. Следует отметить, что наибольшая подвижность Pb, Zn и Cd отмечена при комплексном загрязнении почв ТМ. Этот факт следует учитывать, т.к. на практике чаще всего наблюдают полиэлементное загрязнение почв как в случае промышленного, так и транспортно-загрязнения.

Для оценки загрязнения почв был использован коэффициент концентрации — отношение среднего содержания металла в загрязненной

почве к его фоновому содержанию или местному геохимическому фону. Эти коэффициенты чрезвычайно контрастно отражали различия между загрязненными и незагрязненными почвами. При дозе, равной 1 ОДК, валовое содержание Zn в дерново-подзолистой почве увеличилось в 2.9 раза, а содержание подвижных и кислоторастворимых соединений возрастало в 13.7 и 15.5 раза соответственно. Еще более значительное увеличение подвижности металлов наблюдали с ростом уровня загрязнения почв.

При полиэлементном загрязнении почв коэффициенты концентрации подвижных и кислоторастворимых соединений ТМ были в 1.5–2.0 раза больше, чем при загрязнении почв одним элементом.

Основным критерием для экологического нормирования является реакция биологических систем на загрязнение. Определение концентраций загрязняющих веществ, которые не нарушают основные экологические функции почв, является основой для разработки критериев качества почв.

Концентрации тяжелых металлов, способные оказывать достоверное негативное воздействие на растения и почвенную микробиоту, выявлены при разных уровнях загрязнения для дерново-подзолистой и серой лесной почвы. Результаты исследования показали, что токсичность соединений ТМ в значительной степени зависела как от свойств почвы, так и от чувствительности выращиваемых культур, что необходимо учитывать при разработке любых нормативных показателей.

Показатели функционирования растений и почвенных микроорганизмов дали различные границы экотоксичности почв, загрязненных ТМ. Ингибирование дыхания исследованных почв наблюдали при более высоких дозах ТМ,

чем снижение всхожести и длины проростков горчицы белой.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Добровольский Г.В., Никитин Е.Д. Экология почв. Учение об экологических функциях почв. М.: Изд-во МГУ, 2012. 412 с.
2. Водяницкий Ю.Н. Нормативы содержания тяжелых металлов и металлоидов в почвах // Почвоведение. 2012. № 3. С. 368–375.
3. Глазовская М.А. Методологические основы оценки эколого-геохимической устойчивости почв к техногенным воздействиям: Метод. пособ. М.: Изд-во МГУ, 1997. 102 с.
4. Ильин В.Б. Буферные свойства почвы и допустимый уровень ее загрязнения тяжелыми металлами // Агрохимия. 1997. № 11. С. 65–70.
5. Добровольский В.В. Ландшафтно-геохимические критерии оценки загрязнения почвенного покрова // Почвоведение. 1999. № 3. С. 639–645.
6. Ильин В.Б. О нормировании тяжелых металлов в почве // Почвоведение. № 9. 1986. С. 90–98.
7. Гигиенические нормативы ГН 2.1.7.2042-06. Ориентировочно допустимые концентрации (ОДК) химических веществ в почве. 2006.
8. Булгаков Н.Г. Индикация состояния природных экосистем и нормирование факторов окружающей среды. Обзор существующих подходов // Усп. совр. биол. 2002. Т. 122. № 2. С. 115–135.
9. Воробейчик Е.Л., Садыков О.Ф., Фарафонов М.Г. Экологическое нормирование техногенных загрязнений. Екатеринбург: Наука, 1994. 280 с.
10. Coleman D.C. From peds to paradoxes: linkages between soil biota and their influences on ecological processes // Soil Biol. Biochem. 2008. V. 40. P. 271–289.
11. Wang M., Markert B., Shen W., Peng C., Ouyang Z. Microbial biomass carbon and enzyme activities of urban soils in Beijing // Environ. Sci. Pollut. Res. 2011. V. 18(6). P. 958–967.
12. Агрохимические методы исследования почв / Под ред. Соколова А.В. М., 1975. 436 с.
13. Кабата-Пендиас А., Пендиас Х. Микроэлементы в почвах растений. М.: Мир, 1989. 439 с.
14. ГОСТ Р ИСО 22030-2009. Качество почвы. Биологические методы. Хроническая фитотоксичность в отношении высших растений. 2011.
15. Виноградов А.П. Геохимия редких и рассеянных элементов в почвах. М.: Изд-во АН СССР, 1957. 276 с.
16. Гигиенические нормативы ГН 2.1.7.2041-06. Предельно-допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в почве. 2006.
17. Плеханова И.О., Кутукова Ю.Д., Обухов А.И. Накопление тяжелых металлов растениями при загрязнении почв осадком сточных вод // Почвоведение. 1995. № 12. С. 1530–1536.
18. Манджиева С.С., Минкина Т.М., Мотузова Г.Н., Головатый С.Е., Мирошниченко Н.Н., Лукашенко Н.К., Фатеев А.И. Фракционно-групповой состав соединений цинка и свинца как показатель экологического состояния почв // Почвоведение. 2014. № 5. С. 632–640.
19. Ильин В.Б., Сысо А.И. Микроэлементы и тяжелые металлы в почвах и растениях. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2001. 229 с.
20. Соколова Т.А. Специфика свойств почв в ризосфере: Анализ литературы // Почвоведение. 2015. № 9. С. 1097–1111.
21. Meychik N.R., Yermakov I.P. Exchange properties of plant root cell walls // Plant and Soil. 2001. V. 234. № 2. P. 181–193.
22. Саев Ю.Е., Ревич Б.А., Янин Е.П. Геохимия окружающей среды. М.: Недра, 1990. 335 с.
23. Карпунин А.И., Бушуев Н.Н. Влияние применения удобрений на содержание тяжелых металлов в почвах длительных полевых опытов // Агрохимия. 2007. № 5. С. 76–84.
24. Иващенко К.В., Ананьева Н.Д., Васенев В.И., Кудяров В.Н., Валентини Р. Биомасса и дыхательная активность почвенных микроорганизмов в антропогенно-измененных экосистемах (Московская область) // Почвоведение. 2014. № 9. С. 1077–1088.
25. Schlesinger W.H., Andrews J.A. Soil respiration and global carbon cycle // Biogeochemistry. 2000. V. 48. P. 7–20.

Ecological Regulation of the State of Soils Contaminated Heavy Metal

I. O. Plekhanova^{a,*} and O. A. Zolotareva^a

^aLomonosov Moscow State University, Faculty of Soil Science
Leninskie Gory 1, bld. 12, Moscow 119992, Russia

*E-mail: irinaoplekhanova@mail.ru

Concentrations of heavy metals (HM) that can have a significant negative impact on plants and soil microbiota were identified at different pollution levels for sod-podzolic, gray forest. Signs of ecotoxicity are manifested at different levels of TM content for test plants and the microbial community. When soils are contaminated with Pb, Zn, and Cd acetates, the content of their mobile compounds increases to a much greater extent than the total content. Concentration coefficients of mobile and acid-soluble compounds of these elements are 1.5–2.0 times higher than with monometrical soil contamination.

Key words: pollution, heavy metals, mobility of compounds, phytotesting, biotesting, ecotoxicity.

УДК 632.958.31

ВЫЯВЛЕНИЕ ФАЛЬСИФИЦИРОВАННОЙ ПРОДУКЦИИ НА ОСНОВЕ АЛЬФА-НАФТИЛТИОМОЧЕВИНЫ

© 2020 г. Л. А. Носикова¹, А. Н. Кочетов^{1,*}, Л. Г. Кузьмина²

¹МИРЭА–Российский технологический университет
(Институт тонких химических технологий имени М.В. Ломоносова)
119571 Москва, пр Вернадского, 86, Россия

²Институт общей и неорганической химии имени Н.С. Курнакова РАН
119991 Москва, Ленинский просп., 31, Россия

*E-mail: kochchem@mail.ru

Поступила в редакцию 13.03.2020 г.

После доработки 18.04.2020 г.

Принята к публикации 10.07.2020 г.

Описан случай подмены в составе родентицидного средства острого действия альфа-нафтилтиомочевина на антикоагулянтный родентицид бромациолон. Использование только лишь тривиальных приманок на ядах антикоагулянтного действия вместо чередования обработок, в том числе и с использованием ядов острого действия, может привести к закреплению резистентности к антикоагулянтам в популяции грызунов. Предложен ВЭЖХ-метод определения титульного производного в изократическом режиме при 280 нм, позволяющий проводить идентификацию в присутствии бромациолона и некоторых других антикоагулянтов кумаринового ряда. Рассмотрены особенности осуществления пробоподготовки и хроматографического анализа, исключающие потери аналита. В предложенных условиях определение в экстрактах альфа-нафтилтиомочевина на фоне примесных компонентов уверенно осуществляется, начиная с концентрации 1.0 мг/мл без использования метода добавок и дополнительного концентрирования пробы. Произведен рентгенофазовый анализ (РФА) образцов нескольких технических субстанций. Данные РФА сопоставлены со сведениями, полученными при исследовании монокристаллического образца субстанции. Определены кристаллографические данные для монокристаллического образца, при этом выявлены параметры структуры альфа-нафтилтиомочевина: кристаллы моноклинные, пр. гр. C2/c: $\alpha = 15.424(2) \text{ \AA}$, $b = 7.636(1) \text{ \AA}$, $c = 17.114(2) \text{ \AA}$, $\beta = 91.584(2)^\circ$, $Z = 8$.

Ключевые слова: альфа-нафтилтиомочевина, родентицид, острое действие, определение, ОФ ВЭЖХ, “pest control”, РФА, РСА, фальсификация продукции.

DOI: 10.31857/S0002188120100063

ВВЕДЕНИЕ

Использование ядов острого действия, к которым относится альфа-нафтилтиомочевина (НТМ), накладывает специфические требования как на аспекты, связанные с производством, так и на применение данных веществ [1]. Приманки на ядах острого действия дополняют арсенал дератизационных средств и часто служат единственными средствами борьбы с грызунами, устойчивыми к антикоагулянтным субстанциям 4-гидроксикумаринового и индандионового рядов. В настоящее время активно используют тактику чередования использования средств на основе антикоагулянтов и ядов острого действия [2, 3], что является действенным приемом при реализации различных концепций дератизации [4]. Поскольку яды острого действия, помимо общих ре-

комендаций при отравлениях [5], не имеют специфических антидотов, то к средствам на их основе должно проявляться повышенное внимание как на этапе входного контроля, так и на всех стадиях при производстве, применении и выявлении остаточного содержания. Именно по этим причинам у некоторых недобросовестных участников рынка услуг возникает желание отойти от работы с ядами острого действия, при этом всячески декларируя использование последних. Безусловно, все официально зарегистрированные дезинфекционные средства или средства, разрешенные к применению в сельском хозяйстве, проходят стадию обязательной государственной регистрации, в результате проведения которой устанавливается содержание действующих веществ, однако не редки случаи, когда на террито-

рии РФ распространяются средства, вовсе не получившие никаких соответствующих документов и не включенные в общий государственный реестр зарегистрированных средств [6].

Для оценки содержания НТМ (иногда фигурируют альтернативные названия — анту, крысид) в продукции и объектах окружающей среды разработана методическая база, приведенная как в официальных изданиях (МУК 4.1.1348-03 Измерение массовых концентраций 1-нафталенилтиокарбамида (крысида, α -нафтилтиокарбамида) в воздухе рабочей зоны методом высокоэффективной жидкостной хроматографии (дата введения 01.01.2002); Р 4.2.2643-10 Методы лабораторных исследований и испытаний дезинфекционных средств для оценки их эффективности и безопасности. М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2010. С. 44—49), так и в доступных источниках. Изначально определение НТМ осуществляли по Кьельдалю [7, с. 226]. Основными методами контроля в настоящее время являются спектрофотометрия [1, 8, 9] и флуориметрия [10, 11], реже используют метод ВЭЖХ [1].

Для определения НТМ в объектах окружающей среды и продукции предложено большое количество методик ВЭЖХ. Высокие стартовые требования, например, при определении НТМ методом ультраВЭЖХ с МС/МС-детектированием (Электронный ресурс <https://www.agilent.com/cs/library/applications/si-01510.pdf>), и в некоторых других случаях [12, 13] не позволяют рекомендовать данные подходы в качестве базовых при рутинном мониторинге продукции. Вместе с тем при использовании ОФ режимов ВЭЖХ в ряде методических документов были достигнуты весьма скромные характеристики разделения с временами удерживания от 2.5 до 3.5 мин [1, 14], которые кардинально не улучшились при использовании градиентного режима элюирования [15].

Титульную субстанцию производят не только за рубежом, но и на территории нашей страны [16], при этом наверняка использованные при синтезе/очистке технологические приемы будут влиять на содержание целевого компонента и примесных фаз в составе технической субстанции. Одним из примесных компонентов субстанции НТМ является 2-нафтиламин, обладающий канцерогенным действием [17]. Однако при исследовании технических субстанций, например, методом РФА трудно ожидать, что идентификация минорных примесей может послужить достоверным репером при мониторинге сырья, т.к. существует вероятность, что исследуемый образец будет рентгеноаморфен, что помешает осуществить корректный эксперимент, идентифициру-

ющий примесные фазы на фоне интенсивных рефлексов фазы/фаз основного компонента.

Цель работы — установление простых и удобных подходов к входному контролю технической субстанции и отравленных приманок с целью их идентификации и определения содержания на фоне ядов другой группы — антикоагулянтных родентицидов 4-гидроксикумаринового ряда.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Для проведения исследования использовали аналитические стандарты родентицидных субстанций: “Дифенакум” 99.2% (Fluka, Англия), “Варфарин” 97.5% (СОП 64-06, НПК “Блок-1”, Россия), “Бродифакум” 97.8% (СОП 68-06, НПК “Блок-1”, Россия), “Бромациолон” 98.2% (СОП 65-06, НПК “Блок-1”, Россия), “Куматетралил” 99.9% (Bayer AG, Германия), “Флокумафен” 98.0% (Waysome Pharmaceutical Co., Ltd, Китай). Образец аналитического стандарта НТМ был выделен из фракции монокристаллов, полученных из технического препарата. Монокристаллический образец НТМ был выделен при изотермическом (комнатная температура) испарении раствора субстанции в смеси хлороформа и изопропилового спирта с начальной концентрацией 3 мг/мл. В работе использованы несколько образцов НТМ китайских производителей.

Изопропанол (х.ч., ГОСТ 18300-87), хлороформ (х.ч., ТУ 6-09-06-4263), ацетон (для хроматографии ТУ СОМР 2-044-96), ацетон (ос.ч., 9-5 ОП-2, ТУ 2633-039-44493179-00 с изм.1, 2), хлористый метилен (х.ч., ТУ 2631-019-44493179-98 с изм. 1, 2, 3), уксусная кислота (х.ч., ГОСТ 61-75), вода дистиллированная (ГОСТ 6709-72), ацетонитрил (для ВЭЖХ, “Panreac”, Испания) использовали без предварительной очистки.

В процессе работы готовили премиксы субстанций 4-гидроксикумаринового ряда в хлороформе с концентрациями 5–10 мг/мл. Разбавлением премиксов изопропанолом до концентраций 0.02–0.30 мг/мл удалось получить стабильные рабочие растворы (хранение 3 мес. в холодильнике $T = 2–6^{\circ}\text{C}$) для аналитического определения методом ОФ ВЭЖХ с широким охватом полярностей подвижной фазы. Раствор смеси субстанций 4-гидроксикумаринового ряда готовили непосредственно перед использованием.

Проведение ВЭЖХ в сочетании с УФ-детектированием осуществляли на хроматографе “Waters 490” (Waters Ltd., Watford, UK), оснащенном насосом Altex модели 110A, инжектором “Rheodyne” с объемом петли 20 мкл, УФ-детектором модели 490 с переменной длиной волны. Использо-

вали колонку из нержавеющей стали (4.6×150 мм), заполненную Reprosil ODS-A, зернение 5 мкм (“Элсико”, Россия). Подвижную фазу предварительно дегазировали при помощи ультразвуковой установки, скорость потока 0.5 мл/мин, соотношение компонентов $\text{CH}_3\text{CN} : \text{H}_2\text{O} : \text{CH}_3\text{COOH} = 70 : 30 : 1$. Детектирование осуществляли при 280 нм (температура комнатная). Запись хроматограмм проводили с помощью программы “Мультихром” (Ampersand Ltd. версия 1.52i, Россия).

Рентгенофазовый анализ (РФА) образцов проводили на дифрактометре Bruker D8 Advance ($\text{CuK}\alpha$ -излучение) в диапазоне углов 5° – 60° 2θ с шагом 0.020 2θ и выдержке не менее 0.3 с/шаг. Дифрактограммы индифицировали с использованием базы данных PDF2 (2012).

Рентгеноструктурное исследование выполнено на дифрактометре CCD SMART-Apex-II при температуре 150 К с использованием $\text{MoK}\alpha$ -излучения ($\lambda = 0.71073$ Å, графитовый монохроматор). Кристаллы НТМ моноклинные, пр. гр. $C2/c$, $a = 15.424(2)$, $b = 7.636(1)$, $c = 17.114(2)$ Å, $\beta = 91.584(2)^\circ$, $V = 2014.9(4)$ Å³, $Z = 8$, $\rho_{\text{выч}} = 1.347$ г/см³, $\mu(\text{MoK}\alpha) = 0.281$ мм⁻¹, $F(000) = 856$. Интенсивности 7326 отражений (из них 2674 независимых, $R_{\text{int}} = 0.0141$) измерены с использованием ω -сканирования в интервале $4.76^\circ < \theta < 57.98^\circ$ ($-20 \leq h \leq 20$, $-9 \leq k \leq 10$, $-18 \leq l \leq 23$). Первичная обработка экспериментальных данных проведена по программе SAINT [18, 19].

Структура расшифрована прямым методом и уточнена полноматричным анизотропным МНК по F^2 для всех неводородных атомов в программе OLEX-2 [20]. Все водородные атомы помещены в рассчитанные положения и уточнены с использованием модели “наездника”. Окончательная величина фактора расходимости составила $R_1 = 0.0321$, $wR_2 = 0.0872$ для 2674 отражений с $I > 2\sigma(I)$ и 127 параметров уточнения. GOOF = 1.042, $\Delta\rho_{\text{max}}, \Delta\rho_{\text{min}} = 0.41, -0.20$ е/Å³. Кристаллографические данные депонированы в Кембриджском банке структурных данных под номером 1961215.

В процессе исследования подвергли проверке на содержание родентицидных субстанций готовую зерновую приманку, предназначенную для истребления серых и черных крыс, — препарат “Наповал” (ЗАО “Научно-коммерческая фирма “РЭТ”, Россия) в полимерной упаковке с указанной датой производства 03.03.2017 (ТУ 9392-005-45338156-2006 с изм. № 1-2012).

Экстракцию из зерновой приманки осуществляли как по ранее описанным процедурам [21–23] для определения родентицидов 4-гидроксику-

маринового ряда, так и на основании рекомендаций для определения НТМ спектральными [8] и хроматографическими методами [1].

Для установления влияния ультразвуковой обработки на возможные потери целевого компонента при комбинированном воздействии экстрагентов и ультразвука осуществляли параллельное экстрагирование проб с применением и без применения ультразвука. Аликвоты проб экстракта после перемешивания на магнитной мешалке помещали на 0.25 ч в ультразвуковую установку “Кристалл-2,5” (ОАО “ОКТБ Кристалл”, Россия), далее отфильтровывали и хроматографировали.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Проведенное исследование нескольких образцов технических субстанций альфа-нафтилтио-

Таблица 1. Рефлексы на порошковой рентгенограмме технической субстанции НТМ в области 2θ от 10.00 до 25.00° с вероятностью 80% (по данным РФА с отношением опорных сигналов относительно данных РСА для монокристаллического образца)

2θ , град	Интенсивность (I/I_0)	Миллеровские индексы (h, k, l)
10.258	94	
11.429	173	
11.682	774	2, 0, 0
12.924	1003	1, 1, 0
13.412	33	
13.948	799	1, 1, 1
14.192	178	
15.178	2198	2, 0, -2
15.544	129	
16.399	553	1, 1, -2
16.596	3968	1, 1, 2
17.112	50	
18.500	93	
19.523	109	
20.235	3657	1, 1, 3
20.552	367	
20.764	879	3, 1, 0
21.289	924	3, 1, -1
21.892	106	
22.966	5968	4, 0, 0
23.359	263	
23.811	97	
24.456	1752	1, 1, 4
24.949	370	

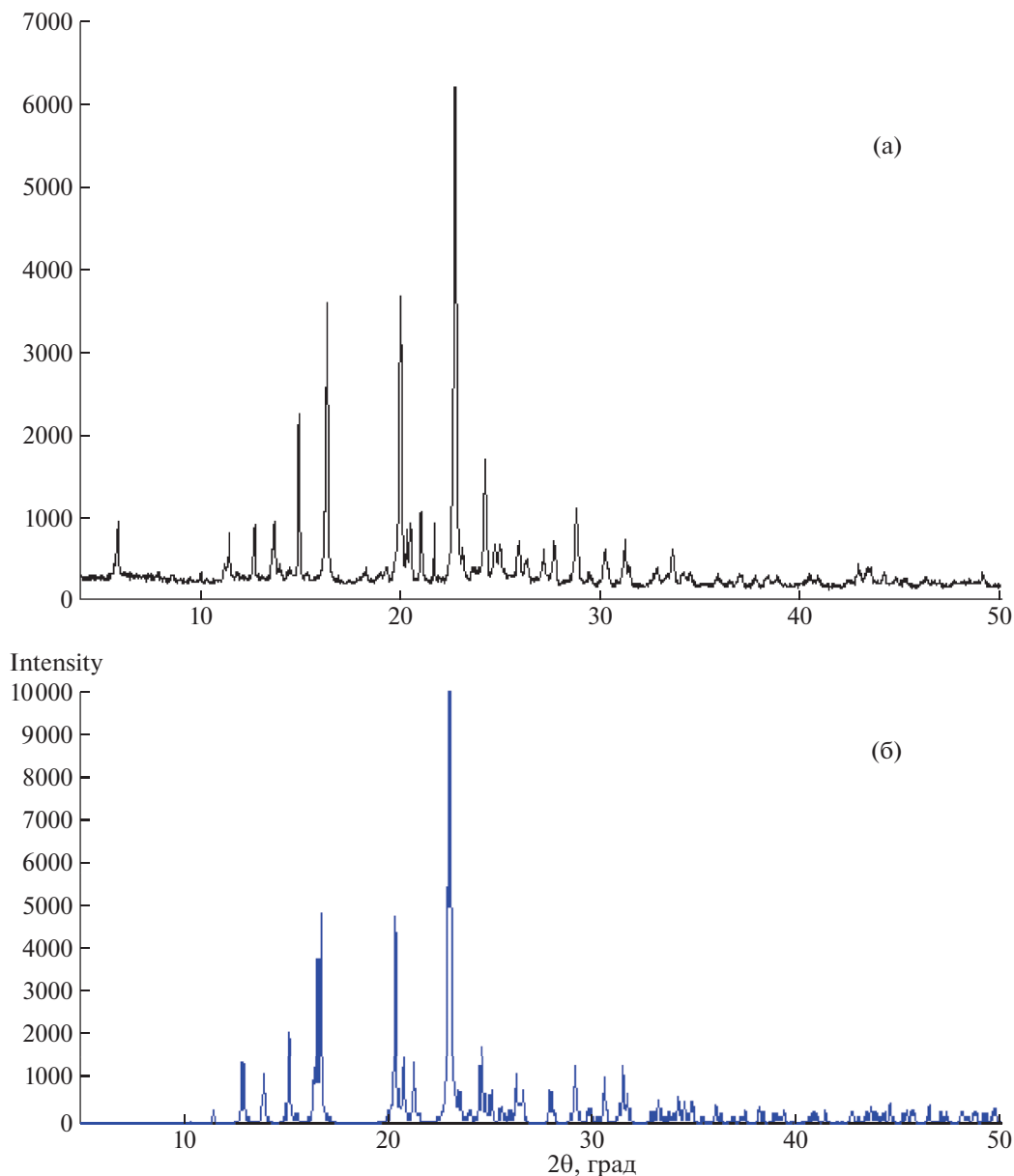


Рис. 1. Рентгенограммы технической субстанции (а) и монокристаллического образца (б) НТМ, полученные методами РФА и РСА соответственно.

мочевины методом рентгенофазового анализа продемонстрировало высокую степень совпадения рефлексов с отражениями для монокристаллического образца НТМ (рис. 1), что могло свидетельствовать о возможности использования метода рентгенофазового анализа для качественной идентификации субстанции (соотнесение миллеровских индексов и основных рефлексов для технической субстанции представлены в табл. 1). При этом ввиду отсутствия стандартных образцов НТМ, метрологически значимых на территории РФ, для приготовления стандартных растворов

использовали кристаллическую фазу, идентифицированную с помощью методов РФА и РСА.

Результаты хроматографического анализа экстрактов из приманки в выбранных условиях проведения определения (изократический режим элюирования) демонстрировали практически полное отсутствие НТМ в исследованных образцах. Детектирование НТМ осуществляли в условиях, унифицированных с ранее предложенными, для определения антикоагулянтных родентицидов [21–25] при длине волны детектирования 280 нм (что фактически соответствовало максимуму поглощения НТМ 285 нм [8]), при этом удалось до-

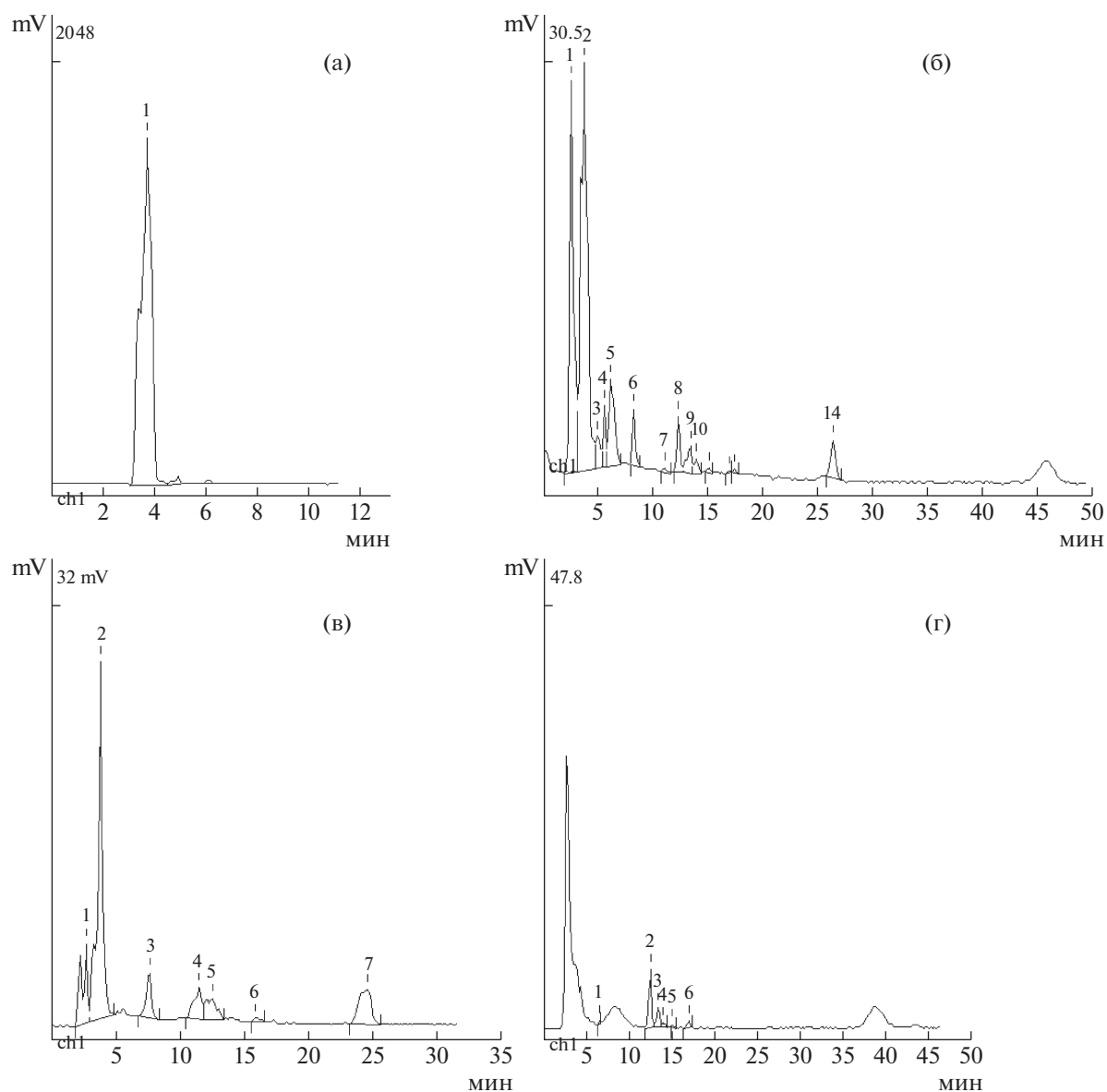


Рис. 2. Хроматограммы (ОФ ВЭЖХ) стандартного раствора НТМ 0.50 мг/мл (а), водно-изопропанольного экстракта средства (б), дихлорэтановый экстракт средства, разбавленный в 2 раза подвижной фазой (в), экстракт зерновой приманки, содержащей 0.005% бромалидона (г). Колонка 4.6×150 мм Reprosil ODS-A, 5 мкм, система $\text{CH}_3\text{CN} : \text{H}_2\text{O} : \text{CH}_3\text{COOH}$ (70 : 30 : 1); $\lambda = 280$ нм, 0.5 мл/мин изократический режим элюирования.

стичь приемлемой величины удерживания, не уступающей ранее достигнутым показателям [1, 14, 15] без использования градиентных условий элюирования (рис. 2а). Время удерживания НТМ составило 3.8 мин.

В результате проведенного исследования не удалось полностью исключить наличие в приманке НТМ (пик 2 на рис. 2б, в), однако содержание последнего не превышало 0.03% (меньше декларируемой величины в 1% более чем в 30 раз). Проведение исследования в режимах, преимущественно использующихся для анализа антикоагу-

лянтных родентицидов, позволило выявить в образце (пики 8, 9 на рис. 2б и 4, 5 на рис. 2в) присутствие другого родентицида — бромалидона, представителя антикоагулянтов 4-гидроксикумаринового ряда [26] в значительных количествах ($0.0027 \pm 0.0004\%$), что было подтверждено введением добавки стандартного раствора к полученному водно-изопропанольному экстракту.

Стандартная хроматограмма для зернового водно-изопропанольного экстракта средства на основе бромалидона (пробоподготовка идентична ранее использованной нами [21]) демон-

стрировала близкую картину (пики бромадиолона — 2, 3 на рис. 2г). Замечено, что использование в качестве экстрагентов хлористого метилена и хлороформа было нежелательным, поскольку в этом случае фиксировали значительное искажение аналитического сигнала для субстанций 4-гидроксикумаринового ряда [21], что и было зафиксировано при экстракции хлористым метилом из фальсифицированного средства (пики 4, 5 на рис. 2в).

В предложенных условиях определению НТМ не мешало возможное присутствие в пробах не только бромадиолона (времена удерживания 12.4 и 13.5 мин), но также и других производных 4-гидроксикумарина, включая геометрические изомерные формы (с временами удерживания): зоокумарин (5.4 мин), куматетраллил (5.8 мин), дифенакум (*транс*- 21.9 мин, *цис*- 25.3 мин), флокумафен (*транс*- 29.5 мин, *цис*- 35.7 мин), бродифакум (*транс*- 38.6 мин, *цис*- 44.2 мин).

Установленное содержание бромадиолона ($0.0027 \pm 0.0004\%$) в готовой для применения препаративной форме приманки потенциально может обеспечить приемлемую эффективность композиции, поскольку в настоящее время выпускают значительное количество зерновых приманок с содержанием бромадиолона $0.005 \pm 0.001\%$ [1, 2, 22], при этом в лабораторных исследованиях подтверждена эффективность препаратов и с содержанием бромадиолона 0.0025% [27]. Такое содержание антикоагулянтного родентицида в средстве, скорее всего, является целенаправленным, а не случайным производственным сбоем, обусловленным, к примеру, нарушением цикла подготовки оборудования после приготовления зерновых приманок на основе антикоагулянтных родентицидов. Следует констатировать, что исследованное нами средство нельзя отнести к приманкам острого действия в виду того, что содержание НТМ в препарате меньше декларируемого более чем в 30 раз, но, тем не менее, приманка является родентицидным средством.

На стандартном растворе НТМ с концентрацией 0.20 мг/мл (в 5 раз меньше заявленной концентрации в экстракте исследованной приманки НТМ) было проведено дополнительное моделирование экстракционного извлечения в кислых условиях с использованием дополнительной ультразвуковой обработки, которое полностью исключило возможность гидролиза титульного производного при извлечении. Одновременно были проверены различные экстракционные условия, приведенные в официальных документах и статьях, посвященных определению НТМ в родентицидной продукции. Выявили, что различные

экстрагенты (ацетон, хлористый метилен и смеси ацетонитрила с водой) не улучшили степень извлечения НТМ из приманки и возможное содержание НТМ в приманке неизменно не превышало 0.03% вместо декларируемого содержания в 1%. Использование ультразвука при экстракционном извлечении также не привело к значительному изменению ранее установленного содержания НТМ.

Исходя из результатов проведенного исследования, не исключен вариант намеренной подмены во многом уникальной приманки (за счет использования яда острого действия) на тривиальную продукцию, выпускаемую большим кругом производителей. Увидит ли конечный потребитель разницу, учитывая обнаруженное высокое содержание бромадиолона — большой вопрос. Однако именно яды острого действия остаются в арсенале родентицидных средств. Несмотря на сложности при производстве и применении ввиду значительной токсичности и отсутствии специфических антидотов, в том числе для снижения популяций грызунов после обработки объектов приманками на основе антикоагулянтных субстанций. Последнее обстоятельство крайне важно, поскольку такое мероприятие (чередование обработок объектов антикоагулянтами и препаратами на ядах острого действия) служит снижению возможности закрепления в популяции резистентности к антикоагулянтам, волна которой докатилась до территории РФ [28, 29], в том числе, и по вине неправильного использования тактики чередования разных групп ядов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенное исследование позволило подтвердить относительно высокое качество образцов рассмотренной субстанции альфа-нафтилтиомочевины (НТМ) от разных производителей рентгеновским (РФА) и хроматографическим (ОФ ВЭЖХ) методами, осуществленными относительно полученного в результате дополнительной очистки исходного сырья до выделения кристаллической фракции (идентификация методом РСА), рассмотренной в дальнейшем в качестве аналитического стандарта. Предложен унифицированный хроматографический метод идентификации НТМ на фоне возможного присутствия в пробе родентицидов 4-гидроксикумаринового ряда (зоокумарина, куматетраллила, бромадиолона, бродифакума, дифенакума и флокумафена). НТМ уверенно детектируется на фоне примесных фаз без концентрирования пробы, при осуществлении пробоподготовки по предложен-

ным схемам, начиная с концентрации 1.0 мг/мл (эквивалентно содержанию 0.1% НТМ в приманке, что меньше в 10 раз декларируемого содержания в препаративной форме). Исключены факторы потери НТМ (на модельных растворах) при осуществлении различных вариантов пробоподготовки, включая дополнительное воздействие ультразвука.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мелков В.К., Румянцева Л.Н., Колков В.Ф., Воронцова В.Л. Рынок родентицидов в России. Кн. 1. Сб. информ., норматив. и метод. мат-лов. М.: Проект, 2003. 328 с.
2. Назаров В.Ю., Дацкевич А.М., Кабай Л.И. Приготовление отравленных приманок силами дезинфекционных учреждений. Проблемы и пути решения // Дезинфекц. дело. 2011. № 3. С. 26–35.
3. Рьельников В.А. Управление численностью грызунов путем применения родентицидов (на примере серой крысы, *Rattus Norvegicus* (Berk)) // Дезинфекц. дело. 2008. № 2. С. 57–60.
4. Тоцигин В.Ю. Современная концепция дератизации в городах и сельских населенных пунктах России (возникновение, развитие, пути реализации) // Дезинфекц. дело. 2009. № 2. С. 60–67.
5. Рьельников В.А., Тоцигин В.Ю., Пыхов С.Г., Отрадинская О.В. К вопросу о применении препарата “Крысид” в современных условиях // Пест-Менеджмент (РЭТ-Инфо). 2000. № 2. С. 32–33.
6. Махнева Т.В. Барьеры на пути развития дезинфекционного рынка // Дезинфекц. дело. 2016. № 4. С. 51–55.
7. Спецификация пестицидов. Всемирная организация здравоохранения. Женева–Москва: 1-я типография Медгиза, 1962. 534 с.
8. Крейнгольд С.У., Шестаков К.А. Определение 1-(1-нафтил)-2-тиомочевина в отравленных приманках // Дезинфекц. дело. 2003. № 1. С. 48–49.
9. Asghar M., Yaqoob M., Ullah S., Ali S., Munawar N., Nabi A. Development of flow injection spectrophotometric method for 1-naphthylthiourea using sodium nitrite and sulphanilic acid diazotization reaction // J. Spectroscop. 2018. Art. ID 3920289, 7 p. <https://doi.org/10.1155/2018/3920289>
10. Pulgrián J.A.M., Bermejo L.F.G., Aranda J.A.R. Development of time-resolved chemiluminescence for the determination of antu in river water, wheat, barley, and oat grain samples // J. Agric. Food Chem. 2005. V. 53. P. 6609–6615.
11. Sanchez F.G., Aguilar G.A. Fluorimetric determination of the rodenticide ANTU in spiked wheat grain // Microchim. Acta. 1993. V. 110. № 4. P. 161–166.
12. Maizels M., Budde W.L. Exact mass measurements for confirmation of pesticides and herbicides determined by liquid chromatography/time-of-flight mass spectrometry // Analyt. Chem. 2001. V. 73. № 22. P. 5436–5440.
13. Miles C.J., Moye H. Postcolumn photolysis of pesticides for fluorometric determination by high-performance liquid chromatography // Analyt. Chem. 1988. V. 60. № 3. P. 220–226.
14. Инструкция по применению родентицидного средства “Крысид-покрытие” [Электр. ресурс] http://www.pesticidy.ru/ps-content/literature/files/Крысид-покрытие_инструкция_1691_instructions.pdf (дата обращения 27.10.2018).
15. Методические указания по применению и методам контроля качества родентицидного средства “Крысид гель” [Электр. ресурс] http://www.profedez.ru/ins_rodento/rodento_nac/nac_krysid_gel.pdf (дата обращения 27.10.2018).
16. Махнева Т.В., Ченко В.И., Захарченко А.В. Вклад отечественных производителей средств дезинфекции, дезинсекции и дератизации в развитие дезинфекционного дела в Российской Федерации // Дезинфекц. дело. 2006. № 3. С. 17–22.
17. Заева Г.Н., Мальцева М.М., Котова Н.А., Березовский О.И. О гигиеническом нормировании крысида (1-нафтилтиомочевина) в воздухе рабочей зоны // Пест-Менеджмент (РЭТ-Инфо). 2002. № 1. С. 24–26.
18. Sheldrick G.M. Crystal structure refinement with SHELXL // Acta Cryst. 2015. C. 71. P. 3–8.
19. Bruker (2008). APEX2, SADABS and SAINT. Bruker AXS Inc. Madison, Wisconsin, USA.
20. Dolomanov O.V., Bourhis L.J., Gildea R.J., Howard J.A.K., Puschmann H. OLEX2: a complete structure solution, refinement and analysis program // J. Appl. Cryst. 2009. V. 42. P. 339–341.
21. Носикова Л.А., Кочетов А.Н. Анализ дифенакума в родентицидных композициях, содержащих производные куматетрала // Тонкие хим. технол. 2015. Т. 10. № 6. С. 88–95.
22. Кочетов А.Н., Шестаков К.А., Шпилевский Г.М., Кузьмина Л.Г. Особенности определения содержания замещенных в третьем положении 4-гидроксикумаринов в дезинфекционных средствах и фармпрепаратах // Хим.-фарм. журн. 2013. Т. 47. № 2. С. 41–50.
23. Носикова Л.А., Кочетов А.Н. Оценка поставщиков родентицидных субстанций 4-гидроксикумаринового ряда с использованием метода ОФ ВЭЖХ // Пест-Менеджмент. 2015. № 4. С. 42–52.
24. Носикова Л.А., Кочетов А.Н. Оптимизация определения действующих веществ в инсекто-родентицидных средствах на основе фипронила с производными 4-гидроксикумарина методом ОФ ВЭЖХ // Пест-Менеджмент. 2018. № 4. С. 22–29.
25. Носикова Л.А., Кочетов А.Н. Определение изомерного состава дифетиалона в родентицидной продукции методом ОФ ВЭЖХ. От оценки поставщиков к мониторингу препаративных форм // Пест-Менеджмент. 2019. № 1. С. 36–43.

26. Кочетов А.Н., Кузьмина Л.Г. Строение и таутомерные превращения замещенных в третьем положении 4-гидроксикумаринов (обзор) // Хим.-фарм. журн. 2010. Т. 44. № 2. С. 9–14.
27. Инструкция № 20/07-2018 по применению средства родентицидного “БРОМОРАТ” твердые брикеты [Электр. ресурс] [http://www.niid.ru/s/210/files/in-](http://www.niid.ru/s/210/files/instrukcii_dezsredstva/Deratizaciya/128156_504.pdf)strukcii_dezsredstva/Deratizaciya/128156_504.pdf (дата обращения 28.02.2019).
28. Кочетов А.Н., Кузьмина Л.Г., Шестаков К.А. Пути создания новых антикоагулянтных родентицидов // Дезинфекц. дело. 2009. № 2. С. 68–77.
29. Рябов С.В. Резистентность грызунов к антикоагулянтам // Дезинфекц. дело. 2018. № 2. С. 46–54.

Detection of Counterfeited Products Based on Alpha-Naphthylthiourea

L. A. Nosikova^a, A. N. Kochetov^{a, #}, and L. G. Kuz'mina^b

^aMIREA—Russian Technological University (M.V. Lomonosov Institute of Fine Chemical Technologies)
pr. Vernadskogo, 86, Moscow 119571, Russia

^bN.S. Kurnakov Institute of General and Inorganic Chemistry RAS
Leninsky prosp. 31, Moscow 119991, Russia

[#]E-mail: kochchem@mail.ru

Described a case of substitution in the composition of a washing powder means the acute actions of alpha-naftiltiourea on the anticoagulant rodenticide bromadiolone. Using only the trivial lures on the anticoagulant action of venoms is the alternation of treatments including using poisons of acute action may lead to the consolidation of resistance to anticoagulants in rodent populations. Proposed RP HPLC method for the determination of the title derivative in the isocratic mode at 280 nm, permitting identification in the presence of the product appears and some other anticoagulants coumarin series. The features of sample preparation and chromatographic analysis, excluding the loss of analyte, are considered. Under the proposed conditions, the determination of alpha-naphthylthiourea in extracts against the background of impurity components is confidently carried out starting with a concentration of 1.0 mg/ml without the use of the additive method and additional concentration of the sample. X-ray phase analysis of samples of several technical substances was performed. RPA data are compared with the data obtained in the study of a single-crystal sample of the substance. Determined the crystallographic data for single crystal sample, while the parameters of the structure alpha-Naphthylthiourea: crystals are monoclinic, st. gr. C2/c: $\alpha = 15.424(2) \text{ \AA}$, $b = 7.636(1) \text{ \AA}$, $c = 17.114(2) \text{ \AA}$, $\beta = 91.584(2)^\circ$, $Z = 8$.

Key words: alpha-naphthylthiourea, rodenticide, acute action, determination, RP HPLC, “pest control”, X-ray, falsification of products.