

СОДЕРЖАНИЕ

Номер 3, 2021

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ СТАТЬИ

Плодородие почв

- Мониторинг плодородия пахотных почв юго-западной части
Центрально-Черноземного района России
С. В. Лукин 3
- База данных индикаторов качества почв сельскохозяйственных угодий РФ
В. С. Столбовой, А. М. Гребенников 15
- Влияние минимизации основной обработки почвы на плодородие чернозема типичного
Д. В. Дубовик, Е. В. Дубовик, А. В. Шумаков, Б. С. Ильин 22
-

Удобрения

- Влияние средств химизации на урожайность и качество зерна озимой пшеницы
на дерново-подзолистой почве разной степени окультуренности
А. А. Завалин, А. А. Коваленко, Т. М. Забугина, Л. Н. Самойлов, С. Н. Сапожников 28
-

Пестициды

- Эффективность и безопасность применения гербицида кельвин плюс
в посевах кукурузы в разных фазах развития культуры
А. С. Голубев, Т. А. Маханькова, А. С. Комарова 38
- Полевая оценка эффективности биологических и биорациональных инсектицидов
против дубовой кружевницы *Corythucha arcuata* Say (Hemiptera, Tingidae)
Е. Н. Беседина, В. Я. Исмаилов, А. С. Настасий 45
-

Агроэкология

- Оценка влияния засоления на аллелопатическую активность микромицетов
в дерново-подзолистой почве
А. О. Герасимов, Ю. М. Поляк 51
- Миграция биогенных элементов в черноземе типичном
при фертигации плодовых насаждений
*Т. Г. Фоменко, В. П. Попова, Е. А. Черников, А. И. Дрыгина,
И. А. Лебедовский, Д. В. Узловатый, А. Н. Мязина* 60
-

Экотоксикология

- Исследование фитотоксичности свинца для растений редиса и салата
при выращивании на разных типах почв
А. В. Дикарев, В. Г. Дикарев, Н. С. Дикарева 71
- Самоочищающая способность различных типов почв Азербайджана
от нефтяного загрязнения в зависимости от их рН
С. И. Наджафова, Ф. Ш. Кейсерухская, З. П. Гасанова 82
-

ОБЗОРЫ

- Современное состояние проблемы изучения и применения гербицидов
(дайджест публикаций за 2017–2019 гг.)
Ю. Я. Спиридонов, С. Г. Жемчужин, Л. М. Королева, Г. С. Босак 88
-
-

Contents

No. 3, 2021

EXPERIMENTAL ARTICLES

Soil Fertility

- Monitoring of Fertility of Agricultural Soils in Southwestern Central Black Earth Region of Russia
S. V. Lukin 3
- Database of Soil Quality Indicators of Agricultural Land in the Russian Federation
V. S. Stolbovoy, A. M. Grebennikov 15
- Effect of Minimizing Primary Tillage on the Fertility of Typical Chernozem
D. V. Dubovik, E. V. Dubovik, A. V. Shumakov, B. S. Ilyin 22
-

Fertilizers

- Influence of Chemical Agents on the Yield and Quality of Winter Wheat Grain on Sod-Podzolic Soil of Different Degrees of Cultivation
A. A. Zavalin, A. A. Kovalenko, T. M. Zabugina, L. N. Samoylov, S. N. Sapozhnikov 28
-

Pesticides

- Efficiency and Safety of Application of Herbicide Kelvin Plus on Corn at Different Crop Stage
A. S. Golubev, T. A. Makhankova, A. S. Komarova 38
- Field Assessment of Efficiency of Biological and Biorational Insecticides against Oak Lace Bug *Corythucha arcuata* Say (Hemiptera, Tingidae)
E. N. Besedina, V. Ya. Ismailov, A. S. Nastasiy 45
-

Agroecology

- Assessment of the Effect of Salinity on the Allelopathic Activity of Micromycetes in Sod-Podzolic Soil
A. O. Gerasimov, Yu. M. Polyak 51
- Migration of Biogenic Elements in Chernozem Typical of Fruit Orchards Fertilization
T. G. Fomenko, V. P. Popova, A. A. Chernikov, A. I. Drigina, I. A. Lebedovsky, D. V. Uzlovaty, A. N. Myazina 60
-

Ecotoxicology

- Study of Phytotoxicity of Lead for Redis and Salad Plants in Growing on Different Types of Soils
V. G. Dikarev, A. V. Dikarev, N. S. Dikareva 71
- Self-Cleaning Ability of Different Types of Soils in Azerbaijan Depending on Their pH
S. I. Nadjafova, F. Sh. Keyseruxskaya, Z. P. Hasanova 82
-

REVIEWS

- Current Nondition of Problems in the Study and Application of Herbicides (Digest of 2017–2019)
Yu. Ya. Spiridonov, S. G. Zhemchuzhin, L. M. Koroleva, G. S. Bosak 88
-
-

УДК 631.452(470.32)

МОНИТОРИНГ ПЛОДОРОДИЯ ПАХОТНЫХ ПОЧВ ЮГО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ ЦЕНТРАЛЬНО-ЧЕРНОЗЕМНОГО РАЙОНА РОССИИ

© 2021 г. С. В. Лукин^{1,2,*}

¹ Центр агрохимической службы “Белгородский”
308027 Белгород, ул. Щорса, 8, Россия

² Белгородский государственный национальный исследовательский университет
308015 Белгород, ул. Победы, 85, Россия

*E-mail: serg.lukin2010@yandex.ru

Поступила в редакцию 10.06.2020 г.

После доработки 31.07.2020 г.

Принята к публикации 10.12.2020 г.

Обобщены и проанализированы результаты 10-ти циклов агрохимического обследования, проводимых с 1964 по 2018 г. на территории Белгородской обл. Почвенный покров в лесостепной части области в основном представлен черноземами типичными и выщелоченными, в степной – черноземами обыкновенными. Было установлено, что в течение 10-го цикла агрохимического обследования (2015–2018 гг.) пахотных почв средний уровень внесения минеральных удобрений составил 112.3 кг/га, органических – 8.1 т/га, известкования – 75 тыс. га кислых почв в год. В результате средняя урожайность озимой пшеницы увеличилась до 4.50, сахарной свеклы – до 44.1, кукурузы на зерно – до 6.65 т/га, а продуктивность 1 га посевной площади достигла 4.85 тыс. к.е. При этом в почвах установлены максимальные за всю историю наблюдений величины средневзвешенного содержания органического вещества (5.2%), подвижных форм P_2O_5 (146 мг/кг) и K_2O (172 мг/кг). Сократилась до 35.5% доля кислых почв, в том числе среднекислых – до 5.8%. Средневзвешенное содержание подвижных форм серы увеличилось до 3.3, марганца – до 11.7 мг/кг, меди – осталось стабильным – 0.11, цинка и кобальта – снизилось соответственно до 0.50 и 0.078 мг/кг.

Ключевые слова: кислотность почв, микроэлементы, органическое вещество почвы, удобрения, подвижные формы P_2O_5 и K_2O , сера, черноземы.

DOI: 10.31857/S000218812103011X

ВВЕДЕНИЕ

Сохранение и воспроизводство плодородия пахотных почв является важнейшей частью стратегии сбалансированного развития агропромышленного комплекса и обеспечения продовольственной безопасности России. Одними из самых плодородных почв на нашей планете считаются российские черноземы [1–3]. Среди развитых аграрных регионов Российской Федерации важное место занимает Центрально-Черноземный район (ЦЧР), включающий помимо расположенной на юго-западе Белгородской обл., еще Воронежскую, Курскую, Липецкую и Тамбовскую обл.

За период 2015–2019 гг. посевная площадь в ЦЧР в среднем составляла 8.69 млн га (10.9% пашни РФ). Области, входящие в ЦЧР, довольно сильно отличаются уровнем развития сельскохозяйственного производства. Например, самая высокая урожайность зерновых и зернобобовых

культур была установлена в Белгородской обл. (4.60 т/га), самая низкая – в Тамбовской (3.41 т/га), в РФ средняя урожайность составляла 2.62 т/га. Минеральные удобрения в наибольших дозах (144.1 кг/га) использовали в Курской обл., в наименьших (94.9 кг/га) – в Тамбовской, при этом в среднем в России уровень их внесения составляет всего 52.7 кг/га. Больше всего органических удобрений вносили в Белгородской обл. (8.5 т/га), меньше всего – в Тамбовской (0.25 т/га), что даже меньше, чем в среднем в России (1.47 т/га) [4].

Однако за 300-летний период интенсивного использования природного плодородия черноземов ЦЧР без учета научно обоснованных приемов его воспроизводства существенно усилилась антропогенная деградация [3]. Главными видами деградации пахотных почв являются прогрессирующее развитие водной эрозии, снижение со-

держания органического вещества и подвижных форм некоторых макро- и микроэлементов. В лесостепной зоне ЦЧР отмечено существенное увеличение доли кислых почв, что особенно негативно отражается на урожайности сахарной свеклы – культуры, доля которой в валовом производстве России составляет $\approx 50\%$ [5–9].

Проектирование и внедрение комплекса мероприятий, направленных на оптимизацию минерального питания сельскохозяйственных растений, сохранение и расширенное воспроизводство плодородия почв, является важнейшей частью адаптивно-ландшафтных систем земледелия. Их разработка должна базироваться на актуальных материалах агрохимического мониторинга, который начали проводить в РФ с 1964 г. Цель работы – обобщить и проанализировать закономерности изменения основных параметров плодородия пахотных почв юго-западной части ЦЧР в процессе длительного (1964–2018 гг.) сельскохозяйственного использования.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследование проводили в Белгородской обл., которая расположена в пределах юго-западного склона Среднерусской возвышенности, являющейся частью Восточно-Европейской равнины. В западной части области расположена Украинская лесостепная почвенная провинция, а в центральной и частично восточной частях – Среднерусская лесостепная провинция. В этих провинциях преобладают черноземы типичные и выщелоченные. Юго-восточная часть области входит в состав Среднерусской провинции степных черноземов, и в ней преобладают черноземы обыкновенные.

В муниципальных образованиях (МО) области доля эродированных пахотных почв изменяется в пределах от 22.8 (Грайворонский городской округ) до 66.0% (Валуйский городской округ) и в среднем составляет 47.9% [8]. Среднемноголетний показатель гидротермического коэффициента (ГТК) меняется в пределах от 0.9 на юго-востоке до 1.2 на западе области. В среднем за 2015–2018 гг. посевная площадь составила 1428.5 тыс. га.

В работе использованы материалы сплошного агрохимического обследования пахотных почв, проведенного в 1964–2018 гг. Площадь элементарного участка составляла 20 га, образцы почвы отбирали с глубины 0–25 см. Изучение свойств целинных аналогов пахотных почв проводили в рамках фонового мониторинга в заповеднике “Белогорье” на участке “Ямская степь”, расположенном на территории Губкинского городского

округа и природном парке “Ровеньский”, расположенном в МО Ровеньский р-н.

В почвенных образцах определяли содержание органического вещества по методу Тюрина (ГОСТ 26213–91), подвижных соединений фосфора и калия – по методу Чирикова в модификации ЦИНАО (ГОСТ 26204–91), подвижных форм серы, извлекаемых раствором хлористого калия (ГОСТ 26490–85), подвижных форм микроэлементов, извлекаемых ацетатно-аммонийным буферным (ААБ) раствором рН 4.8. Гидролитическую кислотность (H_c) определяли в соответствии с ГОСТ 26212-91, pH_{KCl} – в соответствии с ГОСТ 26483-85.

В работе использованы опубликованные данные Росстата о валовых сборах, урожайности и площади посевов сельскохозяйственных культур, площади произвесткованной пашни, а также дозах внесения органических и минеральных удобрений [4]. Продуктивность почв определяли путем пересчета валовых сборов главных сельскохозяйственных культур в сбор кормовых единиц (к.е.) с последующим суммированием полученных величин и делением на общую посевную площадь под культурами.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Содержание органического вещества во многом определяет обеспеченность растений элементами питания, особенно при низком уровне использования удобрений, оказывает существенное влияние на физико-химические и водно-физические свойства почвы [10]. В пахотных почвах Курской, Липецкой, Воронежской, Тамбовской обл. средневзвешенное содержание органического вещества составляет соответственно 4.63, 5.52, 5.57, 6.60% [6, 11, 12].

По данным фонового мониторинга (“Ямская степь”), установлено, что целинный чернозем типичный содержит 10.1, выщелоченный – 9.7% органического вещества в слое 10–20 см. На протяжении 1985–2014 гг. средневзвешенное содержание органического вещества в почвах пашни варьировало в интервале от 4.8 до 5.0%, а в 2015–2018 гг. величина данного показателя увеличилась до 5.2%. При этом доля почв с повышенным содержанием органического вещества возросла до исторического максимума (15.9%), а с низким содержанием – уменьшилась до 13.1%. Преобладают в области пахотные почвы со средним (4.1–6.0%) содержанием органического вещества, их доля составляет 70.6% (табл. 1).

Таблица 1. Динамика обеспеченности пахотных почв органическим веществом

Показатель	Годы обследования (циклы)						
	1984–1989 (4-й)	1990–1994 (5-й)	1995–1999 (6-й)	2000–2004 (7-й)	2005–2009 (8-й)	2010–2014 (9-й)	2015–2018 (10-й)
Средневзвешенное содержание, %*	4.9	4.8	4.9	4.9	5.0	5.0	5.2
Распределение почв по группам обеспеченности, % от обследованной площади	5 – высокая (8.1–10%)	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
	4 – повышенная (6.1–8%)	14.8	8.6	10.9	7.05	9.2	15.9
	3 – средняя (4.1–6%)	67.4	70.6	69.3	74.7	75.0	70.6
	2 – низкая (2.1–4%)	16.6	19.5	18.4	17.2	15.1	14.5
	1 – очень низкая (<2%)	1.4	1.2	1.4	1.05	0.7	0.4

*В 1-, 2- и 3-м циклах обследования данный показатель не определяли.

Установленный тренд к увеличению обеспеченности почв органическим веществом обусловлен несколькими причинами. Во-первых, благодаря интенсивному развитию свиноводства и птицеводства в 2015–2018 гг. уровень внесения органических удобрений достиг исторического максимума (8.1 т/га посевной площади), что почти в 1.7 раза больше, чем в 2010–2014 гг. (рис. 1). По обобщенным данным научных учреждений Центрального Черноземья, для достижения бездефицитного баланса органического вещества в интенсивных зернопропашных севооборотах в зависимости от наличия чистого пара, соотношения пропашных, зерновых и зернобобовых культур, требуется вносить от 6 до 8 т навоза КРС/га севооборотной площади [1, 2].

Во-вторых, реализуя областную программу биологизации земледелия, сельхозпроизводители стали уделять большое внимание пожнивным посевам сидератов [13]. В 2015–2018 гг. сидеральные культуры (в основном крестоцветные) в среднем за год высевали на площади 277.5 тыс. га, что составляет 19.4% от общей посевной площади, это в 2.8 раза больше, чем в 2010–2014 гг.

В-третьих, за этот же период доля посевной площади под многолетними бобовыми травами увеличилась с 5.9 до 6.7%. В почвозащитных севооборотах с долей многолетних трав 40% и более, расположенных в основном на эродированных почвах, положительный баланс органического вещества почвы может формироваться без использования органических удобрений за счет гу-

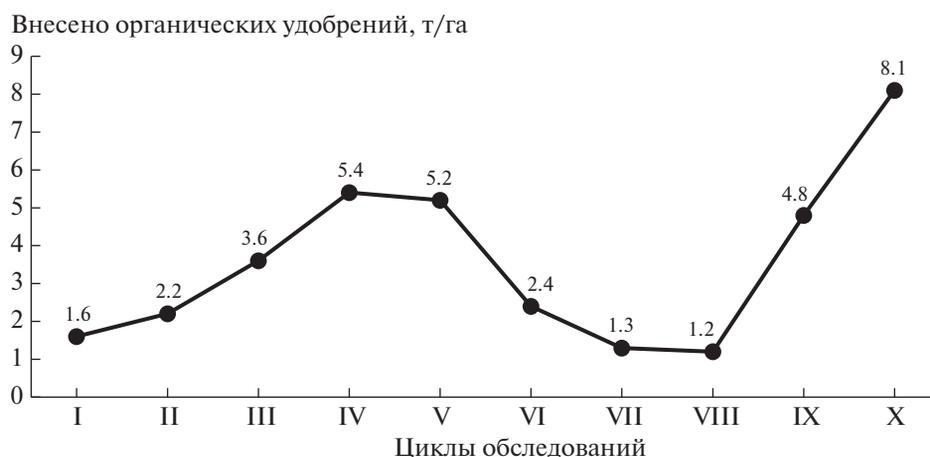


Рис. 1. Динамика внесения органических удобрений, т/га.

мификации растительных остатков и сокращения эрозионных потерь [2].

В-четвертых, важным источником органического вещества почвы являются пожнивно-корневые остатки и побочная продукция сельскохозяйственных культур. Их масса напрямую коррелирует с урожайностью основной продукции, которая в последние годы существенно увеличилась [10].

По данным 10-го цикла агрохимического обследования, самое низкое средневзвешенное содержание органического вещества отмечено в пахотных почвах Грайворонского городского округа (3.98%) и Борисовского р-на (4.30%), которые находятся на территории Украинской лесостепной почвенной провинции (табл. 2). В этой провинции преобладают черноземы мощные и среднемошные, малогумусные [8]. Наиболее высокое средневзвешенное содержание органического вещества отмечено в пахотном слое почв Губкинского городского округа (5.96%) и Прохоровского р-на (5.84%), которые находятся на территории Среднерусской лесостепной провинции. Черноземы этой провинции, в отличие от черноземов Украинской лесостепной провинции, относятся преимущественно к среднемошным и среднегумусным. Эти различия обусловлены особенностями почвообразовательного процесса.

Важной причиной дегумификации черноземов является водная эрозия почв, которая наиболее сильно развивается на склонах южной экспозиции крутизной >3 градусов. Черноземы типичные слабосмытые Украинской лесостепной провинции, в зависимости от экспозиции склонов, имеют среднее содержание органического вещества на 0.37–0.73%, среднесмытые – на 1.18–1.46% меньше, чем несмытые почвы водоразделов. В черноземах обыкновенных слабосмытых Среднерусской провинции степных черноземов среднее содержание органического вещества на 0.47–0.85%, среднесмытых – на 1.15–1.70% меньше, чем в несмытых почвах.

Кислотность является важнейшим показателем почвенного плодородия, который сильно влияет на подвижность макро- и микроэлементов в почвах, эффективность удобрений, количество и качество урожая сельскохозяйственных культур. Величина данного параметра зависит от особенностей климата и почвообразовательного процесса, степени развития эрозионных процессов, влияния антропогенных факторов [1–3].

В пределах Центрального Черноземья наиболее низкая доля кислых почв выявлена в Воронежской обл. (28.2%), которая преимущественно

располагается в степной зоне. В Курской, Липецкой и Тамбовской обл., расположенных в лесостепной зоне, доля кислых почв составляет соответственно 68.0, 73.8 и 76.0% [6].

Целинный чернозем типичный в слое 10–20 см имеет pH_{KCl} , равную 6.0, чернозем выщелоченный – 5.3. В степной зоне на территории природного парка “Ровеньский” чернозем обыкновенный в слое 15–25 см имеет величину pH_{KCl} 7.1.

Для пахотных почв лесостепной зоны ЦЧР в процессе длительной сельскохозяйственной эксплуатации характерен устойчивый тренд к подкислению. Основная естественная причина этого – постоянное вымывание осадками кальция из пахотного слоя, а главная антропогенная причина – использование физиологически кислых минеральных удобрений. Вблизи крупных промышленных центров на подкисление почв может влиять выпадение кислотных осадков (pH 3.0–4.0).

Для степных подтипов черноземов характерен обратный процесс – подщелачивание, причиной которого является перемещение карбонатов с восходящим током влаги в пахотный слой. Это негативно влияет на доступность растениям фосфатов и некоторых микроэлементов. Поэтому слабое подкисляющее действие минеральных удобрений, вносимых в степной зоне, можно считать позитивным.

Кислотность почв сильно зависит от развития эрозионных процессов. В Украинской лесостепной почвенной провинции в зависимости от экспозиции склона величина pH_{KCl} чернозема типичного слабосмытого была на 0.12–0.46, а среднесмытого – на 0.58–0.90 ед. больше, чем в несмытых почвах водоразделов. Как правило, на южных склонах величина pH_{KCl} больше, чем на северных.

По результатам агрохимического обследования 1976–1983 гг., доля кислых почв в области была минимальной и составляла всего 22.9%, в том числе среднекислых – 1.5%. В 1984–1994 гг. (4-й и 5-й циклы), несмотря на достаточно высокие объемы известкования (>30 тыс. га/год), доля кислых почв увеличилась до 35.9%, в том числе среднекислых – до 7.1%. За период мониторинга с 1995 г. по 2014 г. (6-, 7- и 8-й циклы) доля кислых почв увеличилась с 33.5 до 45.8%, среднекислых – с 6.1 до 12.6% (табл. 3). Причина этого – в резком сокращении объемов известкования в 1995–2009 гг. Например, в 7-м цикле известковали всего 1.2, в 8-м – 1.7 тыс. га/год (рис. 2).

С 2010 г. в области начали реализовывать целевую программу известкования кислых почв,

Таблица 2. Среднезвешенные показатели плодородия пахотных почв (2015–2018 гг.)

Муниципальное образование	Органическое вещество, %	Доля кислых (рН _{KCl} < 5.5) почв, %		рН _{KCl}	H _r , ммоль/100 г почвы	Содержание подвижных форм, мг/кг почвы						
		всего	в том числе среднекислых (рН _{KCl} 5.0–5.5)			P ₂ O ₅	K ₂ O	S	Mn	Zn	Cu	Co
МО, расположенные в Среднерусской провинции степных черноземов												
Вейделевский р-н	5.70	3.9	0.1	6.35	1.54	132	163	3.1	9.7	0.34	0.09	0.089
Ровенский р-н	4.82	0.0	0.0	6.85	0.79	107	135	2.0	7.4	0.34	0.10	0.080
МО, частично расположенные в Среднерусской провинции степных черноземов и Среднерусской лесостепной почвенной провинции												
Алексеевский городской округ (г.о.)	4.99	9.8	0.1	6.42	1.58	132	156	3.4	15.0	0.43	0.11	0.072
Валуйский г.о.	4.94	9.0	0.3	6.26	1.74	142	155	3.5	13.4	0.35	0.09	0.084
Волоконовский р-н	5.10	30.3	2.2	5.88	2.75	147	172	2.6	11.1	0.46	0.10	0.067
Красногвардейский р-н	5.33	21.3	1.2	6.06	2.42	146	178	3.4	10.8	0.45	0.11	0.068
МО, расположенные в Среднерусской лесостепной почвенной провинции												
Губкинский г.о.	5.96	49.5	8.7	5.63	3.55	124	151	2.9	11.1	0.46	0.13	0.112
Корочанский р-н	5.43	38.2	2.2	5.72	3.13	168	239	3.5	12.3	0.50	0.10	0.079
Красненский р-н	5.21	15.6	0.0	6.13	2.12	113	150	3.7	12.7	0.36	0.10	0.068
Новооскольский г.о.	5.18	38.5	3.0	5.84	2.88	181	193	3.0	12.1	0.48	0.10	0.081
Старооскольский г.о.	5.25	33.0	4.4	5.84	2.93	138	154	2.9	9.6	0.56	0.11	0.080
Чернянский р-н	4.73	35.7	6.0	5.79	2.99	158	171	3.9	9.4	0.51	0.11	0.085
МО, частично расположенные в Среднерусской и Украинской лесостепных почвенных провинциях												
Белгородский р-н	4.89	42.4	2.1	5.66	3.26	183	204	3.8	14.2	0.51	0.11	0.075
Прохоровский р-н	5.84	50.2	10.0	5.61	3.69	132	183	3.9	13.5	0.61	0.10	0.070
МО, расположенные в Украинской лесостепной почвенной провинции												
Борисовский р-н	4.30	73.0	18.9	5.39	4.02	133	173	3.0	15.1	0.72	0.09	0.082
Грайворонский г.о.	3.98	62.2	28.2	5.40	3.58	130	146	1.7	9.5	0.42	0.12	0.062
Ивнянский р-н	5.55	72.3	24.4	5.39	4.43	173	175	2.8	15.4	0.53	0.12	0.081
Краснояржуский р-н	4.47	49.2	5.6	5.61	3.29	134	127	1.9	6.7	0.81	0.15	0.052
Ракитянский р-н	5.39	64.7	13.3	5.48	3.83	174	160	3.6	13.1	0.74	0.10	0.072
Яковлевский г.о.	5.05	46.1	8.7	5.59	4.16	167	183	4.7	13.1	0.70	0.10	0.075

Таблица 3. Динамика кислотности пахотных почв

Показатель	Годы обследования (циклы)								
	1976–1983 (3-й)	1984–1989 (4-й)	1990–1994 (5-й)	1995–1999 (6-й)	2000–2004 (7-й)	2005–2009 (8-й)	2010–2014 (9-й)	2015–2018 (10-й)	
Средневзвешенная величина H_T , ммоль/100 г почвы*	н.д.	2.4	2.5	2.6	2.8	3.0	3.1	2.8	
Средневзвешенная величина pH_{KCl} **	5.8	6.0	5.9	6.0	5.9	5.9	5.8	5.9	
Распределение почв на группы по величине pH_{KCl} , % от обследованной площади	6 – нейтральные ($pH > 6.0$)	44.0	41.8	40.3	42.7	40.5	37.0	31.6	36.4
	5 – близкие к нейтральным ($pH 5.6–6.0$)	33.2	26.4	28.3	23.8	23.1	21.0	22.6	28.1
	4 – слабокислые ($pH 5.1–5.5$)	21.2	22.8	28.3	27.2	27.9	30.0	33.0	29.7
	3 – среднекислые ($pH 4.6–5.0$)	1.5	3.8	7.1	6.1	8.2	11.7	12.6	5.8
	2 – сильнокислые ($pH 4.1–4.5$)	0.1	0.3	0.5	0.2	0.3	0.3	0.2	0.0
	Всего кислых почв	22.8	26.9	35.9	33.5	36.4	42.0	45.8	35.5

*В 1-, 2-, 3-м циклах обследования данный показатель не определяли.

**В 1-, 2-м циклах обследования данный показатель не определяли.

предусматривающую компенсацию части затрат на проведение данного мероприятия, благодаря чему в 9-м цикле ежегодные объемы известкования увеличились до 36.9 тыс. га. За период 2015–2018 гг. (10-й цикл) в среднем известкование про-

водили на площади 75 тыс. га в год, что составило 30.2% от российского уровня. Основным известковым мелиорантом является дефекат. Средняя доза внесения в 9-м цикле составила 23, в 10-м – 9.4 т/га. За 2015–2018 гг. в Воронежской, Тамбов-

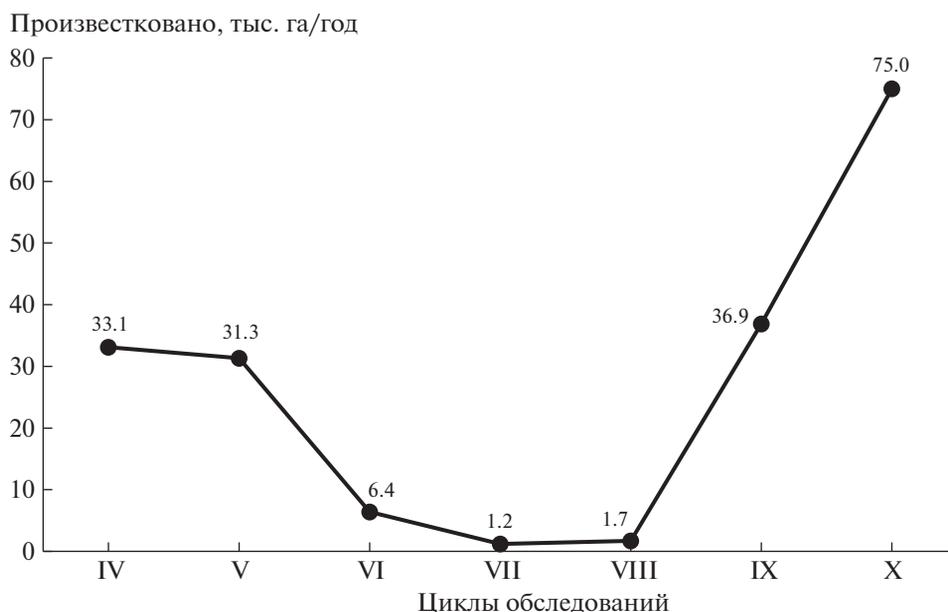


Рис. 2. Динамика известкования кислых почв, тыс. га/год.

Таблица 4. Динамика обеспеченности пахотных почв подвижными формами P_2O_5

Показатель	Годы обследования (циклы)									
	1964–1970 (1-й)	1971–1975 (2-й)	1976–1983 (3-й)	1984–1989 (4-й)	1990–1994 (5-й)	1995–1999 (6-й)	2000–2004 (7-й)	2005–2009 (8-й)	2010–2014 (9-й)	2015–2018 (10-й)
Средневзвешенное содержание, мг/кг	55	72	86	103	119	131	121	116	138	146
Распределение почв по группам обеспеченности, % от обследованной площади	6 – очень высокая (>200 мг/кг)	0.4	1.0	3.5	6.5	13.1	13.3	10.3	8.5	14.0
	5 – высокая (151–200 мг/кг)	1.0	1.9	5.1	11.2	14.4	16.4	13.5	11.8	16.9
	4 – повышенная (101–150 мг/кг)	4.7	7.6	16.4	25.5	28.1	30.8	31.1	30.4	34.6
	3 – средняя (51–100 мг/кг)	39.9	65.1	57.2	43.9	34.7	33.6	38.0	41.5	31.5
	2 – низкая (21–50 мг/кг)	46.6	22.7	14.8	10.6	7.8	5.0	6.5	7.2	2.7
	1 – очень низкая (<20 мг/кг)	7.4	1.7	3.0	2.3	1.9	0.9	0.6	0.6	0.3

ской, Курской и Липецкой обл. ежегодно известковали соответственно 7.35, 9.23, 9.38, и 20.4 тыс. га кислых почв [4].

Ожидаемым результатом реализации программы известкования стало снижение в 2015–2018 гг. доли кислых почв до 35.5%, (среднекислых – до 5.8%). Оценивая эффективность известкования, следует учитывать, что под плановое агрохимическое обследование 2015–2018 гг. попала только часть почв, произвесткованных в эти годы, и все почвы, произвесткованные в 2010–2014 гг. Часть почв, произвесткованных в течение 10-го цикла, попадет под обследование только в 11-м цикле (2019–2022 гг.).

По результатам 10-го цикла агрохимического обследования, наиболее высокая доля кислых почв отмечена в МО, полностью входящих в Украинскую лесостепную почвенную провинцию: Грайворонском городском округе – 62.2, Ракитянском – 64.7, Ивнянском – 72.3, Борисовском – 73.0% р-нах (табл. 2). В МО, входящих в степную зону, кислые почвы практически отсутствуют, и отмечено систематическое подщелачивание черноземов. За период между 3-м и 10-м циклами обследования средневзвешенная величина pH_{KCl} пахотных почв в Ровенском р-не увеличилась с 6.5 до 6.85, в Вейделевском – с 6.2 до 6.35. Гидролитическая кислотность за период с 4-го по 10-й циклы в Ровенском р-не уменьшилась с 1.6 до 0.79, в Вейделевском – с 1.7 до 1.54 ммоль/100 г почвы.

Содержание подвижных форм P_2O_5 и K_2O в почвах является одним из важнейших показателей их плодородия, поскольку эти данные используют для оптимизации фосфорного и калийного питания растений [14, 15]. В пахотных почвах Тамбовской, Липецкой, Воронежской и Курской обл. средневзвешенное содержание подвижных форм P_2O_5 составляет соответственно 91, 97, 99, 131 мг/кг, подвижных соединений K_2O – 102, 121, 123, 106 мг/кг [6].

Целинные черноземы типичный и выщелоченный содержат в слое 10–20 см соответственно 28 и 24 мг/кг подвижных форм P_2O_5 , 101 и 105 мг/кг – K_2O , что по общепринятой в агрохимической службе оценочной шкале соответствует низкому уровню обеспеченности фосфором и повышенному – калием.

По данным 1-го цикла агрохимического обследования, средневзвешенное содержание подвижных форм P_2O_5 в пахотных почвах области составляло 55 мг/кг, затем величина данного параметра постоянно увеличивалась и в 6-м цикле достигла 131 мг/кг. Далее содержание подвижных соединений P_2O_5 стало снижаться, достигнув 116 мг/кг в 8-м цикле, после чего опять стали отмечать рост данного показателя до 138 мг/кг в 9-м и до 146 мг/кг – в 10-м циклах (табл. 4).

Средневзвешенное содержание подвижных форм K_2O в 1-м цикле составляло 105 мг/кг, к 4-му циклу увеличилось до 130 мг/кг, а затем до 8-го цикла было относительно стабильным, нахо-

Таблица 5. Динамика обеспеченности пахотных почв подвижными формами K_2O

Показатель	Годы обследования (циклы)										
	1964–1970 (1-й)	1971–1975 (2-й)	1976–1983 (3-й)	1984–1989 (4-й)	1990–1994 (5-й)	1995–1999 (6-й)	2000–2004 (7-й)	2005–2009 (8-й)	2010–2014 (9-й)	2015–2018 (10-й)	
Средневзвешенное содержание, мг/кг	105	97	120	130	126	128	121	127	147	172	
Распределение почв по группам обеспеченности, % от обследованной площади	6 – очень высокая (>180 мг/кг)	3.0	2.4	9.0	15.9	12.9	12.1	9.0	11.0	20.3	33.8
	5 – высокая (121–180 мг/кг)	32.8	18.4	32.5	36.7	30.5	34.0	31.9	36.1	40.3	41.3
	4 – повышенная (81–120 мг/кг)	35.3	44.1	43.0	33.2	37.5	38.4	42.5	39.0	31.1	20.1
	3 – средняя (41–80 мг/кг)	21.1	32.9	15.0	12.1	16.7	13.5	14.5	12.5	7.6	4.6
	2 – низкая (21–40 мг/кг)	6.5	2.1	0.4	2.0	2.1	1.9	2.0	1.4	0.6	0.2
	1 – очень низкая (<20 мг/кг)	1.3	0.1	0.1	0.1	0.3	0.1	0.1	0.0	0.1	0.0

дья в интервале 121–130 мг/кг. В 9-м и 10-м циклах обследования средневзвешенное содержание подвижных соединений K_2O соответственно увеличилось до 147 и 172 мг/кг (табл. 5).

Основными антропогенными факторами, определяющими динамику содержания в почвах подвижных форм P_2O_5 и K_2O , являются уровень использования органических и минеральных удобрений и формирующийся при этом хозяйственный баланс элементов. Кроме того, на содержание подвижных форм P_2O_5 сильно влияет величина кислотности почв. При подщелачивании почв в результате известкования содержание подвижных фосфатов снижается [14].

В последние годы количество азота, поступающее с минеральными удобрениями, существенно выросло, P_2O_5 – стабилизировалось на низком уровне, а K_2O – немного снизилось. В 10-м цикле обследования P_2O_5 вносили в дозе 20.6 кг/га (18.3% от общего количества д.в.), K_2O – 16.6 кг/га (14.8%) (рис. 3). Основным источником поступления элементов стали органические удобрения, с которыми вносили $\approx 56\%$ P_2O_5 и 80% K_2O . В 9-м цикле обследования поступление P_2O_5 и K_2O с удобрениями компенсировало вынос этих элементов с товарной частью урожая соответственно на 144 и 208%, в 10-м – на 152 и 256% [16].

По результатам 10-го цикла обследования, до 17.6% увеличилась доля почв с очень высоким содержанием подвижных форм P_2O_5 , но пока преобладают почвы со средним (29.0%) и повышен-

ным (35.1%) содержанием подвижных форм этого элемента. Доля почв с очень высоким содержанием подвижных соединений K_2O возросла до 33.8%, а преобладают почвы с его высоким (41.3%) содержанием. В муниципальных образованиях области наблюдают достаточно сильную дифференциацию данных показателей, что в первую очередь связано с уровнем использования органических удобрений. В почвах Белгородского р-на отмечено наиболее высокое средневзвешенное содержание подвижных форм P_2O_5 (183 мг/кг), в почвах Ровеньского р-на – самое низкое (107 мг/кг). Самое высокое средневзвешенное содержание подвижных форм K_2O (239 мг/кг) было зафиксировано в почвах пашни Корочанского, а самое низкое (127 мг/кг) – в почвах Краснояружского р-нов.

Содержание подвижных форм серы и микроэлементов в пахотных почвах также является важным показателем плодородия, поскольку они напрямую влияют на урожайность сельскохозяйственных культур и качество растениеводческой продукции. В пахотных почвах многих регионов России отмечен дефицит подвижных форм серы и микроэлементов [17, 18]. Например, доли почв, низкообеспеченных подвижными формами марганца, цинка и меди, в Воронежской обл. соответственно составляют 86.9, 99.7 и 96.5%, в Липецкой – 35.1, 99.7 и 97.0%, в Тамбовской – 95.4, 97.9 и 100%. Недостаток подвижной серы отмечен в 89.2% обследованных почв в Тамбовской обл. и 58.0% – в Липецкой [7, 19, 20].

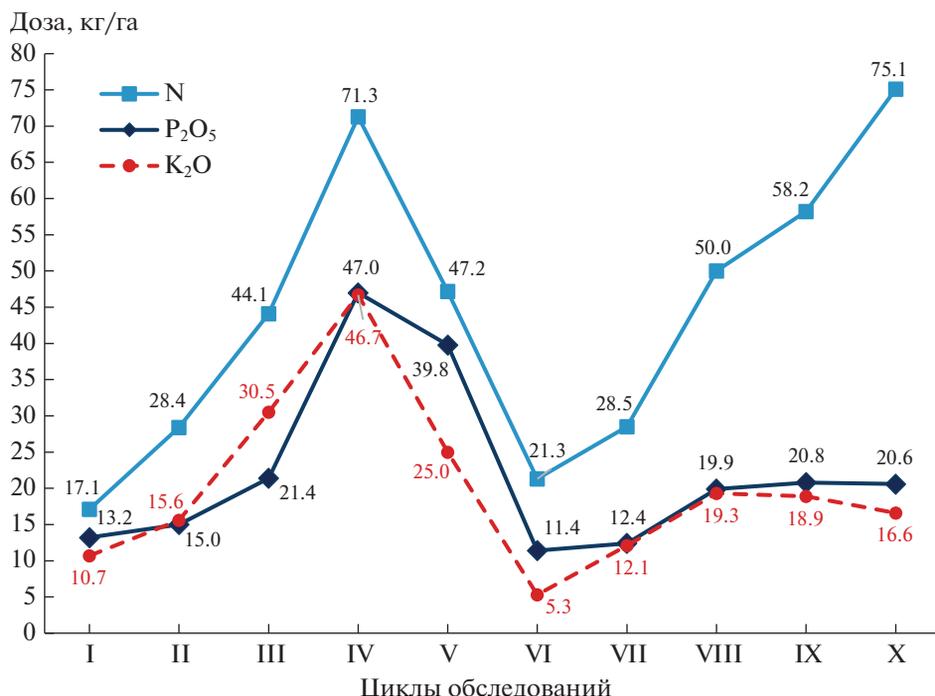


Рис. 3. Динамика поступления элементов питания с минеральными удобрениями, кг д.в./га.

В слое 10–20 см целинных черноземов типичных и выщелоченных фоновые уровни содержания подвижных форм серы соответственно составляют 4.5 и 2.9 мг/кг, цинка – 0.79 и 0.75, кобальта – 0.2 и 0.15, марганца – 10.9 и 12.8, меди – 0.24 и 0.19 мг/кг. В обоих подтипах чернозема содержание подвижных форм серы и цинка оценено как низкое, марганца – как среднее. Чернозем типичный характеризуется средней обеспеченностью подвижными формами меди и кобальта, чернозем выщелоченный – низкой обеспеченностью.

Средневзвешенное содержание подвижной серы в пахотных почвах области на максимальном уровне (6.8 мг/кг) было зафиксировано в 5-м цикле обследования, после чего резко сократилось поступление элемента в агроценозы от всех антропогенных источников, и величина данного показателя стала неуклонно снижаться, достигнув минимума (2.6 мг/кг) в 8-м цикле. По мере увеличения доз вносимых органических удобрений содержание серы в почвах возросло в 9-м цикле до 2.8, в 10-м – до 3.3 мг/кг [17]. В последнем цикле обследования установлено, что по величине данного параметра 90.4% почв относятся к категории низкообеспеченных (<6.0 мг/кг), 8.4% – среднеобеспеченных (6–12 мг/кг), 1.2% – высокообеспеченных (>12 мг/кг).

По итогам 10-го цикла мониторинга установлено, что средневзвешенное содержание в почвах

области подвижных форм марганца, цинка, меди и кобальта составляет соответственно 11.7, 0.5, 0.11, 0.078 мг/кг. К группе с низкой обеспеченностью подвижными формами кобальта (<0.15 мг/кг) относится 99.4, цинка (<2 мг/кг) – 98.7, меди (<0.2 мг/кг) – 98.2, марганца (<10 мг/кг) – 38.6% обследованных почв пашни. Для таких почв эффективно внесение микроудобрений. В районах области между средневзвешенным показателем гидролитической кислотности почв и содержанием подвижных форм цинка ($r = 0.72$) установлена сильная корреляционная связь, меди ($r = 0.33$) и марганца ($r = 0.34$) – связь средней силы, а корреляция с содержанием подвижных форм кобальта отсутствовала. Превышений предельно-допустимых концентраций (ПДК) подвижных форм микроэлементов в почвах на территории области за время наблюдений не фиксировали.

В 9-м цикле обследования средневзвешенное содержание подвижных форм цинка и кобальта было немного больше – 0.52 и 0.10 мг/кг соответственно, меди (0.11 мг/кг) – стабильно, марганца (10.3 мг/кг) – меньше, чем в 10-м цикле.

Урожайность сельскохозяйственных культур является обобщающим показателем плодородия почв. Ключевым фактором повышения продуктивности агроценозов, наряду с внедрением интенсивных сортов и гибридов сельскохозяйственных культур, использованием высокоэффектив-

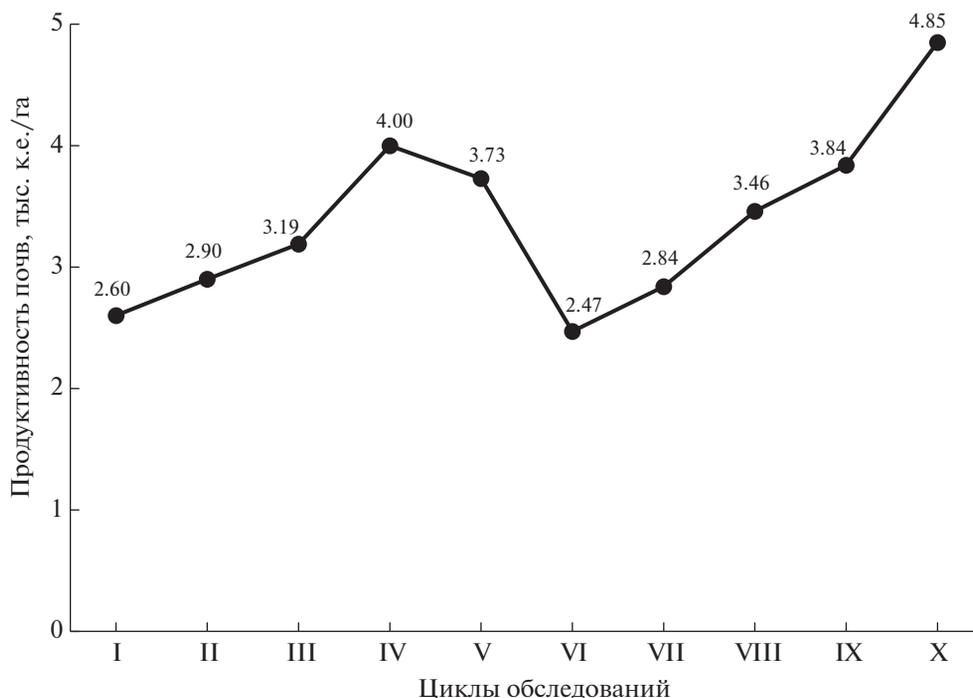
Таблица 6. Динамика применения удобрений и урожайности основных сельскохозяйственных культур

Показатель	Сельскохозяйственная культура	Годы обследования (циклы)					
		1990–1994 (5-й)	1995–1999 (6-й)	2000–2004 (7-й)	2005–2009 (8-й)	2010–2014 (9-й)	2015–2018 (10-й)
Урожайность, т/га	Сахарная свекла	21.2	17.9	23.4	21.8	36.8	44.1
	Кукуруза на зерно	2.25	2.32	2.66	3.93	4.97	6.65
	Озимая пшеница	3.23	2.23	2.68	3.30	3.54	4.50
Внесено органических удобрений, т/га	Сахарная свекла	6.6	3.6	2.7	3.1	4.5	5.9
	Кукуруза на зерно	3.7	0.8	0.2	2.0	11.1	25.1
	Озимая пшеница	15.5	8.2	4.5	2.3	4.0	4.5
Внесено минеральных удобрений, кг/га	Сахарная свекла	308	199	252	346	303	323
	Кукуруза на зерно	222	75	98	152	133	130
	Озимая пшеница	119	49	64	79	100	115

ных средств защиты растений и системы машин, является научно обоснованное использование удобрений [21]. Достигнутые в современных агротехнологиях относительно высокие уровни химической мелиорации, внесения органических и минеральных удобрений привели не только к улучшению многих агрохимических параметров почв, но и к существенному росту урожайности сельскохозяйственных культур. Например, средняя урожайность озимой пшеницы в 10-м цикле составила 4.50 т/га, что в 1.39 раза больше, чем в 5-м цикле, хотя дозы минеральных удобрений

были сопоставимыми, а доза органических удобрений в 5-м цикле была в 3.44 раза больше. Урожайность сахарной свеклы при сопоставимых дозах удобрений в 10-м цикле была в 2.1 раза больше, чем в 5-м. Урожайность кукурузы на зерно в 10-м цикле была почти в 3 раза больше, чем в 5-м, при этом дозы минеральных удобрений, внесенных под эту культуру, сократились в 1.7 раза, а дозы органических удобрений увеличились в 6.8 раза (табл. 6).

В прошлом веке наиболее высокая продуктивность 4.0 тыс. к.е./га посевной площади была до-

**Рис. 4.** Динамика продуктивности почв, тыс. к.е./га посевной площади.

стигнута в 4-м цикле. Такой результат являлся следствием реализации программы интенсивной химизации. Затем, по мере уменьшения использования удобрений, в 5-м и особенно 6-м циклах показатель снизился соответственно до 3.73 и 2.47 тыс. к.е./га. После этого фиксировали постоянный рост продуктивности, и в 10-м цикле величина параметра достигла максимума 4.85 тыс. к.е./га (рис. 4).

Установлена тесная корреляционная связь между продуктивностью почв и уровнем применения минеральных ($r = 0.80$) и органических ($r = 0.88$) удобрений. Из минеральных удобрений наиболее сильно влияет на данный показатель уровень внесения азотных ($r = 0.96$), в меньшей степени – фосфорных ($r = 0.56$) и калийных ($r = 0.48$) удобрений.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, в течение 10-го цикла агрохимического обследования (2015–2018 гг.) пахотных почв Белгородской обл. средний уровень внесения минеральных удобрений составил 112.3 кг/га, органических – 8.1 т/га, известкования – 75 тыс. га кислых почв в год. В результате средняя урожайность озимой пшеницы увеличилась до 4.50, сахарной свеклы – до 44.1, кукурузы на зерно – до 6.65 т/га, а продуктивность 1 га посевной площади достигла 4.85 тыс. к.е.

При этом в почвах установлены максимальные за всю историю наблюдений величины средневзвешенного содержания органического вещества (5.2%), подвижных форм P_2O_5 (146 мг/кг) и K_2O (172 мг/кг). Доля кислых почв снизилась до 35.5%, в том числе среднекислых – до 5.8%. Средневзвешенное содержание подвижных форм серы увеличилось до 3.3, марганца – до 11.7, меди – оставалось стабильным (0.11), цинка и кобальта – снизилось соответственно до 0.50 и 0.078 мг/кг.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Плодородие черноземов России / Под ред. Милащенко Н.З. М.: Агроконсалт, 1998. 688 с.
2. Акулов П.Г. Воспроизводство плодородия и продуктивность черноземов. М.: Колос, 1992. 223 с.
3. Щербаков А.П., Васенев И.И. Агроэкологическое состояние почв ЦЧО. Курск, 1996. 326 с.
4. <http://www.fedstat.ru/indicators/stat.do> (дата обращения 24.04.2020).
5. Каштанов А.Н., Явтушенко В.Е. Агроэкология почв склонов. М.: Колос, 1997. 240 с.
6. Чекмарев П.А. Агрохимическое состояние пахотных почв ЦЧО России // Достиж. науки и техн. АПК. 2015. № 9. С. 17–20.

7. Юмашев Н.П., Трунов И.А. Почвы Тамбовской области. Мичуринск – наукоград РФ. Мичуринск: изд-во МичуринскГАУ, 2006. 216 с.
8. Соловйченко В.Д. Плодородие и рациональное использование почв Белгородской области. Белгород: Отчий дом, 2005. 292 с.
9. Сискевич Ю.И., Никоноренков В.А., Долгих О.В. Почвы Липецкой области. Липецк: ООО “Позитив Л”, 2018. 209 с.
10. Семенов В.М., Когут Б.М. Почвенное органическое вещество. М.: ГЕОС, 2015. 223 с.
11. Хижняков А.Н., Цыганков Д.Н. Динамика изменения состояния плодородия пахотных почв Курской области за 50 лет // Достиж. науки и техн. АПК. 2014. Т. 28. № 10. С. 11–13.
12. Бадин А.Е., Логошина Т.П. Мониторинг плодородия почв Тамбовской области // Достиж. науки и техн. АПК. 2019. № 10. С. 18–21. <https://doi.org/0.24411/0235-2451-2019-11004>
13. Соколов М.С. Оздоровление почвы и биологизация земледелия – важнейшие факторы оптимизации экологического статуса агрорегиона (Белгородский опыт) // Агрохимия. 2019. № 11. С. 3–16. <https://doi.org/10.1134/S0002188119110127>
14. Иванов А.Л., Сычев В.Г., Державин Л.М. Агробиохимический цикл фосфора. М.: РАСХН, 2012. 512 с.
15. Лазарев В.И., Лазарева Р.И., Ильин Б.С., Боева Н.Н. Калийный режим чернозема типичного при его длительном сельскохозяйственном использовании в различных агроэкосистемах // Агрохимия. 2020. № 2. С. 14–19. <https://doi.org/10.31857/S000218812002009X>
16. Чекмарев П.А., Лукин С.В. Мониторинг содержания подвижных форм фосфора и калия в пахотных почвах Белгородской области // Достиж. науки и техн. АПК. 2020. Т. 34. № 2. С. 5–9. <https://doi.org/10.24411/0235-2451-2020-10201>
17. Лукин С.В., Жуйков Д.В. Мониторинг содержания серы в почвах, растениях и органических удобрениях // Земледелие. 2019. № 2. С. 10–12. <https://doi.org/10.24411/0044-3913-2019-10202>
18. Жуйков Д.В. Мониторинг содержания марганца в агроценозах // Достиж. науки и техн. АПК. 2019. Т. 33. № 3. С. 19–22. <https://doi.org/10.24411/0235-2451-2019-10304>
19. Корчагин В.И. Эколого-агрохимическая оценка плодородия почв Воронежской области: Автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. Воронеж: Воронеж ГАУ им. императора Петра I, 2017. 28 с.
20. Чекмарев П.А., Сискевич Ю.И., Боровченко Н.С. Мониторинг агрохимических показателей почв Липецкой области // Достиж. науки и техн. АПК. 2016. Т. 30. № 8. С. 9–16.
21. Кирюшин В.И. Управление плодородием почв и продуктивностью агроценозов в адаптивно-ландшафтных системах земледелия // Почвоведение. 2019. № 9. С. 1130–1139. <https://doi.org/10.1134/S0032180X19070062>

Monitoring of Fertility of Agricultural Soils in Southwestern Central Black Earth Region Of Russia

S. V. Lukin^{a,b,#}

^a Agrochemical Service Center “Belgorodsky”
ul. Shchorsa 8, Belgorod 308027, Russia

^b Belgorod State National Research University
ul. Pobedy 85, Belgorod 308015, Russia

[#] E-mail: serg.lukin2010@yandex.ru

It was summarized and analyzed the results of ten cycles of agrochemical examination conducted from 1964 to 2018 in the territory of the Belgorod region. The soil cover in the forest–steppe part of the region is mainly represented by typical and leached chernozems, in the steppe – ordinary chernozems. It was found that during the tenth cycle of agrochemical inspection (2015–2018) of arable soils, the average level of fertilizer application was 112.3 kg/ha, organic – 8.1 t/ha, liming – 75 thousand ha of acidic soils per year. As a result, the average yield of winter wheat increased to 4.50, sugar beet – up to 44.1, corn for grain – up to 6.65 t/ha, and the productivity of a hectare of sown area reached the level of 4.85 thousand feed units. In soils, the maximum values of the average weighted content of organic matter (5.2%), mobile forms of P₂O₅ (146 mg/kg) and K₂O (172 mg/kg) were established in soils over the entire history of observations. The share of acidic soils decreased to 35.5%, including medium acid soils – to 5.8%. The weighted average content of mobile forms of sulfur increased to 3.3, manganese to 11.7 mg/kg, copper remained stable at 0.11, and zinc and cobalt decreased to 0.50 and 0.078 mg/kg, respectively.

Key words: soil acidity, trace elements, soil organic matter, fertilizers, mobile forms of P₂O and K₂O, sulfur, chernozem.

УДК 631.4:332.33

БАЗА ДАННЫХ ИНДИКАТОРОВ КАЧЕСТВА ПОЧВ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ УГОДИЙ РФ

© 2021 г. В. С. Столбовой¹, А. М. Гребенников^{1,*}

¹ Почвенный институт им. В.В. Докучаева
119017 Москва, Пыжевский пер., 7, стр. 2, Россия

*E-mail: gream1956@gmail.com

Поступила в редакцию 07.07.2020 г.

После доработки 27.07.2020 г.

Принята к публикации 10.12.2020 г.

Разработана цифровая база данных индикаторов качества почв сельскохозяйственных угодий РФ (БДИК). БДИК связана с 57678 пространственных/территориальных почвенно-оценочных полигонов, созданных средствами ГИС и полностью покрывает сельскохозяйственные угодья РФ. Выбор индикаторов качества основан на требованиях модели расчета нормативной урожайности зерновых культур. Показано, что БДИК в качестве атрибутов модели “Нормативной урожайности зерновых культур”, позволяет ранжировать почвы сельскохозяйственных угодий РФ по их качеству. БДИК рекомендуется для развития государственной программы обновления нормативов охраны и рационального использования почв страны.

Ключевые слова: база данных, индикаторы качества почв, охрана и рациональное использование почв, почвы.

DOI: 10.31857/S0002188121030133

ВВЕДЕНИЕ

Почвы, наряду с атмосферным воздухом и поверхностными и грунтовыми водами, признаны одним из компонентов, контролирующих качество окружающей среды [1]. Качество воды и воздуха определяется главным образом степенью загрязнения, которое непосредственно влияет на потребление и здоровье человека и животных или на природные экосистемы. Напротив, качество почв не ограничивается степенью загрязнения, а обычно характеризуется гораздо шире, как “способность почвы функционировать в пределах границ экосистемы и землепользования для поддержания биологической продуктивности, сохранения качества окружающей среды, обеспечения здорового развития растений и живых организмов, включая человека” [2]. Сложность понятия “качество почв” определяется полифазностью почв, включающих твердую, жидкую и газообразную фазы, а также их многофункциональностью, обеспечивающей многочисленные связи между функциями почв и почвенными экосистемными услугами [3]. Действительно, качество почвы с точки зрения сельскохозяйственного производства оценивается ее способностью производить продовольствие и сырье, в то время как с точки

зрения экологии качество определяется способностью почв стимулировать рост растений, защищать водосборные бассейны путем регулирования инфильтрации и распределения осадков и предотвращения загрязнения воды и воздуха путем буферизации потенциальных загрязнителей, таких как сельскохозяйственные химикаты, органические отходы и промышленные химикаты.

Правительство РФ утвердило Постановление о проведении “регуляторной гильотины”, которая предполагает к 1 января 2021 г. провести инвентаризацию всех действующих и обязательных норм охраны и использования почв с целью оценить их соответствие современным реалиям [4]. Согласно отмеченному выше Постановлению, ревизия должна учитывать разнообразие природных особенностей территории, а также целевое назначение и разрешенный вид использования земельных участков.

Основой пересмотра норм в области охраны и рационального использования почв выступает принятый МСХ РФ в 2014 г. и МПР и Экологии РФ в 2019 г. “Единый государственный реестр почвенных ресурсов России” (ЕГРПР) [5]. Отметим, что ЕГРПР является официальным почвенным информационным ресурсом страны новой

цифровой генерации. Очевидно, что одним из направлений обновления существующих стандартов и норм использования и охраны почв является приведение их в соответствие с современной государственной почвенной информационной платформой ЕГРПР.

Обновление действующих и обязательных норм охраны и использования почв в рамках “регуляторной гильотины” должно быть гармонизировано с другими действующими государственными актами в отношении сельскохозяйственных земель. В частности, обновленные нормы должны быть согласованы с практикой государственной кадастровой оценки, которая должна осуществляться на основе ЕГРПР и модели расчета нормативной урожайности сельскохозяйственной культуры [6]. Обновленные нормы также должны отвечать требованиям мониторинга сельскохозяйственных земель, таким как использование современных информационных технологий, геоинформационных и программных средств [7].

Цель работы – описание цифровой базы данных индикаторов качества почв и демонстрация ее использования для ранжирования и построения карт качества почв сельскохозяйственных угодий РФ.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Индикаторы качества почв являются частью цифровой базы пространственно-распределенных данных “Почвы сельскохозяйственных угодий РФ” (БДСХ), которая разработана Почвенным институтом им. В.В. Докучаева. БДСХ является новой генерацией интегрированных отраслевых баз данных, имеющих целью обеспечение устойчивости систем сельскохозяйственного производства в части рационального использования и охраны почв. Семантическая часть БДСХ содержит агрегированные на платформе ЕГРПР разнообразные почвенные характеристики, включая данные IV-го тура крупномасштабных (1:10 000 и 1:25 000) почвенных обследований и более поздние данные мониторинга земель сельскохозяйственного назначения. В дополнение к почвенным данным, БДСХ интегрирует агроклиматические параметры, природно-сельскохозяйственные условия и статистические данные, характеризующие сельскохозяйственную деятельность на уровне административных районов РФ. Геометрическая часть БДСХ состоит из 57 678 пространственных (территориальных) почвенно-оценочных полигонов, генерированных в среде QGIS.

Выбор индикаторов качества почв определяется требованиями модели расчета нормативной урожайности сельскохозяйственной культуры (МРНУ) [8]. МРНУ разработана на основе анализа эмпирических данных сельскохозяйственных опытов, проведенных на 2500 госсортоучастках РФ. В результате были выявлены статистически значимые характеристики природных условий и показателей почв в совокупности, контролирующей продукцию основных сельскохозяйственных культур [9]. Рассматриваемая МРНУ утверждена МСХ РФ и рекомендована в качестве практических руководств по оценке земель, включая методику по классификации и пригодности земель для использования в сельском хозяйстве, кадастровую оценку земель сельскохозяйственного назначения [8] и др.

МРНУ зерновых культур представлена следующей формулой:

$$U_n = 33.2 \times 1.4 \times \frac{АП}{10} \times K_1 \times K_2 \times K_3 \times K_4, \quad (1)$$

где U_n – нормативная урожайность зерновых культур, ц/га; $АП$ – величина местного агроклиматического потенциала для зерновых культур; 10.0 – базовая величина $АП$; 33.2 – нормативная урожайность зерновых культур на эталонной почве, полученная при применении среднего уровня зональных технологий при базовой величине $АП$ (10.0), ц/га; 1.4 – коэффициент пересчета на уровень урожайности при интенсивной технологии возделывания; K_1 – K_4 – поправочные коэффициенты на показатели качества почв: K_1 – содержание гумуса в пахотном слое, K_2 – мощность гумусового горизонта, K_3 – содержание физической глины в пахотном слое, K_4 – негативные свойства почв.

МРНУ рассчитывает урожайность зерновых культур относительно таковой эталонной почвы. В качестве последней выбран чернозем, сформированный на лессе с содержанием 4% гумуса в пахотном слое, имеющий гумусовый горизонт мощностью 50 см и содержание физической глины 50%. Почвообразующий лесс обладает оптимальными тепловыми и водно-физическими свойствами (водопроницаемость 0.1–1.0 м/сут) и хорошим внутренним дренажом. Эталонный чернозем не имеет негативных свойств, таких как эродированность, избыточное увлажнение, уплотнение, засоление и др.

В перечень индикаторов качества почв, наряду с термо- и влагообеспеченностью, входящими в агроклиматический потенциал, включены консервативные характеристики почв, изменение которых затруднено или совсем не регулируется

хозяйственной деятельностью. Агрохимические показатели плодородия почв, такие как содержание элементов питания растений, кислотность, состав поглощенных катионов и пр., обладают высокой пространственной волатильностью в пределах отдельных производственных участков. Эти показатели регулируются внесением удобрений и мелиорантов и в перечень индикаторов качества почв не включены. Также не включены свойства, проявление которых препятствует использованию почв в земледелии, например, содержание загрязняющих и радиоактивных веществ в количествах, превышающих допустимые нормы.

В число индикаторов качества почв входят: 1 – агроклиматический потенциал, 2 – содержание гумуса в пахотном слое по Тюрину, 3 – мощность гумусового горизонта (в дерново-подзолистых пахотных почвах соответствует мощности горизонта А1 или Апах, в серых лесных и бурых лесных пахотных почвах соответствует толщине поверхностного слоя, занимаемого горизонтами А1 и А1А2, в пахотных черноземах, лугово-черноземных и каштановых почвах включает горизонты А и В1), 4 – содержание физической глины в пахотном слое, 5 – суммарное процентное содержание фракций мелкозема размером <0.01 мм (%), 6 – легкий гранулометрический состав (преобладает песчаная фракция, частицы 0.05–1.0 мм), 7 – засоление почвы (содержание легкорастворимых солей), 8 – солонцеватость (содержание обменного натрия в почвенном поглощающем комплексе >5% от емкости обмена), 9 – переувлажненные минеральные почвы (содержание влаги превышает 85% от предельной полевой влагоемкости при тяжелом гранулометрическом составе и 95% – при легком гранулометрическом составе), 10 – водная эрозия (вынос, перенос и переотложение почвенной массы), 11 – каменистость и щебнистость (содержание в почве фракций, размер частиц которой превышает 3 мм и 1–3 мм соответственно), 12 – карбонатность (содержание в почве карбоната кальция в количестве, превышающем 2%), 13 – выщелоченность черноземных почв (промытость горизонтов (А+АВ) от карбонатов и других растворимых веществ), 14 – оподзоленность черноземов (наличие осветленной, мучнисто-белесой присыпки, покрывающей структурные отдельности в нижней части горизонта А и в верхней части переходного горизонта В; выщелоченность почвенного профиля от карбонатов (и других растворимых веществ) на глубину, превышающую 1.0–1.5 м) [10–12].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В результате выполненных работ разработана база данных пространственно-распределенных индикаторов качества почв (БДИКП). Полное описание состава, формата и источников данных приведено в табл. 1.

Рассмотренная выше МРНУ соответствует требованиям [1], предъявляемым к оценке качества почв, которая должна включать, наряду с показателями почв, также характеристику разнообразия природных особенностей и целевое использование земель. Разработанная база пространственно-распределенных индикаторов качества пахотных почв, обработанная средствами МРНУ, демонстрирует способность ранжировать качество почв и построить карту его географического размещения по 57 678 пространственных почвенно-оценочных полигонов (рис. 1).

Анализ карты качества почв сельскохозяйственных угодий показал, что площадь лучшего качества черноземных почв с нормативной урожайностью, превышающей 40 ц/га, составляет ≈10% площади пахотных земель. Более 74% площади почв, представленных черноземами оподзоленными и выщелоченными в северной части и черноземами южными в южной части ареала сельскохозяйственных угодий РФ, характеризуются выше среднего и средним качеством для выращивания зерновых – соответственно 30–40 и 20–30 ц/га. Площади почв ниже среднего качества, включающие в северной части дерново-подзолистые и светло-серые почвы и каштановые почвы в южной части ареала пахотных земель РФ с нормативной урожайностью зерновых 10–20 ц/га занимают ≈14%. Почвы низкого качества (нормативная урожайность <10 ц/га) занимают ≈10% площади пашни страны. Анализ вклада (относительной значимости) отдельных индикаторов в географическое размещение земельных угодий по качеству почв контролируется, в значительной мере, неблагоприятными особенностями агроклиматических условий. Вместе с тем определенное влияние на снижение качества пахотных почв оказывает в отдельных регионах распределение индикаторов негативных показателей.

МРНУ и использованные индикаторы качества почв, в принципе, соответствуют аналогичным моделям, применяемым в США, ЕС, Канаде, Китае и др., включая подход ФАО “Глобальное агроэкологическое зонирование [10]. В основе МРНУ, так же как и других моделей, лежит использование специфических для каждой культуры зависимостей (рейтингов) “фактор/свойство/урожай” и их агрегация на основе

Таблица 1. Описание метаданных БДИКП земель сельскохозяйственного назначения РФ

№ поля	Название поля	Формат данных	Описание данных	Источник данных	Примечание
1	№ записи	Целое	Номер записи в базе данных	Формируется при создании базы данных	Индексированное поле
2	Зона	Короткое целое	Индекс природно-сельскохозяйственной зоны		Карта природно-сельскохозяйственного районирования земельного фонда СССР
3	Провинция	Короткое целое	Индекс природно-сельскохозяйственной провинции		
4	Административный район	Текстовое	Наименование муниципального района	Карта административно-территориального деления РФ	
5	Субъект РФ	Текстовое	Наименование субъекта Российской Федерации		
6	SOIL ID	Целое	Уникальный индекс почвы ЕГРПР	Единый государственный реестр почвенных ресурсов	
7	Почва реестра	Текстовое	Наименование почвы в ЕГРПР		
8	Площадь, га	Целое	Площадь почвы ЕГРПР в административном районе, га	Цифровая почвенная карта России М 1:2500000	
9	Номер ГОСКОМ-ЗЕМ	Целое	Шифр почвы в данных РосНИИЗемпроект	Данные ГОСКОМЗЕМ	
10	Почва БД ГОСКОМ-ЗЕМ	Текстовое	Наименование почвы в данных РосНИИЗемпроект		
11	АП	Десятичное	Величина агроэкологического потенциала	Карта агроклиматического районирования	Справочник агроклиматического оценочного зонирования Российской Федерации (2010)
12	Содержание гумуса в горизонте Ап, %	Десятичное	Содержание гумуса в пахотном горизонте, %	Данные ГОСКОМЗЕМ	Данные IV тура обследования
13	Мощность гумусового горизонта Ап + А1, см	Целое	Глубина залегания нижней границы пахотного горизонта, см		
14	Содержание физической глины в Ап, %	Целое	Содержание физической глины в пахотном горизонте, %		
15	Легкий гранулометрический состав	Десятичное	Поправочный коэффициент на супесчано-песчаный состав		
16	Засоление	Десятичное	Поправочный коэффициент на степень засоления		
17	Солонцеватость	Десятичное	Поправочный коэффициент на степень солонцеватости		

Таблица 1. Окончание

№ поля	Название поля	Формат данных	Описание данных	Источник данных	Примечание		
18	Мощность мелкоземистого слоя	Десятичное	Поправочный коэффициент на мощность мелкозема	Данные ГОСКОМЗЕМ	Данные IV тура обследования		
19	Избыточное увлажнение	Десятичное	Поправочный коэффициент на степень оглеения лесной зоны и луговатость в лесостепной и степной зонах				
20	Выщелоченность	Десятичное	Поправочный коэффициент на снижение плодородия черноземов за счет выщелачивания				
21	Водная эрозия	Десятичное	Поправочный коэффициент на степень эродированности				
22	Оподзоленность	Десятичное	Поправочный коэффициент на присутствие степени оподзоленности				
23	Каменистость	Десятичное	Поправочный коэффициент на степень каменистости				
24	Щебнистость	Десятичное	Поправочный коэффициент на степень щебнистости				
25	Карбонатность	Десятичное	Поправочный коэффициент на степень карбонатности				
26	Уплотнение гумусовых горизонтов	Десятичное	Поправочный коэффициент на степень уплотнения гумусового горизонта				
27	К1	Десятичное	Поправочный коэффициент на содержание гумуса			Устанавливается по материалам базы данных	
28	К2	Десятичное	Поправочный коэффициент на мощность гумусового горизонта				
30	К3	Десятичное	Поправочный коэффициент на содержание физической глины				
31	К4	Десятичное	Поправочный коэффициент на негативные показатели				
32	Ун	Десятичное	Нормативная урожайность зерновых культур, ц/га			Вычисляемое поле	Произведение поправочных коэффициентов полей 15–26
							Рассчитывается по формуле [1]

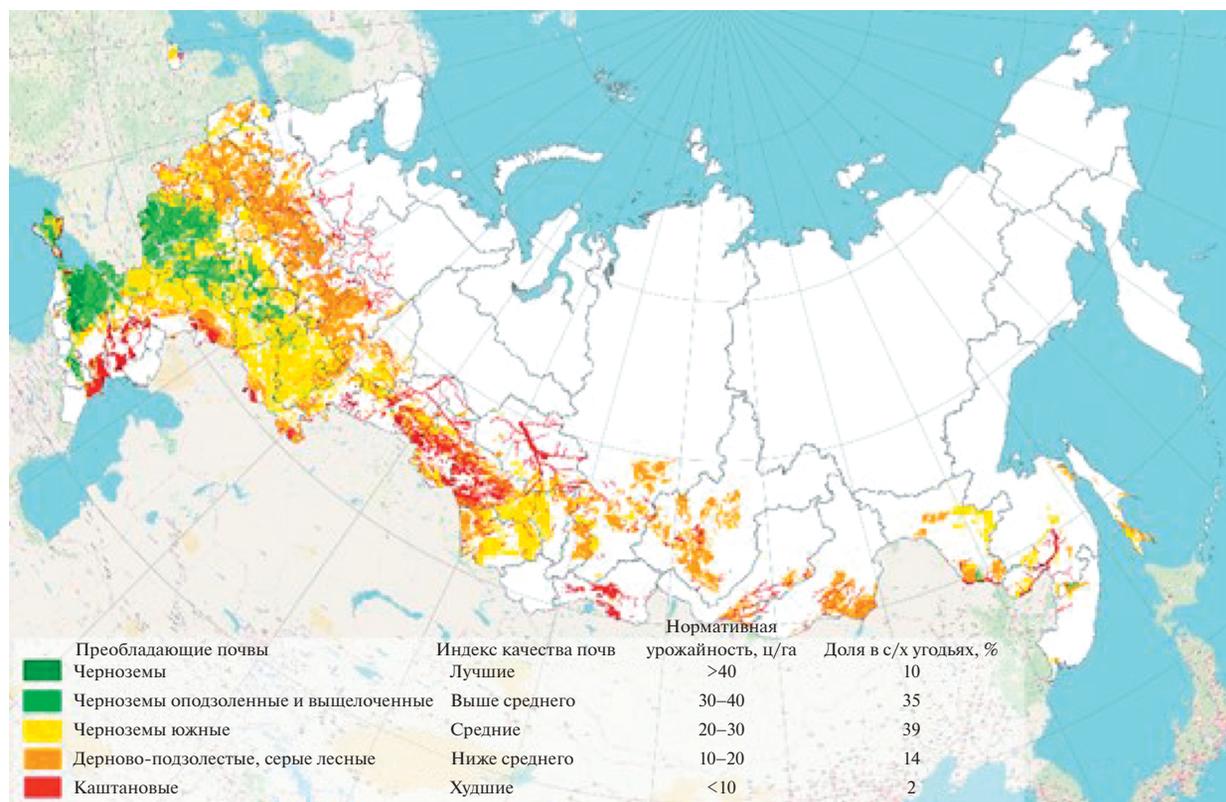


Рис. 1. Качество почв сельскохозяйственных угодий РФ.

какого-либо интегрирующего алгоритма. Этот вывод важен с позиции понимания того, что рассмотренный в статье подход, реализованный в МРНУ, находится на современном уровне развития цифровых информационных технологий в области анализа качества почв сельскохозяйственных угодий.

ВЫВОДЫ

1. Разработана цифровая база данных пространственно-распределенных индикаторов качества почв сельскохозяйственных угодий РФ (БДИКП). Выбор индикаторов качества почв соответствует требованиям модели расчета нормативной урожайности сельскохозяйственной культуры. БДИКП связана с 57 678 пространственных/территориальных почвенно-оценочных полигонов, созданных на основе ГИС-технологий.

2. БДИКП соответствует требованиям, предъявляемым к оценке качества почв, которая должна включать показателями почв, характеристику разнообразия природных особенностей и целевое использование земель. БДИКП также отвечает целям проводимой правительством РФ политики

“регуляторной гильотины”, в части приведения в соответствие норм охраны и рационального использования почв. Кроме того, БДИКП является частью определения качества почв в целях кадастровой оценки земель сельскохозяйственного назначения.

3. БДИКП, интегрированная с моделью расчета нормативной урожайности сельскохозяйственной культуры, позволяет ранжировать качество почв и построить карту его географического размещения, учитывая данные 57678 пространственных почвенно-оценочных полигонов сельскохозяйственных земель РФ.

4. Показано, что площадь черноземных почв лучшего качества, с нормативной урожайностью зерновых культур, превышающей 40 ц/га, составляет $\approx 10\%$ площади пахотных почв. Более 74% площади пахотных почв, представленных черноземами оподзоленными и выщелоченными в северной части и черноземами южными в южной части ареала сельскохозяйственных угодий РФ, характеризуются выше среднего и средним качеством для выращивания зерновых с урожайностью соответственно 30–40 и 20–30 ц/га.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Постановление Правительства РФ от 13 февраля 2019 г. № 149 “О разработке, установлении и пересмотре нормативов качества окружающей среды для химических и физических показателей состояния окружающей среды, а также об утверждении нормативных документов в области охраны окружающей среды, устанавливающих технологические показатели наилучших доступных технологий”.
2. *Bunemann E.K., Bongiorno G., Bai Z.G., Creamer R.E., De Deyn G., de Goede R.* Soil quality – a critical review // *Soil Biol. Biochem.* 2018. V. 120. P. 105–125. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2018.01.030>
3. *Nortcliff S.* Standardization of soil quality attributes // *Agricult. Ecosyst. Environ.* 2002. V. 88 (2). P. 161–168.
4. Постановление Правительства Российской Федерации от 30.01.2020 № 65 “О признании утратившими силу нормативных правовых актов и отдельных положений нормативных правовых актов Правительства Российской Федерации, об отмене нормативных правовых актов федеральных органов исполнительной власти, содержащих обязательные требования, соблюдение которых оценивается при проведении федерального государственного контроля за деятельностью аккредитованных лиц”.
5. Единый государственный реестр почвенных ресурсов России. Верс. 1.0. Коллектив. монограф. М.: Почвенный институт им. В.В. Докучаева, 2014. 768 с.
6. Методические указания о проведении государственной кадастровой оценкб. Приказ МЭР РФ № 226 от 12 мая 2017 года.
7. Концепция развития государственного мониторинга земель сельскохозяйственного назначения и земель, используемых для ведения сельского хозяйства в составе земель иных категорий, и формирования государственных информационных ресурсов об этих землях на период до 2020 г. Распоряжение Правительства Российской Федерации от 30.07.2010 № 1292-р.
8. *Сапожников П.М., Носов С.И.* Государственная кадастровая оценка земель сельскохозяйственного назначения Российской Федерации. М.: ООО “НИПКЦ ВОСХОД–А”, 2012. 160 с.
9. Оценка земель Краснодарского края. Отчет Кубаньгипрозем. Т. 2. Кн. 1. Оценочные шкалы почв по продуктивности. Краснодар, 1989 (рукопись).
10. ИАА/FAO, 2012. Global Agro-ecological Zones (GAEZ v3.0). ИАА, Laxenburg, Austria and FAO, Rome, Italy.
11. Методические рекомендации по оценке качества и классификации земель по их пригодности для использования в сельском хозяйстве. Утв. Федеральной службой земельного кадастра России, М., 2003. 169 с.
12. Качество почв сельскохозяйственных угодий Российской Федерации (для кадастровой оценки сельскохозяйственных земель). Коллект. монограф. Верс. 1.0 / Под ред. Иванова А.Л. М.: Почв. ин-т им. В.В. Докучаева, 2019. 681 с.

**Database Of Soil Quality Indicators
of Agricultural Land in the Russian Federation**

V. S. Stolbovoy^a and A. M. Grebennikov^{a,*}

^a *Dokuchaev Soil Science Institute
per. Pyzhevskii 7, Moscow 119017, Russia*

[#] *E-mail: gream1956@gmail.com*

The study demonstrates a new database of soil quality indicators (DBSQI) of agricultural lands in the Russian Federation (RF). The DBSQI forms attributes for 57 678 spatial soil-valuation units created by GIS covering entire agricultural land of the RF. The list of the quality indicators matches requirements of the Grain equivalent model allowing ranking the soils of agricultural lands around the country by their quality. The DBSQI supports the state program for the development of modern standards for the protection and rational use of soils in the RF.

Key words: database, soil quality indicators, soil conservation and rational use, soil.

УДК 631.51.01:631.452:631.445.4

ВЛИЯНИЕ МИНИМИЗАЦИИ ОСНОВНОЙ ОБРАБОТКИ ПОЧВЫ НА ПЛОДОРОДИЕ ЧЕРНОЗЕМА ТИПИЧНОГО

© 2021 г. Д. В. Дубовик^{1,*}, Е. В. Дубовик¹, А. В. Шумаков¹, Б. С. Ильин¹

¹ Курский федеральный аграрный научный центр
305021 Курск, ул. Карла Маркса, 70б, Россия

*E-mail: dubovikdm@yandex.ru

Поступила в редакцию 27.04.2020 г.

После доработки 19.06.2020 г.

Принята к публикации 10.12.2020 г.

Изучено влияние приемов основной обработки почвы (вспашки, плоскорезной обработки, поверхностной обработки, прямого посева (No-till)) на показатели почвенного плодородия чернозема типичного Курской обл. Установлено, что при минимизации основной обработки проявлялась дифференциация плодородия почвы по глубине обрабатываемого слоя. При вспашке в слое 0–10 см отмечено снижение содержания гумуса, щелочногидролизуемого азота, подвижных форм фосфора и калия по сравнению со слоем 10–20 см. При использовании безотвальных способов обработки почвы в слое 0–10 см происходило увеличение содержания гумуса, азота, фосфора и калия относительно слоя 10–20 см.

Ключевые слова: приемы основной обработки, плодородие почвы, чернозем типичный.

DOI: 10.31857/S0002188121030066

ВВЕДЕНИЕ

В связи с интенсификацией сельскохозяйственного производства довольно остро встает вопрос не только о сокращении материальных затрат, но и о сохранении почвенного плодородия. Одним из путей решения этой проблемы многочисленные исследователи считают минимизацию механической обработки почвы, вплоть до ее крайней степени проявления – полном отказе от обработок (технологии No-till) или прямом посеве [1–3]. Отказ от обработки почвы позволяет сохранить продуктивную влагу, снизить развитие эрозионных процессов, особенно дефляции, сохранить органическое вещество почвы [4–6]. Вместе с тем при использовании прямого посева отмечено увеличение количества сорняков, распространение болезней и вредителей [7–10], что ведет к увеличению пестицидной нагрузки. Также наблюдают уплотнение почвы, повышение содержания почвенных агрегатов крупного размера (>10 мм) [11, 12].

Особо стоит проблема изменения почвенного плодородия при переходе на минимальные системы обработки. Например, при минимизации обработки почвы отмечено усиление дефицита минерального азота [13], снижение количества подвижного фосфора и калия [14], изменение азотного и углеродного режимов почвы [15].

В связи с этим проблема минимизации обработки почвы нуждается в глубоком и детальном изучении [16].

Актуальность исследований обусловлена необходимостью формирования систем земледелия нового поколения, обеспечивающих сохранение плодородия почв, эффективное использование природного потенциала агроландшафтов и антропогенных ресурсов, производство заданного количества и качества растениеводческой продукции. Цель работы – изучение влияния приемов основной обработки почвы на показатели почвенного плодородия чернозема типичного.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследование проведено в полевом стационарном опыте Курского федерального аграрного научного центра (Курская обл., Курский р-н, п. Черемушки) в 2015–2019 гг. в четырехпольном плодосменном севообороте. Севооборот развернут в пространстве всеми 4-мя полями со следующим чередованием культур: горохоовсяная смесь – озимая пшеница – кукуруза – ячмень.

Схема опыта включала следующие варианты: вспашка с оборотом пласта (20–22 см), комбинированная обработка (дискование 8–10 см + чизель 20–22 см), поверхностная обработка (диско-

Таблица 1. Содержание гумуса и щелочногидролизуемого азота в черноземе типичном

Прием основной обработки почвы	Глубина, см	Гумус, %	N _{щел. гидр.} , мг/100 г
Вспашка	0–10	5.38	14.9
	10–20	5.54	15.3
Комбинированная	0–10	5.60	14.4
	10–20	5.21	14.3
Поверхностная	0–10	5.67	15.3
	10–20	5.35	15.1
Без обработок (No-till)	0–10	5.58	14.7
	10–20	5.34	14.6
обработка глубина		0.21	0.36
		0.19	0.15

Таблица 2. Кислотно-основные свойства почвы

Прием основной обработки почвы	Глубина, см	pH _{KCl}	H _r	Ca ²⁺	Mg ²⁺
			мг-экв/100 г почвы		
Вспашка	0–10	5.8	3.32	22.2	4.5
	10–20	5.3	4.62	21.8	4.5
Комбини- рованная	0–10	5.5	4.14	23.1	4.5
	10–20	5.3	4.64	22.7	4.5
Поверхностная	0–10	5.5	3.64	22.2	4.5
	10–20	5.4	4.10	22.7	4.1
Без обработок (No-till)	0–10	5.2	4.92	21.8	4.5
	10–20	5.3	4.60	22.7	4.5
HCP ₀₅ обработка глубина		0.3	0.68	0.8	0.5
		0.2	0.43	0.7	0.3

вание) до 8 см, без обработки (прямой посев – No-till). Вариант без обработки (или No-till) осуществляли без какой-либо обработки почвы, сеялкой прямого посева “Дон 114”. Резак прямого посева (колтер) сеялки обеспечивал прорезание пожнивных остатков, создание борозды на линии посева. Двухдисковый сошник укладывал семена на установленную глубину. Приемы обработки почвы применяли систематически в каждом варианте.

Варианты в полевом опыте размещали систематически в один ярус. Площадь посевной делянки 6000 м² (60 × 100 м), повторность трехкратная. Отбор проб проводили ежегодно после уборки озимой пшеницы.

Технология возделывания озимой пшеницы – общепринятая для региона. Технология возделывания в вариантах не различалась, за исключени-

ем основной обработки почвы. Возделывали сорт озимой пшеницы Немчиновская-17. Норма высева – 5 млн всхожих семян/га. Основное внесение удобрений не проводили, т.к. это могло изменить физико-химические свойства почвы, урожайность культур севооборота, зависящие непосредственно от влияния обработки почвы. Для поддержания культур севооборота удобрения вносили в весеннюю подкормку (N_{аа}150). Были также проведены обработки посевов гербицидами, фунгицидами и инсектицидами.

Почва опытного участка представлена черноземом типичным мощным тяжелосуглинистым. Среднее содержание гумуса в пахотном слое составляло 5.40–5.51%, подвижного фосфора и обменного калия (по Чирикову) – 15.7–19.3 и 10.8–11.7 мг/100 почвы соответственно. Реакция почвенной среды – слабо кислая (pH 5.3–5.6).

Агрохимические показатели плодородия почвы определяли по следующим методикам: общий гумус – ГОСТ 26213-91, азот щелочногидролизуемый – по Корнфилду, подвижный фосфор и калий – по Чирикову (ГОСТ 26204-91), обменный кальций и магний – ГОСТ 26487-85, pH_{KCl} – ГОСТ 26483-85, гидролитическая кислотность – ГОСТ 26212-91, нитратный азот – ГОСТ 26488-85, степень подвижности фосфора и калия – по [17]. Статистическую обработку полученных данных проводили с использованием программ Microsoft Excel, Statistica.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Изученные приемы основной обработки почвы оказали влияние на изменение ряда показателей почвенного плодородия. Например, в слое почвы 0–10 см наименьшее содержание гумуса отмечено в варианте с отвальной обработкой – 5.38% (табл. 1). Наиболее высокое содержание гумуса в верхнем слое почвы было в варианте с поверхностной обработкой – 5.67%.

В нижележащем слое почвы 10–20 см выявлена обратная тенденция. При использовании отвальной обработки содержание гумуса увеличивалось по сравнению с остальными изученными приемами обработки почвы. Очевидно, что такая тенденция к распределению содержания гумуса в почве связана с тем, что при отвальной обработке (вспашке), растительные остатки заделывают в более глубокие слои почвы, а в верхнем слое процессы минерализации гумуса происходят интенсивнее.

Распределение содержания щелочногидролизуемого азота в почве было аналогично содержанию гумуса, т.к. эти показатели связаны друг с

Таблица 3. Фосфатно-калийный режим чернозема типичного

Прием основной обработки почвы	Глубина, см	P ₂ O ₅	K ₂ O	Степень подвижности	
				P ₂ O ₅	K ₂ O
		мг/100 г		мг/л	
Вспашка	0–10	15.0	10.8	0.11	3.3
	10–20	16.4	12.6	0.18	4.3
Комбинированная	0–10	18.1	14.1	0.21	4.4
	10–20	14.9	8.8	0.13	2.6
Поверхностная	0–10	17.1	13.2	0.21	4.1
	10–20	15.6	8.4	0.14	2.5
Без обработок (No-till)	0–10	20.4	14.2	0.41	5.2
	10–20	18.1	8.8	0.18	2.7
HCP ₀₅ обработка глубина		2.5	2.9	0.18	1.6
		1.2	1.8	0.09	1.0

другом и находятся в прямой тесной зависимости ($r = 0.45$).

Уровень кислотности почвы значительно зависит от приема основной обработки почвы, особенно в верхнем слое почвы (табл. 2). Например, в слое почвы 0–10 см наименее кислой была почва при использовании в качестве приема основной обработки вспашки – рН 5.8 (близкий к нейтральному [17]).

Наиболее кислой реакцией почвенного раствора характеризовался слой 0–10 см при прямом посеве (No-till) – рН 5.2 (слабо кислый). Очевидно, это было связано с более высоким содержанием CO₂ в почве, выделяемом при разложении растительных остатков, сконцентрированных на поверхности почвы. При использовании комбинированной и поверхностной обработок почвы рН_{KCl} в слое 0–10 см составил 5.5 ед. Слой 10–20 см характеризовался практически одинаковыми показателями рН во всех вариантах приемов обработки почвы. Характер изменения гидролитической кислотности почвы был аналогичен показателям рН, т.к. между ними существует обратная прямая зависимость ($r = -0.95$).

Содержание обменного кальция и магния незначительно различалось в зависимости от глубины слоя почвы и приемов основной обработки. Можно отметить тенденцию к снижению содержания кальция при увеличении уровня кислотности чернозема типичного, что объясняется повышением его растворимости в кислой почве и соответственно большей доступностью для потребления растениями.

При изучении фосфатного режима чернозема типичного в зависимости от приемов основной

обработки почвы установлены следующие закономерности. В слое 0–10 см при применении отвальной вспашки отмечено наименьшее содержание подвижных форм фосфора, чем в других вариантах с безотвальными обработками (табл. 3). Наиболее высокое содержание подвижного фосфора было в слое 0–10 см почвы при прямом посеве (No-till) – 20.4 мг/100 г. Также в этом варианте в верхнем слое почвы отмечена наибольшая степень подвижности фосфора – 0.410 мг/л.

В слое 10–20 см почвы в варианте с отвальной обработкой (при вспашке) отмечен рост содержания подвижных форм фосфора на 1.4 мг/100 г по сравнению с верхним слоем. Также происходило повышение степени подвижности этого элемента. При использовании других изученных приемов обработки почвы наблюдали снижение содержания подвижных форм фосфора и калия в слое 10–20 см по сравнению с верхним слоем почвы. При этом наиболее высокое содержание фосфора выявлено в варианте с прямым посевом (No-till) – 18.1 мг/100 г. Также в этом варианте отмечена наиболее высокая степень подвижности фосфора. При использовании других изученных приемов обработки почвы происходило снижение содержания фосфора в слое 10–20 см по сравнению с верхним слоем почвы на 1.5–3.2 мг/100 г.

Установлено, что содержание подвижного фосфора в почве тесно связано со степенью его подвижности ($r = 0.92$). В свою очередь степень подвижности элемента обусловлена наличием в почве катионов кальция и реакцией почвенного раствора. Известно, что преобладающим типом фосфатов в почвенном растворе при кислом рН является монофосфат (PO₄³⁻), и при подкислении

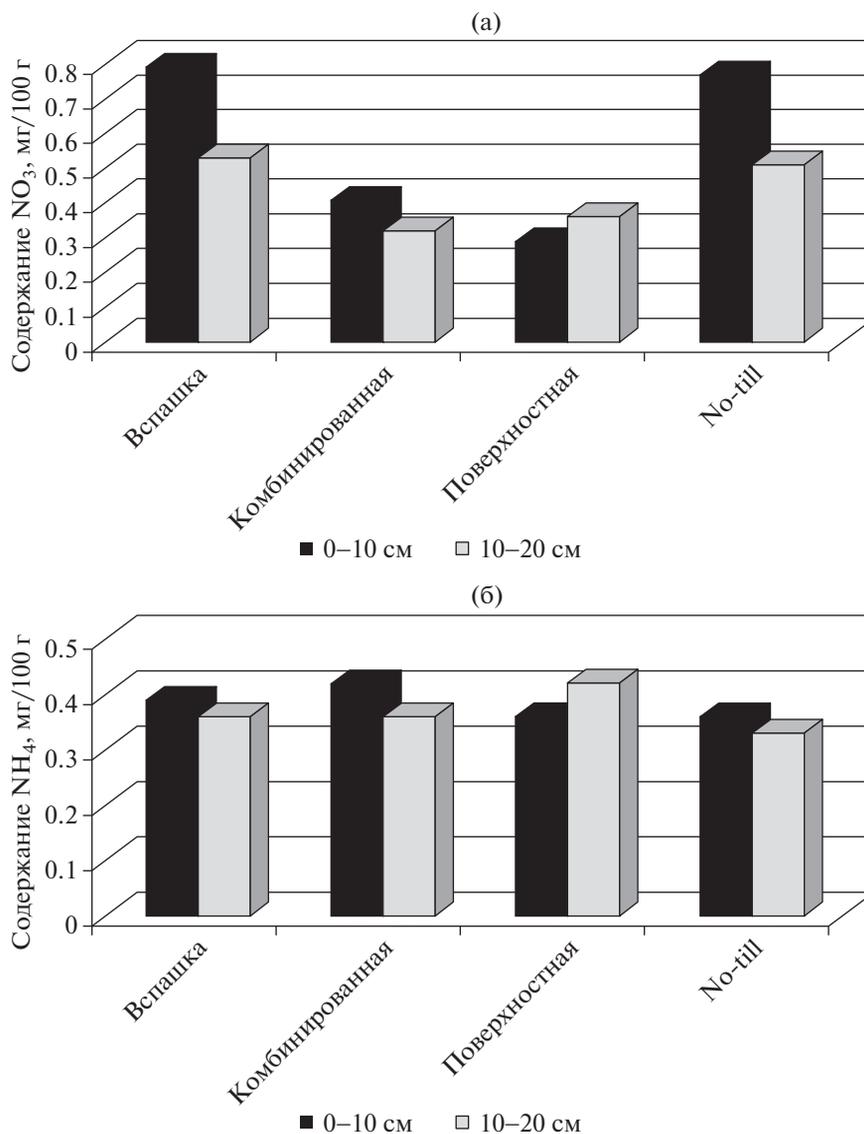


Рис. 1. Влияние приемов обработки почвы на содержание в почве: (а) – нитратного азота (HCP_{05} : обработка – 0.25, глубина – 0.15 мг/100 г почвы), (б) – аммонийного азота (HCP_{05} : обработка – 0.11, глубина – 0.08 мг/100 г почвы).

почвы подвижность фосфатов увеличивается. Это подтверждено в наших исследованиях наличием обратной корреляционной связи между степенью подвижности фосфора и величиной pH ($r = -0.52$), а также с содержанием обменного кальция ($r = -0.43$).

Характер изменения калийного режима чернозема типичного в зависимости от использованных приемов основной обработки почвы имел следующие закономерности. Например, в слое 0–10 см при вспашке отмечено снижение содержания подвижного калия на 2.4–3.4 мг/100 г, по сравнению с вариантами с другими обработками. Наиболее высокое содержание подвижного калия выявлено в слое 0–10 см почвы при прямом

посеве (No-till) – 14.2 мг/100 г. Также в этом варианте в верхнем слое почвы отмечена наибольшая степень подвижности калия – 5.2 мг/л.

В слое 10–20 см почвы в варианте с отвальной обработкой (при вспашке) отмечали рост содержания подвижных форм калия на 1.8 мг/100 г по сравнению с верхним слоем. Также происходило повышение степени подвижности калия на 1.0 мг/л. При использовании других изученных приемов обработки почвы наблюдали снижение содержания калия в слое 10–20 см по сравнению с верхним слоем почвы на 4.8–5.4 мг/100 г. При этом наиболее высокое содержание калия отмечено в варианте с прямым посевом (No-till) – 14.2 мг/100 г. Также в этом варианте выявлена наиболее высо-

Таблица 4. Содержание микробной биомассы в черно-земе типичном

Прием основной обработки почвы	Глубина, см	$C_{\text{микр}}$, мг/кг почвы	Влажность, %
Вспашка	0–10	860	10.4
	10–20	689	12.2
Комбинированная	0–10	750	10.7
	10–20	730	14.2
Поверхностная	0–10	990	11.5
	10–20	720	14.5
Без обработок (No-till)	0–10	930	13.1
	10–20	890	15.2
HCP_{05} обработка глубина		160	1.5
		130	1.3

кая степень подвижности калия. Между содержанием калия в почве и степенью его подвижности установлена высокая корреляционная зависимость – $r = 0.97$.

Такой характер изменения содержания калия в почвенных слоях, очевидно, связан с распределением в почве растительных остатков. Калий не образует стойких органических соединений, и его органические формы преимущественно содержатся в составе свежей биомассы, в процессе минерализации которой калий быстро переходит в почвенный раствор. При безотвальной обработке основная часть пожнивно-корневых остатков распределяется в верхнем слое почвы, что способствует большему накоплению подвижного калия. Это частично подтверждено высокой корреляционной связью между содержанием в почве органического вещества и содержанием калия ($r = 0.91$), а также степенью подвижности калия ($r = 0.86$).

При минимизации основной обработки почвы особый интерес вызывает вопрос изменения азотного режима, в особенности обеспеченность минеральными формами азота – нитратами и обменным аммонием. В результате исследования выявлено, что наибольшее количество нитратного азота после уборки озимой пшеницы содержалось в почве при использовании в качестве приемов основной обработки вспашки и прямого посева (рис. 1а). При этом в слое 0–10 см нитратов было больше в 1.5 раза, чем в слое 10–20 см.

То, что абсолютно противоположные по характеру воздействия на почву приемы обработки повлияли на характер накопления нитратного азота, связано с различными физико-химическими процессами, происходящими в почве. С одной стороны, при вспашке происходило разрушение

почвенных агрегатов и обнажение защищенного органического вещества, делая его доступным для микроорганизмов, тем самым стимулируя их активность [18]. Кроме этого, при вспашке улучшался воздушный режим почвы, что активизировало почвенные микроорганизмы [19]. С другой стороны, в отсутствие обработок, за счет более высокой влажности почвы создавались условия для активного разложения пожнивных остатков на поверхности почвы [13]. В результате возрастала нитрифицирующая активность почв при использовании технологии No-till [20]. Исследование накопления обменного аммония в почве не обнаружили значимых различий в его содержании в зависимости от изученных приемов обработки (рис. 1б).

Изучение содержания микробной биомассы в почве при использовании различных приемов основной обработки почвы показало, что ее содержание (по углероду) в слое 0–10 см почвы было больше, чем в слое 10–20 см во всех вариантах (табл. 4). Наиболее высокое содержание микробной биомассы отмечено при использовании поверхностной обработки почвы и прямом посеве. Это связано с тем, что в данных вариантах основная часть растительных остатков, являющаяся питательной средой для микроорганизмов, сосредоточена в верхнем горизонте почвы. Также можно отметить, что влажность почвы при поверхностной обработке и прямом посеве была больше, чем при комбинированной обработке и вспашке. Очевидно, это было связано с мульчирующим эффектом растительных остатков в этих вариантах.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, можно отметить явную дифференциацию плодородия почвы по глубине обрабатываемого слоя. При использовании отвальных способов основной обработки (вспашки) в слое 0–10 см почвы отмечено снижение содержания гумуса, щелочногидролизующего азота, подвижных форм фосфора и калия, но происходило улучшение кислотного режима почвы по сравнению со слоем 10–20 см. При использовании безотвальных, роторных и комбинированных способов обработки почвы в верхнем слое 0–10 см происходило увеличение содержания гумуса, азота, фосфора и калия относительно слоя 10–20 см. Кислотность почвы снижалась, кроме варианта с прямым посевом. Использование прямого посева не уменьшало количество минерального азота в почве, усиливая микробиологическую активность почвы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дридигер В.К., Невечера А.Ф., Токарев И.Д., Вайцеховская С.С. Экономическая эффективность технологии No-till в засушливой зоне Ставропольского края // Земледелие. 2017. № 3. Р. 16–19.
2. Soane B., Ball B., 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. № 118. Р. 66–87.
3. Тихонов Н.И., Кочетов Р.А. Влияние новых агротехнических приемов в технологии возделывания гибридов подсолнечника по No-Till в зоне черноземных почв Волгоградской области // Международ. сел.-хоз. журн. 2018. № 2. С. 49–51.
4. Романов В.Н., Ивченко В.К., Ильченко И.О., Луганцева М.В. Влияние приемов основной обработки почвы в севообороте на динамику влажности и агрофизические свойства чернозема выщелоченного // Достиж. науки и техн. АПК. 2018. Т. 32. № 5. С. 32–34.
5. Комиссаров М.А., Клик А. Влияние нулевой, минимальной и классической обработок на эрозию и свойства почв в Нижней Австрии // Почвоведение. 2020. № 4. С. 473–482.
6. Гилев С.Д., Цымбаленко И.Н., Курлов А.П., Русакова И.В. Динамика органического вещества чернозема выщелоченного при минимизации обработки почвы и применении средств химизации // Плодородие. 2015. № 2. С. 34–36.
7. Турусов В.И., Гармашов В.И., Нужная Н.А., Корнилов И.М. Засоренность посевов озимой пшеницы в зависимости от приемов обработки почвы, внесения минеральных удобрений и гербицидов // Защита и карантин раст. 2018. № 10. С. 13–15.
8. Белошапкина О.О., Акимов Т.А. Динамика и патогенный состав корневых гнилей озимой пшеницы в зависимости от способов основной обработки дерново-подзолистой почвы // Изв. ТСХА. 2016. № 3. С. 47–60.
9. Гребенников А.М., Белобров В.П., Кутовая О.В. Микробиологическая активность миграционно-мицелиарных агрочерноземов при применении различных способов их основной обработки // Агрохимия. 2018. № 3. С. 19–25.
10. Глазунова Н.Н., Безгина Ю.А., Пашкова Е.В., Волосова Е.В., Шипуля А.Н. Влияние способов обработки почвы на численность вредителей пшеницы и их энтомофагов // Усп. совр. естествознания. 2018. № 12(2). С. 277–282.
11. Синещиков В.Е. Агрофизические свойства черноземов выщелоченных при минимизации основной обработки почвы // Агрохимия. 2017. № 7. С. 19–25.
12. Белоусова Е.Н., Белоусов А.А. Агрофизические свойства чернозема выщелоченного в условиях нулевой технологии // Агрофизика. 2017. № 1. С. 1–10.
13. Завалин А.А., Дридигер В.К., Белобров В.П., Юдин С.А. Азот в черноземах при традиционной технологии обработки и прямом посеве (обзор) // Почвоведение. 2018. № 12. С. 1506–1516.
14. Коротких Н.А., Власенко Н.Г. Влияние технологии No-till на содержание подвижных форм калия и фосфора в почве // Плодородие. 2015. № 3. С. 23–26.
15. Malhi S.S., Legere A., Vanasse A., Parent G. Effects of long-term tillage, terminating no-till and cropping system on organic C and N, and available nutrients in a Gleysolic soil in Quebec, Canada // J. Agricult. Sci. 2018. V. 156. Р. 472–480.
16. Кирюшин В.И. Проблема минимизации обработки почвы: перспективы развития и задачи исследований // Земледелие. 2013. № 7. С. 3–6.
17. Минеев В.Г. Практикум по агрохимии. М.: Изд-во МГУ, 2001. 689 с.
18. Doran J.W., Smith M.S. Organic matter management and utilization soil and fertilizer nutrients // Soil fertility and organic as critical component of production systems. Soil Sci. Soc. Am.: Special Publication. 1987. № 19. Р. 53–72.
19. Neborg M., Malhi S.S. Effect of zero and conventional tillage on barley yield and N-NO₃ content, moisture and temperature of soil in north-central Alberta // Soil Till. Res. 1989. № 15. Р. 1–9.
20. Минникова Т.В., Мокриков Г.В., Казеев К.Ш. Влияние технологии No-till на нитрифицирующую активность черноземов Ростовской области // Агрохимия. 2017. № 9. С. 33–38.

Effect of Minimizing Primary Tillage on the Fertility of Typical Chernozem

D. V. Dubovik^{a,*}, E. V. Dubovik^a, A. V. Shumakov^a, and B. S. Ilyin^a

^a Federal Agricultural Kursk Research Center
ul. Karla Marxa 70b, Kursk 305021, Russia

*E-mail: dubovikdm@yandex.ru

As the result of the research the effect of primary tillage methods, i.e. plowing, subsoil tillage, surface tillage, direct seeding (No-till), on the indicators of soil fertility of typical chernozem is studied in Kursk region. It is found out that differentiation of soil fertility by the depth of the tilled layer is identified when minimizing primary tillage. Decreased content of humus, alkali-hydrolyzable nitrogen, mobile forms of phosphorus and potassium in the plowed layer of 0–10 cm as compared with that in the layer of 10–20 cm is noted. When non-plow methods of primary tillage are used increase of the content of humus, nitrogen, phosphorus and potassium as related to the layer of 10–20 cm takes place.

Key words: primary tillage methods, soil fertility, typical chernozem.

УДК 631.81:631.582:631.445.24:633.11“324”

ВЛИЯНИЕ СРЕДСТВ ХИМИЗАЦИИ НА УРОЖАЙНОСТЬ И КАЧЕСТВО ЗЕРНА ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ НА ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ ПОЧВЕ РАЗНОЙ СТЕПЕНИ ОКУЛЬТУРЕННОСТИ

© 2021 г. А. А. Завалин¹, А. А. Коваленко¹, Т. М. Забугина¹,
Л. Н. Самойлов¹, С. Н. Сапожников^{1,*}

¹ Всероссийский научно-исследовательский институт агрохимии имени Д.Н. Прянишникова
127550 Москва, ул. Прянишникова, 31а, Россия

*E-mail: ssapozhnikov81@gmail.com

Поступила в редакцию 02.11.2020 г.

После доработки 20.11.2020 г.

Принята к публикации 10.12.2020 г.

Представлены результаты исследований в длительных полевых опытах по оценке эффективности применения средств химизации под озимую пшеницу на дерново-подзолистой почве разной степени окультуренности в Центральном Нечерноземье России. Навоз и минеральные удобрения применяли в различных сочетаниях и дозах на фоне известкования почвы и без нее. На слабоокультуренной почве внесение навоза 40 т/га за ротацию обеспечивало больший эффект влияния на урожайность зерна озимой пшеницы (прибавка 3–5 ц/га), чем внесение извести, а их сочетание способствовало дальнейшему повышению урожайности зерна. За счет размещения озимой пшеницы после викоовсяной смеси дополнительно получено 6.5 ц/га зерна пшеницы, после клеверного предшественника – 11.7–12.8 ц/га. Внесение минеральных удобрений в слабоокультуренную почву в дозе N90P90K90 обеспечило получение 22–32 ц/га зерна пшеницы после викоовсяной смеси и 30–34 ц/га – после клевера. На среднеокультуренной почве урожайность зерна 40–45 ц/га формировалась при выращивании озимой пшеницы после пласта многолетних бобово-злаковых трав и внесения минеральной системы удобрения, при применении органо-минеральной системы удобрений она достигала 50–52 ц/га. На высокоокультуренной почве урожайность зерна озимой пшеницы при применении N90P90K90 на фоне извести достигла 53–58 ц/га. При известковании почвы и внесении в различных сочетаниях минеральных удобрений и навоза улучшались показатели качества зерна: масса 1000 зерен, натурная масса, содержание белка и сырой клейковины, причем величину показателей определяли уровень удобренности, величина урожайности и плодородия почвы. При использовании оптимальных сочетаний средств химизации в зерне озимой пшеницы содержание белка достигало 13.2–13.9%, сырой клейковины – 25–39%, что соответствовало 3-му классу качества.

Ключевые слова: урожайность, зерно, качество зерна, известкование, навоз, минеральные удобрения, окультуренность почвы.

DOI: 10.31857/S0002188121030145

ВВЕДЕНИЕ

Развитие агропромышленного комплекса России и обеспечение ее продовольственной независимости в значительной степени зависит от состояния зернового хозяйства. Среди зерновых основной культурой является пшеница [1–3]: ее посевная площадь среди зерновых занимала в 2016–2017 гг. 59% и более, ее доля в валовом сборе зерновых в 2001–2017 гг. была равна 57–62%, в продукции растениеводства в 2001–2015 гг. – 34–37%, в экспорте зерна в 2016–2017 гг. – 78% и в выручке от реализации в 2016–2017 гг. – 63–77%.

Среди факторов, необходимых для увеличения урожаев любой культуры (при выращивании районированных отечественных сортов), приоритетными являются: плодородие почвы, севооборот, питание и защита растений (табл. 1). Эти сведения не являются абсолютными показателями и могут изменяться, но они дают реальное представление о роли факторов, влияющих на урожайность культуры. Например, без применения средств химизации земледелие идет по экстенсивному пути и зависит от погоды и плодородия

Таблица 1. Вклад факторов в формирование урожайности сельскохозяйственных культур, % [4]

Фактор	Агротехнологии	
	экстенсивные	интенсивные
Естественное плодородие	40	10
Погодные условия	20	15
Обработка почвы	20	10
Сорт, семена	5	20
Удобрение	10	30
Защита растений	5	15
Средняя урожайность, т/га	1.5–2.5	4.0–5.0

почвы. В иных случаях определяющим фактором могут быть сорт, удобрение и защита растений.

Нечерноземная зона России и особенно ее Центральная часть располагает благоприятными погодными условиями для возделывания озимой пшеницы, но 60% территории зоны занято дерново-подзолистыми почвами, которые характеризуются низким содержанием питательных веществ, кислой реакцией, бедны органическими веществами, имеют высокую степень засоренности посевов [5]. В Центральном федеральном округе почвы, имеющие низкое, среднее и очень низкое содержание подвижной формы P_2O_5 составляют 57% всех обследованных почв, K_2O – 26% [6, 7]. В последние 3 десятилетия баланс питательных веществ в земледелии сложился со значительным превышением их выноса над внесением в 4–5 раз. За этот период дефицит азота, фосфора и калия в сумме составил 140 млн т [7]. В настоящее время под зерновые культуры применяют дозы (НРК) 40–50, в то время как необходимо в 2–3 раза больше. При этом применение минеральных удобрений осуществляется только на половине всех площадей. В Нечерноземной зоне внесение удобрений составляет от 30 до 35 кг/га. По расчетам [7], для производства 145–150 млн т зерна к 2030 г. требуется применить 7.4 млн т НРК, в то время как на протяжении последнего пятилетия вносят всего ≈ 3.0 млн т.

Лучшими предшественниками для озимой пшеницы в Нечерноземье являются многолетние бобовые и бобово-злаковые травостой, викоовсяная смесь, горох, сидеральные культуры, ранний картофель, поэтому чрезвычайно велика роль севооборота, прибавка урожая пшеницы при оптимальном размещении в севообороте составляет 67% (без удобрений) и 53% с удобрениями [8, 9]. Перечисленные выше факторы, требуют дальнейшего уточнения, в том числе по результатам длительных опытов [4–6, 10].

Цель работы – определить продуктивность и качество зерна озимой пшеницы в различных севооборотах на почвах с разной степенью плодородия при использовании разных сочетаний органических и минеральных удобрений на фоне известкования.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Полевые стационарные опыты проводили на дерново-подзолистой почве с различной степенью исходного плодородия (Московская обл., опытная станция ВНИИ агрохимии) в севооборотах (табл. 2).

Опыт СШ-1, почва слабокультуренная. Севооборот: 1 – викоовсяная смесь; 2 – озимая пшеница; 3 – клевер 1-го года пользования; 4 – озимая пшеница; 5 – картофель; 6 – ячмень; 7 – овес. Навоз вносили под картофель и вико-овсяную смесь с осени под зяблевую вспашку, известь с осени под озимую пшеницу и ячмень. Минеральные удобрения вносили под предпосевную культивацию (зерновые) и вспашку весной (картофель); суперфосфат в I и II ротациях в рядки при посеве, в III и IV ротациях – суперфосфат + аммиачная селитра + хлористый калий – весной.

Опыт СШ-8, почва среднекультуренная. Севооборот: картофель – ячмень + многолетние травы – многолетние травы 1-го и 2-го годов пользования – озимая пшеница – картофель ранний – озимая пшеница. Известкование проводили по полной гидролитической кислотности (8 т/га за ротацию) под картофель. Навоз вносили

Таблица 2. Исходная агрохимическая характеристика почвы опытных участков, слой 0–20 см

Индекс опыта	pH_{KCl}	H_T	$H_{обм}$	S	P_2O_5	K_2O	Гумус, %
		мг-экв/100 г			мг/кг		
СШ-1	4.3–4.6	4.5–4.7	0.61–0.75	7–9	12–24	88–159	1.7–1.9
СШ-8	4.1–4.3	4.3–5.6	0.26–0.33	10–12	57–80	115–150	1.6–1.8
СД-1	5.5–6.5	1.0–2.0	0.05–0.10	14–20	150–200	130–200	1.5–1.8

Таблица 3. Влияние известкования на урожайность зерна озимой пшеницы на слабокультуренной почве (опыт СШ-1, средние 4-х полей), ц/га

№ варианта	Вариант	Дозы минеральных удобрений (кг/га), известки и навоза (т/га)		Предшественник					
				Викоовсяная смесь			клевер 1-го года пользования		
		1-я, 2-я ротации	3-я ротация	ротации севооборота					
				1-я	2-я	3-я	1-я	2-я	3-я
1	Контроль	—	—	6.5	6.5	14.8	11.7	12.8	13.8
2	Известь (Са)	Известь 2 т/га под пшеницу, 2 т/га под викоовсяную смесь	Известь 2 т/га под викоовсяную смесь	7.7	7.6	17.6	15.2	15.6	17.2
7	НРК	N60P60K60	(НРК)90	22.4	23.6	31.8	25.8	30.1	29.8
6	Са + НРК	Известь 2 т/га + известь 2 т/га + N60P60K60	Известь 2 т/га + + N90P90K90	22.3	23.8	32.4	28.9	31.6	33.4
8	Навоз 1 доза	Навоз 20 т/га под викоовсяную смесь + навоз 20 т/га под картофель	Навоз 20 т/га + навоз 20 т/га под викоовсяную смесь и картофель	19.3	13.2	22.9	17.7	15.9	19.8
9	Са + навоз 1 доза	Известь 2 т/га + 2 т/га т + + навоз 20 т/га под викоовсяную смесь + навоз 20 т/га под картофель	Известь 2 т/га + навоз 20 т/га под викоовсяную смесь и картофель	19.3	15.5	23.2	20.8	19.0	22.9
<i>НСР₀₅</i>				3.6	4.2	3.4	2.8	3.8	3.6

под среднепоздний и ранний картофель, минеральные удобрения — ежегодно под предпосевную обработку почвы.

Опыт СД-1, почва высококультуренная. Севооборот: викоовсяная смесь — озимая пшеница — картофель — ячмень. Известкование проводили фоном перед закладкой опыта (8 т/га), навоз вносили дважды за ротацию под первую и третью культуру. Минеральные удобрения в виде N_{aa} , P_{cr} , K_x вносили под все культуры при предпосевной обработке. Азотные удобрения под озимую пшеницу вносили дробно: часть дозы (N30—40) — осенью, остальные — весной в подкормку.

Опыт для каждой культуры проводили в 4-х полях, размер делянок 52—100 м² в четырехкратной повторности по методике [10]. Использовали районированные сорта озимой пшеницы в годы проведения опытов. Агрохимические анализы почвы и растений выполняли по общепринятым стандартным методам, статистическую обработку результатов осуществляли в программе STAT ВИУА.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Действие известкования почвы оценивали в неудобренной почве на фоне применения навоза и полного минерального удобрения (табл. 3). В 1-й и 2-й ротациях севооборота известь вносили по

2 т/га под пшеницу и викоовсяную смесь. Эффекта от такого внесения почти не было, прибавка урожайности составила 1.1—1.2 ц/га. В 3-й ротации внесли еще 2 т известки/га под викоовсяную смесь, за счет этого и последствия известки урожайность зерна пшеницы возросла в 2.3—2.4 раза, прибавка 8.3 ц/га получена за счет размещения в севообороте (вариант 1) после клевера. Прибавка 10 ц/га — за счет известкования (вариант 2) по сравнению со средними показателями в 1—2-й ротациях. Действие минеральных удобрений и навоза проявилось только в 3-й ротации, причем влияние как минеральных удобрений, так и навоза, дало одинаковый эффект на фоне известкования. Предшественник — клевер 1-го года пользования за счет накопления биологического азота был более эффективен в 1-й и 2-й ротациях, эффект от известкования в сочетании с НРК на этом предшественнике был более высоким в сравнении с внесением навоза.

При оценке данных в вариантах сравнения (1, 2), (7, 6), (8, 9) выявлено, что известкование давало больший эффект влияния на урожайность пшеницы на бедной дерново-подзолистой почве, что подтверждено средними данными для каждого из предшественников.

Действие навоза в дозе 40 т/га за ротацию изучали на фоне известки и без нее и 80 т/га — на из-

Таблица 4. Влияние навоза на урожайность зерна озимой пшеницы (опыт СШ-1, средние 4-х полей в 1–3-й ротациях и 3-х полей в 4-й ротации севооборота), ц/га

Номер варианта	Вариант	Предшественник							
		викоовсяная смесь				клевер 1-го года пользования			
		ротации севооборота							
		1-я	2-я	3-я	4-я	1-я	2-я	3-я	4-я
1	Без удобрений	6.5	6.5	14.8	18.3	11.7	12.8	13.8	20.1
8	Навоз 1 доза	19.3	13.2	22.9	25.3	17.7	15.9	19.8	27.6
2	Известь (Са)	7.7	7.6	17.6	21.3	15.2	15.6	17.2	22.1
9	Са + навоз 1 доза	19.3	15.5	23.2	27.0	20.8	19.0	22.9	29.1
10	Са + навоз 2 дозы	25.9	21.1	33.0	46.1	24.0	24.3	33.9	48.0
<i>НСР₀₅</i>		3.6	4.2	3.4	3.3	2.8	3.8	3.6	4.1

весткованном фоне (табл. 4). Оценивая результаты этого опыта, отметили, что известкование и внесение навоза достоверно увеличивало урожайность зерна пшеницы на слабокультуренной почве. Навоз, внесенный за ротацию (40 т/га) без известкования почвы был равноценен по эффективности в этой же дозе, внесенной в известкованную почву, т.е. проявлялся его эффект в прямом действии и в последствии. Навоз был эффективнее на озимой пшенице после предшественника викоовсяной смеси.

Прибавка урожайности зерна при внесении навоза 40 т/га составляла 12.8 ц/га на фоне без известки и 11.6 ц/га – на известкованном фоне. Доза навоза 80 т/га увеличивала урожайность после викоовсяной смеси в 1–3-й ротациях на 6–10 и в 4-й ротации – на 19 ц/га. При оценке эффективности навоза на первое место по влиянию выходил предшественник-клевер. Следует отметить, что такие эффекты от навозного удобрения на бедных почвах можно наблюдать только в длительных опытах. К сожалению, в настоящее время органические удобрения почти не применяют (в РФ – <1 т/га) [11].

Эффективность минеральных систем удобрения изучали в вариантах парных и тройном сочетаний 3-х видов минеральных удобрений и известкованном контроле (табл. 5). Из парных сочетаний наиболее эффективными были *НР* и *РК*. Действие *НК*-удобрений в 1-й и 2-й ротациях было неэффективным. Установлено, что на слабокультуренной, бедной почвенными фосфатами кислой дерново-подзолистой почве в первом минимуме находился фосфор. При урожайности пшеницы на фоне известкования после викоовсяной смеси 7.7 ц/га в 1-й ротации прибавки составили: от сочетания *N50–60P60–70* – 13.1, от *N50–60K40–60* – 2.2, *P60–70K40–60* – 9.7, от

НРК – 14.6 ц/га, после предшественника – клевера при урожайности 15.2 ц/га в контроле соответственно – 10.7, 5.1, 9.5 и 13.7 ц/га. Следовательно, прибавки от отдельных видов удобрений достигали после викоовсяной смеси: от *N* – 4.9, от *P* – 12.4, от *K* – 1.5 ц/га, после клевера: соответственно 4.2, 8.6 и 3.0 ц/га. В 4-й ротации действие различных парных сочетаний практически выравнивалось и было на уровне прибавок 8.7–11.5 ц/га, прибавки от полного минерального удобрения достигали 21.1 ц/га после викоовсяной смеси и 20.5 ц/га – после клевера.

Опыт СШ-1 на слабокультуренной почве с содержанием подвижного фосфора <30 мг/кг показал, что значительное увеличение содержания в почве усвояемых форм фосфатов является первоочередным условием повышения ее плодородия и получения в дальнейшем высоких и устойчивых урожаев всех культур полевого севооборота, включая озимую пшеницу [12–15]. При этом следует подчеркнуть, что в 1-й и 2-й ротациях севооборота основной формой фосфорного удобрения была фосфоритная мука (90%) и только 10% P_2O_5 от общей суммы фосфатов вносили в рядок в форме при посеве зерновых. В 3-й и 4-й ротациях севооборота дозы азотных и фосфорных удобрений были увеличены в 1.5 раза. При этом содержание подвижного фосфора в почве после 2-х ротаций севооборота в вариантах с применением фосфорных удобрений повысилось до 60–80 мг/кг почвы. В связи с этим, а также с увеличением доз удобрений значительно повысилась эффективность от азотных и калийных удобрений.

Опыт СШ-8 заложен на почве среднего уровня окультуренности с содержанием подвижного фосфора 50–80 мг/кг почвы и реакцией почвенной среды 4.1–4.3 (табл. 2). В настоящем сообщении приведены результаты опыта за 2 рота-

Таблица 5. Влияние минеральной системы удобрения на урожайность зерна озимой пшеницы на слабоокультуренной почве (опыт СШ-1, средние 4-х полей в 1–3-й ротациях и 3-х полей в 4-й ротации), ц/га

№ варианта	Вариант		Предшественник							
	ротации севооборота		викоовсяная смесь				клевер 1-го года пользования			
	1–2	3–4	ротации севооборота							
			1-я	2-я	3-я	4-я	1-я	2-я	3-я	4-я
2	Известь (Са)	Известь (Са)	7.7	7.6	17.6	21.3	15.2	15.6	17.2	22.1
3	Са + N60P60	Са + N90P90	20.8	17.5	26.4	30.5	25.9	26.2	25.5	30.8
4	Са + N60K60P60	Са + N90K90	9.9	9.9	23.9	31.8	20.3	19.1	23.7	31.2
5	Са + P60K60	Са + P90K90	17.4	18.7	22.9	30.4	24.7	27.7	29.1	30.9
6	Са + N60P60K60	Са + N90P90K90	22.3	23.8	32.4	42.4	28.9	31.6	33.4	42.6
<i>НСР₀₅</i>			3.6	4.2	3.4	3.3	2.8	3.8	3.6	4.1

ции 7-польного севооборота в некоторых вариантах систем удобрения (табл. 6). Навоз в дозе 20 и 35 т/га вносили в севообороте под картофель поздний и картофель ранний. Минеральные удобрения в парных и тройном сочетаниях применяли в дозах N90P100K130. Кроме этого, применяли средние и повышенные дозы удобрений: N70P80K80 и N130P135K160 в минеральной системе удобрения. Изучали также основную, пониженную и повышенную дозы NPK на фоне навоза в севообороте. Озимую пшеницу в севообороте возделывали после многолетних трав 2-х лет пользования и после парозанимающего раннего картофеля. Хотя озимую пшеницу после разных предшественников выращивали в разные годы, некоторую разницу в действии систем удобрения на урожайность можно считать закономерной. Например, на известкованном фоне без удобрений урожайность зерна озимой пшеницы после предшественника многолетних трав 2-го года пользования была на 8.0–12.6 ц/га больше, чем возделываемой после картофеля, что вполне логично, учитывая положительное влияние бобово-злаковых трав на плодородие почвы [16, 17]. Минеральные и органо-минеральные системы, как правило, обеспечивали прирост урожайности по сравнению с контролем (фон Са). При этом прибавки урожайности зерна пшеницы от NPK после предшествующего картофеля в большинстве вариантов были больше, чем при ее возделывании после трав. Минеральная пониженная система удобрения (вариант 2) лишь незначительно уступала основной базовой системе (вариант 8) в особенности после пласта многолетних трав. В то же время после картофеля основная система удобрения во 2-й ротации севооборота имела преимущество перед пониженной и, в свою очередь, уступала усиленной системе удобрения, т.е. урожай-

ность пшеницы росла в пределах изученного диапазона доз NPK. Следует отметить, что органо-минеральная система удобрения была близка по эффективности эквивалентной ей по количеству д.в. минеральной, уступала последней после трав и была равноценна или несколько превосходила (во 2-й ротации) минеральную систему после картофеля.

Рассматривая влияние различных сочетаний минеральных удобрений, можно отметить, что сочетание NK было близко по эффективности полному минеральному удобрению после многолетних трав в 1-й ротации, несколько уступало таковому во 2-й ротации (на 5 ц/га) и было менее эффективно (на 3.3 и 4.7 ц/га в 1-й и 2-й ротациях) после картофеля, т.е. влияние фосфорного удобрения было неустойчивым после трав и более устойчиво при выращивании пшеницы после картофеля. Сочетание NP достаточно существенно уступало полному минеральному удобрению: на 5.7 и 7.7 ц/га в 1-й и 2-й ротациях после трав и 4.4 и на 9.2 ц/га – после картофеля, т.е. влияние калийного удобрения было более значимым, чем фосфорного. Сочетание PK было равнозначно системе NPK после трав и в 1-й ротации после картофеля, но существенно уступало последнему во 2-й ротации после картофеля (прибавка от азота составила 21 ц/га). Следовательно, наиболее высокое и устойчивое влияние на урожайность зерна озимой пшеницы оказывало калийное удобрение, в меньшей мере – фосфорное и лишь в одной ротации после картофеля – азотное.

Учитывая важность почвенных фосфатов для урожая пшеницы на дерново-подзолистой почве, полевой опыт СД-1 проводили на высококультуренной дерново-подзолистой среднесуглинистой почве с содержанием P₂O₅ в слое 0–20 см 150–200 мг/кг [12–15]. Предварительно были со-

Таблица 6. Урожайность зерна озимой пшеницы в 1-й и 2-й ротациях севооборота при применении минеральной и органо-минеральной систем удобрения на среднекультуренной почве (опыт СШ-8, средние 4-х полей), ц/га

№ варианта	Система удобрения	Удобрения			Предшественник			
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O	многолетние травы 2-го года пользования		картофель ранний	
					Ротации севооборота			
					1-я	2-я	1-я	2-я
1	Известь (Са)–фон	–	–	–	41.1	40.0	28.5	32.0
8	Минеральная основная, NPK	90	100	130	44.3	47.9	34.1	49.3
20	NK	90	–	130	45.3	42.9	30.8	44.6
21	NP	90	100	–	38.6	40.2	29.7	40.1
22	PK	–	100	130	46.8	46.8	32.9	28.3
2	Минеральная средняя	70	80	80	44.4	45.3	34.9	40.2
11	Минеральная повышенная	130	135	160	42.3	46.1	30.8	51.0
16	Органо-минеральная (эквивалентно варианту 8)	90	100	130	46.6	46.6	30.7	51.8
18	Органо-минеральная (эквивалентно варианту 11)	130	135	160	41.1	43.9	33.4	52.1
<i>HCP</i> ₀₅					*	2.3	*	5.9

*В 1-й ротации севооборота различия между вариантами были статистически недостоверными.

Таблица 7. Урожайность озимой пшеницы в 1-й и 2-й ротациях севооборота при применении минеральной и органо-минеральной систем удобрения на высококультуренной почве (опыт СД-1, средние 4-х полей), ц/га

Вариант	Система удобрения	Дозы удобрения			Ротации севооборота	
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O	1-я	2-я
1	Известь (Са) фон	–	–	–	43.5	31.3
2	N1K	90	–	90	51.3	44.4
3	N1P1K	90	60	90	51.7	44.7
4	N1P2K	90	120	90	51.5	44.8
5	N1.5P2K	135	120	90	49.5	47.5
6	N1P2K + навоз 15 т/га	90	60	90	51.9	44.7
7	N1P1K + навоз 30 т/га	90	60	90	52.5	44.6
<i>HCP</i> ₀₅					1.7	5.9

зданы высокие агрофоны внесением извести, фосфорного удобрения и навоза, в результате чего содержание подвижного P₂O₅ было доведено до 200 мг/кг почвы и более. В табл. 7 приведены урожайные данные в опыте (средние 4-х полей на 5-ти фонах окультуренности почвы). В 1-й ротации севооборота достаточно высокая урожайность зерна озимой пшеницы получена при возделывании культуры после викоовсяной смеси, без внесения удобрений, в среднем 43.5 ц/га. Во 2-й ротации урожайность была несколько меньше, что связано с воздействием погодных условий. Различия между системами удобрения

были невеликими, чаще в пределах ошибки опыта. NK-удобрения обеспечили прибавку урожая 7.8 ц/га в 1-й ротации и 13.1 ц/га – во 2-й. Дополнительное внесение фосфорного удобрения и навоза не приводило к существенной прибавке урожайности. В отдельные годы, благоприятные по метеорологическим параметрам, урожайность пшеницы достигала 40–50 ц/га на фоне известкования без удобрений и 53–60 ц/га – при их внесении.

В настоящее время производителями основное внимание уделяется урожайности зерна озимой пшеницы, но при этом необходимо получить не просто высокий урожай зерна, но и обеспечить

Таблица 8. Качество зерна озимой пшеницы на слабокультуренной почве после предшественника викоовсяной смеси (опыт СШ-1, средние 4-х полей)

Вариант*	Масса 1000 зерен, г	Натура, г/л	Сырой белок, %	Сырая клейковина, %
Без удобрений	36.1	747	10.2	24.2
Известь (Са)	34.7	751	10.2	26.1
Са + N90P90	33.8	705	11.9	32.3
Са + N90K90	35.3	746	11.8	29.2
Са + P90K90	38.5	748	9.7	28.7
Са + N90P90K90	35.3	732	12.7	35.0
N90P90K90	37.4	747	11.7	28.8
Са + 1 доза навоза, последствие	37.3	761	10.3	27.1
Са + 1 доза навоза + N90P90K60	34.3	722	12.5	33.7
Са + 2 дозы навоза + N90P90K90	35.3	725	12.3	31.8
Са + 1 доза навоза + N150P100K100	32.9	716	13.0	34.9
<i>НСР</i> ₀₅	—	26	1.1	3.5

*Единица доза навоза под предшественник (викоовсяная смесь) составляла 20 т/га, минеральные удобрения внесены по схеме: N40P90K90 осенью + N50 (весной, в варианте 11), N60 (в фазе трубкавания).

его высокое качество, которое главным образом зависит от систем удобрения, плодородия почвы и предшественника [16–18]. В данной работе использованы обобщенные данные о качестве зерна озимой пшеницы в длительных полевых опытах (табл. 1) при выращивании культуры после бобово-злаковым предшественников на дерново-подзолистой почве разной степени окультуренности. Показано, что на слабокультуренной дерново-подзолистой почве (табл. 8) формировалось зерно озимой пшеницы с минимальными показателями массы 1000 зерен и натуры зерна по сравнению со средней и высококультуренной почвами. Масса 1000 зерен на первой почве составляла от 33 до 37 г, натура 716–760 г/л. Под влиянием известкования масса 1000 зерен имела тенденцию к снижению, а внесение на этом фоне полного минерального удобрения этот показатель не изменяло. За счет последствие навоза масса 1000 зерен существенно не изменялась, а при внесении полного минерального удобрения она имела тенденцию к снижению. Примерно аналогичная закономерность получена и для показателя натуры зерна.

Содержание белка и сырой клейковины в зерне озимой пшеницы, выращенной на слабокультуренной почве, изменялось от внесения азотного удобрения, поскольку именно этот элемент определяет накопление в зерне белка [19, 20]. От известкования слабокультуренной почвы содержание белка в зерне не изменялось. Не получено эффекта от последствие навоза и известки, и только применение азотного удобрения по-

ложительно влияло на накопление в зерне белка и сырой клейковины.

На среднекультуренной почве (табл. 9) масса 1000 зерен изменялась в вариантах удобрения от 36.1 до 39.7 г, натура зерна — от 735 до 358 г/л. За счет внесения под озимую пшеницу азотного удобрения и от последствие навоза на известкованной почве имела место тенденция к снижению вышеназванных показателей качества зерна. Содержание в зерне озимой пшеницы сырого белка изменялось за счет применения минеральных удобрений и последствие навоза от 10.7–11.4 до 12.4–13.4% и сырой клейковины — от 26.8–27.5 до 30.0–37.7%. Повышение этих показателей происходило за счет внесения азотного удобрения под озимую пшеницу и последствие навоза, внесенного под предшественник.

На высокоплодородной дерново-подзолистой почве (табл. 10) масса 1000 зерен и натура зерна практически не изменялись от созданного ранее фосфатного фона, последствие известкования почвы и применения навоза и внесения под озимую пшеницу различных сочетаний азота, фосфора и калия. Содержание белка в зерне возрастало с 9.3–9.9% до 10.8–11.7% при внесении под озимую пшеницу азотного удобрения и от последствие навоза, примененного под предшественник.

Содержание в зерне сырой клетчатки в результате улучшения азотного питания повышалось с 22.3–22.6 до 26.5–27.5% от улучшения снабжения азотом в результате использования азотного

Таблица 9. Качество зерна озимой пшеницы на среднекультуренной почве после предшественника бобово-злаковых трав (опыт СШ-8, средние 4-х полей в 4-й ротации)

Вариант*	Масса 1000 зерен, г	Натура зерна, г/л	Сырой белок, %	Сырая клейковина, %
Известь (Са)	39.7	758	11.4	26.8
Са + N70P80K80	37.7	749	11.9	30.0
Са + N90P100K130	38.1	743	12.9	31.2
Са + N130P135K160	36.7	741	13.6	37.5
N90P100K130	38.5	749	12.4	31.3
Са + навоз 20 т/га под предшественник + N90P100K130	37.9	745	12.6	32.4
Са + навоз 35 т/га под предшественник + N130P135K160	37.1	736	13.4	37.7
Са + N90K130	38.7	749	12.6	32.1
Са + N90P100	36.1	736	12.6	31.5
Са + P100K130	40.2	755	10.7	27.5
<i>НСР</i> ₀₅	—	—	1.1	3.6

*Минеральные удобрения внесены по схеме N30P80–135K80–160 – осенью, другая часть азота N40–100 – весной.

Таблица 10. Качество зерна озимой пшеницы на высокоплодородной почве после предшественника викоовсяной смеси (опыт СД-1, средние 4-х полей)

Вариант*	Фон плодородия	Масса 1000 зерен, г	Натура зерна, г/л	Сырой белок, %	Сырая клейковина, %
Известь (Са) (фон)	1	41.6	752	9.3	22.6
	3	41.4	742	9.8	22.3
	5	43.2	749	9.9	23.0
Са + N90K90	1	42.2	739	10.1	26.4
	3	42.1	733	10.2	26.4
	5	42.4	741	10.7	27.4
Са + N90 P60K90	1	41.5	740	10.2	26.1
	3	42.4	742	10.8	26.7
	5	43.0	736	10.3	27.1
Са + N135P120K90	1	41.5	730	10.9	26.5
	3	41.0	732	11.1	29.1
	5	42.5	736	11.7	29.4
Са + N90P60K90 + навоз 60 т/га под предшественник	1	41.8	766	10.8	27.5
	3	42.1	763	11.3	27.5
	5	42.6	737	11.5	27.2
<i>НСР</i> ₀₅ частных различий		4.7	26	0.7	2.8
<i>НСР</i> ₀₅ главных эффектов		2.7	15	0.4	1.6

*Минеральные удобрения внесены по схеме: N45P60, 120K90 – осенью, другая часть азота N45,90 – весной.

**Агрофоны различной окультуренности: 1 – естественное плодородие, 3 – P2000, 5 – P1600 + навоз 160 т/га.

удобрения и последствие навоза. Следует подчеркнуть, что на этой почве в результате формирования более высокого урожая зерна в результате эффекта разбавления [6] в нем белка и сырой клейковины накапливалось меньше, чем при вы-

ращивании озимой пшеницы на менее плодородных почвах.

Качество зерна озимой пшеницы по содержанию белка и сырой клейковины при изученных уровнях плодородия дерново-подзолистой почвы

в большинстве вариантов соответствовали зерну 3-го класса согласно требованиям ГОСТ (массовая доля белка $\geq 12\%$, массовая доля сырой клейковины $\geq 23\%$) [21].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, показано, что на слабокультурной почве внесение навоза 40 т/га за ротацию обеспечивало более высокий эффект влияния на урожайность зерна озимой пшеницы (прибавка 3–5 ц/га), чем внесение извести, а их сочетание способствовало дальнейшему повышению урожайности зерна. За счет предшественника викоовсяной смеси дополнительно получено зерна пшеницы 6.5 ц/га, после клеверного предшественника прибавка составила 11.7–12.8 ц/га, что было связано с большим накоплением биологического азота клевером в сравнении с однолетней викоовсяной смесью. На этой почве внесение минеральных удобрений в дозе N90P90K90 обеспечило получение зерна пшеницы 22–32 ц/га после предшественника викоовсяной смеси и 30–34 ц/га – после клевера. На среднекультурной почве урожайность зерна 40–45 ц/га формировалась при выращивании озимой пшеницы после пласта многолетних бобово-злаковых трав и при внесении минеральной системы удобрения, при применении органо-минеральной системы удобрения она достигала 50–52 ц/га. На высококультурной дерново-подзолистой почве без применения минеральных удобрений урожайность зерна озимой пшеницы составляла 30–40 ц/га и при внесении минеральных удобрений при последствии навоза она достигала 53–58 ц/га.

При известковании почвы и внесении в различных сочетаниях минеральных удобрений и навоза улучшались показатели качества зерна: масса 1000 зерен, натурная масса зерна, содержание сырого белка и сырой клейковины, причем величины этих показателей определялись уровнем удобренности, величиной урожайности и плодородием почвы. На слабокультурной почве в зерне озимой пшеницы возрастало содержание белка с 9.7–10.2 до 12.3–13.0%, сырой клейковины – с 24.2–26.1 до 32.0–34.0% за счет внесения азотного удобрения на фоне последствия навоза и извести. На среднекультурной известкованной почве содержание в зерне белка возрастало с 10.7–11.4 до 12.4–13.4% и сырой клейковины – с 26.8–27.5 до 30.0–37.7% за счет применения под озимую пшеницу азотного удобрения в дозах N90 равными частями осенью и весной в подкормку, максимальные величины этих показателей получены при внесении азота

при последствии навоза, внесенного под предшественник озимой пшеницы. На высокоплодородной известкованной почве при урожайности зерна 55–60 ц/га в зерне накапливалось 10.5–12.0% белка и 26.5–29.0% сырой клейковины при внесении под озимую пшеницу азотного удобрения и при последствии навоза. При использовании оптимальных сочетаний средств химизации в зерне озимой пшеницы содержание белка достигало 13.2–13.9%, сырой клейковины – 25–39%, что соответствовало 3-му классу качества.

Следовательно, на дерново-подзолистых почвах Нечерноземья России с низким естественным плодородием за счет оптимального размещения озимой пшеницы в севооборотах с бобовыми культурами, применения минеральных и органических удобрений на фоне известкования почвы реально достичь урожайности зерна озимой пшеницы 55–60 ц/га при его качестве на уровне 3-го класса.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алтухов А.И. Совершенствование организационного механизма – необходимое условие увеличения производства высококачественного зерна пшеницы в стране // Научные основы производства высококачественного зерна пшеницы. М.: Росинформагротех, 2018. С. 5–40.
2. Сандухадзе Б.И., Журавлева Е.В., Кочетыгов Г.В. Озимая пшеница Нечерноземья в решении продовольственной безопасности Российской Федерации. М.: НИИСХ “Немчиновка”, 2011. 156 с.
3. Алабушев А.В., Раева С.А. Производство зерна в России. Ростов н/Д.: ЗАО “Книга”, 2013. 144 с.
4. Ладонин В.Ф., Алиев А.М., Самойлов Л.Н. Агроэкологические проблемы комплексной химизации земледелия. М.: ВИУА, 2000. 87 с.
5. Алиев А.М., Сычев В.Г., Ваулина Г.И., Самойлов Л.Н. Научные основы комплексного применения средств химизации и экологические аспекты интенсивного земледелия. М.: ВНИИА, 2013. 196 с.
6. Шафран С.А. Почва, удобрения, урожай. Избр. тр. М., 2019. 471 с.
7. Сычев В.Г., Шафран С.А., Духанина Т.М. Прогноз потребности сельского хозяйства России в минеральных удобрениях к 2030 г. // Плодородие. 2016. № 2. С. 5–7.
8. Лошаков В.Г. Севооборот и плодородие почвы. М.: ВНИИА, 2012. 212 с.
9. Brankatschk G. Modeling crop rotations and co-products in agricultural life cycle assessments. Wiesbaden, Germany: Springer Vieweg, 2019. 430 p.
10. Минеев В.Г., Панников В.Д., Трепачев Е.П. Методические указания по проведению исследований в длительных опытах с удобрениями. Ч. 1. Особенности закладки и проведения длительных опытов в различных условиях. М.: ВИУА, 1986. 147 с.

11. *Кашин В.И.* Земле-матушке – особое внимание // Сел. жизнь, 2020. № 9. С. 8–9.
12. *Кирпичников Н.А.* Эффективность известкования и фосфорных удобрений при различных агрохимических свойствах дерново-подзолистых почв Центрального Нечерноземья // Научные основы производства высококачественного зерна пшеницы. М.: Росинформагротех, 2018. С. 145–155.
13. *Курганова Е.В.* Плодородие и продуктивность почв Московской области. М.: Изд-во МГУ, 2002. 320 с.
14. *Трофимов С.Н., Коваленко А.А.* Фосфорное состояние и изменение плодородия дерново-подзолистой почвы в длительных полевых опытах // Агрохимия. 2017. № 8. С. 3–15.
15. *Коваленко А.А., Трофимов С.Н., Хайдуков К.П.* Влияние степени окультуренности почвы и удобрений на устойчивость урожаев сельскохозяйственных культур // Плодородие. 2015. № 2. С. 30–33.
16. *Завалин А.А., Сычев В.Г., Алметов Н.С.* Использование минеральных удобрений и биологического азота в севооборотах Нечерноземной зоны России. М.: ВНИИА, 2014. 84 с.
17. *Wanic M., Denert M., Treder K.* Effect of forecrops on the yield and quality of common wheat and spelt wheat grain // J. Elementol. 2018. № 24 (1). P. 369–383.
18. *Hlissnikovský L., Kunzová E., Hejzman M., Dvořáček V.* Effect of fertilizer application, soil type, and year on yield and technological parameters of winter wheat (*Triticum aestivum*) in the Czech Republic // Arch. Acker. Pfl. Boden. 2015. V. 61. P. 33–55.
19. *Завалин А.А., Соколов О.А.* Азот и качество пшеницы // Плодородие. 2018. № 1. С. 14–17.
20. *Litke L., Gaile Z., Ruža A.* Effect of nitrogen fertilization on winter wheat yield and yield quality // Agron. Res. 2018. V. 16 (2). P. 500–509.
21. ГОСТ Р 52554-2006. Пшеница. Технические условия. М., 2006. 9 с.

Influence of Chemical Agents on the Yield and Quality of Winter Wheat Grain on Sod-Podzolic Soil of Different Degrees of Cultivation

A. A. Zavalin^a, A. A. Kovalenko^a, T. M. Zabugina^a, L. N. Samoylov^a, and S. N. Sapozhnikov^{a, #}

^a D.N. Pryanishnikov All-Russian Scientific Research Institute of Agrochemistry
ul. Pryanishnikova 31a, Moscow 127550, Russia

[#] E-mail: ssapozhnikov81@gmail.com

The article presents the results of research in long-term field experiments to assess the effectiveness of the use of chemicals for winter wheat on sod-podzolic soil of different degrees of cultivation in the central Non-chernozem region of Russia. Manure and mineral fertilizers were used in various combinations and doses against the background of liming of the soil and without it. On poorly cultivated soil, the application of manure 40 t/ha per rotation provided a greater effect on the yield of winter wheat grain (an increase of 3–5 c/ha) than the application of lime, and their combination contributed to a further increase in grain yield. Due to the placement of winter wheat after the vico-oat siesi, 6.5 c/ha of wheat grain was additionally obtained, after the clover predecessor – 11.7–12.8 c/ha. The application of mineral fertilizers in low-cultivated soil at a dose of N90P90K90 ensured the production of 22–32 c/ha of wheat grain after the vico-oat mixture and 30–34 c/ha after the clover. On medium-cultivated soil, the grain yield of 40–45 c/ha was formed when growing winter wheat after a layer of perennial legumes and cereals and applying a mineral fertilizer system, when using an organo-mineral fertilizer system, it reached 50–52 c/ha. On highly cultivated soil, the yield of winter wheat grain with the use of N90P90K90 on the background of lime reached 53–58 c/ha. When liming the soil and applying various combinations of mineral fertilizers and manure, grain quality indicators improved: weight of 1000 grains, natural weight, protein and crude gluten content, and the value of the indicators was determined by the level of fertilization, yield and soil fertility. When using optimal combinations of chemicals in winter wheat grain, the protein content reached 13.2–13.9%, raw gluten – 25–39%, which corresponded to the 3rd quality class.

Key words: yield, grain, grain quality, limed, manure, mineral fertilizers, soil cultivation.

УДК 632.954:633.15

ЭФФЕКТИВНОСТЬ И БЕЗОПАСНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ГЕРБИЦИДА КЕЛЬВИН ПЛЮС В ПОСЕВАХ КУКУРУЗЫ В РАЗНЫХ ФАЗАХ РАЗВИТИЯ КУЛЬТУРЫ

© 2021 г. А. С. Голубев^{1,*}, Т. А. Маханькова¹, А. С. Комарова¹

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

**E-mail: golubev100@mail.ru*

Поступила в редакцию 15.06.2020 г.

После доработки 11.08.2020 г.

Принята к публикации 10.12.2020 г.

Полевые опыты с гербицидом кельвин Плюс, ВДГ (дикамба кислота (натриевая соль) 424 г/кг + дифлуфензопир (натриевая соль) 170 г/кг + никосульфурон 106 г/кг) проводили в течение 2-х лет (2018 и 2019 гг.) в Московской, Воронежской и Астраханской обл. Сравнивали показатели биологической и хозяйственной эффективности применения гербицида кельвин Плюс, ВДГ 300 и 400 г/га совместно с ПАВ ДАШ 0.9 и 1.2 л/га в 2-х фазах развития кукурузы – 3–5 и 7–8 листьев. Все сорные растения, встречавшиеся в опытах, были объединены в 3 группы в зависимости от степени их реакции на позднюю обработку. Лишь в одном из 6-ти проведенных опытов при внесении изученного гербицида и эталона иканос, МД в фазе 7–8 листьев кукурузы гибрида Воронежский 279 СВ у растений культуры наблюдали хлороз и угнетение (при этом были получены прибавки урожайности культуры относительно контроля на уровне 149–169%). В продуктах урожая кукурузы (зеленая масса, зерно, масло) во всех 3-х регионах остаточных количеств дикамбы, дифлуфензопира и никосульфурона не обнаружено.

Ключевые слова: сорные растения, гербицид, кукуруза, безопасность, эффективность, дикамба, дифлуфензопир, никосульфурон.

DOI: 10.31857/S000218812103008X

ВВЕДЕНИЕ

Современный ассортимент гербицидов для защиты кукурузы от сорных растений в Российской Федерации формировался на протяжении последних десятилетий и к настоящему времени насчитывает более 2-х сотен препаратов, рекомендованных для применения как в посевах культуры, так и на полях, предназначенных под ее посев [1].

Исследования ученых на первых этапах совершенствования этого ассортимента были сосредоточены в основном на подборе наиболее эффективных действующих веществ, оптимальных норм их применения и составлении баковых смесей [2]. Позднее исследователи стали более акцентированно изучать сроки внесения препаратов в условиях различных регионов и принятых в них технологических схемах защиты кукурузы от сорных растений [3, 4].

Известно, что в период от всходов до фазы 3–5 листьев кукурузы появляется 90–93% сорняков, и именно в начальный период своего развития культура особенно уязвима для них [5–8]. Хозяй-

ственная эффективность применения препаратов при этом зависит не только от реакции на них сорняков, но и чувствительности самой кукурузы [9].

Исследования, посвященные изучению чувствительности гибридов кукурузы к гербицидам, широко проводят в последние годы как в Российской Федерации, так и в зарубежных странах [10–13]. Установлено, что недобор урожая вероятен при проведении обработок гербицидами в поздние сроки [14, 15]. Цель работы – оценка позднего применения гербицида кельвин Плюс, ВДГ (дикамба кислота (натриевая соль) 424 г/кг + дифлуфензопир (натриевая соль) 170 г/кг + никосульфурон 106 г/кг) в посевах кукурузы с точки зрения его эффективности и безопасности для культурных растений. В соответствии с этой целью были сформулированы следующие задачи: 1 – оценить эффективность применения гербицида кельвин Плюс, ВДГ с добавлением ПАВ ДАШ в фазе 7–8 листьев кукурузы на фоне эффективности использования этого препарата в традиционный срок (3–5 листьев); 2 – оценить влияние позднего срока обработки посевов куку-

рузы гербицидом кельвин Плюс, ВДГ с ПАВ ДАШ на урожайность культуры; 3 – проанализировать продукты урожая (зеленую массу, зерно, масло) на наличие остаточных количеств дикамбы, дифлуфензопира и никосульфурона и оценить безопасность применения гербицида кельвин Плюс, ВДГ при проведении поздней обработки.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Полевые опыты с гербицидом кельвин Плюс, ВДГ проводили в соответствии с “Методическими указаниями по регистрационным испытаниям гербицидов в сельском хозяйстве” (2013 г.) в течение вегетационных периодов 2018 и 2019 гг. [16]. Опыты были заложены в 3-х климатических зонах Российской Федерации: в Московской обл. – в посевах кукурузы на зеленую массу гибрида Воронежский 279 СВ, в Воронежской обл. – в посевах кукурузы на зерно гибридов Исбери (2018 г.) и Малави КС (2019 г.), в Астраханской обл. – в посевах кукурузы на зерно гибрида Машук 355 МВ.

В Московской и Астраханской обл. опыты проводили на участках с аллювиально-луговой почвой, среднесуглинистой по гранулометрическому составу. В Московской обл. содержание гумуса в пахотном слое составляло 2.4%, рН 6.2, в Астраханской обл. – 1.91–2.09 и 6.5–6.8 соответственно. В Воронежской обл. опыты были заложены на участке с выщелоченным черноземом, среднесуглинистого гранулометрического состава, с содержанием гумуса в пахотном слое 5.0–5.2%, рН 5.5.

Погодные условия регионов во время проведения опытов были близки к среднесезонным показателям. Экстремальных метеоусловий в Московской и Воронежской обл. не отмечено, в Астраханской обл. наблюдали засуху, из-за которой проводили регулярные поливы с интервалом 7–10 сут.

Опыты проводили на высоком уровне засоренности полей. Исходное количество сорных растений в посевах кукурузы до проведения обработки составляло от 70 до 180 экз./м².

Схема опыта предполагала внесение гербицида кельвин Плюс, ВДГ 300 и 400 г/га совместно с ПАВ ДАШ 0.9 и 1.2 л/га в 2-х фазах развития кукурузы – 3–5 и 7–8 листьев. В качестве эталона был выбран препарат иканос, МД (1.0 л/га – в ранней фазе и 1.5 л/га – в поздней). Контроли представляли собой участки посевов без внесения гербицидов.

Опыты были заложены в четырехкратной повторности на делянках размером 25–30 м². Размещение делянок рендомизированное. Внесение

гербицидов осуществляли с помощью ручных ранцевых опрыскивателей. Расход рабочей жидкости составлял 2.5–3.0 л/100 м². Численность сорняков подсчитывали количественным методом на 4-х учетных площадках размером 0.25 м² на каждой делянке опыта. Биологическую эффективность рассчитывали по формуле Эббота по отношению к необработанному контролю.

Учет урожая осуществляли вручную. Статистическую обработку данных проводили методом дисперсионного анализа. Отбор проб для анализа на содержание остаточных количеств действующих веществ пестицида проводили в день уборки урожая в соответствии с методикой [17]. Пробы отбирали отдельно в каждой повторности опыта, а также в контрольных вариантах, необработанных пестицидами, из них готовили средний образец (по одному в варианте), и в лаборатории готовили 2 параллельные пробы каждого образца. Отобранные образцы зеленой массы кукурузы замораживали в морозильной камере при температуре –18°C и хранили при этой температуре до анализа. Отобранные образцы зерна кукурузы хранили в полотняных мешочках при комнатной температуре до анализа. Масло из зерна получали экстракцией в лабораторных условиях в день анализа.

Содержание остаточных количеств действующих веществ препарата осуществляли по следующим методикам: исследование проб зерна и зеленой массы кукурузы на содержание дикамбы проводили в соответствии с методическими указаниями [18], содержания дикамбы в кукурузном масле – [19], анализ образцов на содержание дифлуфензопира – [20], содержания никосульфурона – [21].

Условия хроматографирования проб на дикамбу: газовый хроматограф “Маэстро 7820” с ЭЗД, капиллярная кварцевая колонка DB-5 длиной 30 м, внутренним диаметром 0.32 мм с толщиной слоя неподвижной фазы 0.25 мкм. Температура колонки: программирование – от 80°C (1 мин), до 280°C со скоростью 8°C/мин, температура испарителя – 270°C, температура детектора – 320°C. Расход газа носителя (азот) – 2.0 см³/мин. Хроматографируемый объем – 1 мм³.

Условия хроматографирования проб на дифлуфензопир: ультраэффективный жидкостный хроматограф “ACQUITY” (Waters) с быстросканирующим УФ-детектором, снабженном дегазатором, автоматическим пробоотборником и термостатом колонки. Аналитическая колонка ACQUITY UPLC VEN C-18 (100 × 2.1) мм, 1.7 мкм (Waters), температура колонки – 30°C. Подвижная фаза: ацетонитрил: 0.005 М Н₃Р₄ в соотношении 30 : 70, скорость потока элюента – 0.2 мл/мин, рабочая

Таблица 1. Чувствительность отдельных видов сорных растений к внесению гербицида кельвин Плюс, ВДГ с ПАВ ДАШ в разные сроки (2018–2019 гг.)

Вид сорных растений	Снижение количества сорняков (экз.), % к контролю без обработки					
	300 г/га + 0.9 л/га		400 г/га + 1.2 л/га		эталон (1.0/1.5 л/га)*	
	3–5 листьев культуры	7–8 листьев культуры	3–5 листьев культуры	7–8 листьев культуры	3–5 листьев культуры	7–8 листьев культуры
<i>Capsella bursa-pastoris</i> (L.) Medik.	100	100	100	100	99	100
<i>Fumaria officinalis</i> L.	100	100	100	100	100	100
<i>Sinapis arvensis</i> L.	100	100	100	100	100	100
<i>Erodium cicutarium</i> L.'Herit.	100	95.0	100	100	68.7	64.7
<i>Amaranthus retroflexus</i> L.	98.6	95.4	99.2	97.6	100	87.4
<i>Chenopodium album</i> L.	98.8	92.7	96.4	98.8	55.5	46.5
<i>Helianthus lenticularis</i> Dougl. ex Lindl.	82.1	100	82.1	100	33.3	33.3
<i>Persicaria maculosa</i> S.F. Grey	100	57.4	100	96.3	38.9	36.0
<i>Stachys annua</i> (L.) L.	96.8	57.7	99.0	81.1	96.8	80.1
<i>Abutilon theophrastii</i> Medik.	70.8	66.7	100	77.8	27.8	16.7
<i>Echinochloa crusgalli</i> (L.) Beauv.	74.1	68.2	86.6	80.0	80.8	80.4
<i>Persicaria amphibia</i> (L.) Delarbre	100	64.9	36.0	87.9	55.4	31.8
<i>Solanum nigrum</i> L.	44.6	72.7	68.5	83.6	23.9	57.1
<i>Convolvulus arvensis</i> L.	48.7	70.2	68.8	75.0	24.6	27.0
<i>Cirsium arvense</i> (L.) Scop.	55.9	54.0	56.7	58.7	30.1	38.0
<i>Mentha arvensis</i> L.	29.0	24.7	69.7	34.7	40.7	0
<i>Potentilla supine</i> L.	15.2	49.8	37.6	42.0	6.1	26.4

*Эталон иканос, МД в фазе 3–5 листьев вносили из расчета 1.0 л/га, в фазе 7–8 листьев – 1.5 л/га. То же в табл. 2.

длина волны – 287 нм, объем вводимой пробы – 10 мкл.

Условия хроматографирования проб на никотсульфурон: жидкостный хроматограф “Alliance” (Waters) с УФ-детектором, рабочая длина волны – 240 нм. Колонка SunFire C-18 (250 × 4.6) мм, 5 мкм (Waters), температура колонки – 25°C. Подвижная фаза: ацетонитрил: 0.005М Н₃Р₄ в соотношении 40 : 60, скорость потока элюента – 1 мл/мин, объем вводимой пробы – 20 мкл.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Анализ данных, полученных в полевых опытах, позволил оценить степень чувствительности разных видов сорных растений к внесению гербицидов и выделить несколько групп сорняков по этому критерию.

Наиболее чувствительными к гербицидам видами сорных растений оказались пастушья сумка обыкновенная, дымянка лекарственная и горчица полевая. Все они уничтожались при внесении изученного препарата и эталона в оба срока обработки (табл. 1).

Большинство видов сорных растений проявляло высокую чувствительность к внесению гербицида кельвин Плюс, ВДГ с ПАВ ДАШ в

ранний срок обработки. Часть из них была значительно более устойчивой при позднем применении гербицида (горец почечуйный, чистец однолетний, канатник Теофраста), другая часть отзывалась на срок внесения менее интенсивно (марь белая, аистник цикутовый, щирица назадзапрокинутая, ежовник обыкновенный).

Наименее чувствительными к изученному препарату видами сорных растений были бодяк щетинистый, мята полевая, паслен черный, выюнок полевой и лапчатка лежачая. При этом последние 3 вида при проведении поздних обработок подавлялись более сильно, чем при раннем использовании изученного препарата. Это было одной из причин того, что при проведении обработки в фазе 3–5 листьев кукурузы изученный препарат имел существенное преимущество над эталоном лишь в отношении половины встречавшихся в опытах видов сорных растений, тогда как при более позднем внесении доля таких видов достигла 70%.

Во время проведения опытов осуществляли визуальное наблюдение за растениями культуры для выявления возможного отрицательного действия поздних обработок.

Таблица 2. Влияние срока обработки посевов кукурузы гербицидом кельвин Плюс, ВДГ с ПАВ ДАШ на урожайность культуры (2018–2019 гг.)

Регион/гибрид	Вариант	Урожайность, ц/га			
		2018 г.		2019 г.	
		при обработке в фазе 3–5 листьев	при обработке в фазе 7–8 листьев	при обработке в фазе 3–5 листьев	при обработке в фазе 7–8 листьев
Московская обл./Воронежский 279 СВ (на зеленую массу)	1. 300 г/га + 0.9 л/га	411	467	331	304
	2. 400 г/га + 1.2 л/га	435	482	351	294
	3. Эталон – 1.0/1.5 л/га*	417	446	328	281
	4. Контроль	122	126	118	113
	<i>HCP</i> ₀₅	96	110	71	65
Воронежская обл./2018 г. – Исбери, 2019 г. – Малави КС (на зерно)	1. 300 г/га + 0.9 л/га	70.2	69.5	71.5	60.0
	2. 400 г/га + 1.2 л/га	71.2	70.7	71.0	66.4
	3. Эталон – 1.0/1.5 л/га*	67.5	67.1	66.5	52.6
	4. Контроль	51.0	50.6	42.0	40.9
	<i>HCP</i> ₀₅	8.4	3.3	2.6	3.6
Астраханская обл./гибрид Машук 355 МВ (на зерно)	1. 300 г/га + 0.9 л/га	56.8	55.3	58.5	56.9
	2. 400 г/га + 1.2 л/га	57.5	56.1	59.9	58.0
	3. Эталон – 1.0/1.5 л/га*	52.8	53.1	57.2	55.1
	4. Контроль	49.1	48.6	51.4	50.6
	<i>HCP</i> ₀₅	5.0	4.8	5.9	5.2

Лишь в одном из 6-ти проведенных опытов (в 2019 г. в Московской обл.) в течение 1 мес. после применения гербицида кельвин Плюс, ВДГ с ПАВ ДАШ и эталона иканос, МД в фазе 7–8 листьев кукурузы гибрида Воронежский 279 СВ у растений культуры отмечен хлороз и угнетение роста и развития. В дальнейшем это снижало величины полученного урожая относительно вариантов с использованием гербицидов в фазе 3–5 листьев кукурузы на 8.2–16.2%, но при этом прибавки урожайности культуры относительно контроля были большими (149–169%) и статистически достоверными (табл. 2). В 2018 г. при позднем внесении гербицидов в этом регионе урожайность культуры была на 7.0–13.6% больше, чем при ранних обработках, хотя эти различия не были статистически значимыми.

В Астраханской обл. снижение хозяйственной эффективности при поздних обработках гербицидом было совсем небольшим (не более 3.7%). При этом величина сохраненного урожая в этих случаях превышала показатели эталона на 3.3–5.6%. В целом при применении гербицида кельвин Плюс, ВДГ с ПАВ ДАШ в

обеих фазах развития культуры величины достоверно сохраненного урожая зерна кукурузы составляли 6.3–8.5 ц/га.

В условиях Воронежской обл. использование препарата и эталона в обе фазы обеспечивало сохранение от 28.6 до 70.2% урожая. В 2018 г. снижение хозяйственной эффективности при проведении поздних обработок гербицидами было незначительным (0.7–1.0%). В 2019 г. эта величина составляла от 6.5 до 20.9% (самый высокий показатель, полученный во всех опытах). При этом при внесении препаратов в фазе 7–8 листьев кукурузы урожайность культуры в варианте с применением гербицида кельвин Плюс, ВДГ 400 г/га с ПАВ ДАШ была существенно больше, чем в варианте с меньшей нормой его применения, а последняя была достоверно больше, чем в варианте применения эталона. Таким образом, в этом опыте проявилась тенденция к увеличению хозяйственной эффективности препарата при повышении нормы его применения в поздний срок.

Определение остаточных количеств дикамбы, дифлуфензопира и никосульфурона в пробах зеленой массы, зерна и масла кукурузы, отобранных в день уборки урожая, в Московской, Воронежской и Астраханской обл. в 2018

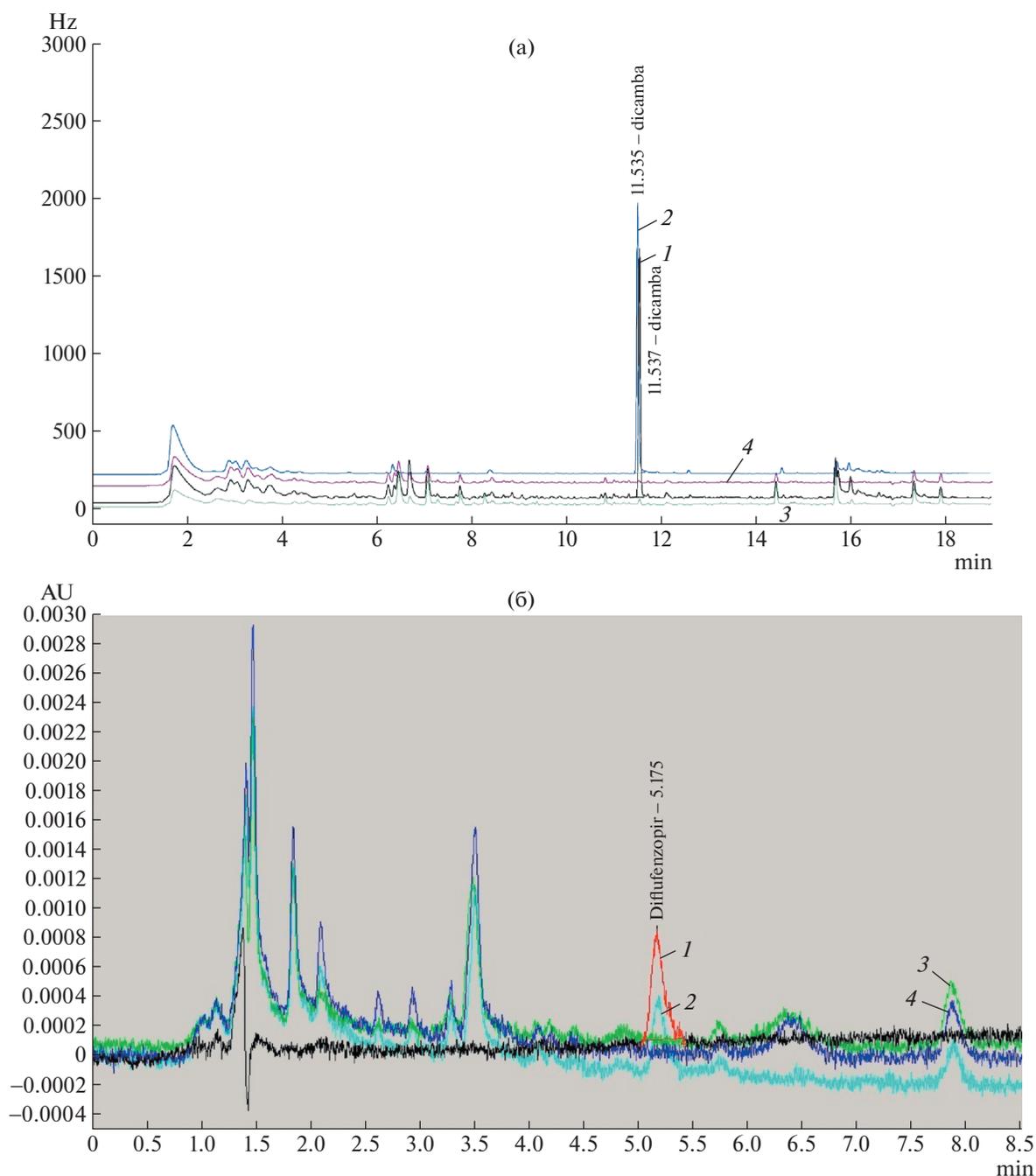


Рис. 1. Хроматограммы проб зерна кукурузы для определения остаточных количеств гербицидов: (а) – дикамбы (1 – стандартный раствор дикамбы с концентрацией 0.5 мкг/мл, соответствующий содержанию в зерне кукурузы 0.25 мг/кг, 2 – контрольная проба зерна кукурузы с внесением дикамбы на уровне 0.25 мг/кг, 3 – контрольная проба зерна кукурузы, 4 – опытная проба зерна кукурузы); (б) – дифлуфензопира (1 – стандартный раствор дифлуфензопира с концентрацией 0,1 мкг/мл, соответствующий содержанию в зерне кукурузы 0.05 мг/кг, 2 – контрольная проба зерна кукурузы с внесением дифлуфензопира на уровне 0.05 мг/кг, 3 – контрольная проба зерна кукурузы, 4 – опытная проба зерна кукурузы); (в) – никосульфурона (1 – стандартный раствор никосульфурона с концентрацией 1 мкг/мл, соответствующий содержанию в зерне кукурузы 0.1 мг/кг, 2 – контрольная проба зерна кукурузы с внесением никосульфурона на уровне 0.1 мг/кг, 3 – контрольная проба зерна кукурузы, 4 – опытная проба зерна кукурузы).

и 2019 гг. показало отсутствие искоемых соединений во всех пробах, что свидетельствовало о безопасности применения гербицида кельвин Плюс, ВДГ при поздних сроках обработки. На рис. 1 представлены хроматограммы опытных и

контрольных проб зерна кукурузы, а также растворов аналитических стандартов и контрольных проб зерна кукурузы в вариантах с внесением дикамбы, дифлуфензопира и никосульфурона.

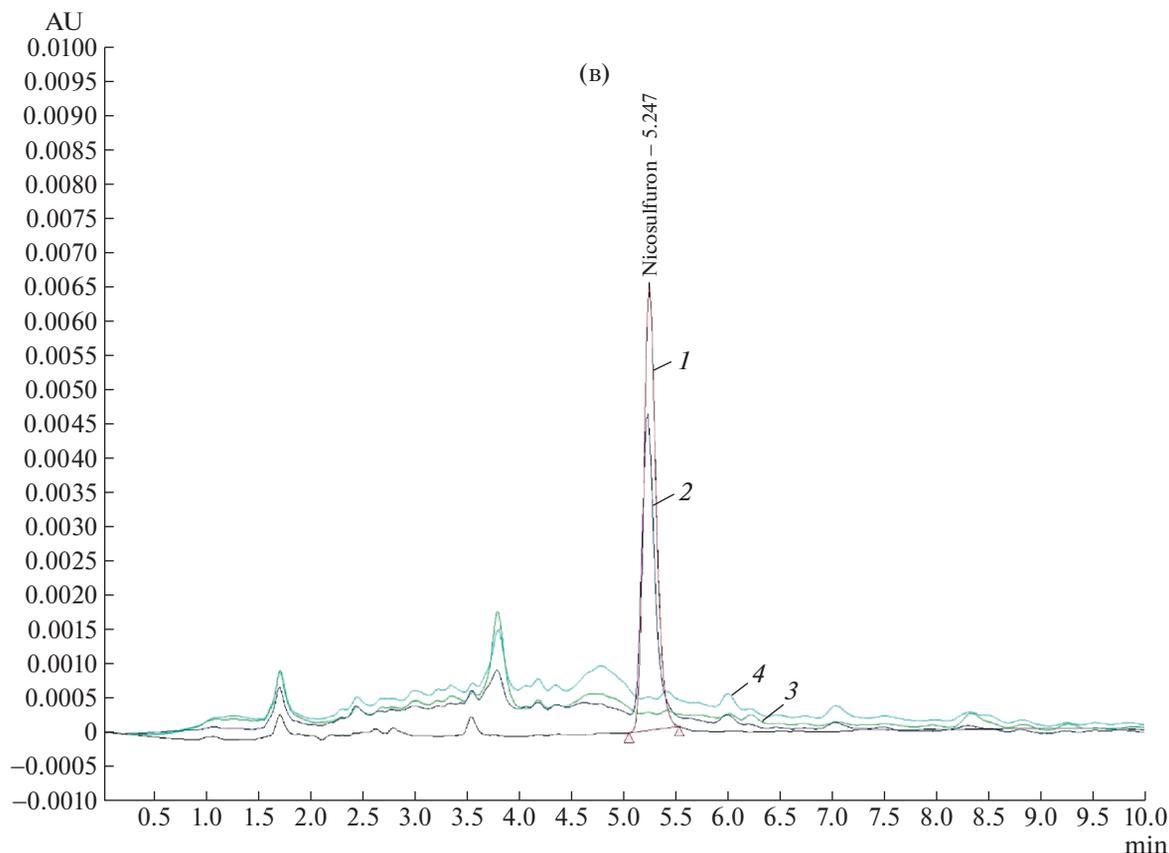


Рис. 1. Окончание

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

При поздних обработках посевов кукурузы сорные растения, как правило, были хорошо развиты и более устойчивы к действию гербицида кельвин Плюс, ВДГ, что снижало эффективность защитных мероприятий. Наиболее ярко эта тенденция проявилась на примере горца почечуйного, чистеца однолетнего и канатника Теофраста. Таким образом, поздние обработки могут быть оправданными лишь в исключительных случаях (например, из-за невозможности провести опрыскивание вовремя вследствие погодных условий или большого объема обрабатываемых площадей).

В то же время лишь в одном из 6-ти проведенных опытов в течение 1 мес. после применения гербицида кельвин Плюс, ВДГ с ПАВ ДАШ и эталона иканос, МД в фазе 7–8 листьев кукурузы гибрида Воронежский 279 СВ у растений культуры отмечен сильный хлороз и угнетение роста и развития растений (при этом прибавки урожайности культуры относительно контроля достигали 149–169%).

В продуктах урожая кукурузы (зеленая масса, зерно, масло) из всех 3-х областей остаточных количеств дикамбы, дифлуфензопира и никосульфурона не обнаружено.

В настоящее время применение препарата кельвин Плюс, ВДГ рекомендовано в фазе 3–5 листьев культуры. Обработки в фазе 7–8 листьев кукурузы (после включения этих регламентов в Каталог) должны быть организационно и экономически обоснованы. При этом желательно предварительно изучить данные о чувствительности к препарату сортов и гибридов, районированных в каждом конкретном регионе.

Авторы выражают благодарность всем задействованным в постановке и проведении полевых экспериментов с гербицидом кельвин Плюс, ВДГ сотрудникам: Н.И. Берназу, Ш.Б. Байрамбекову, Е.И. Хрюкиной и другим.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Маханькова Т.А., Голубев А.С. Гербициды для кукурузы / Защита и карантин раст. 2018. № 2. С. 37–64.
2. Спиридонов Ю.Я., Старыгин В.А. Баковые смеси гербицидов для защиты кукурузы / Защита и карантин раст. 2009. № 1. С. 20–21.
3. Саитов С.Б., Иванова Е.С. Оптимальные сроки применения гербицидов кросс-спектра в посевах кукурузы / АПК России. 2016. Т. 23. № 3. С. 682–686.
4. Панфилов А.Э., Саитов С.Б., Гайнитдинова Л.А., Юсупова Г.Е. Почвенный эффект некоторых по-

- слесходовых гербицидов в посевах кукурузы // АПК России. 2015. Т. 74. С. 145–151.
5. *Церетели И.С.* Гербициды в посевах кукурузы // Защита и карантин раст. 2014. № 5. С. 44.
 6. *Корнева О.Г., Байрамбеков Ш.Б., Даулетов Б.С.* Гербициды для защиты посевов кукурузы от сорной растительности в дельте Волги // Защита и карантин раст. 2014. № 4. С. 17–19.
 7. *Савва А.П., Есипенко Л.П.* Чувствительность сорных растений к гербицидам, применяемым на посевах кукурузы // Защита растений от вредных организмов. Мат-лы IX Международ. научн.-практ. конф. КубанГАУ им. И.Т. Трубилина. 17–21 июня 2019 г. Краснодар, 2019. С. 228–229.
 8. *Байрамбеков Ш.Б., Гарьянова Е.Д., Корнева О.Г., Даулетов Б.С.* Защита посевов кукурузы от сорных растений в условиях орошения дельты Волги. Астрахань: ВНИИООБ, 2019. 96 с.
 9. *Кузнецова С.В., Борщ Т.И., Багринцева В.Н.* Устойчивость самоопыленных линий кукурузы к гербицидам // Защита и карантин раст. 2008. № 1. С. 44–45.
 10. *Костюк А.В., Лукачева Н.Г.* Оценка эффективности и фитотоксичности гербицида Аденго в посевах кукурузы // Сибир. вестн. сел.-хоз. Науки. 2020. № 50 (1). С. 40–47. <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2020-1-5>
 11. *Richburg J., Norsworthy J., Barber T., Roberts T., Gbur E.* Tolerance of corn to preemergence- and postemergence-applied photosystem II-inhibiting herbicides // Weed Technol. 2019. P. 1–24. <https://doi.org/10.1017/wet.2019.119>
 12. *Quinn J., Soltani N., Ashigh J., Hooker D., Robinson D., Sikkema P.* Response of soybean and corn to halauxifen-methyl // Weed Technol. 2020. P. 1–19. <https://doi.org/10.1017/wet.2020.22>
 13. *Brankov M., Simic M., Mesarović J., Kresovic B., Dragicevic V.* Integrated effects of herbicides and foliar fertilizer on corn inbred line // Chil. J. Agricult. Res. 2020. № 80. P. 50–60. <https://doi.org/10.4067/S0718-58392020000100050>
 14. *Кушхабиев А.З., Урусов А.К., Кагермазов А.М., Шуншьева З.Л.* Научно обоснованное применение гербицидов на посевах кукурузы в условиях КБР // АгроСнабФорум. 2016. № 5 (144). С. 66–68.
 15. *Багринцева В.Н., Губа Е.И., Кузнецова С.В.* Эффективность гербицида майстерпауэр в зависимости от сроков применения // Защита и карантин раст. 2020. № 3. С. 10–12.
 16. Методические указания по регистрационным испытаниям гербицидов в сельском хозяйстве / Под ред. Долженко В.И. СПб., 2013. 280 с.
 17. Унифицированные правилами отбора проб сельскохозяйственной продукции, продуктов питания, объектов окружающей среды для определения микроколичеств пестицидов. № 2051-79. М., 1980. 45 с.
 18. Определение остаточных количеств дикамбы в зерне, соломе, зеленой массе растений, воде и почве газожидкостной и тонкослойной хроматографией // Определение остаточных количеств пестицидов в пищевых продуктах, сельскохозяйственном сырье и объектах окружающей среды: Сб. метод. указ. МУК 4.1.1452-03. М.: Федер. центр гигиены и эпидемиол. Роспотребнадзора, 2006. Вып. 4. Ч. 7. С. 38–48.
 19. *Долженко В.И., Тарарин П.А., Маханькова Т.А., Редюк С.И.* Определение остаточных количеств дикамбы в кукурузном масле методом капиллярной газожидкостной хроматографии: Метод. указ. МУК 4.1.2459-09. М., Федер. центр гигиены и эпидемиол. Роспотребнадзора, 2009. 14 с.
 20. *Долженко В.И., Цибульская И.А., Черменская Т.Д., Комарова А.С., Человечкова В.В.* Определение остаточных количеств дифлуфензопира в воде, почве, зеленой массе, зерне и масле кукурузы методом высокоэффективной жидкостной хроматографии: Метод. указ. МУК 4.1.3235-14. М.: Федер. центр гигиены и эпидемиол. Роспотребнадзора, 2015. 16 с.
 21. Определение остаточных количеств никосульфурона в воде, почве, зерне и зеленой массе кукурузы методом высокоэффективной жидкостной хроматографии МУК 4.1.1226-03 // Определение остаточных количеств пестицидов в пищевых продуктах, сельскохозяйственном сырье и объектах окружающей среды: Сб. метод. указ. 2006. Вып. 2. Ч. 4. С. 15–23.

Efficiency and Safety of Application of Herbicide Kelvin Plus an Corn at Different Crop Stage

A. S. Golubev^{a,*}, T. A. Makhankova^a, and A. S. Komarova^a

^a All-Russian Institute of Plant Protection
3 Podbelsky shosse, St. Petersburg–Pushkin 196608, Russia

*E-mail: golubev100@mail.ru

Trials with herbicide Kelvin Plus (424 g dicamba acid/kg (sodium salt) + 170 g diflufenzopyr/kg (sodium salt) + 106 g nicosulfuron/kg) were carried out for two years (2018 and 2019) in the Moscow, Voronezh and Astrakhan regions. Experiments were laid out in accordance with “Guidelines for registration trials of herbicides in agriculture” (2013). Comparing indices of efficiency 300 and 400 g/ha herbicide plus Kelvin, EDC together with 0.9 and 1.2 l Dash/ha in two stages of corn development – 3–5 and 7–8 leaves. All weeds encountered in trials are combined into three groups depending on their response to late treatment. Only in one of the 6 trials phytotoxicity herbicide Kelvin Plus and the Ikanos standard was observed. It was strong chlorosis and an oppressed state in the phase of 7–8 leaves of the corn of the hybrid Voronezh 279 SV. Despite this, crop yields relative to control were obtained. Residual amounts of dicamba, diflufenzopyr and nicosulfuron were not found in corn crop products (green mass, grain, oil) from all three regions.

Keywords: weeds, herbicide, corn, safety, efficiency, dicamba, diflufenzopyr, nicosulfuron.

УДК 632.951:632.75

ПОЛЕВАЯ ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ БИОЛОГИЧЕСКИХ И БИОРАЦИОНАЛЬНЫХ ИНСЕКТИЦИДОВ ПРОТИВ ДУБОВОЙ КРУЖЕВНИЦЫ *Corythucha arcuata* Say (Hemiptera, Tingidae)¹

© 2021 г. Е. Н. Беседина^{1,*}, В. Я. Исмаилов¹, А. С. Настасий¹

¹ Федеральный научный центр биологической защиты растений
350039 Краснодар, п/о 39, Россия

*E-mail: vniibzr@mail.ru

Поступила в редакцию 02.06.2020 г.

После доработки 02.09.2020 г.

Принята к публикации 10.12.2020 г.

В последнее время массовое размножение и высокая вредоносность клопа дубовая кружевница (*Corythucha arcuata* Say) на Юге России поставили под угрозу существование лесных и лесопарковых территорий. В статье приведены результаты испытаний ряда биологических и биорациональных препаратов и их композиций с традиционными химическими инсектицидами против дубовой кружевницы. Установлена высокая биологическая эффективность экологически малоопасных препаратов вертимек, КЭ (18 г/л), спинтор 240, СК (240 г/л) и экспериментального препарата на основе растительных эфирных масел биостат, КЭ (300 мл/л). Наибольшую эффективность против клопа дубовая кружевница от 92.4 до 100% показали биорациональные инсектициды вертимек при норме расхода 1.5 л/га, спинтор 240 – 0.6 л/га и композиция биорационального препарата биостат с традиционным инсектицидом эфория при нормах расхода 1.0 л/га + 0.04 л/га и 1.0 л/га + 0.08 л/га.

Ключевые слова: вредители, дубовая кружевница *Corythucha arcuata* Say, биопрепараты, биорациональные препараты, инсектициды, биологическая эффективность.

DOI: 10.31857/S0002188121030030

ВВЕДЕНИЕ

Проблемой, возникшей в последнее время, являются обширные инвазии адвентивных вредителей, приводящие к серьезным потерям урожая сельскохозяйственных культур, нарушению сложившихся за многие годы экосистем, особенно лесных, исчезновению ценных и реликтовых видов растений. Одним из таких фитофагов является клоп дубовая кружевница (*Corythucha arcuata* Say), инвазивное развитие которой ставит под угрозу существование дубовых насаждений. Распространение и вредоносность этого вида, впервые отмеченного в Краснодарском крае в 2015–2016 гг. [1], в населенных пунктах, водоохранных, курортных, лесопарковых и заповедных зонах, где применение химических инсектицидов строго регламентировано или полностью запрещено, определяет необходимость подбора и использования экологически безопасных средств и методов защиты растений.

Из литературных источников известен ряд микроорганизмов, подавляющих развитие клопов-кружевниц. Среди них перспективны энтомопатогенные грибы *Beauveria bassiana*, *Verticillium lecanii*, *Paecilomyces farinosus*, которые, как известно, присутствуют в естественных условиях [2].

В качестве агентов биоконтроля выявлены потенциальные хищники и паразиты платановой кружевницы (*Corythucha ciliata* Say), такие как паразитический яйцеед *Erythmelus klopomor* Triapitsyn (Hymenoptera: Mymaridae), божья коровка *Harmonia axiridis* Pall. (Coleoptera: Coccinellidae), златоглазка *Chrysoperla lucasina* Lac. (Neuroptera: Chrysopidae), хищные клопы *Deraeocoris ruber* L. (Hemiptera: Miridae), *Arma custos* F. (Hemiptera: Pentatomidae), *Orius majusculus* Reut. (Hemiptera: Anthocoridae) и несколько видов хищных жуков (Coleoptera: Carabidae) [3–10].

Интересные результаты получены при испытании белкового яда медузы *Rhopilema esculentum* Kishinouye в отношении грушевой кружевницы *Stephanitis pyri* F. Показана инсектицидная актив-

¹ Работа поддержана грантом РФФИ № 19-44-233009_p_мол_a и администрации Краснодарского края.

ность белка *R. esculentum* против данного вредителя [11].

С целью оценки эффективности использования в программах биоконтроля платановой кружевницы был проведен скрининг 13-ти штаммов энтомопатогенных грибов, включая 4 изолята *Beauveria bassiana*, 2 изолята *Beauveria pseudobassiana*, 6 изолятов *Metarhizium anisopliae* и 1 изолят *Isaria fumosorosea*, из которых изолят *B. bassiana* КТУ-24 оказался перспективным в качестве штамма-продуцента биопрепарата против *C. ciliata* [12]. Высокую эффективность показала система биологического контроля клопа платановая кружевница с помощью энтомопатогенных нематод *Steinernema* spp. (Rhabditida: Steinernematidae) [13] и хищной златоглазки *Chrysoperla lucasina* Lac. (Neuroptera: Chrysopidae) [14, 15].

Также перспективными для снижения численности клопов-кружевниц являются биологически активные вещества растительного происхождения – так называемые ботанические пестициды [16]. В этих целях рядом исследователей были испытаны вещества, выделенные из растений семейств сложноцветные, бобовые и другие, эффективность которых оценивали как отдельно, так и в композиции с другими биологически активными веществами и энтомопатогенными микроорганизмами [17]. Например, продукты на основе пиретрума и ротенона показали хорошую эффективность при применении против отродившихся личинок платановой кружевницы. Также против *C. ciliata* предложено системное применение азадирахтина [18–25], высокая эффективность которого обусловлена полифункциональной активностью действующего вещества препарата – антифидантной, репеллентной, стерилизующей, ингибирующей линьку насекомых [26, 27].

В отношении дубовой кружевницы были испытаны в разных концентрациях химический препарат клонрин и бактериальный препарат биотоксибациллин П. В результате испытаний получена эффективность, позволяющая надежно защищать дуб от повреждений вредителем [28]. Однако в связи с высоким классом опасности для пчел и энтомофагов использование препарата клонрин в лесах и лесопарковых зонах должно быть строго регламентировано [29].

Цель работы – оценка биологической эффективности ряда биологических, биорациональных препаратов и их композиций с уменьшенными в 4–8 раз нормами расхода химических препаратов против клопа дубовая кружевница *Corythucha arcuata* Say.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Оценку биологической эффективности препаратов по отношению к дубовой кружевнице проводили в полевых условиях. Местом полевых испытаний служили дубовые аллеи ВНИИБЗР (г. Краснодар). Обработку веток дуба черешчатого (*Quercus robur* L.), заселенных личинками и взрослыми клопами дубовой кружевницы осуществляли во 2–3-й декадах июля и 3-й декаде августа с помощью ранцевого опрыскивателя Pulverex. Повторность опыта трехкратная. В период проведения исследования установлено наличие всех стадий развития клопа дубовая кружевница (имаго–яйца–личинки 1–5-го возрастов) (рис. 1).

Учеты численности вредителя проводили непосредственно перед обработкой и через 1, 3, 7, 14 сут после обработки. Биологическую эффективность препаратов рассчитывали по модифицированной формуле Хендерсона–Тилтона с поправкой на контроль [30]. Статистический анализ данных (оценку ошибки средней арифметической и *t*-критерия Стьюдента) проводили стандартными методами [31] с применением компьютерной программы Statistica 13.2.

Испытывали новый экспериментальный препарат растительного происхождения биостат, КЭ (300 мл/л) (нормы расхода – 0.5 и 1.0 л/га) и его композиции с традиционным инсектицидом на основе лямбда-цигалотрина и тиаметоксама эфория, КС (106 + 141 г/л) ООО “Сингента”, Швейцария (нормы расхода – 0.04 и 0.08 л/га). Проводили испытания биорациональных инсектицидов: экологически малоопасного препарата на основе абамектина, полученного методом брожения почвенных актиномицетов *Streptomyces avermitilis*, вертимек, КЭ (18 г абамектина/л) ООО “Сингента”, Швейцария (нормы расхода – 0.75 и 1.5 л/га) и органического инсектицида природного происхождения на основе продукта ферментации актиномицетов *Saccharopolyspora spinosa* – спиносата, спинтор 240, СК (240 г спиносата/л) DOW AgroSciences, США (нормы расхода – 0.3 и 0.6 л/га). Испытывали 2 препаративные формы комплексного биопрепарата на основе энтомопатогенных микроорганизмов *Bacillus thuringiensis*, *Beauveria bassiana*, *Streptomyces* sp. биостоп Ж (БА-2000 ЕА/мл, титр $\geq 10^9 + 10^8 + 10^8$ КОЕ/мл) (нормы расхода – 5.0 и 10 л/га) и биостоп П (10⁶ капсул/г) (норма расхода – 100 г/га) ООО “Инвиво”, Россия. В качестве химического эталона использовали препарат ципи, КЭ (250 г циперметрина/л) ООО “Агрорус и Ко”, Россия (норма расхода – 0.15 л/га).



Рис. 1. Имаго и личинки клопа дубовая кружевница (*Corytucha arcuata* Say) перед обработкой инсектицидами.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В результате проведенного исследования установлена сравнительная биологическая эффективность ряда экологически безопасных препаратов и их композиций с уменьшенными нормами расхода традиционных инсектицидов, которые в

связи с экологичностью в дальнейшем могут быть рекомендованы для контроля численности и вредоносности клопа дубовая кружевница *C. arcuata* (табл. 1).

Показано, что наиболее эффективными против клопа дубовая кружевница оказались компо-

Таблица 1. Биологическая эффективность препаратов против клопа дубовая кружевница (*Corytucha arcuata* Say) (июль–август 2019 г., ВНИИБЗР, г. Краснодар)

№, п/п	Вариант	Норма расхода препарата	Эффективность препарата (%), время после обработки, сут			
			1	3	7	14
1	Биостоп, Ж (БА-2000 ЕА/мл, титр $\geq 10^9 + 10^8 + 10^8$ КОЕ/мл)	10 л/га	50.4 ± 12.7	92.7 ± 1.4	92.7 ± 2.7	91.9 ± 1.6
2	Биостоп, П (10 ⁶ капсул/г)	0.1 кг/га	61.4 ± 10.2	70.6 ± 6.8*	83.8 ± 10.1	96.5 ± 0.6
3	Вертимек, КЭ (18 г/л)	0.75 кг/га	94.8 ± 2.6	87.5 ± 6.5	19.1 ± 4.0*	17.4 ± 12.9*
4	Вертимек, КЭ (18 г/л)	1.5 кг/га	100 ± 0.0	100 ± 0.0	100 ± 0.0	95.9 ± 2.2
5	Спинтор 240, СК (240 г/л)	0.3 кг/га	93.0 ± 1.6*	94.0 ± 1.2	88.5 ± 3.8	84.9 ± 3.6
6	Спинтор 240, СК (240 г/л)	0.6 кг/га	97.1 ± 2.1	97.9 ± 1.3	93.6 ± 2.8	92.4 ± 2.3
7	Биостат, Ж (300 мл/л)	1.0 л/га	63.7 ± 18.2	86.4 ± 5.9	87.5 ± 12.5	98.2 ± 1.8
8	Биостат, Ж (300 мл/л) + + эфория, КС (106 + 141 г/л)	1.0 л/га + 0.08 кг/га	98.3 ± 1.7	100 ± 0.0	100 ± 0.0	100 ± 0.0*
9	Биостат, Ж (300 мл/л) + + эфория, КС (106 + 141 г/л)	0.5 л/га + 0.08 кг/га	100 ± 0.0	98.1 ± 1.9	84.1 ± 2.6	82.2 ± 1.1
10	Биостат, Ж (300 мл/л) + + эфория, КС (106 + 141 г/л)	1.0 л/га + 0.04 кг/га	100 ± 0.0	100 ± 0.0	100 ± 0.0	97.4 ± 2.6
11	Эфория, КС (106 + 141 г/л)	0.3 кг/га	94.6 ± 3.4	94.5 ± 0.6	90.5 ± 2.6	88.5 ± 3.9
13	Эталон ципи, КЭ (250 г/л)	0.15 кг/га	100 ± 0.0	96.1 ± 3.3	94.6 ± 3.4	84.9 ± 5.2

Примечания. 1. ± – ошибка среднего арифметического. 2. * $t_{факт} \geq t_{05}$ – достоверно отличается от эталона (препарат ципи).

зиции биостат + эфория (1.0 л/га + 0.04 л/га; 1.0 л/га + 0.08 л/га). Установлено, что гибель подвижных стадий клопов (личинки и имаго) после обработки композицией этих препаратов уже в 1-е сут составляла 98.3–100%. В данных вариантах высокие показатели эффективности поддерживались в течение 14-ти сут после обработки, причем испытанные формуляции были сопоставимы по эффективности при нормах расхода препарата эфория 0.04 и 0.08 л/га, которые были в 4–8 раз меньше рекомендуемой нормы расхода этого инсектицида против других видов вредителей. В то же время эффективность смеси препаратов биостат и эфория в нормах расхода 0.5 л/га + 0.08 л/га снижалась уже на 7-е сут после обработки (84.1%).

Самостоятельно препарат эфория при полной норме расхода (0.3 л/га) показал высокую эффективность против клопа дубовая кружевница как на 1-е–3-и сут после обработки (94.5–94.6%), так и через 14 сут (88.5%). Однако, несмотря на низкий класс опасности для человека, препарат имеет большой срок ожидания и опасен для пчел и других полезных насекомых. В связи с этим снижение нормы расхода инсектицида в 4–8 раз значительно уменьшит токсическую нагрузку и улучшит экологическую обстановку.

Обработка отдельно биостатом при норме расхода 1.0 л/га показала, что численность вредителя сокращалась постепенно, но сопровождалась пролонгированным эффектом. Например, в течение первых суток после обработки смертность личинок и имаго составляла только 63.7%, на 3–7-е сут – 86.4–87.5%, на 14-е сут она достигла 98.2%.

Высокую эффективность проявил биорациональный инсектицид спинтор 240 при норме расхода 0.6 л/га, при этом смертность клопов составила 92.4–97.9%. При норме расхода препарата 0.3 л/га его эффективность была меньше (84.9–94.0%).

При испытании препарата вертимек наиболее эффективной оказалась норма расхода 1.5 л/га, и высокая эффективность поддерживалась в течение 2-х нед. При норме расхода 0.75 л/га достаточная биологическая эффективность препарата отмечена на 1-е–3-и сут, но на 7-е сут она практически отсутствовала (19.1%).

Были испытаны 2 препаративные формы биопрепарата биостоп – жидкая и порошковая. Эффективность жидкого препарата биостоп Ж проявилась при норме расхода 10 л/га. В испытаниях она составила: на 1-е сут – 50.4%, на 3-и сут – 92.7%, сохранив свой эффект в течение 14 сут.

Обработка препаратом с нормой расхода 5 л/га показала 57.2%-ную смертность на 1-е сут учета и полное отсутствие эффекта через 7–14 сут после проведения обработки. Эффективность препарата биостоп П в норме расхода 100 г/га на 1-е–3-и сут после обработки составила только 61.4–70.6%, тогда как на 7–14-е сут она достигла 83.8–96.5%. Таким образом, препарат биостоп показал рост эффективности и с увеличением экспозиции, т.е. пролонгированную активность для дубовой кружевницы вне зависимости от препаративной формы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, проведенные полевые испытания биологических и биорациональных инсектицидов позволили выявить среди них эффективные препараты против имагинальной и личиночных стадий клопа дубовая кружевница *C. arcuata*. Например, вертимек проявил 95.9–100%-ную эффективность при норме расхода 1.5 л/га. Эффективность спинтора 240 в норме расхода 0.6 л/га составила 92.4–97.9%.

В связи с тем, что ассортимент экологических препаратов, испытанных против клопов-кружевниц, явно недостаточен, и в основном их использовали против других видов кружевниц, результаты исследования могут быть рекомендованы для производственной оценки препаратов против клопа дубовая кружевница. Особый интерес представляют сочетания биологических и биорациональных препаратов, имеющих различные механизмы действия, способные при совместном применении значительно повысить общую эффективность биологического контроля, не представляя опасности для окружающей среды и здоровья человека. Перспективными для биологического контроля клопов-кружевниц, в частности наиболее опасного из них – дубовой кружевницы, могут стать композиционные формуляции на основе биологических и биорациональных инсектицидов и веществ небактерицидной природы, регулирующих метаморфоз и репродуктивные функции насекомых (ингибиторы синтеза хитина, ювеноиды, прекоцены).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шуров В.И., Замотайлов А.С., Бондаренко А.С., Шурова А.В., Скворцов М.М. Кружевница дубовая *Corythucha arcuata* (Say, 1832) (Hemiptera: Tingidae) на Северо-Западном Кавказе: фенология, биология, мониторинг территориальной экспансии и вредности // Изв. СПб. лесотехн. акад. 2019. Вып. 228. С. 58–87.

2. Ozino O.I., Zeppa G. Effect of entomopathogenic fungus inoculum on the control of *Corythucha ciliata* Say adults, wintering on plane-trees of city groves // Giornale di batteriologia, virologia ed immunologia. 1988. V. 81 (1–12). P. 32–39.
3. Arzone A., Ozino O. Patogenicita di tre deteterminiceti nei confronti di *Corythucha ciliata* (Say) (Heteroptera, Tingidae) // Redia. 1984. V. 67. P. 195–203.
4. Arzone A., Ozino O. Ruolo di temperatura e umidita nell'azione di deuteromiceti patogeni su *Corythucha ciliata* (Say) (Heteroptera, Tingidae) // Dif. Piante. 1985. V. 8. № 2. P. 321–327.
5. Tavella L., Arzone A. Indagini sui limitatori nus *Corythucha ciliata* Say (Rhynchota, Heteroptera) // Redia. 1987. V. 70. P. 443–457.
6. Yu H., Liu X., Dong X., Li C., Xing R., Liu S., Li P. Insecticidal activity of proteinous venom from tentacle of jellyfish *Rhopilema esculentum* Kishinouye // Bioorg. Med. Chem. Lett. 2005. V. 15 (22). P. 4949–4952. <https://doi.org/10.1016/j.bmcl.2005.08.015>
7. Голуб В.Б., Калинин В.М., Котенев Е.С. Американский интродуцент – клоп-платановая коритуха // Защита и карантин раст. 2008. № 3. С. 54–55.
8. Puttler B., Bailey W.C., Triapitsyn S.V. Notes on distribution, host associations, and bionomics of *Erythemelus klopomor* Triapitsyn (Hymenoptera, Mymaridae), an egg parasitoid of lace bugs in Missouri, USA, with particular reference to its primary host *Corythucha arcuata* (Say) (Hemiptera, Tingidae) // J. Entomol. Acarolog. Res. 2014. V. 46. № 1. P. 30–34.
9. Бондаренко А.С., Замотайлов А.С., Щуров В.И. К изучению биологии и распространения некоторых видов жуличиц (Coleoptera: Sarabidae), занесенных в Красную книгу Краснодарского края // Nat. Conserv. Res. Заповедная наука. 2017. № 2 (1). С. 70–80. <https://doi.org/10.24189/ncr.2017.005>
10. Щуров В.И., Замотайлов А.С., Щурова А.В. Особенности сезонного цикла и экологии кружевницы дубовой *Corythucha arcuata* (Say, 1832) (Hemiptera: Tingidae) в природных зонах и высотных поясах Западного Кавказа // Мат-лы Международ. научн. конф. “Биосфера и человек”. Майкоп, 2019. С. 118–120.
11. Tarasco E., Triggiani O. Evaluation and comparison of entomopathogenic nematodes and fungi to control *Corythucha ciliata* Say (Rhynchota: Tingidae) // Redia. 2006. V. 89. P. 51–54.
12. Chaigneau A., Chauvel G., Bouyjou B. Les insectes prédateurs du tigre du platane: inventaire et capacités prédatrices // Proc. 6th CIRA. Montpellier, France, 2002. P. 497–504.
13. Chapin E., Lacordaire A.I., Priéto L., Cazenave V. Résultats préliminaires d'une protection biologique intégrée contre le tigre du platane: influence des pratiques culturales et essais de lutte biologique // Proc. 1st Conf. sur l'Entretien des Espaces Verts, Jardins, Gazons, Forêts, Zones aquatiques et autres Zones Non Agricoles. Avignon, France, 2006. P. 187–198.
14. Verfaillie T., Piron M., Gutleben C., Jaloux B., Hecker C., Maury A., Chapin E., Clément A. Expérimentations et proposition d'une stratégie combinée de biocontrolle du tigre du platane *Corythucha ciliata* (Say) dans le cadre du programme PETAAL // Proc. 9th CIRA. Montpellier, France, 2011. V. 9 (1). P. 20–33.
15. Verfaillie T., Piron M., Gutleben C., Hecker C., Maury-Roberti A., Chapin E., Clément A., Jaloux B. Program PETAAL: a Biocontrol strategy of the sycamore lace bug *Corythucha ciliata* (Say) (Hemiptera: Tingidae) in urban areas // Acta Horticult. 2015. V. 1099 (43). P. 375–382. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2015.1099.43>
16. Черменская Т.Д. Ботанические пестициды: состояние и перспективы. СПб.: Инновационный центр защиты растений ВИЗР, 2000. 21 с.
17. Vergnani S., Caruso S. Investigations on the efficacy of different products for the control of *Stephanitis pyri* in an organic pear orchard during the two-year period 2004–'05 // 16th IFOAM Organic World Congress. Modena, Italy, 2008. <http://orprints.org/12209>
18. Vai N., Boselli M., Ponti F., Montermini A., Colla R., Bellettini L., Chiusa B. Control of *Corythucha ciliata* by means of different active ingredients and techniques of application // GF 2000. Atti, giornate fitopatologiche. Perugia, Italia, 2000. V. 1. P. 427–432.
19. Vai N. Pest control of ornamental plants: a guidelines for the urban areas // Informatore Fitopatologico. 2003. V. 53. P. 17–21.
20. Pavela R., Barnet M., Kocourek F. Effect of azadirachtin applied systemically through roots of plants on the mortality, development and fecundity of the cabbage aphid (*Brevicoryne brassicae*) // Phytoparasitica. 2004. V. 32. P. 286–294.
21. Pavela R., Barnet M. Systemic applications of neem in the control of *Cameraria ohridella*, a pest of horse chestnut (*Aesculus hippocastanum*) // Phytoparasitica. 2005. V. 33. P. 49–56.
22. Pavela R., Teixeira da Silva J.A. New control technologies against pests based on Azadirachtin // Floriculture, ornamental and plant biotechnology. Advances and topical issues / Ed. Teixeira da Silva J.A. London: Ltd, 2006. V. III. P. 563–566.
23. Pavela R. Possibilities of botanical insecticide exploitation in plant protection // Pest Technol. 2007. V. 1. P. 47–52.
24. Pavela R., Kazda J., Herda G. Effectiveness of Neem (*Azadirachta indica*) insecticides against Brassica pod midge (*Dasineura brassicae* Winn.) // J. Pest Sci. 2009. V. 83. P. 235–240.
25. Pavela R., Žabka M., Kalinkin V., Kotenev E., Gerus A., Shchenikova A., Chermenskaya T. Systemic applications of azadirachtin in the control of *Corythucha ciliata* (Say, 1832) (Hemiptera, Tingidae), a pest of *Platanus* sp. // Plant Protect. Sci. 2013. V. 49. P. 27–33.
26. Mordue A.J., Blackwell A. Azadirachtin: an update // J. Insect Physiol. 1993. V. 39. P. 903–924.
27. Stark J.D., Walter J.F. Persistence of azadirachtin A and B in soil: effects of temperature and microbial activity // J. Environ. Sci. Health. P. B. 1995. V. 30. P. 685–698.
28. Васильева У.А., Хегай И.В. Применение химических препаратов против дубового клопа кружевницы // Леса России: политика, промышленность, наука, образование. Мат-лы 3-й Международ. на-

- учн.-техн. конф. / Под ред. Гедьо В.М. СПб.: СПб-ГЛТУ, 2018. С. 49–51.
29. Список пестицидов и агрохимикатов, разрешенных к применению на территории Российской Федерации. М.: АНО Редакция журнала “Защита и карантин растений”, 2019. 792 с.
30. Долженко В.И. Методические указания по регистрационным испытаниям инсектицидов, акарицидов моллюскоцидов и родентицидов в сельском хозяйстве. СПб.: ВНИИЗР, 2009. 280 с.
31. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). М.: Агропромиздат, 1985. 351 с.

Field Assessment of Efficiency of Biological and Biorational Insecticides Against Oak Lace Bug *Corythucha arcuata* Say (Hemiptera, Tingidae)

E. N. Besedina^{a,#}, V. Ya. Ismailov^a, and A. S. Nastasiy^a

^a Federal Scientific Center of Biological Plant Protection

PO 39, Krasnodar 350039, Russia

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

In recent years, the mass reproduction and high harmfulness of the oak lace bug (*Corythucha arcuata* Say) in the South of Russia have threatened the existence of forest and park territories. The article presents the test results of a number of biological and biorational preparations and their combinations with traditional chemical insecticides against oak lace bug. We determined the high biological efficacy of ecologically low-hazard products Vertimek, CE (18 g/l), Spintor 240, SC (240 g/l) and an experimental preparation based on vegetable essential oils Biostat, CE (300 ml/l). The greatest efficacy from 92.4 to 100% against the oak lace bug was shown by biorational insecticides Vertimek with a consumption rate of 1.5 l/ha, Spintor 240 – 0.6 l/ha and a combination of a biorational preparation Biostat with a traditional Ephoria insecticide at a consumption rate of 1.0 l/ha + 0.04 l/ha and 1.0 l/ha + 0.08 l/ha.

Key words: pests, oak lace bug *Corythucha arcuata* Say, biopreparations, biorational preparations, insecticides, biological efficacy.

УДК 632.122.1:631.466.1:631.445.24

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ЗАСОЛЕНИЯ НА АЛЛЕЛОПАТИЧЕСКУЮ АКТИВНОСТЬ МИКРОМИЦЕТОВ В ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ ПОЧВЕ

© 2021 г. А. О. Герасимов^{1,*}, Ю. М. Поляк¹

¹ Санкт-Петербургский научно-исследовательский центр экологической безопасности РАН
197110 Санкт-Петербург, Корпусная ул., 18, Россия

*E-mail: recchi@rambler.ru

Поступила в редакцию 03.03.2020 г.

После доработки 04.04.2020 г.

Принята к публикации 10.12.2020 г.

В условиях полевого опыта проведено исследование влияния хлоридного засоления на фитотоксичность дерново-подзолистой суглинистой почвы и аллелопатическую активность почвенных микромицетов. Показано, что фитотоксичность почвы, подвергшейся засолению, может быть связана не только с ингибирующим действием солей на развитие растений, но и с биологически активными вторичными метаболитами токсигенных видов микроскопических грибов. При засолении почвы в сообществе почвенных микроорганизмов возрастала доля микромицетов-токсикообразователей, обладающих высокой аллелопатической активностью, что приводило к перестройке микробного сообщества и оказывало негативное действие на растения.

Ключевые слова: хлоридное засоление, фитотоксичность, микроскопические грибы, аллелопатия, вегетационный сезон, поллютанты.

DOI: 10.31857/S0002188121030078

ВВЕДЕНИЕ

Загрязнение почв солями различного вида и происхождения является одним из основных антропогенных факторов, негативно влияющих на окружающую среду. В настоящее время порядка 1/4 всех почв Земли в той или иной степени засолены. Различают первичное засоление (природное) и вторичное – вызванное деятельностью человека. К факторам, определяющим развитие первичного засоления почв, относят особенности климата, рельефа, дренированность территории, засоленность почвообразующих и подстилающих пород, наличие минерализованных грунтовых вод.

Вторичное засоление почв чаще всего является результатом неправильного режима орошения в растениеводстве. Вторичное засоление – один из главных деградационных процессов, определяющих экологическое состояние земель [1]. Помимо сельскохозяйственной деятельности, заметную роль в засолении различных природных ландшафтов играют соли противогололедных средств, попадающие в почвы вместе со снегом и накапливающиеся в них.

Засоление территорий приводит к сокращению биоразнообразия и снижению продуктивно-

сти агро- и биоценозов, ухудшению почвенных условий, подавлению роста и репродукции растений [2, 3]. Среди возможных последствий засоления – изменение химического состава почв и нарушение их физических характеристик, что может привести к структурным и функциональным трансформациям почвенных экосистем и грозит гибелью растениям и почвенной микробиоте [4].

Засоление влияет на биомассу микроорганизмов и их метаболическую активность. Известно, что почвенная микробиота первой реагирует на различные виды загрязнения, при этом уже на начальных стадиях загрязнения могут изменяться состав, численность микроорганизмов, их метаболизм и активность почвенных ферментов [5]. Высокий уровень засоления почвообразующих субстратов сдерживает формирование микробного блока в молодых почвах. Кроме того, в засоленных почвах уменьшается интенсивность некоторых микробиологических процессов [6].

Токсичность загрязненных почв может быть вызвана не только непосредственно действием поллютантов, но также обуславливаться токсинами, выделяемыми представителями почвенного микробного сообщества [7]. Токсины (биологи-

чески активные вторичные метаболиты) образуют многие виды почвенных микроорганизмов. Как вещества, обладающие ингибирующими свойствами, микробные токсины играют важную роль в аллелопатических взаимодействиях, происходящих в почве.

Термин “аллелопатия”, происходящий от древнегреческих слов ἀλλήλων (“взаимно”) и πάθος (“страдание”), впервые употребил в 1937 г. Ханс Молиш для описания биохимических взаимодействий, при которых растения ингибируют рост соседних растений [8]. В последующие годы формулировка понятия аллелопатия несколько раз незначительно изменялась.

Применительно к нашему исследованию, под аллелопатией следует понимать биологическое явление, с помощью которого организм вырабатывает определенные химические соединения, влияющие на прорастание, рост, выживание и размножение других организмов в фитоценозах. Эти соединения известны как аллелопатически активные вещества и могут воздействовать на другие организмы благоприятно (стимулировать – положительная аллелопатия) или пагубно (подавлять – отрицательная аллелопатия).

Образование аллелопатически активных веществ обусловлено как биотическими (патогены, паразиты, вредители растений, взаимодействие с другими растениями), так и абиотическими факторами (температура, водный стресс, дефицит фосфора и влаги) [9]. К аллелопатическим взаимодействиям способны многие растения и микроорганизмы. Среди микроорганизмов образовывать аллелопатические соединения могут представители самых разных таксономических групп, но фитотоксические свойства чаще других проявляют почвенные микромицеты [10]. Известно множество видов токсинообразующих микромицетов, распространенных в почвенных экосистемах, относящихся к родам *Aspergillus*, *Penicillium*, *Fusarium*, *Trichoderma*, *Botrytis* и др. [11, 12].

Среди 4-х групп веществ, ответственных за аллелопатию – выделяемые микроорганизмами антибиотики (для подавления жизнедеятельности других микроорганизмов) и маразмины (для подавления высших растений), а также выделяемые растениями фитонциды (для подавления микроорганизмов) и колины (для подавления других растений) [13].

Следует отметить, что аллелопатические взаимодействия являются важным фактором в успехе многих инвазионных видов растений, таких как борщевик, пятнистый василек, чесночница черешчатая, казуарина. В то же время многие иссле-

дователи до сих пор рассматривают аллелопатию как обычную форму экологической конкуренции между организмами в биоценозах [8].

В настоящее время известно значительное число работ, посвященных использованию явления аллелопатии в сельском хозяйстве (влиянию сорняков на сельскохозяйственные культуры, посевам на сорняки, а также сельскохозяйственных культур друг на друга) [14]. В них рассматривается, в частности, возможность использования аллелопатически активных веществ в качестве регуляторов роста и естественных гербицидов в целях содействия сельскому хозяйству. Однако изучение аллелопатических эффектов, возникающих в почве при засолении, до настоящего времени не проводили, что обусловило новизну и актуальность данного исследования. Цель работы – изучение аллелопатических свойств микробиоты засоленной почвы и оценка влияния хлоридного засоления на фитотоксичность и уровень аллелопатической активности микроорганизмов-токсикобразователей.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Натурный мелкоделяночный эксперимент был заложен на территории опытного поля Аграрного университета (г. Пушкин). Объектом исследования служила дерново-подзолистая суглинистая почва на карбонатной морене (Eutric Albic Retisol (abrupt, loamic, aric, ochric)). Содержание органического углерода в почве составляло 2.9%, доступного фосфора – 175 мг/кг, калия – 250 мг/кг, рН 6.8. В начале вегетационного сезона (в мае) в исследованную почву вносили в растворенном виде хлорид натрия в концентрациях 20, 50 и 150 г/м². В конце вегетационного сезона (конец сентября) отбирали образцы почвы для анализа. Полученные результаты сравнивали с показателями незагрязненных контрольных образцов.

Показателем содержания растворенных солей в почвах служила электрическая проводимость водных вытяжек из почвенных образцов (соотношение почва : дистиллированная вода = 1 : 5), которую определяли с помощью многодиапазонного кондуктометра “Hanna” HI 8733. Подготовку водных вытяжек проводили по ГОСТ 26423-85 “Почвы. Методы определения удельной электрической проводимости, рН и плотного остатка водной вытяжки”.

Токсикологическую оценку почвенных образцов проводили методом фитотестирования с использованием в качестве тест-организма пшеницы мягкой *Triticum aestivum* L. [15].

Почвенные микромицеты выделяли по общепринятым методикам [16] на среде Чапека со стрептомицином и идентифицировали по определителям [17–22]. Для характеристики комплекса микромицетов рассчитывали показатели частоты встречаемости (доля числа образцов, где вид был встречен, в общем числе образцов, в %) и обилия видов (доля численности данного вида к общей численности микромицетов, в %) [16]. Для разделения видов на группы по частоте встречаемости использовали градации [23]: доминирующие ($\geq 60\%$) > частые ($\geq 30\%$) > редкие ($\geq 10\%$) > случайные ($< 10\%$). Разделение видов на группы по обилию проводили в соответствии со следующими градациями: доминирующие ($\geq 30\%$) > типичные ($\geq 10\%$) > редкие ($< 10\%$) [23].

Уровень аллелопатической активности оценивали по суммарной фитотоксичности комплекса почвенных микромицетов, которую определяли модифицированным методом Даниловой [24, 25]. Для этого почвенную суспензию высевали на агаризованную среду Чапека со стрептомицином и инкубировали в течение 14 сут при температуре 24°C. После инкубации агаровую пластину с выросшими на ней микромицетами переворачивали и на обратной стороне пластины раскладывали семена пшеницы *Triticum aestivum* L. (20 шт./на чашку Петри). Всхожесть семян, длину корней и coleoptилей измеряли через 3-е сут после помещения семян на пластину. Расчет аллелопатической активности грибного комплекса проводили в сравнении с контролем, представлявшим собой стерильную среду Чапека со стрептомицином, по формуле (1):

$$K = (1 - L_{\text{оп}}/L_{\text{к}}) \times 100, \quad (1)$$

где K – коэффициент аллелопатической активности, рассчитанный по ингибированию длины проростков; $L_{\text{оп}}$ – длина проростков в опыте; $L_{\text{к}}$ – длина проростков в контроле.

Таблица 1. Удельная электропроводность водных вытяжек из загрязненных NaCl почв, мСм/см

Концентрация хлорида натрия, г/м ²	Начало вегетационного сезона	Конец вегетационного сезона
0	0.11 ^a	0.09 ^a
20	0.72 ^b	0.14 ^b
50	1.56 ^c	0.17 ^c
150	3.92 ^d	0.29 ^d

Примечание. Разные буквы в столбцах означают статистически значимые различия ($p < 0.05$).

Статистическую обработку результатов исследования проводили с использованием программы Statistica (версия 10, Statsoft).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты определения содержания легкорастворимых солей по удельной электропроводности водных вытяжек из почв, загрязненных хлоридом натрия, представлены в табл. 1. Выявили заметное превышение фонового уровня содержания солей (примерно в 35 раз) при внесении максимальной дозы хлорида натрия в почву, что соответствовало слабозасоленным почвам (4 мСм/см). При внесении средних доз хлорида натрия электропроводность достигала 1.56 мСм/см, что можно считать допустимым.

К концу вегетационного сезона под действием внешних факторов содержание солей в почве снизилось до фоновых показателей. Наибольшая электропроводность была равна 0.29 мСм/см. На основании этих данных можно говорить о практически полном вымывании соли из верхних горизонтов почвы за вегетационный период.

Токсикологическая оценка почвенных образцов методом фитотестирования показала, что в начале и конце вегетационного сезона загрязненные хлоридом натрия почвы оказывали различное действие на высшие растения. На рис. 1 представлены результаты изучения фитотоксичности загрязненных почв и влияния разных концентраций хлорида натрия на всхожесть проростков пшеницы, длину их корней и coleoptилей. В начале вегетационного сезона при всех исследованных концентрациях хлорида натрия наблюдали значительное подавление развития растений, выражавшееся в задержке прорастания семян и уменьшении длины проростков. При минимальной концентрации соли угнетение роста составило 50%, при максимальной концентрации – 100% (семена не взошли).

В течение вегетационного сезона внесенный в почву хлорид натрия подвергался воздействию различных факторов, в том числе растворению и вымыванию из верхних почвенных горизонтов под действием атмосферных осадков. Процесс самоочищения загрязненной солью почвы сопровождался снижением ее токсичности. По окончании вегетационного сезона степень негативного воздействия NaCl на растения снизилась. Всхожесть семян не отличалась от контрольного варианта, воздействие NaCl на coleoptили уменьшилось до уровня “малой токсичности” (22–32%). Тем не менее, почва всех образцов оказывала ингибирующее действие на развитие корней растений.

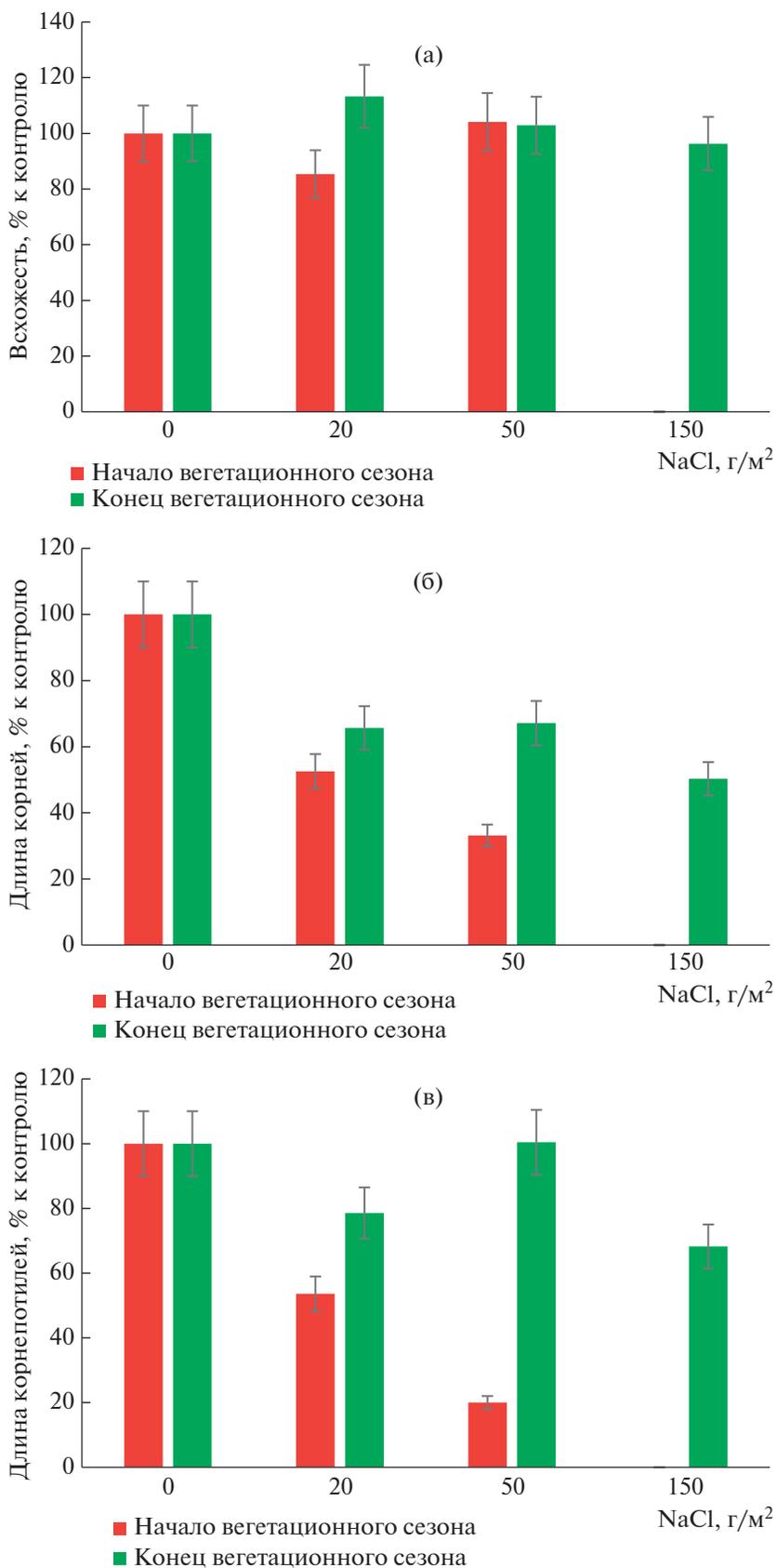


Рис. 1. Влияние NaCl на проростки пшеницы *Triticum aestivum* L.: воздействие на всхожесть семян (а), длину корней (б), длину coleoptилей (в).

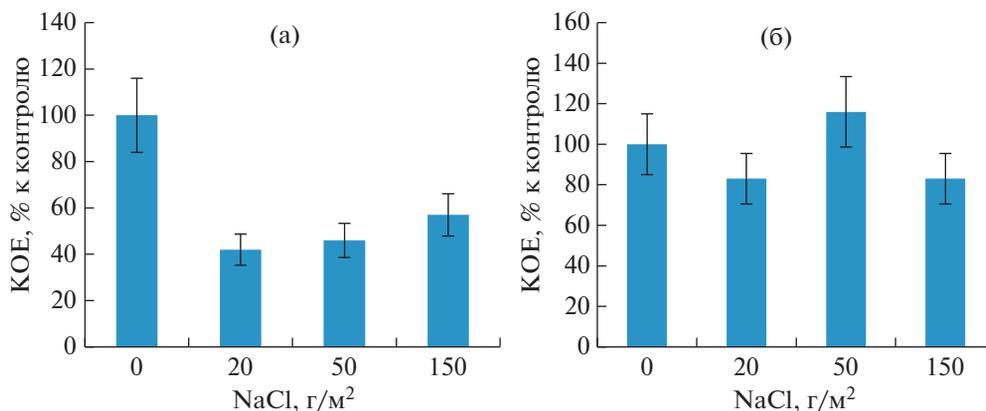


Рис. 2. Влияние NaCl на численность КОЕ микромицетов дерново-подзолистой почвы в начале (а) и конце (б) вегетационного сезона.

При максимальной исходной концентрации хлорида натрия (150 г/м^2) угнетение корней проростков составило 50%, что соответствовало “умеренной токсичности”.

Учитывая, что по результатам определения удельной электропроводности содержание солей в верхнем горизонте засоленных почв в конце вегетационного сезона приблизилось к контрольным показателям, сохранение определенных фитотоксических свойств на этом этапе указывало на наличие в почве факторов дополнительного токсического действия на растения.

Токсичность почвенных образцов могла быть связана не только с повышенным содержанием солей, но и с изменением структуры микробного сообщества почвы, сопровождавшимся развитием микроорганизмов-продуцентов токсинов, прежде всего, микроскопических грибов. Токсины грибов обладают ярко выраженными ингибирующими свойствами, что определяет их важную роль в аллелопатических взаимодействиях с растениями [9].

Было установлено, что на начальном этапе в почвах с повышенным содержанием солей происходило снижение численности почвенных микроскопических грибов на 43–58%, по сравнению с сообществом микромицетов незагрязненной почвы (рис. 2). В конце вегетационного сезона численность КОЕ микромицетов возросла и достигала уровня незагрязненной почвы.

Действие солей проявлялось не только в снижении численности микромицетов, но и в изменении структуры микробного сообщества. В незагрязненной почве доминантными по частоте встречаемости и обилию были представители родов *Aspergillus* и *Mucor*, к частым видам относились микромицеты родов *Fusarium*, *Penicillium*, *Paecilomyces*. В засоленной почве доминировали

микромицеты родов *Penicillium* и *Aspergillus*, среди частых видов выявлены представители родов *Alternaria*, *Cladosporium* и *Rhizopus*.

Доминантами по обилию в незагрязненной почве были *Aspergillus terreus*, *Aspergillus flavus*, *Mucor* sp. В засоленных почвах преобладали *Penicillium funiculosum*, *Aspergillus flavus*, *Aspergillus fumigatus*. В почве с максимальным содержанием солей (150 г/м^2) помимо *Penicillium* и *Aspergillus* доминировал *Fusarium oxysporum*.

В конце вегетационного сезона, когда содержание солей в почве снизилось, различия в структуре почвенной микобиоты сохранились, несмотря на то что численность микромицетов в засоленной почве к этому времени не отличалась от контрольной. В засоленной почве как типичные присутствовали фитотоксичные виды микромицетов *Aspergillus flavus*, *A. fumigatus*, *A. terreus*, *Cladosporium* sp., *Fusarium oxysporum*, *Penicillium funiculosum*, *P. verrucosum*. Из типичных видов общими для незагрязненной и загрязненной почвы были 3 вида: *Aspergillus flavus*, *A. fumigatus*, *Fusarium oxysporum*. В еще большей степени различались количество и состав редких видов. Общими редкими видами для незагрязненной и загрязненной почвы были только *Penicillium cyclopium* и *Penicillium oxalicum*.

Важным отличием засоленных почв является доминирование некоторых представителей родов *Aspergillus* и *Penicillium*. Например, микромицет *Aspergillus ochraceus* был выделен как доминирующий из почвы, содержащей 50 и 150 г/м^2 NaCl. *Aspergillus flavus* доминировал во всех вариантах засоленных почв. *Cladosporium* sp. был выделен как доминирующий лишь в почвах с наиболее высоким уровнем загрязнения (150 г/м^2).

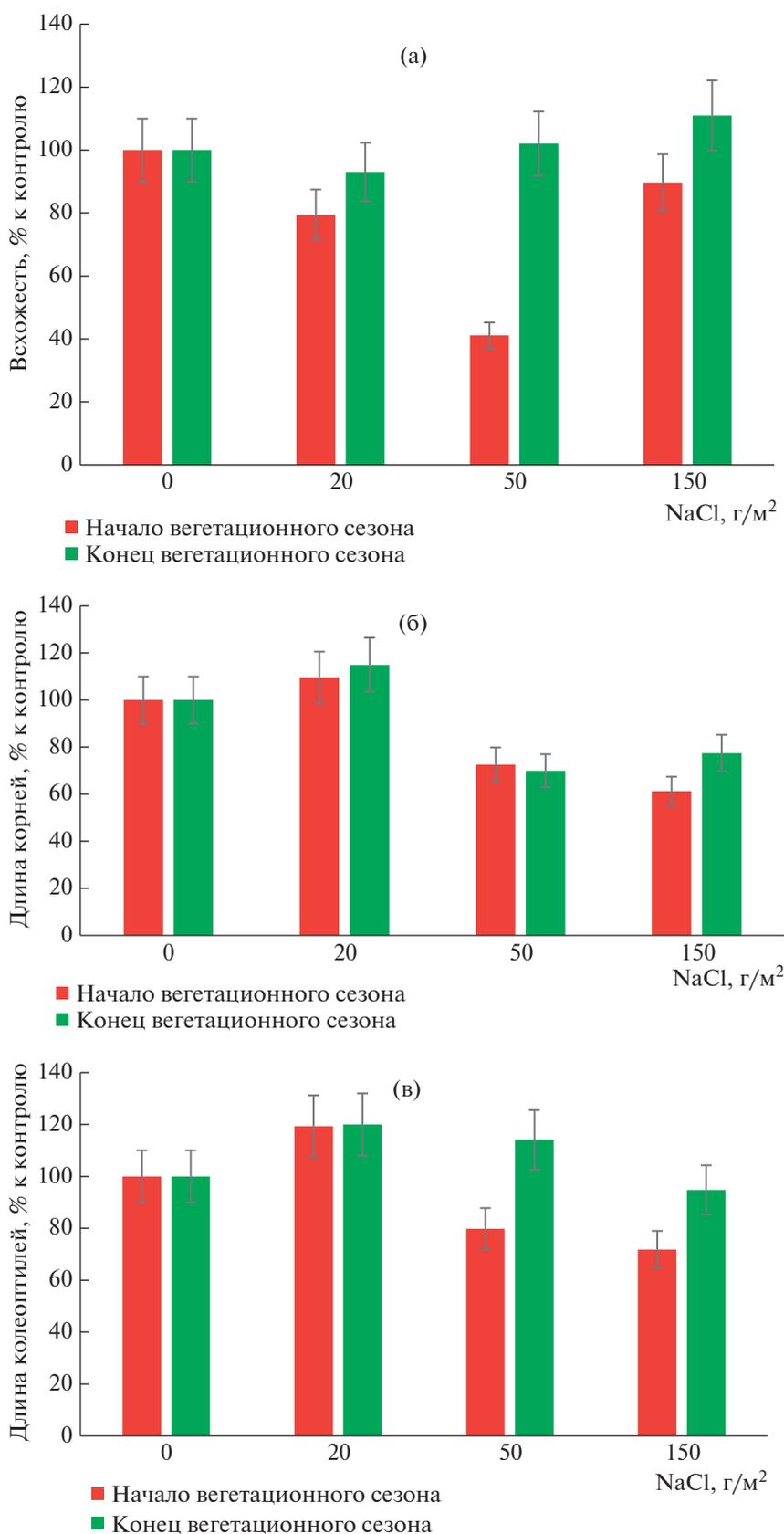


Рис. 3. Влияние NaCl на аллелопатическую активность почвенных микромицетов: действие продуктов метаболизма микромицетов на всхожесть семян *Triticum aestivum* L. (а), длину корней (б), длину coleoptилей (в).

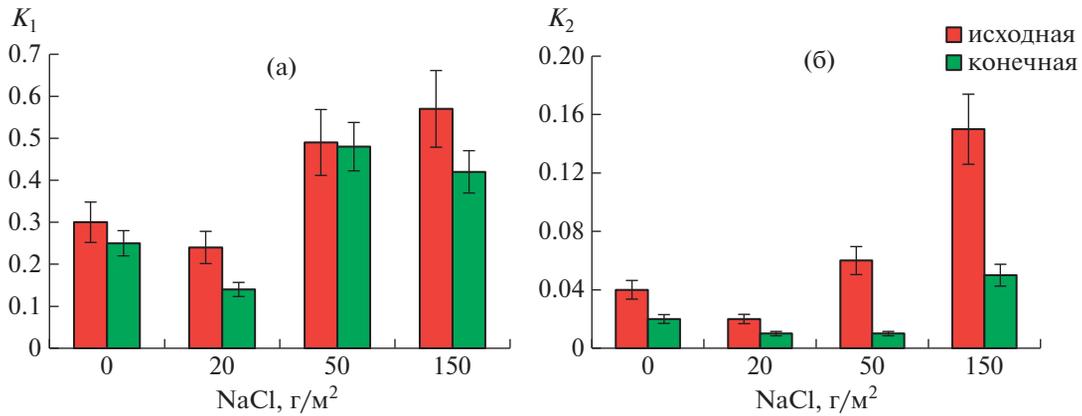


Рис. 4. Влияние NaCl на коэффициенты аллелопатической активности почвенных микромицетов K_1 (а) и K_2 (б) в начале и конце вегетационного сезона.

Расчет индексов сходства Сёрнсена–Чекановского (S) подтвердил направленность происходящих в засоленных почвах изменений. Сходство грибных сообществ, выделенных из засоленных почв, с сообществом контрольной почвы было низким ($S = 0.19–0.27$) и уменьшалось по мере увеличения засоленности. При этом максимальное сходство ($S = 0.44$) отмечено между сообществами микромицетов почв с наиболее высоким уровнем засоления – 50 и 150 г/м².

Таким образом, в засоленной почве происходило снижение численности микромицетов. Отдельные фитотоксичные виды микромицетов, которые в контрольной почве не выделяли, или они были классифицированы в качестве редких, в засоленной почве переходили в разряд типичных и даже доминирующих. Несмотря на то, что по окончании вегетационного сезона численность микромицетов в засоленной почве восстановилась, общее грибное разнообразие по-прежнему отличалось от незагрязненной почвы. Максимальные отличия состава и структуры грибных сообществ выявлены в почве с наиболее высоким уровнем засоления (150 г/м²), в которой доминировали представители рр. *Penicillium*, *Aspergillus*, *Fusarium*.

В связи с большой значимостью этой группы грибов в биоценозе, актуальной задачей является изучение их токсигенных свойств. На рис. 3 представлены результаты анализа аллелопатической активности сообщества микромицетов засоленных почв в сравнении с контролем. Показано, что они негативно влияли на всхожесть семян пшеницы мягкой, снижая ее на 10–58% в сравнении с контролем. Метаболиты грибов оказывали влияние и на морфометрические показатели расте-

ний: угнетение развития корней составило 27–39%, колеоптилей – 20–28% к контролю.

В конце вегетационного сезона аллелопатическая активность микромицетов снизилась, статистически значимые различия между засоленной и контрольной почвами по всхожести и длине колеоптилей отсутствовали. Тем не менее, ингибирующее действие микробных метаболитов на длину корней растений проявилось и на этом этапе. При содержании солей в почве 50–150 г/м² угнетение развития корней составило 23–30% в сравнении с контролем.

Изменение токсичности микробных метаболитов в зависимости от концентрации NaCl наглядно показали коэффициенты аллелопатической активности комплекса почвенных микромицетов, рассчитанные по длине корней (K_1) и колеоптилей (K_2) пшеницы. При определении K_1 было выявлено превышение пороговых показателей (0.3) при уровне загрязнения >50 г NaCl/м² (рис. 4). Максимальных величин коэффициенты аллелопатической активности достигали в начале эксперимента. Величина K_1 составила 0.49–0.53 (163–183% в сравнении с коэффициентами аллелопатической активности микобиоты контрольной почвы). В почве с минимальным содержанием солей (20 г NaCl/м²) коэффициент K_1 не превышал контроль.

Для коэффициента K_2 пороговый показатель 0.3 не был превышен ни в одном из исследованных вариантов, тем не менее, в начале эксперимента при содержании солей в почве 50 и 150 г/м², K_2 был больше контроля в 2.0 и 3.7 раза соответственно.

По окончании вегетационного сезона аллелопатическая активность микромицетов в почве с

содержанием солей 50 и 150 г/м² оставалась высокой: K_1 составил 0.48 (189% к контролю) и 0.42 (167%) соответственно. Можно предположить, что токсичность почвы для растений, выявленная методами фитотестирования, определялась не только влиянием хлорида натрия, но и токсинами микроскопических грибов, перестройкой сообщества микромицетов, при которой активизировались микромицеты-токсикообразователи. Повышенная аллелопатическая активность почвенных микромицетов вносила свой вклад в фитотоксические свойства засоленных почв.

Данный эффект – возрастание численности токсигенных грибов в антропогенно-загрязненных почвах и стрессовых условиях отмечен в работах ряда авторов [25–27]. Усиление фитотоксических свойств под действием неблагоприятных факторов среды дает токсикообразующим грибам определенное преимущество в борьбе за питательный субстрат и связано с их высокой устойчивостью к различным типам антропогенного воздействия. Токсикоз почвы, обусловленный влиянием микроскопических грибов, проявляется при содержании 50 г NaCl/м² почвы и более, и сохраняется на протяжении всего вегетационного сезона.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Несмотря на интенсивное изучение феномена аллелопатии, сведения об аллелопатических взаимодействиях ограничены или дискуссионны, что особенно касается почвенных процессов. Для сохранения почвенного покрова, повышения плодородия почв и реабилитации нарушенных земель в условиях антропогенного воздействия необычайно важным является понимание динамики экологического состояния почвы и ее биоты, в том числе изменения аллелопатической активности обитающих в почве микроорганизмов.

Результаты проведенного исследования показали, что фитотоксичность почв, подвергшихся хлоридному засолению, может быть связана не только с ингибирующим действием солей на развитие растений, но и с биологически активными вторичными метаболитами токсигенных видов микроскопических грибов. При засолении почв в сообществе микромицетов возрастала доля видов с фитотоксическими свойствами, и формировалось микробное сообщество, в котором доминировали микромицеты, обладающие высокой аллелопатической активностью. Среди исследованных параметров коэффициенты аллелопатической активности были наиболее чувствительными показателя-

ми изменений, происходящих в микробоценозе, и свидетельствовали о продолжительности негативного действия повышенного содержания солей на почвенную микобиоту.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Засоление почв: проблема и пути решения. Интернет-ресурс: <http://agropraktik.ru/blog/1097.html> (Дата обращения: 05.02.2020).
2. Хасан Д., Ковтун И.С., Ефимова М.В. Влияние хлоридного засоления на прорастание семян и рост проростков *Brassica napus* L. // Вестн. ТомскГУ. Биология. 2011. № 4 (16). С. 108–112.
3. Bronicka M., Raman A., Hodgkins D., Nicol H. Abundance and diversity of fungi in a saline soil in central-west New South Wales, Australia // *Sydowia*. 2007. № 59 (1). P. 7–24.
4. Якубов Х.Г., Николаевский В.С. Удаление натрия и хлоридов из почв города в целях улучшения условий роста и развития древесных растений // Экология большого города. Альманах “Проблемы содержания зеленых насаждений в условиях Москвы”. 2001. № 5. С. 100–105.
5. Поляк Ю.М., Сухаревич В.И. Почвенные ферменты и загрязнение почв: биодеградация, биоремедиация, биоиндикация // *Агрохимия*. 2020. № 3. С. 83–93.
6. Якутин М.В., Анопоченко Л.Ю., Андриевский В.С. Влияние засоления на биомассу микроорганизмов в разновозрастных почвах в лесостепной зоне Западной Сибири // *Почвоведение*. 2016. № 12. С. 1500–1505.
7. Терехова В.А. Микромицеты в экологической оценке водных и наземных экосистем. М.: Наука, 2007. 215 с.
8. Rick J. Willis. The History of Allelopathy. Springer, 2007. P. 3.
9. Поляк Ю.М., Сухаревич В.И. Аллелопатические взаимоотношения растений и микроорганизмов в почвенных экосистемах // *Усп. совр. биол.* 2019. Т. 2. С. 147–160.
10. Берестецкий О.А. Фитотоксины почвенных микроорганизмов и их экологическая роль // Фитотоксические свойства почвенных микроорганизмов. Л.: ВНИИСХМБ, 1978. С. 7–80.
11. Марфенина О.Е. Микологический мониторинг почв: возможности и перспективы // *Почвоведение*. 1994. № 1. С. 75–80.
12. Свистова И.Д., Щербаков А.П., Фролова Л.О. Фитотоксическая активность сапротрофных микромицетов чернозема: специфичность, сорбция и стабильность фитотоксинов в почве // *Прикл. биохим. микробиол.* 2003. Т. 39. № 4. С. 441–445.
13. Гродзинский А.М. Аллелопатия растений и почвоутомление. Киев: Наукова думка, 1991. 432 с.
14. Kong C.H., Hu F., Wang P., Wu J.L. Effect of allelopathic rice varieties combined with cultural management options on paddy field weeds // *Pest Manag. Sci.* 2008. V. 64. P. 276–282.

15. Методика выполнения измерений всхожести семян и длины корней проростков высших растений для определения токсичности техногенно загрязненных почв. М-П-2006. Федеральный реестр. ФР.1.39.2006.02264. СПб. 2009. 22 с.
16. *Звягинцев Д.Г.* Методы почвенной микробиологии и биохимии. М.: Изд-во МГУ, 1991. 304 с.
17. *Пидопличко Н.М.* Пенициллин (Ключи для определения видов). Киев: Наукова думка, 1972. 151 с.
18. *Билай В.И., Коваль Э.З.* Аспергиллы. Определитель. Киев: Наукова думка, 1988. 204 с.
19. *Билай В.И., Курбацкая З.А.* Определитель токсинообразующих микромицетов. Киев: Наукова думка, 1990. 234 с.
20. *De Hoog G.S., Guarro J.* Atlas of Clinical Fungi. Centraalbureau voor Schimmelcultures, 2000. 1126 p.
21. *Watanabe T.* Pictorial atlas of soil and seed fungi: Morphologies of cultured fungi and Key to species. Florida, 2000. 411 p.
22. *Саттон Д., Фотергилл А., Ринальди М.* Определитель патогенных и условно патогенных грибов. М.: Мир, 2001. 468 с.
23. *Мирчинк Т.Г.* Почвенная микология. М.: Изд-во МГУ, 1988. 220 с.
24. *Данилова А.А.* Фитотоксичность грибного комплекса в выщелоченном черноземе Приобья при различных способах основной обработки почвы // Сел.-хоз. биол. 2010. № 3. С. 108–111.
25. *Поляк Ю.М., Бакина Л.Г., Маячкина Н.В., Галдиянц А.А.* Роль аллелопатических взаимодействий в структурных и функциональных изменениях антропогенно-нарушенных почв // Гумус и почвообразование. 2017. № 21. С. 65–69.
26. *Киреева Н.А., Кузяхметов Г.Г., Мифтахова А.М., Водопьянов В.В.* Фитотоксичность антропогенно-загрязненных почв. Уфа: Гилем, 2003. 266 с.
27. *Свистова И.Д., Щербаков А.П., Фролова Л.О.* Токсины микромицетов чернозема: спектр антибиотического действия и роль в формировании микробного сообщества // Почвоведение. 2004. № 10. С. 1220–1227.

Assessment of the Effect of Salinity on the Allelopathic Activity of Micromycetes in Sod-Podzolic Soil

A. O. Gerasimov^{a, #} and Yu. M. Polyak^a

^a Saint-Petersburg Scientific Research Center for Ecological Safety RAS
Korpusnaya ul. 18, Saint Petersburg 197110, Russia

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

The effects of chloride salinization on the phytotoxicity of sod-podzolic loamy soil and allelopathic activity of soil micromycetes were studied in field experiment. The phytotoxicity of saline soil may be related not only to the inhibitory effect of salt on plants, but also to biologically active secondary metabolites of toxigenic species of microscopic fungi. The proportion of toxin-producing micromycetes with high allelopathic activity increases in saline soil, leading to reorganisation of the microbial community and negative effect on plants.

Key words: chloride salinity, phytotoxicity, microscopic fungi, allelopathy, growing season, pollutants.

УДК 631.816:631.67:634.1

МИГРАЦИЯ БИОГЕННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В ЧЕРНОЗЕМЕ ТИПИЧНОМ ПРИ ФЕРТИГАЦИИ ПЛОДОВЫХ НАСАЖДЕНИЙ¹

© 2021 г. Т. Г. Фоменко^{1,*}, В. П. Попова¹, Е. А. Черников¹, А. И. Дрыгина¹,
И. А. Лебедевский², Д. В. Узловатый², А. Н. Мязина²

¹ Северо-Кавказский федеральный научный центр садоводства, виноградарства, виноделия
350901 Краснодар, ул. имени 40-летия Победы, 39, Россия

² Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина
350044 Краснодар, ул. Калинина, 13, Россия

*E-mail: sad-fertigation@mail.ru

Поступила в редакцию 21.05.2020 г.

После доработки 06.10.2020 г.

Принята к публикации 11.01.2021 г.

Изучена сезонная динамика изменчивости агрохимических свойств почв плодовых насаждений и миграции питательных веществ в зоне локального внесения удобрений при систематическом применении фертигации. Сравнительное изучение трансформации свойств почв проведено в молодых и плодоносящих насаждениях яблони в динамике в основных фазах развития плодовых растений. Процесс миграции питательных веществ в увлажняемой зоне почвы моделировали, используя программное обеспечение Surfer 8, в начале, середине и при завершении поливного периода. Установлено увеличение содержания нитратного азота в почве в большей степени на расстоянии 20 см от точки внесения раствора минеральных удобрений и их выщелачивание в зимне-весенний период в результате выпадения обильных осадков. В зоне локального внесения удобрений распределение подвижного фосфора в большей степени зафиксировано в вертикальном направлении, особенно непосредственно под капельницами, обменного калия – в горизонтальном направлении. Выявлена статистически достоверная высокая корреляция увеличения содержания подвижного фосфора ($r = 0.95$) и обменного калия ($r = 0.81$) в почве непосредственно под капельницами. Высокое содержание этих элементов питания сохранялось продолжительное время, и, как правило, не ограничивалось одним вегетационным сезоном. Полученные результаты были основанием для усовершенствования методов оценки почвенного плодородия плодовых насаждений, возделываемых по интенсивным технологиям.

Ключевые слова: плодовые насаждения, фертигация, черноземные почвы, миграция биогенных элементов, моделирование почвенных процессов, агрохимические свойства почв.

DOI: 10.31857/S0002188121040050

ВВЕДЕНИЕ

Высокие температуры и низкая влажность воздуха летнего периода в условиях юга России оказывают стрессовые воздействия на ростовые процессы и продуктивность плодовых растений: происходит преждевременное осыпание листьев и плодов, ухудшается закладка генеративных органов, что в итоге приводит к снижению урожайности [1]. Для оптимизации водного и пищевого режимов плодовых растений в этих условиях применяют автоматизированные системы капельного орошения, которые позволяют одновременно с поливной водой вносить минеральные удобрения

(фертигация) [2]. Рациональное применение удобрений при фертигации обеспечивает контролируемое размещение питательных веществ в зоне основного расположения корней растений, сводя к минимуму миграцию питательных веществ за пределы основного корнеобитаемого слоя почвы [3].

Посредством фертигации возможно поддерживать оптимальную влажность почвы и подавать растениям небольшими дозами сбалансированное количество элементов питания на протяжении вегетационного периода в разные фазы развития плодовых растений [4–6]. Оптимизация водного и пищевого режимов при фертигации способствует улучшению микробиологической активности почвы и физиологического состоя-

¹ Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и администрации Краснодарского края в рамках научного проекта № 19-44-233010 и госзадания СКФНЦСВВ.

ния деревьев, увеличению урожайности, повышению качества и экологической безопасности выращиваемой плодовой продукции [7–9].

Вместе с тем регулярное применение азотных удобрений при фертигации может приводить к интенсивной миграции нитратов в глубокие слои почвы и даже попаданию их в грунтовые воды [10, 11]. Для снижения вероятности выщелачивания нитратов в глубокие слои почвы внесение азотных удобрений при фертигации рекомендуют проводить в конце цикла орошения [3, 12]. Отдельными исследованиями установлено, что фертигация может приводить к формированию очагов повышенной концентрации подвижных форм аммония, фосфора и калия непосредственно под капельницами и созданию зон интенсивной удобренности [13–15]. Также есть сведения, что при фертигации наблюдают горизонтальную и нисходящую миграцию отдельных биогенных элементов питания от зоны непосредственно под капельницами в более глубокие слои почвы [16–18]. Эти данные свидетельствуют о том, что свойства почвы оказывают значительное влияние на фильтрацию воды и миграцию биогенных элементов в зоне локального внесения удобрений при фертигации плодовых насаждений [19–21]. Поэтому характер локального увлажнения почвы, процессы миграции питательных веществ и трансформации комплекса свойств орошаемых почв, полученные в разных почвенно-климатических условиях, могут существенно различаться.

В отличие от посевов полевых культур, в плодовых насаждениях в приствольных полосах часто почву обычно не рыхлят, только обрабатывают гербицидами [22]. Систематическое локальное внесение минеральных удобрений при фертигации может приводить к существенному накоплению биогенных элементов в почве под капельницами, что обуславливает высокую вариабельность параметров почв таких насаждений. В итоге корневая система каждого плодового растения одновременно располагается как в зонах локального внесения минеральных удобрений, так и за ее пределами, т.е. в зонах с различной степенью удобренности, наблюдается так называемая “равномерная неравномерность” [23].

Установление особенностей пестроты почвенного плодородия плодовых насаждений при фертигации является основным критерием, определяющим эффективность рационального и дифференцированного внесения минеральных удобрений [24]. Для определения достоверной степени неоднородности почвенного покрова в плодовых насаждениях трудно выбрать оптимальное место отбора представительной пробы почвы [25, 26].

В этих условиях необходимо учитывать миграцию биогенных элементов в зоне локального внесения удобрений, сезонную динамику изменчивости параметров почвенного плодородия, а также трансформацию свойств орошаемых почв плодовых насаждений в условиях интенсивного сельскохозяйственного использования. Невыполнение этих требований приводит к разработке малоэффективных систем применения фертигации в плодовых насаждениях и увеличению вероятности негативного воздействия на окружающую среду.

Несмотря на широкое применение систем капельного орошения в садоводстве в современных условиях недостаточно результатов системных исследований о происходящих процессах в почве орошаемых насаждений. Цель работы – установить закономерности миграции биогенных элементов в черноземе типичном при систематическом использовании фертигации в плодовых насаждениях. Понимание процесса миграции элементов питания и трансформации комплекса свойств почв необходимо для разработки методов объективной оценки почвенного плодородия и разработки оптимальных схем применения минеральных удобрений при фертигации плодовых насаждений.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследование проводили в условиях недостаточного увлажнения Прикубанской зоны плодородия Краснодарского края в орошаемых интенсивных насаждениях яблони на базе ООО “Экватор-Агро” (ст. Роговская 45°43'36"N 38°47'18.00"E). Плодовые насаждения яблони *Malus domestica* представлены сортами зимнего срока созревания Голден Рейнджерс, Ренет Симиренко, Гала, Модии и др. на подвое М9 (клон Т337) различного возраста, 2015–2019 гг. посадки. Основная схема размещения деревьев 4.0 × 1.0 м. Почвенный покров опытного участка представлен черноземами типичными сверхмощными слабогумусными легкоглинистыми на лессовидных глинах (классификация 1977 г.).

Доза внесения удобрений при фертигации молодых насаждений яблони составляла N46P32K41 (1-й и 2-й год вегетации сада), в плодоносящих насаждениях с 3-го года вегетации – N69P46K62 (табл. 1). Фертигацию осуществляли в засушливые периоды каждые 3–4 сут, за вегетационный период было проведено 38 фертигаций с использованием преимущественно комплексных водорастворимых минеральных удобрений марок

Таблица 1. Дозы внесения минеральных удобрений при фертигации опытных насаждений яблони, кг д.в./га

Сроки применения удобрений	Количество фертигаций	Дозы внесения в молодых насаждениях яблони			Дозы внесения в плодоносящих насаждениях яблони		
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Май	10	15.0	6.7	5.9	22.4	10	8.8
Июнь	10	15.1	4.2	10.4	22.5	6.3	15.5
Июль	10	10.8	11.1	12.5	16.1	16.6	18.6
Август	6	3.9	4.6	9.5	5.8	6.9	14.2
Сентябрь	2	1.3	1.5	3.1	1.9	2.3	4.7
Промывка системы (июль и сентябрь)	–	–	4.2	–	–	4.2	–
Всего	38	46.1	32.3	41.4	68.7	46.3	61.8

OLIGOMAX, AQUA DROP и SOLAR в сочетании с простыми водорастворимыми удобрениями.

Внесение минеральных удобрений при фертигации проводили в середине цикла капельного полива продолжительностью ≈ 30 мин. Затем продолжали капельный полив без внесения удобрений длительностью минимум 40 мин, при котором происходила промывка капельных линий поливной водой и доведение влажности почвы до оптимального уровня. Средняя поливная норма составляла 40 м³/га. Поливы назначали по результатам оценки запаса влаги в корнеобитаемом слое почвы на расстоянии 20 см от места падения капли при достижении предполивной влажности, соответствующей 60–70% НВ (наименьшей влагоемкости). Оптимальную влажность почвы поддерживали на уровне 80% НВ в пределах контуров увлажнения. Расчет поливной нормы при капельном орошении основан на доведении влажности почвы до оптимального значения в увлажняемом объеме [5].

Для изучения динамики изменения свойств почвы в зоне локального внесения удобрений отборы почвенных проб осуществляли регулярно на протяжении вегетационного периода в слое 0–30 см почвы непосредственно под капельницами, на расстоянии 20 см и 40 см от точки падения раствора питательных веществ, а также в центре междурядий плодовых насаждений. За вегетационный период 2019 г. проведено 5 отборов почвенных проб в основных фазах вегетации деревьев яблони: “мышинное ушко”, завязывание плодов, размер плода в диаметре 3–4 см “грецкий орех”, налив плодов и начало фазы созревания плодов. Применение этого подхода позволило установить влияние фертигации на временную изменчивость почвы, определить зоны интенсивного агрогенного воздействия и установить кор-

реляцию трансформации свойств почвы садовых ценозов в зависимости от продолжительности применения фертигации.

Для установления закономерностей миграции элементов питания при фертигации отборы образцов почвы проводили в слоях 0–10, 10–30, 30–50, 50–70, 70–90 см непосредственно под капельницами и через каждые 10 см по направлению к центру междурядья от точки падения капли раствора питательных веществ в плодоносящих 5-летних насаждениях яблони в начале вегетационного периода до внесения минеральных удобрений (апрель), в середине вегетационного периода (июль) и в конце сезона после окончания применения удобрений (сентябрь). Образцы почвы отбирали с помощью малогабаритного почвенного бура Неговелова.

Оценку миграции элементов питания в зоне локального внесения минеральных удобрений производили путем сравнения коэффициентов эффективности их распределения ($K_{ЭФ}$). Коэффициент показывает равномерность горизонтального распределения элемента питания в почве относительно вертикального. Данный коэффициент определяли по формуле:

$$K_{ЭФ} = H/L, \quad (1)$$

где H – максимальная глубина миграции элемента питания, см, L – максимальная ширина миграции элемента питания, см.

Лабораторно-аналитические исследования почвенных образцов проводили по следующим параметрам: содержание нитратов ионометрическим методом – по ГОСТу 26951-86, содержание обменного аммония – по ГОСТу 26489-85, содержание подвижных соединений фосфора и калия – по методу Мачигина в модификации ЦИНАО по ГОСТу 26205-91. Лабораторные анализы почвы проводили на современном приборном оборудо-

вании. Для определения содержания нитратного азота использовали комплект “Микон-2” с иономером “ЭКСПЕРТ-001”, подвижного фосфора – фотометр фотоэлектрический КФК-3-01, обменного калия – пламенный фотометр ПФА-354.

Оценку полученных экспериментальных данных осуществляли с использованием методов математической статистики с применением дисперсионного анализа в программе Microsoft Office Excel 2003 согласно [27]. Построение 2D-диаграмм миграции элементов питания в зоне локального внесения минеральных удобрений проводили с использованием программного обеспечения Surfer 8 согласно [28].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Регулярное проведение фертигации в насаждениях яблони способствовало увеличению содержания нитратного азота в почве в большей степени на расстоянии 20 см от точки внесения раствора минеральных удобрений. Миграция нитратов обусловлена их постепенным выщелачиванием на периферию основной зоны увлажнения почвы при регулярном капельном орошении. Максимальное содержание нитратов в слое 0–30 см почвы в молодых насаждениях яблони установлено в фазе налива плодов яблони (123–191 мг/кг), в плодоносящих насаждениях – в фазе размер плода диаметром 3–4 см “греческий орех” (118–146 мг/кг), когда была внесена основная часть дозы азота за вегетационный период (рис. 1). В период созревания плодов яблони наблюдали снижение содержания нитратного азота в зоне локального внесения минеральных удобрений.

Содержание нитратного азота в почве сада на расстоянии 40 см от точки падения капли раствора питательных веществ существенно варьировало в течение вегетационного периода. В молодых насаждениях яблони содержание изменялось от 5.5 до 32.7 мг/кг почвы, что было существенно меньше, чем на периферии основной зоны увлажнения почвы. В плодоносящих насаждениях яблони наблюдали небольшие отличия миграции нитратов в зоне локального увлажнения почвы. Зоны локального увлажнения почвы в этом случае были практически закрыты листовым пологом деревьев яблони, в результате не происходило быстрого иссушения почвы в межполивной период, как это наблюдали в молодых садах. Поэтому на расстоянии 40 см от капельниц содержание нитратов иногда могло быть больше, чем на периферии основной зоны увлажнения почвы (12.8–80.6 мг/кг). Таким образом, в зоне локального увлажнения почвы плодоносящих насажде-

ниях яблони отмечено более равномерное распределение нитратного азота.

В условиях Краснодарского края в зимне-весенний период при выпадении осадков происходит выщелачивание нитратов за пределы основного корнеобитаемого слоя в более глубокие слои почвы. Поэтому в весенний период перед началом активной вегетации деревьев яблони отмечено существенное снижение содержания нитратного азота в основной зоне увлажнения почвы. Таким образом, достоверной связи между обеспеченностью почвы нитратным азотом и продолжительностью применения фертигации в плодовых насаждениях не установлено. В содержании нитратного азота отмечена сезонная динамика, т.е. увеличение концентрации в зоне локального внесения минеральных удобрений на протяжении вегетационного периода при регулярном капельном орошении и их выщелачивание в зимне-весенний период в более глубокие слои почвы.

Закономерностей изменения обеспеченности почвы обменным аммонием в зависимости от места отбора почвенных проб не установлено. Содержание аммонийного азота в почве в течение вегетационного периода было довольно динамичным, показатели изменялись от 6.7 до 16.0 мг/кг почвы. Относительно невысокое содержание аммонийного азота по сравнению с нитратным, вероятно, объясняется тем, что при оптимальной влажности почвы и температуре 25–32°C внесенный при фертигации аммонийный азот довольно быстро окисляется до нитратов (нитрификация) [30], которые мигрируют в почве с последующими циклами полива.

Применение минеральных удобрений при капельном поливе насаждений яблони способствовало постепенному повышению содержания подвижного фосфора и обменного калия в зоне локального внесения удобрений уже в первый год после посадки растений. Содержание подвижного фосфора в почве под капельницами к окончанию вегетационного периода уже соответствовало очень высокому уровню обеспеченности – 141 мг/кг почвы, что в 5 раз было больше показателей за пределами зоны внесения минеральных удобрений. В плодоносящих насаждениях яблони содержание подвижного фосфора в почве под капельницами изменялось незначительно и составляло 222–277 мг/кг почвы. Как показывают данные, при систематическом применении фертигации в садах происходило так называемое локальное зафосфачивание почвы. В то же время на расстоянии 20 см от капельниц количество подвижного фосфора в почве было значительно меньше и варьировало от 43.6 до 67.8 мг/кг почвы в связи со

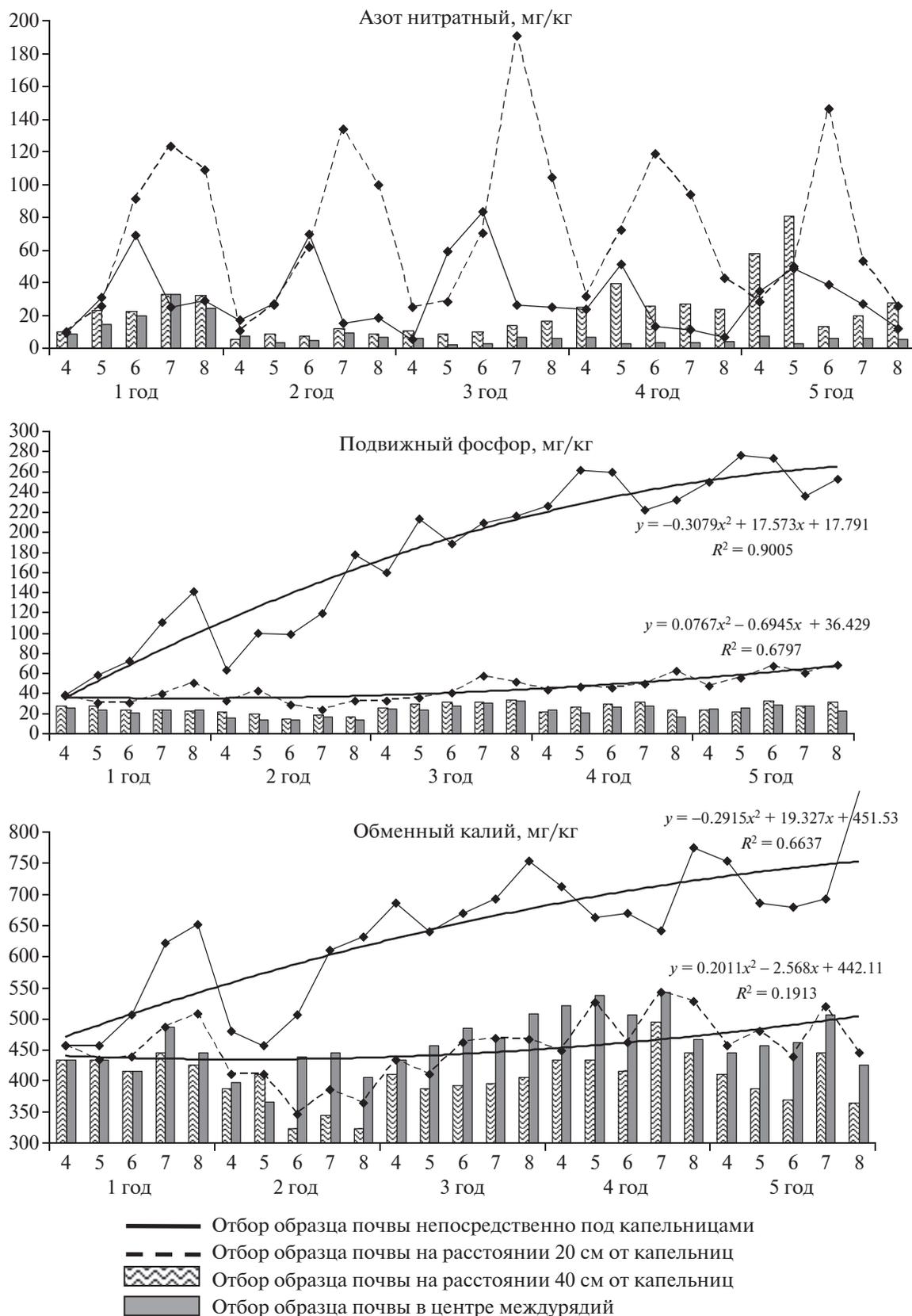


Рис. 1. Динамика изменения агрохимических свойств почв плодовых насаждений при длительном применении фертигации (слой 0–30 см почвы).

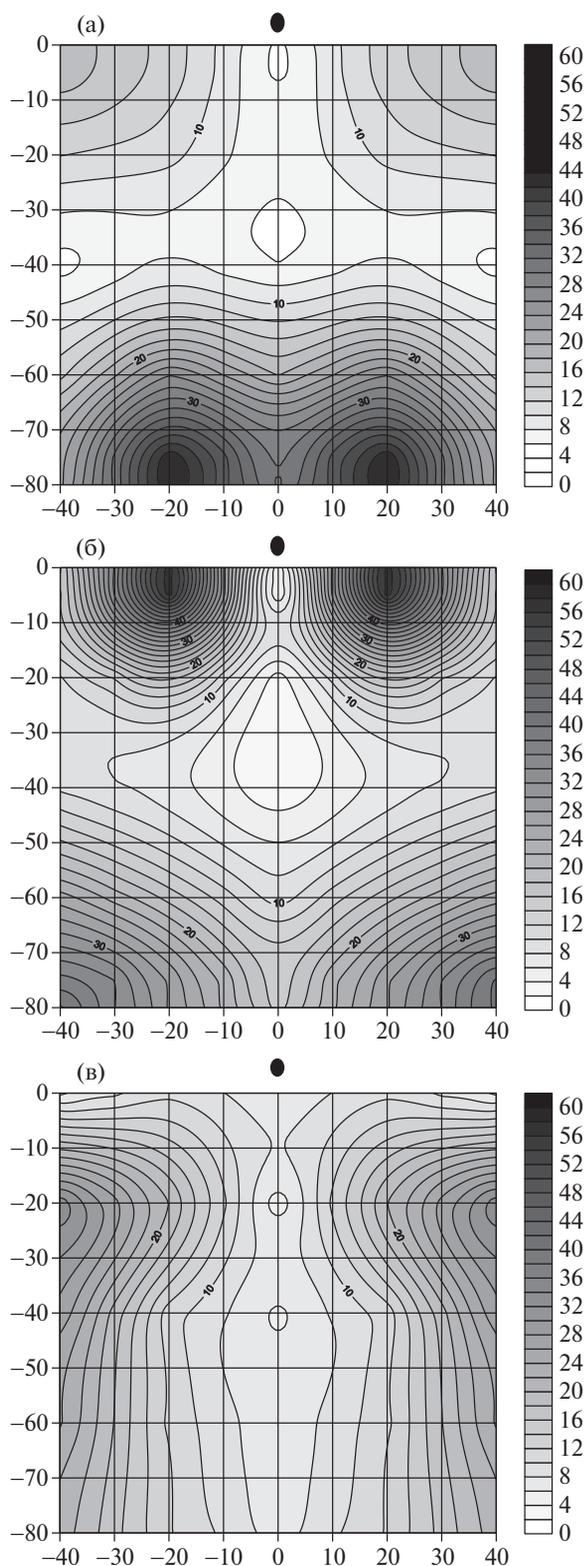


Рис. 2. Миграция нитратов в зоне локального внесения удобрений при фертигации плодоносящих насаждений яблони (мг/кг почвы): (а) – в начале, (б) – в середине, (в) – в конце вегетационного периода; ● – точка падения капли раствора (по горизонтали – расстояние от точки падения в сторону междурядий, по вертикали – в глубину почвы). То же на рис. 3.

слабой миграцией этого элемента в черноземных почвах. Установлена статистически достоверная сильная корреляция увеличения содержания подвижного фосфора в почве непосредственно под капельницами ($r = 0.95$, $t_{\text{набл}} 9.0 > t_{\text{крит}} 2.4$), а также на расстоянии 20 см от капельниц ($r = 0.82$, $t_{\text{набл}} 5.5 > t_{\text{крит}} 2.4$) в зависимости от продолжительности применения фертигации в плодовых насаждениях, возделываемых по интенсивной технологии.

Применение фертигации в однолетних насаждениях яблони способствовало увеличению содержания обменного калия непосредственно под капельницами до очень высокого уровня обеспеченности – 651 мг/кг почвы, что на 46% больше его содержания в образцах почвы, отобранных за пределами зоны локализации удобрений. В плодоносящих насаждениях яблони содержание обменного калия под капельницами соответствовало очень высокому уровню обеспеченности на протяжении всего вегетационного периода. Установлена статистически достоверная сильная корреляция увеличения содержания обменного калия при фертигации в почве непосредственно под капельницами ($r = 0.81$, $t_{\text{набл}} 6.4 > t_{\text{крит}} 2.4$) и слабая корреляционная связь его изменения при удалении на расстоянии 20 см от точки падения капель раствора питательных веществ ($r = 0.44$, $t_{\text{набл}} 2.0 < t_{\text{крит}} 2.4$).

Изучение миграции биогенных элементов в зоне локального внесения удобрений показало, что нитраты по сравнению с другими питательными веществами более равномерно распределялись вниз по профилю почвы под капельницами и в боковом направлении от точки падения раствора питательных веществ. Внесенные на протяжении вегетационного периода азотные удобрения довольно часто полностью не усваиваются плодовыми растениями, поэтому в зимне-весенний период происходило промывание нитратов в глубокие слои почвы (ниже 60 см). В 5-летних насаждениях яблони в весенний период максимальное содержание нитратного азота установлено в слое почвы 70–90 см, что составляло 32.5–43.5 мг/кг, в то же время в верхних слоях почвы его содержание изменялось от 5.6 до 17.2 мг/кг (рис. 2). Расчетным путем установлено, что в условиях Краснодарского края на черноземе типичном за пределы основного корнеобитаемого слоя почвы могло поступать в среднем ≈ 23 –27% азота, внесенного за вегетационный период.

При частых поливах в засушливый летний период наблюдали увеличение содержания нитратного азота на границе контуров основного увлажнения почвы за счет постоянного увеличения

концентрации удобрений. В период налива плодов яблони содержание нитратов на расстоянии 20–30 см в верхнем плодородном слое почвы составляло 36.3–56.7 мг/кг почвы. При этом за пределами основного корнеобитаемого слоя почвы сохранялось повышенное содержание нитратов (34.0–43.0 мг/кг почвы).

Во время уборки плодов отмечено выщелачивание нитратов из поверхностного слоя почвы на глубину 10–30 см, которое определяли выпавшие атмосферные осадки. В этом слое почвы на расстоянии 30–40 см от точки падения купель раствора питательных веществ установлено увеличение концентрации нитратов до 27.4–33.3 мг/кг почвы.

Локальное систематическое применение минеральных удобрений при фертигации плодовых насаждений приводило к формированию очагов повышенной концентрации фосфорно-калийных удобрений в черноземе типичном. В плодоносящих насаждениях основная часть подвижного фосфора была сконцентрирована в слое почвы до 35 см глубиной и на расстоянии до 25 см от точки падения капли раствора питательных веществ (рис. 3). Содержание подвижного фосфора в почве под капельницами на протяжении вегетационного периода составляло 245–271 мг/кг, что существенно больше по сравнению с его количеством за пределами очага внесения минеральных удобрений (от 18.6 до 25.4 мг/кг). Содержание обменного калия зафиксировано в зоне внесения раствора питательных веществ преимущественно в радиусе до 35 см и на глубину до 30 см. Содержание обменного калия непосредственно в точке внесения минеральных удобрений составило 732–813 мг/кг, что на 86–93% превышало показатели за пределами очага локального внесения минеральных удобрений. В плодоносящих насаждениях яблони существенных изменений основных границ контуров распределения подвижного фосфора и обменного калия в зоне локализации питательных веществ в течение вегетационного периода не отмечено. Основные изменения концентрации питательных веществ были установлены в ограниченном объеме почвы непосредственно под капельницами.

Выявленные особенности миграции биогенных элементов при фертигации плодовых насаждений показали, что выщелачивания фосфора и калия за пределы основной зоны увлажнения на черноземе типичном не происходит. Эти соединения в основном фиксируются в местах падения капель раствора питательных веществ, создавая очаги повышенной концентрации. Высокая обеспеченность почвы подвижным фосфором и об-

менным калием в зоне локализации удобрений на протяжении вегетационного периода снижала эффективность применения минеральных удобрений в фазах развития с учетом потребности плодовых растений в элементах питания.

Установлены особенности миграции питательных веществ в зоне локального внесения минеральных удобрений. Распределение подвижного фосфора больше зафиксировано в вертикальном направлении, при этом установлено существенное изменение $K_{эф}$ миграции в зависимости от удаленности от точки падения капель раствора питательных веществ. На границе контура увлажнения коэффициент миграции фосфора (концентрация 40 мг/кг почвы) составлял 1.1, непосредственно под капельницами (концентрация 260 мг/кг почвы) увеличивался до 3.0. Распределение обменного калия происходило больше в горизонтальном направлении. Средний коэффициент миграции калия в пределах контура распределения составил 0.77 (табл. 2).

Для контуров распределения подвижного фосфора (40 мг/кг почвы) и обменного калия (420 мг/кг почвы) рассчитан объем удобряемой почвы, который составил 0.192 и 0.157 м³/погонный м соответственно. Принимая в расчет основную глубину корнеобитаемого слоя почвы (0.6 м) и ширину приствольной полосы (1.2 м), расчетным путем установлено, что доля удобряемого объема почвы в плодоносящих насаждениях яблони составляла 26.7% – для подвижного фосфора и 21.9% – для обменного калия.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Установлены особенности миграции питательных веществ в условиях локального систематического применения минеральных удобрений при фертигации плодовых насаждений на черноземных почвах. Регулярное проведение фертигации в плодовых насаждениях способствует увеличению содержания нитратного азота в большей степени на расстоянии 20 см от точки внесения раствора минеральных удобрений. В содержании нитратного азота отмечена выраженная сезонная динамика, т.е. увеличение концентрации в зоне локального внесения минеральных удобрений на протяжении вегетационного периода при регулярном капельном орошении и их выщелачивание в зимне-весенний период при выпадении обильных осадков.

Установлены закономерности накопления подвижного фосфора и обменного калия в зоне локального внесения удобрений. Определена статистически достоверная высокая корреляция увеличения

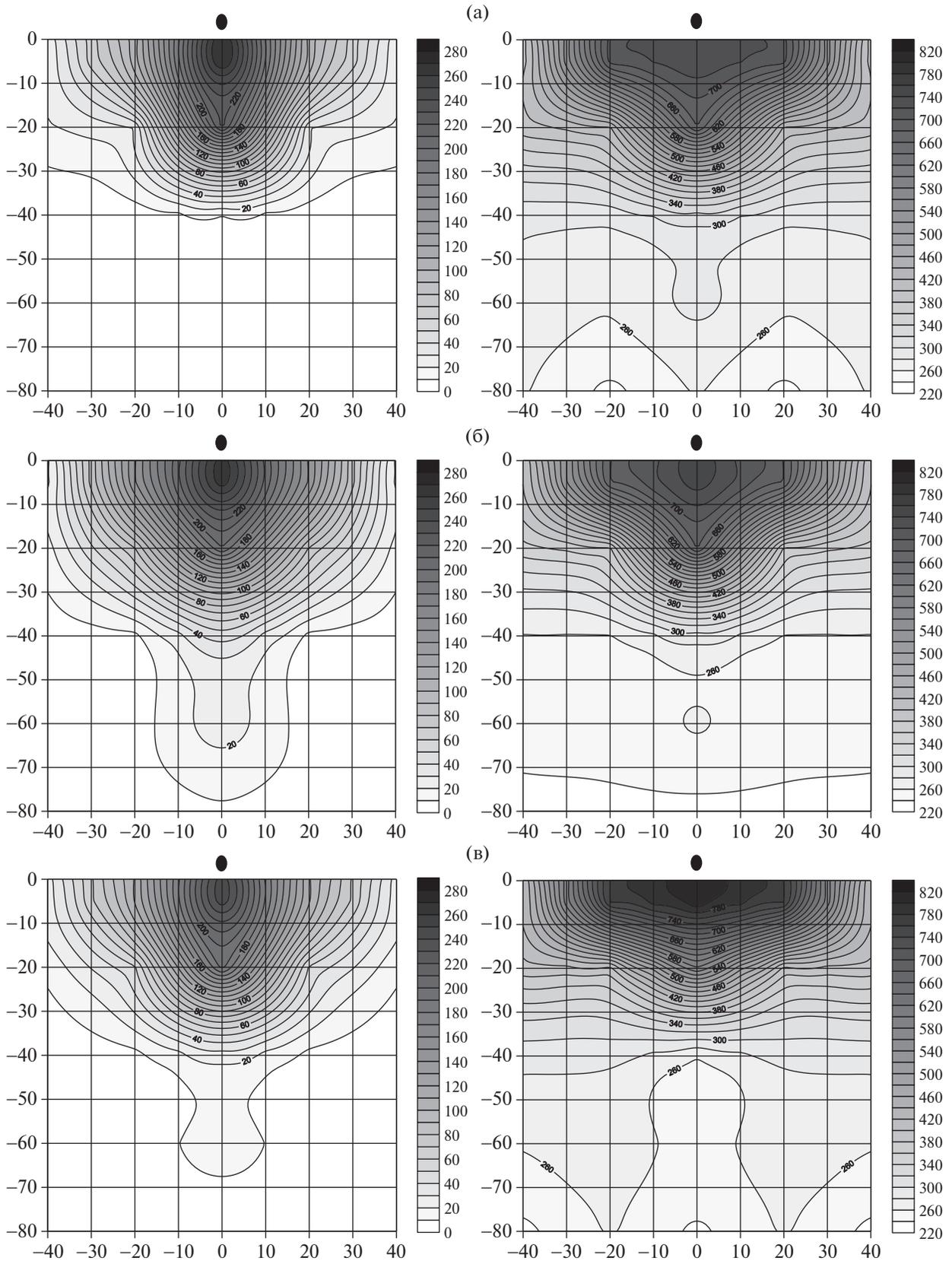


Рис. 3. Миграция подвижного фосфора (слева) и обменного калия (справа) в зоне локального внесения удобрений при фертигации плодоносящих насаждений яблони, мг/кг почвы.

Таблица 2. Параметры контуров миграции элементов питания в зоне локального внесения минеральных удобрений при фертигации плодоносящих насаждений яблони (средние 3-х отборов)

Содержание элемента питания, мг/кг почвы	Максимальная глубина контура (<i>H</i>), см	Максимальная ширина контура (<i>L</i>), см	$K_{ЭФ}$ миграции элемента питания (<i>H</i> : <i>L</i>)
Подвижный фосфор (P_2O_5)			
40	38.0 ± 2.2	36.4 ± 0.3	1.0
60	34.0 ± 1.9	32.3 ± 1.0	1.1
80	31.7 ± 1.0	28.2 ± 1.9	1.1
100	29.4 ± 0.6	23.9 ± 2.7	1.2
120	27.4 ± 0.6	19.8 ± 2.0	1.4
140	25.4 ± 0.6	17.7 ± 2.7	1.4
160	23.5 ± 0.6	14.8 ± 2.4	1.6
180	21.9 ± 0.7	12.0 ± 2.1	1.8
200	18.5 ± 2.5	9.3 ± 1.6	2.0
220	14.3 ± 4.0	6.7 ± 1.4	2.1
240	9.1 ± 0.9	4.0 ± 1.5	2.3
260	6.3 ± 0.4	2.1 ± 0.2	3.0
Обменный калий (K_2O)			
400	31.4 ± 2.0	40.8 ± 0.7	0.8
420	30.2 ± 2.0	39.0 ± 1.0	0.8
440	29.1 ± 2.0	37.6 ± 0.9	0.8
460	28.0 ± 2.0	36.5 ± 0.9	0.8
480	27.0 ± 2.0	35.1 ± 1.0	0.8
500	26.1 ± 2.0	33.7 ± 1.0	0.8
520	25.1 ± 1.9	32.5 ± 1.1	0.8
540	24.2 ± 1.9	31.2 ± 1.3	0.8
560	23.4 ± 1.9	30.0 ± 1.3	0.8
580	22.5 ± 2.0	28.8 ± 1.4	0.8
600	21.4 ± 2.3	27.6 ± 1.4	0.8
620	20.5 ± 2.5	26.3 ± 1.5	0.8
640	19.5 ± 2.6	25.1 ± 1.7	0.8
660	18.6 ± 3.0	23.8 ± 1.9	0.8
680	17.2 ± 2.8	22.4 ± 2.2	0.8
700	13.1 ± 0.8	20.1 ± 3.4	0.7
720	9.9 ± 1.0	16.1 ± 5.6	0.6
740	8.3 ± 1.3	13.0 ± 6.9	0.6

содержания подвижного фосфора ($r = 0.95$) и обменного калия ($r = 0.81$) в почве непосредственно под капельницами в результате систематического применения фертигации. Высокий уровень содержания этих элементов питания сохранялся продолжительное время, и, как правило, не ограничивался одним вегетационным сезоном.

Установлена различная степень миграции биогенных элементов в зоне локального внесения минеральных удобрений при фертигации плодовых насаждений яблони. Показана миграция

нитратного азота в летний период при регулярном применении фертигации на границы контуров основного увлажнения почвы, а в зимне-весенний период – выщелачивание нитратов в глубокие слои почвы (ниже 60 см). Установлено распределение подвижного фосфора в большей степени в вертикальном направлении, особенно непосредственно под капельницами, обменного калия – в горизонтальном направлении.

Таким образом, в условиях интенсивного применения минеральных удобрений при фертига-

ции для объективной оценки параметров почвенного плодородия плодовых насаждений важное значение приобретает место отбора почвенных проб. Для определения обеспеченности почвы плодовых насаждений элементами питания отборы почвенных проб рекомендуется проводить отдельно как в местах локального внесения удобрений (под капельницами), так и за пределами очага концентрации питательных веществ (на расстоянии 40 см от капельниц). Изменение обеспеченности почвы питательными веществами необходимо учитывать при планировании системы применения удобрений в плодовых насаждениях, возделываемых по интенсивной технологии. Оценка обеспеченности почвы питательными веществами под капельницами позволит избежать чрезмерной удобренности, рационально использовать удобрения и снизить нагрузку на окружающую среду в результате экономного применения удобрений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ненько Н.И., Киселева Г.К., Ульяновская Е.В., Яблонская Е.К., Караваева А.В. Физиолого-биохимические критерии устойчивости яблони к абиотическим стрессам летнего периода // Сел.-хоз. биол. 2019. Т. 54. № 1. С. 158–168.
2. Система земледелия в садоводстве и виноградарстве Краснодарского края (метод. рекоменд.). Краснодар: ФГБНУ СКЗНИИСиВ, 2015. 241 с.
3. Gärdenäs A.I., Hoptmans J.W., Hanson B.R., Šimůnek J. Two-dimensional modeling of nitrate leaching for various fertigation scenarios under micro-irrigation // *Agricult. Water Manag.* 2005. V. 74. Iss 3. P. 219–242. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2004.11.011>
4. Kafkafi U., Tarchitzky J. *Fertigation: A Tool for efficient fertilizer and water management.* Paris: France and IPI, Horgen, Switzerland, 2011. 138 p.
5. Фоменко Т.Г., Попова В.П. Фертигация плодовых насаждений. Метод. рекоменд. Краснодар: ФГБНУ СКФНЦСВВ, 2018. 51 с.
6. Куликов И.М., Коновалов С.Н., Бобкова В.В., Петрова В.И., Помякшева Л.В. Эффективность технологий прецизионной агрохимии в промышленном садоводстве и ягодоводстве // *Плодородие.* 2016. № 5(92). С. 13–16.
7. Neilsen G.H., Neilsen D., Herbert L. Nitrogen fertigation concentration and timing of application affect nitrogen nutrition, yield, firmness, and color of apples grown at high density // *HortScience.* 2009. V. 44. Iss 5. P. 1425–1431.
8. Falk Kühn B., Bertelsen M., Sørensen L. Optimising quality-parameters of apple cv. ‘Pigeon’ by adjustment of nitrogen // *Sci. Horticult.* 2011. V. 129. Iss 3. P. 369–375. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2011.03.033>
9. Кузин А.И., Трунов Ю.В., Соловьев А.В. Оптимизация азотного питания яблони (*Malus domestica* Borkh) при фертигации и внесении бактериальных удобрений // *Сел.-хоз. биол.* 2018. Т. 53. № 5. С. 1013–1024. <https://doi.org/10.15389/agrobiol.2018.5.1013rus>
10. Hardie M., Ridges J., Swarts N., Close D. Drip irrigation wetting patterns and nitrate distribution: comparison between electrical resistivity (ERI), dye tracer, and 2D soil–water modelling approaches // *Irrigat. Sci.* 2018. V. 36. Iss. 2. P. 97–110. <https://doi.org/10.1007/s00271-017-0567-3>
11. Помякшева Л.В. Распределение в дерново-подзолистой почве нитратного азота при фертигации с капельным поливом // *Плодоводство и ягодоводство России.* 2015. Т. 43. С. 337–341.
12. Li J., Chen P., Sun X.H., Liu P. Effects of fertigation strategies on water and nitrogen distribution under water storage pit irrigation for orchards // *Inter. J. Agricult. Biol. Engin.* 2018. V. 11(1). P. 165–171. <https://doi.org/10.25165/j.ijabe.20181101.3282>
13. Li J., Zhang J., Ren L. Water and nitrogen distribution as affected by fertigation of ammonium nitrate from a point source // *Irrigat. Sci.* 2003. V. 22. Iss. 1. P. 19–30. <https://doi.org/10.1007/s00271-003-0064-8>
14. Фоменко Т.Г., Попова В.П., Пестова Н.Г. Изменение параметров почв садовых ценозов при локальном применении удобрений и водных мелиораций // *Рос. сел.-хоз. наука.* 2015. № 3. С. 39–43.
15. Eltarabily M.G., Bali K.M., Negm A.M., Yoshimura C. Evaluation of root water uptake and urea fertigation distribution under subsurface drip irrigation // *Water.* 2019. V.11. P. 1487. <https://doi.org/10.3390/w11071487>
16. Кузин А.И., Трунов Ю.В. Распределение доступного фосфора в корнеобитаемом слое почвы под влиянием капельного орошения и фертигации в интенсивном яблоневом саду // *Плодоводство и виноградарство Юга России.* 2015. № 34(4). С. 72–85.
17. Беседина Т.Д., Тутберидзе Ц.В., Бойко А.П., Тория Г.Б. Влияние режимов капельного орошения на свойства почв под насаждениями *Actinidia deliciosa* // *Новые технологии.* 2018. № 3. С. 159–165.
18. Elashbah R., Selim T., Mirdan A., Berndtsson R. Modeling of fertilizer transport for various fertigation scenarios under drip irrigation // *Water.* 2019. V. 11(5). P. 893. <https://doi.org/10.3390/w11050893>
19. Cote C.M., Bristow K.L., Charlesworth P.B., Cook F.J., Thorburn P.J. Analysis of soil wetting and solute transport in subsurface trickle irrigation // *Irrigat. Sci.* 2003. V. 22. P. 143–156. <https://doi.org/10.1007/s00271-003-0080-8>
20. Zeng C., Wang Q., Zhang F., Zhang J. Temporal changes in soil hydraulic conductivity with different soil types and irrigation methods // *Geoderma.* 2013. V. P. 193–194. P. 290–299. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2012.10.013>
21. Naglič B., Kechavarzi C., Coulon F., Pintar M. Numerical investigation of the influence of texture, surface drip emitter discharge rate and initial soil moisture condition on wetting pattern size // *Irrigat. Sci.* 2014. V. 32. Iss 6. P. 421–436. <https://doi.org/10.1007/s00271-014-0439-z>

22. Алиев Т.Г.Г., Картечина Н.В., Кривошеков Л.И., Шелковников В.В. Агроэколого-биологическое обоснование системы содержания почвы в интенсивном саду // Вестн. МичуринсГАУ. 2016. № 4. С. 6–12.
23. Трапезников В.К., Иванов И.И., Тальвинская Н.Г. Локальное питание растений. Уфа, 1999. 260 с.
24. Aggelopoulou K.D., Pateras D., Fountas S., Gemtos T.A. Soil spatial variability and site-specific fertilization maps in an apple orchard // *Precis. Agricult.* 2011. V. 12. Iss. 1. P. 118–129. <https://doi.org/10.1007/s11119-010-9161-x>
25. Фоменко Т.Г., Попова В.П., Пестова Н.Г., Черников Е.А. К методике агрохимического обследования плодовых насаждений интенсивного типа и расчета дифференцированных доз применения минеральных удобрений // *Агрохимия*. 2017. № 3. С. 79–91.
26. Kaori Matsuoka. Methods for nutrient diagnosis of fruit trees early in the growing season by using simultaneous multielement analysis // *Horticult. J.* 2020. V. 89(3). P. 197–207. <https://doi.org/10.2503/hortj.UTD-R006>
27. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). 5-е изд., доп. и перераб. М.: Агропромиздат, 1985. 351 с.
28. Силкин К.Ю. Геоинформационная система Golden Software Surfer 8: Учеб.-метод. пособ. для вузов. Воронеж: Изд-во ВГУ, 2008. 66 с.
29. Методические указания по проведению комплексного мониторинга плодородия почв земель сельскохозяйственного назначения. М.: ВНИИА, 2003. 196 с.
30. Ягодин Б.А., Смирнов П.М., Петербургский А.В. Агрохимия. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Агропромиздат, 1989. 639 с.

Migration of Biogenic Elements in Chernozem Typical of Fruit Orchards Fertigation

T. G. Fomenko^{a, #}, V. P. Popova^a, E. A. Chernikov^a, A. I. Drigina^a,
I. A. Lebedovsky^b, D. V. Uzlovaty^b, and A. N. Myazina^b

^aNorth Caucasus Federal Scientific Center for Horticulture, Viticulture
Winemaking ul. 40-letiya pobedy 39, Krasnodar 350901, Russia

^bI. T. Trubilin Kuban State Agrarian University
Krasnodar ul. Kalinina 13, Krasnodar 350044, Russia

[#]E-mail: sad-fertigation@mail.ru

Seasonal dynamics of variability of agrochemical properties of soils of fruit plantations and migration of nutrients in the zone of local fertilization with systematic application of fertigation were studied. A comparative study of the transformation of soil properties was carried out in young and fruit-bearing apple plantations in dynamics in the main phases of fruit plant development. The process of nutrient migration in the wetted soil zone was simulated using Surfer 8 software at the beginning, middle and end of the irrigation period. An increase in the content of nitrate nitrogen in the soil was found to a greater extent at a distance of 20 cm from the point of application of the mineral fertilizer solution and their leaching in the winter-spring period as a result of heavy precipitation. In the area of local fertilization, the distribution of mobile phosphorus is more fixed in the vertical direction, especially directly under the droppers, and the exchange of potassium in the horizontal direction. A statistically significant high correlation was found between the increase in the content of mobile phosphorus ($r = 0.95$) and exchange potassium ($r = 0.81$) in the soil directly under the droppers. The high content of these nutrients was maintained for a long time, and, as a rule, was not limited to one growing season. The results obtained were the basis for improving methods for assessing the soil fertility of fruit plantations cultivated using intensive technologies.

Key words: fruit plantations, fertigation, chernozem soils, migration of biogenic elements, modeling of soil processes, agrochemical properties of soils.

УДК 581.5:546.815:635.15:635.52:631.445

ИССЛЕДОВАНИЕ ФИТОТОКСИЧНОСТИ СВИНЦА ДЛЯ РАСТЕНИЙ РЕДИСА И САЛАТА ПРИ ВЫРАЩИВАНИИ НА РАЗНЫХ ТИПАХ ПОЧВ

© 2021 г. А. В. Дикарев^{1,*}, В. Г. Дикарев¹, Н. С. Дикарева¹¹ Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии
249032 Обнинск, Калужская обл., Киевское шоссе, 109 км, Россия

*E-mail: ar.djuna@yandex.ru

Поступила в редакцию 17.01.2020 г.

После доработки 18.07.2020 г.

Принята к публикации 10.12.2020 г.

Растущее загрязнение окружающей среды техногенными поллютантами стало серьезной проблемой для аграрных экосистем. Одной из значимых групп таких загрязнителей являются тяжелые металлы, в частности, свинец. В связи с этим, оценка его воздействия на основные сельскохозяйственные культуры становится важной задачей для обеспечения продовольственной безопасности страны. В вегетационном опыте на разных типах почв изучали влияние свинца на морфофизиологические и биохимические показатели растений редиса и салата-латука. Анализировали площадь листьев, воздушно-сухую массу корнеплодов (редис) и растений в целом (салат), а также содержание свободного пролина и малонового диальдегида. С возрастанием дозы тяжелого металла (ТМ) происходило подавление роста и развития растений обеих культур, особенно салата, сокращалась площадь листьев и биомасса. Наблюдаемые эффекты зависели от типа почвы и были наиболее выражены на дерново-подзолистой почве, для которой отмечены резкие изменения содержания пролина и МДА, особенно в области низких концентраций ТМ. Данные результаты имеют важное фундаментальное значение для углубления понимания реакций организма на средовой стресс. Несомненно важно и их прикладное значение в деле решения проблемы охраны здоровья человека и домашних животных.

Ключевые слова: свинец, типы почв, редис, салат-латук, биометрические и биохимические показатели, продуктивность, устойчивость к действию поллютантов.

DOI: 10.31857/S0002188121030054

ВВЕДЕНИЕ

Изучение загрязнения агроферы тяжелыми металлами (ТМ) и его влияние на рост и развитие сельскохозяйственных растений, а также их продуктивность приобретает все большее значение. Например, >1 млн га сельскохозяйственных угодий России загрязнено особо токсичными элементами (I класс опасности) и 2.3 млн га – токсичными (II класс опасности). По данным ВОЗ, только свинца в атмосферу поступает ежегодно не менее 250 тыс. т. Городская пыль содержит ≈1% свинца, в дожде и снеге его количество достигает до 300 мг/дм³ [1].

В целом процессы поступления и метаболизма ТМ, а также механизмы устойчивости к ним являются общими для всех живых организмов, в том числе и для растений. Однако в случае с сельскохозяйственными культурами при исследовании воздействия ТМ следует учитывать не только видовые особенности растений, но и свойства почв, на которых они произрастают, такие как

уровень плодородия, гранулометрический состав и их физико-химические свойства. Именно эти особенности оказывают модифицирующее влияние на выраженность действия ТМ на сельскохозяйственные культуры.

Некоторые ТМ, такие как Cu, Zn, Co являются необходимыми для растений микроэлементами [2], без которых невозможно поддержание гомеостаза организма, хотя избыток этих элементов приводит к нарушениям его функций. В то же время в почве природных и аграрных экосистем присутствуют иные ТМ, биологическая роль которых изучена недостаточно. К ним относятся кадмий, свинец и ртуть, считающиеся высокотоксичными элементами.

Существенный интерес среди высокотоксичных ТМ представляет свинец. Механизмы токсического действия этого ТМ не вполне ясны [3–6]. Существует мнение [7], что свинец не приводит к значительному росту выработки свободных радикалов, однако вскоре после появления его ионов

Таблица 1. Физико-химические характеристики почв

Показатель	Дерново-подзолистая супесчаная	Чернозем мощный деградированный
pH _{KCl}	5.27 ± 0.01	5.3 ± 0.02
Гумус, %	1.31 ± 0.02	5.07 ± 0.06
H _T , мг-экв/100 г почвы	1.82 ± 0.03	3.80 ± 0.02
Сумма обменных оснований, мг-экв/100 г почвы	6.05 ± 0.18	33.0 ± 0.01
Обменный K ₂ O, мг/кг почвы (по Масловой)	77.6 ± 3.3	103 ± 2
Подвижный P ₂ O ₅ , мг/кг почвы (по Кирсанову)	65.0 ± 0.6	179 ± 4

в среде усиливаются процессы перекисного окисления липидов в клеточных мембранах [8]. В то же время сообщают [9, 10], что введение в пораженный организм соединений-ловушек свободных радикалов и антиоксидантов ослабляет токсический стресс.

Проблема устойчивости растительных организмов к действию ТМ имеет не только теоретическое, но и прикладное значение. Вследствие негативного воздействия содержащихся в окружающей среде ТМ на сельскохозяйственные растения снижается их продуктивность. Это делает актуальными исследования, направленные на углубление понимания механизмов устойчивости к техногенному стрессу сельскохозяйственных культур. Помимо того, поступая в товарную часть растений, ТМ способны оказывать негативное воздействие на здоровье человека и домашних животных. Конечной целью такой работы является уточнение допустимых концентраций ТМ в различных типах почв и разработка методов, обеспечивающих получение качественной и безопасной сельскохозяйственной продукции на загрязненных территориях.

Главным путем, по которому ТМ попадают в организм растения, является поступление из почвенного раствора через корень, поэтому данный орган является первым барьером на пути миграции вредных ионов. Товарная часть редиса (*Raphanus sativus* L.) – это корнеплоды, которые непосредственно контактируют с почвой поэтому потенциально редис способен накапливать существенные количества ТМ. Ионы ТМ, преодолевшие корневой барьер, через проводящую систему попадают в надземную часть растения, которая является товарной частью салата (*Lactuca sativa* L.). Принимая во внимание указанные особенности этих овощных культур в отношении использования их товарной части для питания человека они представляют интересный объект для исследования воздействия ТМ на сельскохозяйственные растения, т.к. на их примере можно оценить

особенности действия свинца на растения разных семейств их чувствительность к его действию на разных уровнях организации. Цель работы – изучение фитотоксичности ТМ на примере свинца для растений редиса и салата при выращивании их на разных типах почв с использованием биометрических, биохимических показателей и продуктивности.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Эксперимент по изучению влияния загрязнения почвы Pb на рост, развитие, биохимические показатели и продуктивность редиса (*Raphanus sativus* L., сорт Алешка 16-суточный) и салата-латука (*Lactuca sativa* L., сорт Московский парниковый) был заложен на 2-х типах почв: дерново-подзолистой супесчаной и черноземе мощном деградированном. Растения выращивали в пластиковых сосудах емкостью 5 кг по общепринятой методике [11]. Агрохимические характеристики почв [12, 13], приведены в табл. 1.

Валовое содержание свинца в интактных почвах составляло в дерново-подзолистой почве и черноземе 8.6 и 10.9 мг/кг почвы соответственно. При закладке опыта почву тщательно перемешивали и вносили в нее питательные элементы в виде водных растворов солей NH₄NO₃, KCl и KH₂PO₄ из расчета N₂₀₀P₂₀₀K₂₀₀. При внесении в почву питательных веществ учитывали и корректировали количество азота, поступающее с раствором соли ТМ. Свинец добавляли в дерново-подзолистую почву в виде водного раствора соли Pb(NO₃)₂ в 6-ти концентрациях (мг Pb/кг почвы): 50, 100, 250, 500, 1000, 1500; в черноземе – 500, 1000, 1500, 2000, 3000, 4000. Контролем служил вариант с NPK без внесения свинца. Опыт проводили в четырехкратной повторности. Перед посевом почву инкубировали в течение 14 сут при температуре 20–23°C и влажности 60% ПВ. Растения выращивали до товарной спелости при температуре 18–20°C в условиях постоянной влажности

почвы (60% ПВ). Положение вегетационных сосудов меняли ежедневно по схеме, обеспечивающей однородные условия роста и развития растений. Поливали растения дистиллированной водой [14, 15].

Отбор растительных проб для анализа проводили перед уборкой через 40 сут после всходов. До урожая оставляли по 10 растений на сосуд. В течение всего вегетационного периода вели фенологические наблюдения. При уборке урожая через 38 сут после всходов в пробах определяли биометрические показатели растений: площадь листьев (методом высевок), определяли воздушно-сухую массу корнеплодов (редис) и растений в целом (салат). Биохимические показатели (содержание свободного пролина [16] и малонового диальдегида (МДА) [17]) определяли в отобранных через 38 сут после всходов отдельных пробах листьев редиса и салата. Статистическую обработку экспериментальных данных проводили стандартными методами с использованием MS Excel. На графиках и диаграммах приведены среднеарифметические показатели в расчете на одно растение и доверительные интервалы (в % к контролю) при 95%-ном уровне значимости.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Площадь листьев. Площадь листьев редиса (рис. 1а), выращенного на дерново-подзолистой почве, последовательно увеличивалась до 120% по отношению к контролю при увеличении концентрации свинца до 250 мг/кг почвы, а затем плавно снижалась до 70% при максимальной дозе ТМ 1500 мг/кг. Для площади листьев салата было характерно резкое, до 48% по отношению к контролю снижение площади листьев при действии минимальной концентрации свинца 50 мг/кг почвы. Дальнейшее повышение концентрации свинца вплоть до 1500 мг/кг вызывало небольшие изменения показателя на уровне от 50 до 40% по отношению к контролю.

На черноземе у редиса в диапазоне доз 0–2000 мг Рb/кг отмечены слабо выраженные изменения площади листьев почти на уровне контроля, хотя наличествовала тенденция к росту этого показателя. Эта тенденция достигала максимума 128% по сравнению с контролем при концентрации свинца 2000 мг/кг (рис. 1б). При дальнейшем увеличении концентрации токсиканта площадь листьев постепенно снижалась до 70% по отношению к контролю. У салата на черноземе площадь листьев практически линейно снижалась до 13% от уровня контроля при концентрации свинца 3000 мг/кг почвы, что подтверждено высокой до-

стоверностью аппроксимации этой дозовой зависимости линейной функцией: $y = 0.0278x + 105.82$ с коэффициентом $R^2 = 0.97$ и $r = 0.98$. При максимальной концентрации свинца 4000 мг/кг наблюдали почти полное подавление развития площади листьев салата.

Биомасса. На дерново-подзолистой почве (рис. 2а) в диапазоне концентраций свинца от 0 до 100 мг/кг биомасса корнеплодов редиса возрастала, достигая уровня 133% от контроля. При повышении концентрации свинца до 250 мг/кг происходило резкое снижение величины показателя до уровня контроля. Далее наблюдали последовательное плавное уменьшение биомассы корнеплодов до 50% по отношению к контролю при дозе 1500 мг Рb/кг.

На черноземе биомасса корнеплодов достоверно снижалась до уровня 81% по отношению к контролю при концентрации свинца 1000 мг/кг почвы (рис. 2б). При дозе ТМ 1500 мг/кг отмечено небольшое недостоверное повышение показателя. Начиная с концентрации 2000 мг/кг и до 3000 мг/кг биомасса корнеплодов снижалась до 40% по отношению к контролю, оставаясь на том же уровне и при максимальной концентрации ТМ 4000 мг/кг. Интересно, что на черноземе практически линейной оказалась концентрационная зависимость для таких разных по физиологическим функциям органов, как корнеплоды редиса и листья салата, из которых у последнего практически полностью состоит биомасса, являющаяся одновременно и товарной частью урожая.

Биохимические параметры. Действие различных негативных факторов вызывает включение у живых организмов многочисленных негативных реакций на разных уровнях организации. Одним из важных типов повреждений является нарушение окислительно-восстановительного гомеостаза. Например, ТМ индуцируют образование перекисных и свободнорадикальных соединений. Реакции структурных и ферментных систем клеток с этими соединениями вызывают обширные повреждения в их структурах и нарушения ферментных циклов метаболизма, объединяемых под общим термином оксидативный стресс. Одним из классов соединений, которые участвуют в ответе организма на эти негативные воздействия, служит ряд аминокислот – γ -аминомасляная кислота, пролин, цистеин [18, 19], среди которых особый интерес вызывает пролин [18] благодаря своей многофункциональности. При стрессовых воздействиях на растения (в том числе и ТМ) в их тканях усиливается образование свободных радикалов, что приводит к интенсификации процессов перекисного окисления липидов (ПОЛ) мем-

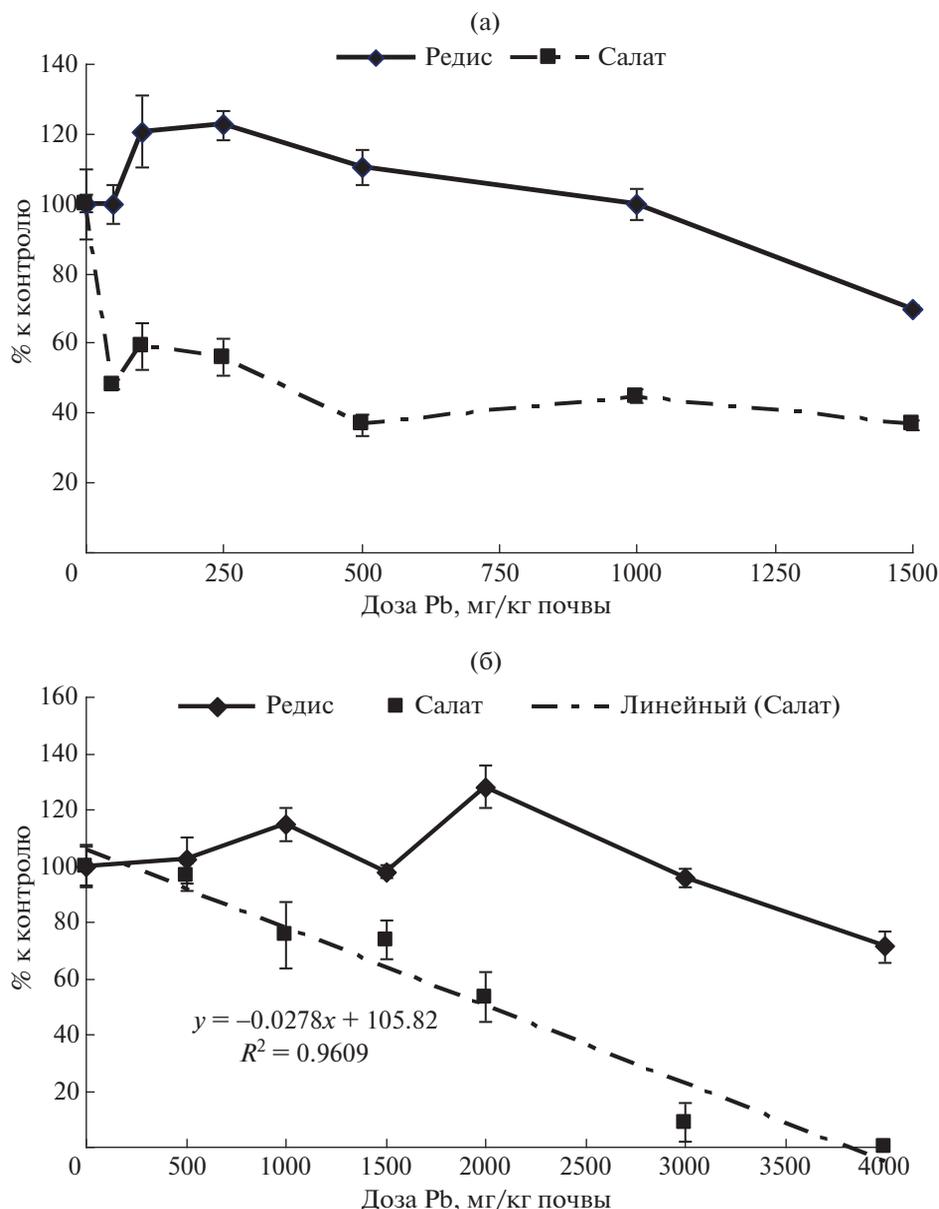


Рис. 1. Площадь листьев редиса и салата: (а) – на дерново-подзолистой почве, (б) – на черноземе (линейная аппроксимация дозовой зависимости).

бран и нарушению структурно-функционального состояния клеток [18–20]. Конечным продуктом ПОЛ является малоновый диальдегид (МДА), который служит показателем интенсивности окислительных процессов в тканях растений.

Концентрационные зависимости содержания МДА в листьях редиса представлены на рис. 3. На черноземе содержание МДА во всем диапазоне концентраций ТМ достоверно не отличалось от контроля (рис. 3а). По этой причине можно предположить, что действие свинца не вызывало индукции синтеза МДА у редиса на этой почве. Однако достоверное увеличение содержания

пролина до уровня 150% по отношению к контролю при концентрации свинца 500 мг/кг и такой же эффект при максимальной концентрации свинца 4000 мг/кг позволило предположить, что отсутствие реакции в содержании МДА вызвано подавлением синтеза последнего за счет индукции синтеза пролина как защитного соединения. В диапазоне концентраций ТМ 1000–3000 мг/кг почвы отсутствие изменений в концентрациях МДА и пролина вызвано равновесием противоположно направленных процессов синтеза повреждающего и защитного соединений.

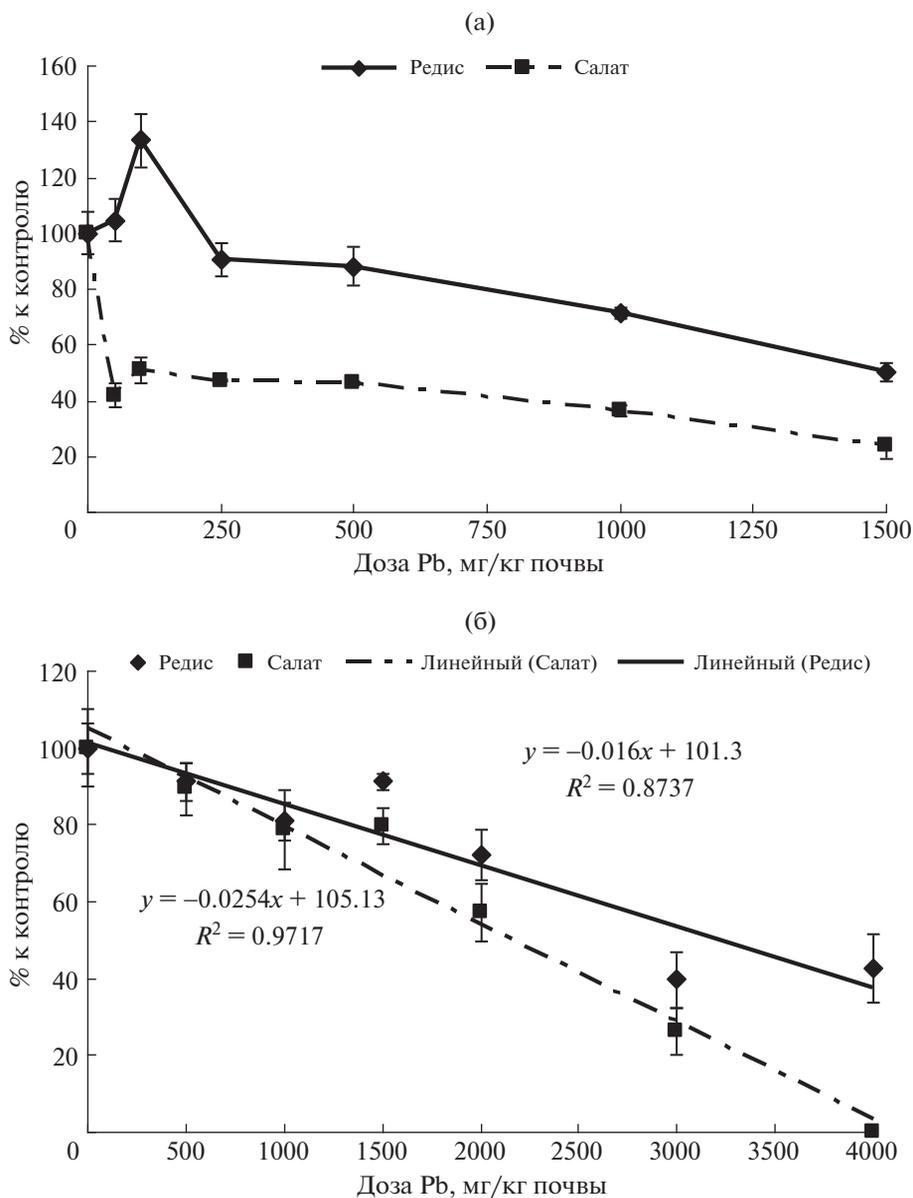


Рис. 2. Биомасса салата и корнеплодов редиса: (а) – на дерново-подзолистой почве, (б) – на черноземе.

На дерново-подзолистой почве (рис. 3б) в листьях редиса в диапазоне концентраций от контроля до 250 мг/кг наблюдали резкое увеличение содержания МДА в 2 раза по сравнению с контролем. Этот факт свидетельствовал о том, что в диапазоне концентраций свинца 50–250 мг/кг действительно происходили существенные изменения метаболизма в надземных органах редиса в ответ на токсическое действие ТМ, которое вызывает еще более резкое увеличение содержания защитного соединения – свободного пролина, уровень которого повышался в 4 раза по сравнению с контролем. Проллин тормозит процесс перекисной деградации клеточных мембран, поэто-

му такое резкое усиление синтеза этого соединения способствовало ослаблению оксидативного стресса. Благодаря этому при дальнейшем повышении концентрации свинца до 1000 мг/кг происходило постепенное достоверное снижение содержания МДА до 146% по отношению к контролю. Однако такое повышение синтеза пролина, вероятно, вызвало истощение защитных возможностей организма, в результате чего концентрация пролина упала ниже контроля на 50% и еще больше снизилась при максимальной дозе свинца до 34%. По этой причине снижение уровня МДА сменилось достоверным повышением показателя до 186% при концентрации свинца 1500 мг/кг

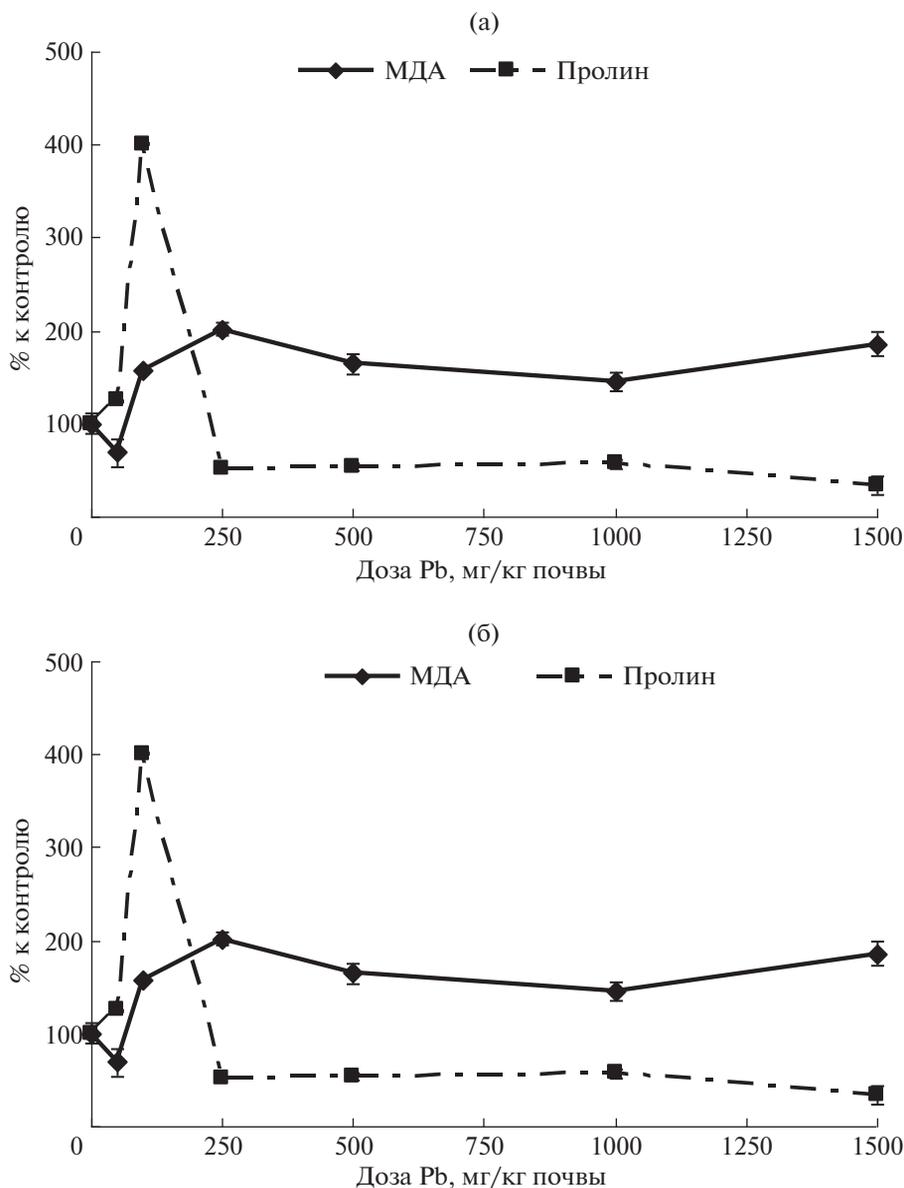


Рис. 3. Содержание МДА и пролина в листьях редиса: (а) – на черноземе, (б) – на дерново-подзолистой почве.

почвы. Следует отметить, что концентрационная кривая в данном случае напоминала по форме аналогичную кривую по содержанию пролина на этой же почве для салата.

На черноземе (рис. 4а) содержание МДА в листьях салата испытывало разнонаправленные изменения, достоверно не отличаясь от контроля. На дерново-подзолистой почве (рис. 4б) изменения содержания МДА в листьях салата были выражены менее отчетливо, чем в содержании свободного пролина. Вместе с тем формы концентрационных зависимостей в том и другом случае были сходными. Например, в диапазоне концентраций свинца от контроля до 100 мг/кг содержа-

ние МДА достоверно снижалось до 86% по отношению к контролю. Затем при концентрации 250 мг/кг оно слегка повышалось, достоверно оставаясь меньше контроля, и опять достоверно снижалось при концентрации ТМ 500 мг/кг до 64% по отношению к контролю. Далее следовал новый подъем содержания МДА до уровня $\approx 80\%$ по отношению к контролю при концентрациях 1000 и 1500 мг Pb/кг. Такие различия в выраженности реакций различных видов растений по содержанию пролина и МДА, возможно, объясняются тем, что интенсификация синтеза пролина как защитного соединения стимулируется не только усилением перекисного окисления мем-

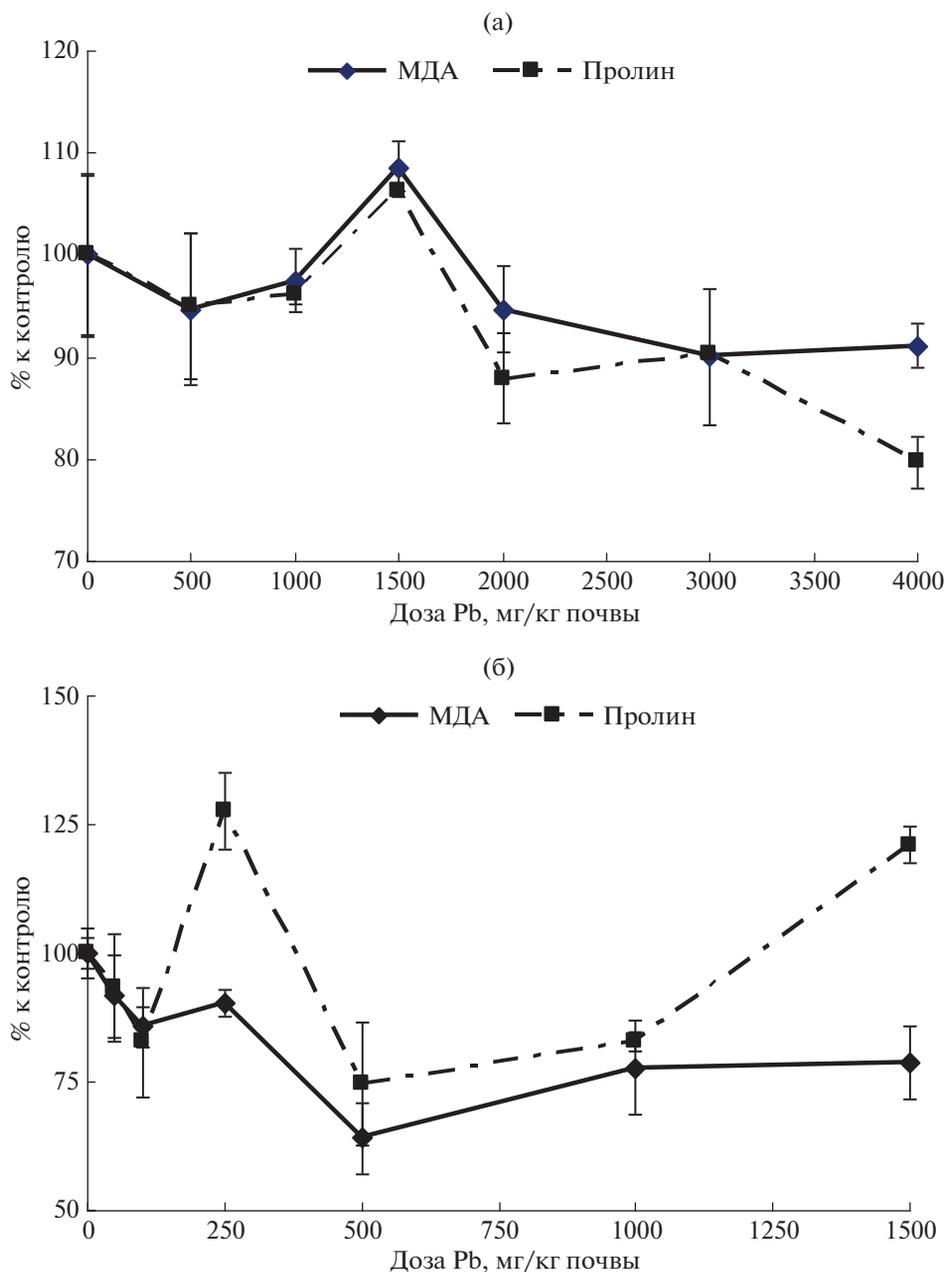


Рис. 4. Содержание МДА и пролина в листьях салата: (а) – на черноземе, (б) – на дерново-подзолистой почве.

бран, индикатором которого служит возрастание содержания МДА, но и другими нарушениями в клетках растений, вызванными токсическим действием свинца.

Экспериментальные данные по содержанию пролина в листьях редиса при действии свинца на черноземе представлены на рис. 3а. Концентрационная кривая этого показателя на черноземе демонстрирует практически полное отсутствие зависимости содержания пролина в листьях редиса от концентрации ТМ в диапазоне 1000–3000 мг/кг

почвы. Аналогичная концентрационная зависимость имела место и в нашем эксперименте с конскими бобами [21].

На дерново-подзолистой почве обнаружено увеличение содержания свободного пролина в 4 раза по сравнению с контролем при концентрации свинца 100 мг/кг. Дальнейшее возрастание концентрации ТМ, наоборот, привело к резкому снижению содержания этой аминокислоты до уровня 50% по отношению к контролю, причем его содержание осталось практически на этом

уровне, вплоть до максимальной концентрации свинца 1500 мг/кг почвы. В наших предыдущих экспериментах с кормовыми бобами [21] такое масштабное повышение содержания пролина в листьях отмечено на этой почве только при максимальных концентрациях ТМ. Обнаруженное явление, возможно, вызвано тем, что у скороспелых культур метаболизм происходит более интенсивно, обеспечивая более интенсивное поглощение ТМ и усиливая, таким образом, токсическое воздействие уже при действии малых его концентраций. Интенсивное поступление свинца в организм растения вызывает в свою очередь стимуляцию синтеза защитного соединения – свободного пролина. С другой стороны, редис и кормовые бобы относятся к растениям с разной стратегией защиты от действия ТМ [22, 23]. Возможно, у бобов имеются механизмы защиты, которые препятствуют поступлению свинца за счет барьера в корневой системе, в результате чего он попадает в надземные органы только тогда, когда этот барьер будет преодолен за счет повышения концентрации ТМ. У редиса этот барьер в корневой системе отсутствует или слабый, и реакция на действие свинца в надземных органах в виде увеличения содержания в листьях редиса свободного пролина возникает уже при малых концентрациях ТМ.

Аналогичное повышение содержания пролина было отмечено на дерново-подзолистой почве также и у салата (рис. 4б), однако этот эффект имел место только при концентрации свинца 250 мг/кг. При дальнейшем увеличении концентрации свинца содержание пролина резко уменьшалось при концентрации ТМ 500 мг/кг до 75% от уровня контроля. Но при концентрациях ТМ 1000 и 1500 мг/кг содержание пролина опять достаточно интенсивно росло, достигая уровня 120% по отношению к контролю. Это свидетельствовало, возможно, о проявлении эффекта 2-го барьера устойчивости, который преодолевался в диапазоне концентраций свинца 500–1000 мг/кг и за которым следовала новая индукция синтеза защитного соединения – пролина.

Содержание пролина в листьях салата на черноземе вплоть до концентрации свинца 3000 мг/кг достоверно не отличалось от контроля, хотя наблюдали пик в содержании МДА и пролина при концентрации свинца 1500 мг/кг. Следует отметить, что концентрационные кривые этих соединений почти сливались до концентрации Pb 3000 мг/кг почвы, что, возможно свидетельствовало о балансе в этом диапазоне процессов повреждения и защиты. Достоверное снижение содержания пролина до 80% по отношению к контролю отмечено

только при максимальной концентрации ТМ 4000 мг/кг.

Полученные экспериментальные данные позволили выявить ряд закономерностей при действии разных доз свинца на растения салата и редиса при выращивании их на 2-х почвах, отличающихся разным уровнем плодородия. Показано, что угнетение развития обеих культур по показателям площадь листьев и урожай товарной части сильно зависел от типа почвы (табл. 2). Пороговой концентрацией ТМ для редиса на дерново-подзолистой почве по показателю площадь листьев являлась доза 1500 мг/кг почвы, для салата – 50 мг/кг. Для биомассы товарной части салата пороговая концентрация оказалась также равна 50 мг/кг, т.к. товарной частью салата является фактически масса листьев. Для биомассы корнеплодов редиса пороговой концентрацией оказалась доза 500 мг Pb/кг. На черноземе соответствующие пороговые концентрации составляли для салата 1500 и 1500 мг/кг, для редиса – 3000 и 2000 мг/кг соответственно. Хотя свинец в настоящее время не относится к микроэлементам, однако многие исследователи отмечали стимуляцию ряда показателей разных видов растений при действии определенных концентраций свинца [21]. В наших исследованиях с разными культурами это явление также отмечено [24]. В настоящей работе стимуляция площади листьев и биомассы корнеплодов имела место у редиса на дерново-подзолистой почве при дозах 100–250 мг Pb/кг почвы, стимуляция площади листьев – на черноземе при дозе 2000 мг Pb/кг. При этой же дозе на черноземе у салата имела место стимуляция площади листьев и биомассы.

Анализ полученных экспериментальных данных показал, что салат являлся в целом более чувствительным к действию свинца, чем редис (рис. 1). Площадь листьев редиса и салата при действии увеличивающихся концентраций свинца в диапазоне от контроля до 2000–3000 мг Pb/кг на черноземе и торфе претерпевали значительные изменения как в сторону достоверного снижения до 80%, так и повышения до 120% по отношению к контролю. Достоверной пороговой концентрацией ТМ, после которой происходило кардинальное снижение этого показателя, была концентрация 3500 мг Pb/кг почвы (табл. 2). При концентрациях 2000–2500 мг Pb/кг у обеих культур происходило увеличение площади листьев до 120% по отношению к контролю. На дерново-подзолистой почве стимуляция площади листьев редиса до 120% отмечена при концентрациях свинца 100–250 мг Pb/кг. Пороговой, достоверно подавляющей развитие листового аппарата концентрацией Pb была

Таблица 2. Диапазоны стимулирующих концентраций и пороги фитотоксичности Pb в разных почвах для редиса и салата

Показатель	Концентрация Pb в почве (мг/кг), при которой наблюдается			
	стимуляция растений		угнетение растений	
	дерново-подзолистая	чернозем	дерново-подзолистая	чернозем
	Редис			
Биомасса корнеплодов	100	нв	>500	>2000
Площадь листовой поверхности	100–250	2000	>1500	>3000
	Салат			
Биомасса растений	нв	нв	>50	>1500
Площадь листовой поверхности	нв	нв	>50	>1500

*нв – пороговой концентрации не выявлено.

концентрация 1500 мг/кг. Для салата достоверной пороговой концентрацией являлась доза 250 мг/кг, при которой площадь листьев уменьшалась до 56% по отношению к контролю.

Для биомассы корнеплодов редиса пороговой концентрацией свинца на черноземе было 2000 мг/кг, когда показатель снижался до 72% по отношению к контролю. На торфе пороговой концентрацией можно считать 3000 мг/кг, хотя такую концентрацию на этой почве не использовали и ее можно было определить только интерполяцией. На дерново-подзолистой почве пороговой концентрацией свинца, снижающей этот показатель до 71% по отношению к контролю, являлась концентрация 1000 мг Pb/кг. Однако следует отметить, что при концентрации 100 мг Pb/кг отмечено достоверное увеличение биомассы корнеплодов до 133% по отношению к контролю.

Биомасса растений салата на черноземе почти линейно снижалась с повышением концентрации свинца в почве, однако достоверное снижение по сравнению с контролем до 80% было отмечено, начиная с концентрации 1500 мг Pb/кг, которую можно считать пороговой.

На торфе пороговая концентрация свинца для биомассы салата была равна 2500 мг/кг, хотя при концентрации 2000 мг Pb/кг имело место достоверное увеличение биомассы до 130% по отношению к контролю.

Определение содержания МДА и свободного пролина в листьях редиса и салата оказалось наиболее информативным при выращивании этих культур на дерново-подзолистой почве. Для редиса характерна мощная стимуляция синтеза МДА и пролина уже при малых концентрациях

свинца в 2.5 (МДА, 250 мг Pb/кг почвы) и 4 раза (пролин, 100 мг Pb/кг) по сравнению с контролем. При этом содержание МДА в листьях редиса при всех остальных концентрациях свинца (250–1500 мг/кг почвы) оставалось достоверно больше контроля, меняясь на уровне 180–250% по отношению к контролю. Содержание свободного пролина, наоборот, при концентрации 250 мг Pb/кг резко уменьшилось до уровня 50% по отношению к контролю и в диапазоне концентраций 250–1500 мг Pb/кг оставалось практически на том же уровне.

В листьях салата содержание МДА в диапазоне концентраций свинца от контроля до 500 мг/кг дерново-подзолистой почвы упало почти до 60% от контроля, затем несколько возросло до 80% при концентрации 1500 мг Pb/кг. Содержание свободного пролина скачкообразно изменялось, то снижаясь почти до 80% при концентрации ТМ 100 мг/кг, то повышаясь почти до 130% и вновь снижаясь до уровня 75% по отношению к контролю. В диапазоне концентраций свинца 500–1500 мг/кг содержание пролина опять повышалось до уровня 120% по отношению к контролю.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По результатам проведенного исследования выявлено, что свинец оказывал существенное воздействие на жизненные процессы растений редиса и салата. Отмечено, что определенные дозы свинца (100 мг/кг для дерново-подзолистой почвы и 2000 мг/кг для чернозема) могли стимулировать развитие как надземной, так и подземной биомассы редиса. На дерново-подзолистой почве указанный эффект отмечен при более низких дозах поллютанта, чем на черноземе. Однако

при высоких дозах ТМ происходило достоверное снижение данного показателя. У салата стимулирующего эффекта ТМ не было обнаружено, по мере роста концентрации свинца происходило практически линейное уменьшение биомассы.

Анализ биохимических параметров выявил следующие эффекты. Наиболее информативные данные удалось получить в эксперименте, проведенном на дерново-подзолистой почве. Для салата был характерен повышенный синтез МДА и пролина при действии свинца, при этом, если в случае с МДА высокое содержание данного метаболита наблюдали во всем диапазоне доз, то содержание пролина вначале резко возрастало (до 400% при 100 мг Рв/кг), но так же резко снижалось при росте концентрации поллютанта, а затем уже не менялось (50% от контроля при 250 мг Рв/кг и далее). У редиса содержание МДА существенно уменьшалось по мере роста концентрации (до 60% от контроля при 500 мг Рв/кг), но затем возрастало (до 77% от контроля при 1500 мг Рв/кг). Что касается пролина, то его содержание изменялось скачкообразно. При различных дозах ТМ отмечены и высокие уровни содержания в тканях растений редиса данной аминокислоты (до 125% при 250 мг Рв/кг и 120% при 1500 мг Рв/кг), и низкие (50% при 500 мг Рв/кг).

По результатам выполненной работы можно сделать вывод о большей чувствительности салата к действию свинца. Следует отметить, что концентрационная зависимость площади листьев салата на черноземе оказалась практически линейной и достоверно аппроксимировалась линейной функцией вида $y = -0.0278x + 105.82$ при величине достоверности аппроксимации $R^2 = 0.96$ и $r = 0.98$. Концентрационная кривая биомассы корнеплодов редиса удовлетворительно аппроксимировалась линейной функцией вида $y = -0.016x + 101.3$ при величине достоверности аппроксимации $R^2 = 0.87$, $r = -0.94$. Еще более надежно аппроксимировалась на этой почве биомасса салата линейной функцией вида $y = -0.0254x + 105.13$ при величине достоверности аппроксимации $R^2 = 0.97$, и $r = -0.99$.

Таким образом, в ходе настоящего исследования была изучена зависимость ответа сельскохозяйственных культур на действие техногенных поллютантов от видовой принадлежности этих растений и типа используемого субстрата. Например, листовые культуры (салат) оказались более чувствительными, чем корневые (редис), а на дерново-подзолистой почве токсические эффекты были выражены сильнее, чем на черноземе. В целом зависимость доза—эффект для морфоло-

гических показателей растений носила линейный характер, что соответствовало общебиологическим закономерностям, выявленным при токсикологических исследованиях различных объектов. Воздействие техногенного поллютанта (свинца) на биохимические параметры носило несколько иной характер, что свидетельствовало о сложном и неоднозначном характере ответа организма на стресс, наблюдаемый на различных уровнях организации. В работе впервые изучены в широком диапазоне концентраций свинца дозовые зависимости действия этого ТМ на ряд биометрических и биохимических показателей и продуктивность растений салата и редиса при выращивании на 3-х типах почв. Полученные данные о пороговых концентрациях позволили уточнить имеющиеся сведения о ПДК и ПДУ для конкретных сельскохозяйственных культур на различных типах почв. Определены диапазоны стимулирующих концентраций и пороги фитотоксичности Рв в разных почвах для редиса и салата.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Алексахин Р.М., Фесенко С.В., Гераськин С.А.* Методика оценки экологических последствий техногенного загрязнения агроэкосистем. М.: Изд-во МГУ, 2004. 206 с.
2. *Ильин В.Б.* Тяжелые металлы в системе почва—растение. Новосибирск: Наука, 1991. 150 с.
3. *Гуральчук Ж.З.* Механизмы устойчивости растений к действию тяжелых металлов // Физиол. и биохим. культ. раст. 1994. Т. 26. № 2. С. 107—117.
4. *Феник С.И., Трофимьяк Т.Б., Блюм Я.Б.* Механизмы формирования устойчивости растений к тяжелым металлам // Усп. совр. биол. 1995. Т. 115. № 3. С. 261—276.
5. *Серегин И.В., Иванов В.Б.* Физиологические аспекты токсического действия кадмия и свинца на высшие растения // Физиология растений. 2001. Т. 48. № 4. С. 606—630.
6. *Мурзаева С.В.* Эффекты тяжелых металлов на проростки пшеницы; активация антиоксидантных энзимов // Прикл. биохим. и микробиол. 2004. Т. 40. № 1. С. 114—119.
7. *Ochi T., Takahashi K., Ohsawa M.* Indirect evidence for the induction of a peroxidant state of cadmium chloride in cultured mammal cells and a possible mechanism for the induction // Mutat. Res. 1987. V. 180. P. 257—266.
8. *Muller L.* Consequences of cadmium toxicity in rat hepatocytes: mitochondrial dysfunction and lipid peroxidation // Toxicology. 1986. V. 40. P. 285—292.
9. *Farris M.W.* Cadmium toxicity: unique cytoprotective properties of alpha tocopherol succinate in hepatocytes // Toxicology. 1991. V. 69. P. 63—77.
10. *Полесская О.Г.* Растительная клетка и активные формы кислорода. М.: Университет, 2007. 139 с.
11. *Журбицкий З.И.* Теория и практика вегетационного метода. М.: Наука, 1968. 260 с.

12. Агрохимические методы исследования почв. М.: Наука, 1975. 656 с.
13. Аринушкина Е.В. Руководство по химическому анализу почв. М.: Изд-во МГУ, 1970. 488 с.
14. Методические указания по определению тяжелых металлов в почвах сельхозугодий и продукции растениеводства. Изд-е 2-е. М.: ЦИНАО, 1992. 62 с.
15. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). М.: Агропромиздат, 1985. 352 с.
16. Bates L.S., Waldern R.P., Teare I.D. Rapid determination of free proline for water-stress studies // *Plant and Soil*. 1973. V. 39. № 1. P. 205–207.
17. Heath R.L., Packer L. Photoperoxidation in isolated chloroplasts. I. Kinetics and stoichiometry of fatty acid peroxidation // *Arch. Biochem. Biophys.* 1968. V. 125. № 1. P. 189–198.
18. Бритиков Е.А. Биологическая роль пролина. М.: Наука, 1975. 124 с.
19. Baker A.J.M. Accumulators and excluders – strategies in the response of plants to heavy metals // *J. Plant Nutr.* 1981. V. 3. P. 93–111.
20. Baker A.J.M. Metal tolerance // *New Phytol.* 1987. V. 106. P. 93–111.
21. Арышева С.П., Дикарев В.Г., Гераськин С.А., Дикарева Н.С., Санжарова Н.И., Удалова А.А. Продуктивность, морфологические и физиолого-биохимические показатели бобов кормовых, выращенных на загрязненной свинцом почве // *Агрохимия*. 2013. № 2. С. 77–85.
22. Кузнецов В.В., Шевякова Н.И. Проллин при стрессе: биологическая роль, метаболизм, регуляция // *Физиология растений*. 1999. Т. 46. № 2. С. 321–336.
23. Барабой В.А. Механизмы стресса и перекисное окисление липидов // *Усп. совр. биол.* 1991. Т. 111 (6). С. 923–931.
24. Дикарев А.В., Дикарев В.Г., Дикарева Н.С. Сравнительный анализ частоты цитогенетических эффектов в апикальной меристеме корешков проростков сортов ярового ячменя (*Hordeum vulgare* L.), контрастных по устойчивости к свинцу // *Тр. по прикл. бот., генет. и селекции*. 2016. Т. 177. Вып. 1. С. 52–68.

Study of Phytotoxicity of Lead for Redis and Salad Plants in Growing on Different Types Of Soils

V. G. Dikarev^{a, #}, A. V. Dikarev^a, and N. S. Dikareva^a

^a All-Russian Research Institute of Radiology and Agroecology
249032 Obninsk, Kaluga Region, Kievskoe Highway, 109 km, Russia

[#]E-mail: ar.djuna@yandex.ru

The growing pollution of environment with industrial pollutants are became the earnest problem of the modern agriculture. The one of the most dangerous groups of pollutants are heavy metals, and in particular, lead. With that case, an assessment of the lead influence on the most common agricultural plants is the significant issue of food safety of the country. In the conditions of vegetative experiment in soil culture, the influence of lead contamination of sod-podzolic sandy loamy soil, chernozem of powerful degraded peat and lowland peat on growth, development and productivity of radish and lettuce in a wide range of Pb(NO₃)₂ concentrations was studied. Biometric parameters were analyzed: the leaf area, the air-dry mass of root crops (radish) and plants in general (salad), as well as the biochemical indicators characterizing the oxidation-reduction homeostasis of plants – the content of free proline and malonic dialdehyde (MDA). It is shown that as the dose of TM grows, the growth and development of plants of both cultures, more pronounced in the salad, are increasingly intensified. This is evidenced by a decrease in plant growth, leaf area and biomass. The observed effects strongly depend on the type of soil, which is related to the physicochemical properties and the level of their fertility and is most pronounced on sod-podzolic soil. This soil also shows more pronounced changes in the oxidation-reduction homeostasis of plant organisms with sharp proline and MDA fluctuations especially characteristic in the low-dose region of HM concentration. The collected data have an important fundamental meaning for the clarification of the plant's organism reactions to the environment stress. The results of the current work also have an applied meaning for the humans and domestic animals health protection.

Key words: lead, types of soils, radish, lettuce, biometric and biochemical indicators, productivity, resistance, action of pollutants.

УДК 574.4:631.445:631.415.1(479.24)

САМООЧИЩАЮЩАЯ СПОСОБНОСТЬ РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ ПОЧВ АЗЕРБАЙДЖАНА ОТ НЕФТЯНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ИХ pH

© 2021 г. С. И. Наджафова¹, *, Ф. Ш. Кейсерухская¹, З. П. Гасанова¹

¹ Институт микробиологии НАН Азербайджана
AZ 1004 Баку, ул. М. Мушвига, 103, Республика Азербайджан

*E-mail: nadjafovas@yahoo.com

Поступила в редакцию 23.07.2020 г.

После доработки 23.11.2020 г.

Принята к публикации 11.01.2021 г.

Представлены результаты лабораторного моделирования интенсивности процессов самоочищения 3-х типов почв: желтоземной, серо-бурой и каштановой при загрязнении их сырой нефтью. Показано, что с изменением pH почв в сторону повышения кислотности или щелочности происходило снижение общей численности функциональных групп микроорганизмов и интенсивности дыхания. Наиболее интенсивно процесс разложения в почве сырой нефти имел место в каштановой почве при pH 7.2. В соответствии с показателями pH самоочищающую способность почв в случае загрязнения сырой нефтью можно расположить в последовательности по убыванию: каштановая (pH 7.2) > серо-бурая (pH 8.2) > желтоземная (pH 5.9). В случае загрязнения желтоземных почв их самоочищающая способность была недостаточной, что потребует принятия оперативных мер для ускорения естественных процессов самоочищения в них с целью предотвращения деградации их физико-химических и биологических свойств и ускоренной биореабилитации в управляемом режиме с использованием современных методов рекультивации.

Ключевые слова: типы почв, pH почвы, самоочищение, ускорение самоочищения, приемы рекультивации.

DOI: 10.31857/S0002188121040116

ВВЕДЕНИЕ

Основными источниками загрязнения ландшафтов, в том числе почвенного покрова, углеводородами являются нефтедобывающие предприятия и нефтеперерабатывающие заводы, транспортировка сырой нефти трубопроводами, нефтебазы, железные дороги и др. Показано, что в сфере влияния всех этих предприятий имеется потенциальная опасность возникновения зон загрязнения ландшафтов различными нефтепродуктами [1].

На многих предприятиях, находящихся на территории Азербайджана, имеется опасность загрязнения ландшафтов при аварийных ситуациях, в том числе сырой нефтью и нефтепродуктами. К основным причинам возникновения аварийных ситуаций относятся внешние и внутренние физико-химические воздействия на трубопроводы (например, в результате внешнего физического воздействия в районе г. Сумгаит на трассе ЗМЭТ произошел разрыв трубопровода и разлив сырой нефти объемом >300 т), коррозионные процессы (как это было при разливе >200 т

сырой нефти в районе п. Насосный в 1998 г. вдоль СМЭТ), в результате чего они повреждаются, несвоевременная замена или ремонт старого оборудования, ошибки рабочих и служащих. Разливы нефти могут иметь место также при их транспортировке железнодорожным транспортом, автотранспортом, на территориях автозаправочных станций и др. Причинами возникновения аварийных ситуаций, которые приводят к значительным финансовым и материальным потерям, могут являться также природные явления как эрозионные процессы, землетрясения, наводнения, обвалы и оползни и др.

Процесс самоочищения почвенного покрова от органических поллютантов может проходить активно только при определенных физико-химических условиях, которые определяют структуру и активность микробных сообществ, участвующих в этих сложных процессах. Наряду с другими физико-химическими показателями pH почвы является одним из ключевых факторов, определяющих интенсивность и саму возможность про-

цесса самоочищения почв от органических поллютантов.

Известно отношение микроорганизмов к кислотности среды, в том числе кислотности почв, загрязненных техногенными поллютантами [2]. Концентрация водородных ионов играет роль фактора, определяющего границы существования и жизнедеятельности биоорганизмов, в том числе почвенных микроорганизмов. Показатели рН являются одним из важнейших абиогенных факторов, влияющих на рост и размножение микроорганизмов. Разнообразие и метаболический потенциал бактерий-деструкторов может снижаться с переходом условий среды в стрессовую область [3, 4]. Экстремальные условия окружающей среды могут представлять естественный барьер для деградации углеводородов почвенным микробиоценозом, ограничивая, таким образом, не только возможность естественных процессов самоочищения, но также и возможности применения методов биоремедиации загрязненных почв.

Большинство микроорганизмов функционирует при рН почвы от 4.0 до 9.0, однако их оптимальный рост наблюдается в среде, при концентрации ионов водорода, близкой к рН 7.0, что характерно для большинства природных сред. Очень высокие (кислая реакция) или очень низкие (щелочная реакция) концентрации водородных ионов обычно токсичны для большинства организмов. Наиболее активно процессы роста и развития микроорганизмов-деградаторов нефтяных углеводородов имеют место в среде с нейтральным рН в пределах 6.8–7.2 ед. В то же время ряд исследований показали широкий диапазон рН, при котором в естественных условиях может идти деградация нефтяных углеводородов в почве. Например, из месторождения в Китае выделен новый род *Amicollicoccus*, который рос в диапазоне рН 6.0–11 (оптимум 8.0 ед.) [5]. Из микробного сообщества, существующего в экстремальных условиях нефтешлама (рН 1.15), выделены и изучены 13 штаммов бактерий – умеренных ацидофилов, идентифицированных как *Corynebacterium* sp., *D. maris* и *Bacillus* sp., способных к деградации широкого спектра углеводородов в широком диапазоне рН от 4.0 до 9.0 ед. [6].

Цель работы – на примере 3-х основных типов почв (каштановой, серо-бурой и желтоземной), характеризующихся различными показателями рН, широко распространенных на территории Азербайджана и используемых под различные сельскохозяйственные культуры (чай, хлопок, зерновые, садовые и др.), оценить активность

процессов самоочищения в случае их загрязнения нефтяными углеводородами.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Объектом исследования были 3 типа почв: каштановая, серо-бурая и желтоземная (рис. 1). Почвенные образцы отбирали непосредственно в местах их распространения [7]. Кислотность почв определяли с помощью полевого рН-метра-влагометра. Отбор проб почвы общей смешанной массой 1.0 кг проводили из слоя 0–20 см в стерильные пакеты по методу “конверта” [8], затем доставляли в лабораторию. Исследование проводили методом лабораторного моделирования: в стеклянные стаканы объемом 300 мл вносили образцы почв массой 250 г. В почву вносили сырую нефть Сураханского месторождения (Апшеронский полуостров) из расчета 2 г/100 г почвы, тщательно перемешивали. Содержание нефти в исследованных образцах почв составляло 2% от массы почвы, что соответствовало высокой степени загрязнения почв. Стаканы помещали в термостат и инкубировали при постоянной температуре 26°C, время инкубирования – 180 сут. Почву в стакане периодически увлажняли до 40% ППВ. Влажность почв поддерживали постоянной, добавляя воду в соответствии с потерей их массы. Через 180 сут после начала эксперимента из каждого экспериментального стакана отбирали пробы почв и в них определяли содержание остаточных углеводородов гравиметрическим методом [9]. В образцах почв также определяли общую численность гетеротрофных микроорганизмов на МПА [10]. Численность углеводородокисляющих микроорганизмов (УОМ) в почвах выявляли на агаризованной минеральной среде с *n*-гексадеканом в качестве единственного источника углерода и энергии [10]. Дыхание почв определяли по интенсивности продуцирования CO₂ по методу [11].

Исходные показатели рН почв до начала эксперимента были следующими: каштановой – 7.2, серо-бурой – 8.2, желтоземной – 5.9, численность углеводородокисляющих микроорганизмов (титр): каштановой – 1×10^5 , серо-бурой – 3.5×10^4 , желтоземной – 1×10^3 , степень загрязнения для всех типов почв – 2%.

Все лабораторные эксперименты проводили в 3-х повторностях. Достоверность полученных результатов определяли с помощью *t*-критерия Стьюдента, статистическую обработку проводили в программе Microsoft Excel 2002. Представление результатов в таблицах и графиках – среднее стандартное отклонение.



Рис. 1. Расположение точек отбора почвенных проб для исследования их самоочищающей способности: 1 – серо-бурая почва, 2 – каштановая почва, 3 – желтоземная почва.

Встречающиеся в природе щелочные условия обычно связаны с почвами. Типичными являются почвы, обогащенные щелочными минералами. Щелочные почвы могут формироваться в результате полного окисления органического вещества в районах с повышенной аэрацией и высокой температурой – к таким территориям в Азербайджане относят почвы аридных зон, которые формируются в условиях климата пустынь или полупустынь. Почвы со щелочными рН распространены, в том числе, и на Апшеронском полуострове: это в основном серо-бурые почвы, рН этих почв в зависимости от подтипа меняется в пределах 7.8–9.0 ед., их общая площадь составляет 150 тыс. га. Гранулометрический состав (<0.001 мм) составляет 32–43%, содержание гумуса – 0.84–1.60%, содержание азота – 0.08–0.13%, соотношение С : N – 6.8–7.2. Эти почвы в наибольшей степени загрязнены нефтью и нефтепродуктами: общая площадь нефтезагрязненных почв в регионе составляет >25 тыс. га.

Почвы с нейтральным рН (в пределах 6.9–7.8) представлены каштановыми почвами, они распространены в сухих субтропических степях Азербайджана с общей площадью почти в 1.4 млн га [7]. По гранулометрическому составу почвы глинистые, содержание гумуса – 2–4%, содержание азота – 0.20–0.30%, соотношение С : N – 7–9.

Почвы с кислой средой в Азербайджане распространены в Талышско-Ленкоранской зоне: горно-лесные желто-бурые, в которых рН в верхних слоях составляет 5.3–5.9, глубже снижается до 4.4–4.6 ед., что связано с присутствием поглощенного алюминия. Горно-лесные желтоземные почвы этого же региона являются типичными представителями почв влажных субтропиков

Азербайджана: реакция почвенной среды обычно слабокислая и кислая, рН_{H₂O} составляет 3.2–4.7. По гранулометрическому составу дифференциация профиля слабая, содержание илистой фракции в верхнем горизонте равно 13.3–27.2%, содержание гумуса – 2.0–2.7%, содержание азота – 0.25–0.27%, соотношение С : N в верхней части профиля – 8.6–9.1. Общая площадь земель в этом регионе составляет 157 тыс. га.

Скорость самоочищения в исследованных почвах от углеводородов оценивали по интенсивности роста и развития микроорганизмов, в том числе углеводородоокисляющих микроорганизмов (УОМ), способных разлагать загрязнитель, по интенсивности дыхания почв, которая свидетельствовала об использовании загрязнителя в качестве единственного источника углерода и энергии, а также по интенсивности его разложения.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты микробиологических исследований показали, что с изменением показателя кислотности почв от нейтрального в сторону подкисления или подщелачивания отмечено снижение общей численности микроорганизмов (рис. 2) и интенсивности дыхания (рис. 3). Изменения дыхания почвы были обусловлены интенсивностью биологических процессов в почве. Высокая дыхательная активность в каштановой почве (0.71 г СО₂/кг почвы) по сравнению с другими типами почв – желтоземной и серо-бурой в присутствии углеводородного субстрата свидетельствовала о сравнительно высокой мобилизационной активности микрофлоры в этой почве, результатом которой был всплеск интенсивности дыхания.

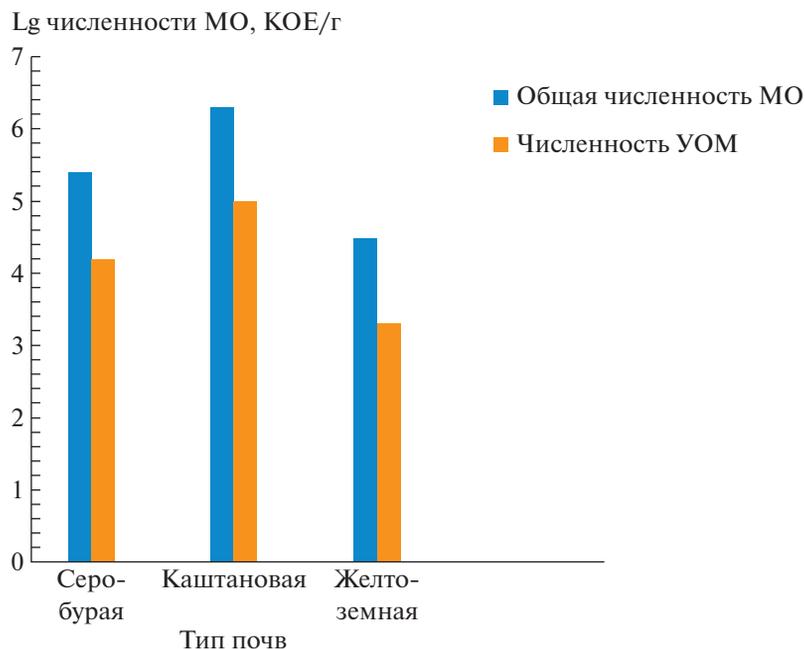


Рис. 2. Численность микроорганизмов в различных типах почв.

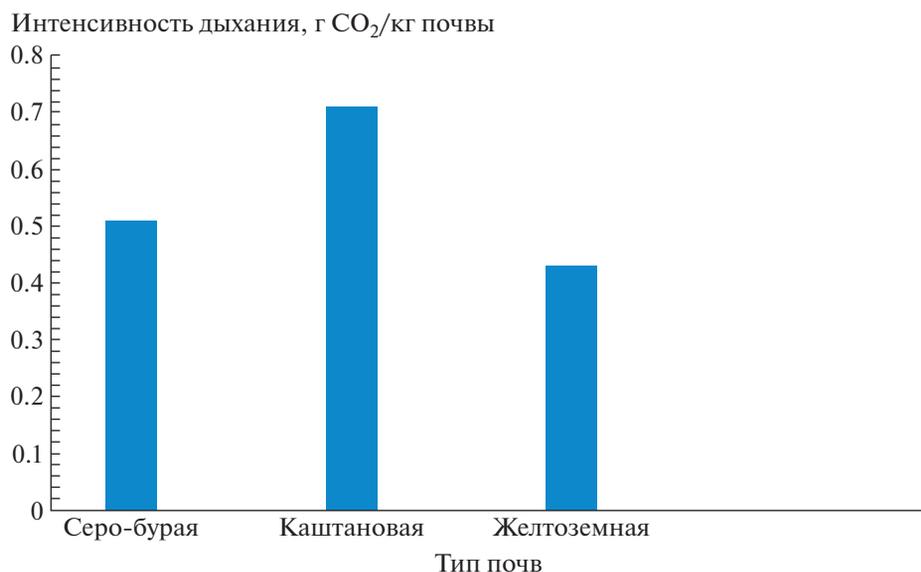


Рис. 3. Интенсивность дыхания в различных типах почв.

Данные, представленные в табл. 1, показали различие в скорости разложения сырой нефти в почве в зависимости от типа почв. Выявлено, что величина рН почвы как абиогенный фактор при всех прочих равных условиях (степень загрязнения 2%, температура и время инкубирования, увлажнение и др.) определяла интенсивность процессов самоочищения почв. Наиболее интенсивно процесс разложения в почве сырой нефти имел место в каштановой почве: через 180 сут в ней разложилось

64.5% нефти от исходного количества, в серо-бурой – 48.5, в желтоземной – всего 21%.

Таким образом, в соответствии с показателями рН самоочищающую способность почв в случае загрязнения сырой нефтью можно расположить в следующей последовательности по убыванию: каштановая (рН 7.2) > серо-бурая (рН 8.2) > желтоземная (рН 5.9).

В желтоземных почвах с кислой реакцией этот фактор имел решающее значение при разложе-

Таблица 1. Биологическая активность и интенсивность самоочищения от сырой нефти почв с различными показателями рН

Почва	рН	Показатели			
		Численность УОМ, титр		Содержание нефтяных углеводов, г/на кг почвы	
		начало инкубирования	через 180 сут	начало инкубирования	через 180 сут
Серо-бурая	8.2	$3.5 \times 10^4 \pm 2.1$	$3.1 \times 10^5 \pm 2.2$	20	10.3
Каштановая	7.2	$1 \times 10^5 \pm 1.9$	$3.1 \times 10^6 \pm 2.0$	20	7.1
Желтоземная	5.9	$1 \times 10^3 \pm 1.1$	$3 \times 10^4 \pm 1.3$	20	14.2

нии нефти и нефтепродуктов, т.к. повышенная кислотность ослабляла микробиологическую активность. Полученные данные дали основание прогнозировать, что в случае загрязнения желтоземных почв их самоочищающая способность будет недостаточной и потребуются принятие оперативных мер для ускорения естественных процессов самоочищения этих почв с целью предотвращения деградации их физико-химических и биологических свойств и их ускоренной биореабилитации с использованием современных методов рекультивации. Поэтому для создания рН, оптимального для биоразложения поллютанта, кислые почвы в случае их загрязнения необходимо известковать [12], что позволит устранить избыточную кислотность, вредную для роста и развития микроорганизмов, обеспечивающих процесс разложения загрязнителя, улучшит физические свойства почв. Принимая во внимание, что в отличие от серо-бурых почв, на которых располагаются нефтедобывающие предприятия (Апшеронский полуостров), и для которых высока вероятность загрязнения, вероятность загрязнения желтоземных почв углеводородами значительно меньше (в основном $\approx 5-10 \text{ м}^2$ на территориях заправочных станций), для этого типа почв в случае их загрязнения норма известкования может составить в пределах 5–14 кг извести/10 м² (срок эффективного действия – 12–15 лет).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты исследования интенсивности самоочищения 3-х разных типов почв в случае загрязнения их сырой нефтью показали значимость показателя кислотности почв. При прочих равных условиях (степени загрязнения, показателя увлажнения, температуры) кислотность почв имеет определяющее значение для активности процесса деградации нефти в почве: наиболее активно процесс разложения в почве сырой нефти

обнаруживался при нейтральных величинах рН, характерных для каштановых почв. Через 180 сут инкубации загрязненных почв в модельном опыте (степень загрязнения нефтью 2%) в каштановой почве разложилось 64.5% нефти от исходного количества, в серо-бурой – 48.5%, в желтоземной – всего 21%. Данная закономерность подтверждена численностью сапрофитных микроорганизмов, а также активностью в почве УОМ, ответственных за процесс деградации углеводов: исходная численность в каштановой почве этих групп микроорганизмов составляла 1.10^5 млн/мл, через 180 сут эксперимента их численность увеличилась до 3.1×10^6 млн/мл, что было значительно больше, чем в других типах почв. Показатели дыхательной активности (СО₂, г/кг почвы) также коррелировали с численностью микроорганизмов: они были значительно больше для каштановой почвы – 0.72 г СО₂/кг почвы по сравнению с серо-бурой (0.52 г СО₂/кг почвы) и желтоземной (0.41 г СО₂/кг почвы). Остаточная степень загрязнения для каштановой почвы через 180 сут составила всего 0.7% при исходной степени загрязнения 2.0%: такая загрязненность уже считается безопасной для почвы.

Таким образом, в случае загрязнения сырой нефтью по степени самоочищения исследованные типы почв располагаются в последовательности: каштановая (рН 7.2) > серо-бурая (рН 8.2) > желтоземная (рН 5.9).

Можно прогнозировать, что допустимый верхний предел загрязнения нефтью и нефтепродуктами также будет различен в исследованных типах почв: каштановые типы почв могут выдерживать более высокую техногенную нагрузку по сравнению с серо-бурой и желтоземными почвами. В каштановых почвах при одинаковой степени загрязнения углеводородами процесс самоочищения будет происходить значительно быст-

рее по сравнению с другими типами почв (серобурой и желтоземной).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Воробьев Ю.Л., Акимов Б.А., Соколов Ю.И. Предупреждение и ликвидация разливов нефти и нефтепродуктов. М.: Ин-октаво, 2005. 368 с.
2. Шлегель Г. Общая микробиология. М.: Мир, 1987. 565 с.
3. Foght J.M., McFarlane D.M. Growth of extremophiles on petroleum // Enigmatic microorganisms and life in extreme environments / Ed. Seckbach J. 1999. P. 527–538.
4. Margesin R., Schinner F. Bioremediation (natural attenuation and biostimulation) of diesel-oil-contaminated soil in an alpine glacier skiing area // Appl/ Microbiol/ Biotechnol. 2001. V. 67. P. 3127–3133.
5. Wang Y.N., Chi Ch.Q., Lou Z.Y., Tang Y.Q. et al. *Amycolobicoccus subflavus* gen. nov., sp. nov., an actinomycete isolated from a saline soil contaminated by crude oil // Inter. J. Systematic Evolut. Microbiol. 2010. V. 60. P. 638–643.
6. Плевакова Е.В. Эколого-функциональные аспекты микробной ремедиации нефтезагрязненных почв: Автореф. дис. ... д-ра биол. наук. Саратов, 2010. 47 с.
7. Салаев М.Э., Бабаев М.П., Джафарова Ч.М., Гасанов В.Г. Морфогенетические профили почв Азербайджана. Баку: Элм, 2004. 202 с.
8. Егоров Н.С. Руководство к практическим занятиям по микробиологии. М.: Изд-во МГУ, 1995. 224 с.
9. РД 52.18.647-2003. Метод. указ-я. Определение массовой доли нефтепродуктов в почвах. Методика выполнения измерений гравиметрическим методом. 2003. 21 с.
10. Практикум по микробиологии / Под ред. Нетрусова А.И. М.: Академия, 2005. 608 с.
11. Звягинцев Д.Г., Асеева И.Б., Бабьева И.П., Мирчинк Т.Г. Методы почвенной микробиологии и биохимии. М.: Изд-во МГУ, 1980. 224 с.
12. Колесниченко А.В., Марченко А.И., Побежимова Т.П., Зыкова В.В. Процессы биодegradации в нефтезагрязненных почвах. М.: Промэкобезопасность, 2004. 194 с.

Self-Cleaning Ability of Different Types of Soils in Azerbaijan Depending on Their pH

S. I. Nadjafova^{a, #}, F. Sh. Keyseruxskaya^a, and Z. P. Hasanova^a

^aInstitute of Microbiology of NAS of Azerbaijan
M. Mushviga str. 103, Baku AZ 1004, Republic of Azerbaijan

[#]E-mail: nadjafovas@yahoo.com

The results of laboratory modeling of the intensity of self-cleaning processes of three types of soils are presented: yellow-earth, gray-brown and chestnut. The results showed that with a change in soil pH towards an increase in acidity or alkalinity, a decrease in the total number of functional groups of microorganisms and respiration rate is observed. The most intensive process of decomposition in the soil of crude oil took place in chestnut soil with a pH of 7.2. In accordance with the pH indicators, the self-cleaning ability of soils in case of contamination with crude oil can be arranged in descending order: chestnut (pH 7.2) > gray-brown (pH 8.2) > yellow earth (pH 5.9). In case of contamination of yellow-earth soils, their self-cleaning capacity will be extremely insufficient and operational measures will be required to accelerate the natural processes of self-cleaning processes of these soils in order to prevent degradation of their physico-chemical and biological properties and their accelerated biorehabilitation using modern reclamation methods.

Key words: various types of soil, soil pH, self-cleaning, self-cleaning acceleration, reclamation techniques.

УДК 632.95

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ПРОБЛЕМЫ ИЗУЧЕНИЯ И ПРИМЕНЕНИЯ ГЕРБИЦИДОВ (ДАЙДЖЕСТ ПУБЛИКАЦИЙ ЗА 2017–2019 гг.)

© 2021 г. Ю. Я. Спиридонов^{1,*}, С. Г. Жемчужин¹, Л. М. Королева², Г. С. Босак¹¹ Всероссийский научно-исследовательский институт фитопатологии
143050 р.п. Большие Вяземы, Московская обл., ул. Институт, влад. 5, Россия² Всероссийский институт научной и технической информации
125315 Москва, ул. Усиевича, 20, Россия

*E-mail: spiridonov@vniif.ru

Поступила в редакцию 14.07.2020 г.

После доработки 12.08.2020 г.

Принята к публикации 10.12.2020 г.

В связи с ежегодным постоянным возрастанием числа публикаций по различным вопросам научной и прикладной гербологии сохраняется необходимость мониторинга публикуемых в мире сообщений по гербицидам и сопутствующим средствам с целью обеспечения их доступности для широкого круга научных работников и практиков. В предлагаемый дайджест включена отечественная и зарубежная информация по различным вопросам исследовательской и практической гербологии (публикации за 2017–2019 гг.).

Ключевые слова: изучение и применение гербицидов и регуляторов роста растений, публикации за 2017–2019 гг.

DOI: 10.31857/S0002188121030121

ПОИСК И ИЗУЧЕНИЕ СОЕДИНЕНИЙ С ГЕРБИЦИДНОЙ И РОСТРЕГУЛИРУЮЩЕЙ АКТИВНОСТЬЮ

В научном мире продолжается поиск и изучение соединений с гербицидной и рострегулирующей активностью как среди традиционных химических структур, так и в новых классах химических соединений. Представляемая работа является естественным продолжением предыдущей относительно недавней публикации [1].

Продолжают публиковаться работы, посвященные традиционным гербицидным структурам. Получены и охарактеризованы новые жидкие формы гербицида 2(2,4-дихлорфенокси)пропана(2,4-ДР), высокоактивные против двудольных сорняков и с низким потенциалом бионакопления в почве [2]. Синтезированы 5 новых гербицидных аммониевых солей с анионом 2,4-дихлорфеноксиацетата (2,4-Д) с катионами различного строения. Оценена гербицидная активность новых ионных жидкостей против сорняков [3]. Изучены гербицидные и фунгистатические свойства фтористых аналогов феноксиуксусных гербицидов, способных уничтожить 3 вида сорняков, а также фитопатогенные грибы *Phytophthora*

cactoram [4]. Приведены рекомендации для использования гербицида калео, ВРК на основе глифосата и 2,4-Д в борьбе на паровых полях с однодольными и двудольными сорняками [5]. Описаны дизайн, синтез и изучение гербицидной активности арил-2,6-производных сульфонилмочевин в качестве мощных ингибиторов ацетогидроксикислот-синтазы [6]. Изучено применение водного осмоса в разделении кислой жидкости HCl/глифосат посредством диффузионного диализа [7]. Описано связывание при взаимодействии лизоцима с гербицидом ваологеном [8].

Обсуждены характеристики биоугля, полученного из лузги риса и его сорбционные способности для ацетанилидного гербицида метоалхлора [9]. Приведены данные по дизайну, синтезу и оценке новых оснований Шаффа *cis-n*-ментанового типа в качестве эффективных гербицидов [10]. Запатентована имеющая гербицидную активность соль N¹, N¹, N⁴, N⁴-тетраметил-2-бутил-1,4-диамина с 2-метокси-3,6-дихлорбензоатом [11]. Предложен способ приготовления нанокapsул гербицида 2,4-Д с агар-агаром в качестве покрытия [12]. Изучена гербицидная активность инновационного препарата Z110361 на основе 1,3-

диметил-4-(2-метил-4-метилсульфонил-3-(2-*n*-толилокси)этокси)бензоил-1Н-пиразол-5-ил этилкарбоната [13]. Оценена гербицидная активность имидазолкетон-содержащих ингибиторов *p*-гидроксифенил-паруватдегидрогеназы *Arabidopsis thaliana* и человека, являющаяся мишенью при разработке новых гербицидов. Исследованы взаимосвязь структура–активность и селективность соединений [14]. Предложены композиции и способы улучшения совместимости растворимых в воде солей гербицидов посредством добавления к раствору ПАВ [15].

Запатентованы содержащие антидоты твердые гербицидные композиции с улучшенной стабильностью [16]. В качестве антидота к 2,4-Д в посевах подсолнечника предложен О-(4-трет-бутилфенил)-карбонил-4,6-диметил-2-хлорпиридил-3-амид-оксим [17]. Запатентованы имеющие гербицидную активность соли 1,3-бис(диметиламино)метил)тиомочевины и 1,3-бис(диметиламино)метил)мочевины с 2-метокси-3,6-дихлорбензоатом [18]. Предложено гербицидное средство, содержащее триалкаламидные соли клетодима и клопиралаида [19]. Запатентованы гербицидные композиции, содержащие 4-амино-3-хлор-5-фтор-6-(4-хлор-2-фтор-3-метоксифенил)-пиридин-2-карбоновую кислоту и галосульфурон, пiazосульфурон и эспрокарб [20]. Запатентован способ приготовления солей дикамбы, обладающих гербицидным действием [21]. Предложена новая гербицидная композиция, содержащая циклогексаноновые соединения с гербицидной активностью [22]. Изучена эволюционная зависимость между малярийными паразитами и растениями, предлагаемая для использования при разработке новых гербицидов [23]. Проведен синтез и изучена гербицидная активность производных 1,2,4-триазола, содержащего пиразольный фрагмент [24].

ПРИМЕНЕНИЕ ГЕРБИЦИДОВ

Даны рекомендации по применению гербицидов раундапа, арсенала, анкора-85 и их смесей для площадей под культуры сосны и ели, создаваемые сеянцами с закрытой корневой системой. Определены показатели эффективности действия гербицидов на нежелательную травянистую и древесную растительность [25]. Исследована эффективность действия бетаналов-дженериков на сорную растительность в посевах сахарной свеклы в зависимости от скорости кристаллизации и величины кристаллов в растворе и на листьях обработанных растений [26]. Продолжает существовать интерес практиков и теоретиков

сельского хозяйства к широко применяемому гербициду глифосату. Оценена устойчивость к глифосату летнего сорняка джунглерика (*Echinochloa colona*) в виноградниках и фруктовых садах Калифорнии [27]. Представлен обзор устойчивых к глифосату сорняков по всему миру [28]. Изучена чувствительность сорняков *Peruvian watergrass* и *Rice cutgrass* к глифосату [29]. Выявлена устойчивость к глифосату чертополоха [30]. Выяснено, что низкие дозы глифосата усиливают ассимиляцию CO₂, устойчивую проводимость и транспирацию в сахарном тростнике и эвкалипте [31]. Изучено влияние глифосата на развитие болезней сорных и культурных растений [32]. Изучены история и современное состояние широко используемого в мире гербицида глифосата [33]. Обнаружена target-сайт мутация, придающая резистентность к глифосату в популяции пучковой травы *Rhodes* в Австралии [34]. Изучено использование глифосата в посевах рапса, озимой пшеницы, кукурузы и сахарной свеклы в центральной Европе [35]. Установлено, что пониженное поглощение глифосата и уменьшенная транслокация гербицида дикамбы препятствуют борьбе с сорняком *Kochia scoparua* при повышенной температуре [36]. Оценена эффективность применения гербицидов пивота, базаграна и фюзиллада при беспокровном посеве люцерны на семена [37]. Изучена видовая и фазовая чувствительность щирицы к гербицидам дикопуру Ф. и пантера [38]. Разработана технология обработки посевов микроудобрениями и гербицидами с помощью агрегата с аппликаторами для ленточного внесения препаратов с 2-х сторон рядка растений [39]. Описано применение природных ростостимуляторов (настоев веток ивы, дрожжей, листьев алоэ) для корнеобразования черенков декоративных растений (сеткеразии, циссуса, сенполии) [40]. Описана оптимизация фитосанитарного состояния посевов зерновых культур с помощью разноплановых гербицидов [41]. Установлено, что смеси гербицидов с фунгицидами и микроудобрениями способствуют защите подсолнечника от болезней и повышают урожайность [42]. Показано, что сочетание боронования с обработкой гербицидом линтур (тиосульфурон + дикамба) может быть использовано для защиты проса от сорняков [43]. Представлены результаты испытаний комплекса гербицидов для борьбы с осотом розовым и вьюнком полевым в посевах озимой пшеницы и их последствие в посевах сахарной свеклы. Особую эффективность показал 3-компонентный препарат балерина Микс [44]. Представлены результаты изучения эффективности гербицидов и баковых смесей в посевах льна-долгунца в условиях

Псковской обл. Наибольшая эффективность против комплекса сорняков получена в варианте, где применяли баковую смесь препаратов ленок + тарга-супер [45]. Установлено, что быстрый гербицидный эффект при защите картофеля от сорняков достигается на ранних стадиях развития при обработке концентратом раствора метрибузина и послеуборочным применением препарата титус (50 г/га) [46]. Изучена ростстимулирующая активность спирогетероциклических соединений фуранонового ряда, содержащих сульфонил-амидный фрагмент [47]. Описаны результаты исследований по совершенствованию технологий применения средств защиты растений методом опрыскивания [48]. Слоистый силикатный магадит использован в качестве подложки при контролируемом высвобождении гербицидов диурена и 2,4-D [49]. Разработана программа и осуществлено комплексное управление сорняком *P. hysterophorus* в посевах стручкового перца, включающее первичную обработку (вспашку и ручную прополку) в комбинации с обработкой гербицидом окси-флуорфеном. Изучено воздействие 8-ми гербицидов на жизнеспособность энтомопатогенных нематод [50]. Проведена оценка чувствительности засоряющего поля кукурузы сорняка *Cucumis Melo* L. к никосульфурону, имазамику, фомесафену и бентазону [51]. Проведено сравнение 5-ти гербицидов в борьбе с сорными растениями гречихи [52]. Оценена эффективность граминицида Шогун против однолетних однодольных сорных растений в посадках капусты белокочанной [53]. Описаны особенности применения гербицидов (баковых смесей имазапира и глифосата) для удаления древесно-кустарниковой растительности [54]. Изучено влияние длительного применения удобрений на поведение гербицида 2,4-D. Установлено, что в выщелоченном черноземе удобрения в меньшей степени влияют на скорость разложения гербицида, чем в дерново-подзолистой почве [55]. Оценена целесообразность осеннего применения гербицидов для возделывания озимой пшеницы в Центральном Черноземье [56]. Изучены распределение и режим введения в почву гербицида 4-хлор-2-метилфеноксисукусной кислоты (МСРА) в виде комплексов с органо-глиной [57]. Для уничтожения пырея ползучего в посевах ярового рапса применен противозлаковый гербицид фюзилад-супер. Полная гибель сорняков наступает через 7–20 сут после обработки [58]. Описано применение гербицидов в посевах гороха в Армении. Использовали гербициды гезагард, миуру, пульсар и фюзилад-Форте [59].

Представлен обзор природных растительных соединений-источников экологически безопасных биогербицидов [60]. Проведено изучение эффективности и спектра действия нового гербицида гоал 2E в зависимости от норм расхода и сроков применения в посевах подсолнечника [61]. Описан аллелопатический эффект эфирного масла эвкалипта и его потенциальное использование в качестве биогербицида, испытанного в лабораторных и тепличных опытах [62]. Представлены итоги многолетнего изучения осеннего применения гербицидов в посевах озимой пшеницы в условиях Центрального Нечерноземья РФ [63].

Проведено обобщение собственных исследований авторов и литературных данных по гидравлическим и вращающимся распылителям для полевого штангового опрыскивания вегетирующих растений и почвы [64].

ПОВЕДЕНИЕ ГЕРБИЦИДОВ В ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЕ

Проведено исследование контролируемой деградации в щелочной почве 5-замещенного гербицида хлорсульфурина [65]. В анаэробных условиях изучена в 3-х типах почв деградация послеуборочного гербицида карфентразон-этила и его метаболита карфентразона [66]. Оценены остатки и диссипация регулятора роста растений униконазола в листьях и семенах *Grossypium* и в почве [67]. Исследована судьба глифосата в почвах с растительными остатками масличного рапса и нетолерантного к гербициду сорняка. Установлено, что толерантные к глифосату культуры аккумулируют в своих тканях большее количество гербицида [68]. Исследована динамика диссипации и остаточных количеств гербицида флумиоксазина в соевых бобах и образцах почвы [69].

ДЕГРАДАЦИЯ ГЕРБИЦИДОВ

В ученом мире сохраняется интерес к различным видам деградации гербицидов: химической, фотолитической, микробиологической и пр. Исследована каскадная биодеградация гербицида изопротурона в условиях ферментативного окисления пероксидазой и обработки сточных вод активным илом. Достигнута полная деградация гербицида за 10 мин при pH 3.0 и комнатной температуре [70]. Установлено, что усиленная деградация атразина имеет место в различных регионах США. В почвах с исторически постоянным применением атразина время полужизни гербицида составляет 2.3 сут, и это может привести к снижению эффективности обработок [71]. Идентифи-

цирована и очищена новая карбоксил-эстераза, гидролизующая арилоксифеноксипропионатные гербициды, в частности галоксифоп-Р-метил, диклофоп, фенаксопроп-Р-этил и др. Фермент можно использовать для биоремедиации загрязненных гербицидами сред [72]. Исследованы возможности абиотического снижения трифлуралина и пендиметалина с помощью активированного угля, угля из древесины яблонь и угля из рисовой соломы [73]. Изучена фитотоксичность продуктов фотодеградции гербицида аллоксидима в посевах томатов [74]. Изучены гидролиз и фотолиз изоэтилового эфира 2,4-D в различных типах вод при различных температурах и рН [75].

Опубликован обзор, посвященный прямому фотолизу пестицидов, включая гербициды, путем поглощения естественного или искусственного солнечного света. Обобщены типичные фотопревращения пестицидов по химическим классам и функциональным группам [76]. Оценено фоторазложение гербицида прометрина в почве. Установлено, что полуразложение прометрина под действием УФ-излучения происходит за 53–116 ч, что намного быстрее, чем при воздействии ксеноновых ламп [77]. Проведено исследование фотодеградции гербицида 2,4-D в водном растворе при воздействии ультрафиолета и видимого света в присутствии нанофотокатализатора, полученного пропиткой природного цеолита клиноптиолита наночастицами TiO_2 [78].

ТОКСИКОЛОГИЯ ГЕРБИЦИДОВ

В мире продолжают публиковаться работы по токсикологии гербицидов. Выявлен вредоносный эффект глифосата на метаболизм организмов перифитона и возможно на индукцию окислительного стресса и ослабление влияния гербицида в присутствии *Limnoperna fortune*, вероятно участвующего в разложении глифосата [79]. Изучали токсическое действие гербицида раундап на репродуктивную функцию самцов белых крыс. Самцы крыс в течение 12 нед получали раундап в дозах 3.6, 50.4 и 248.4 мг/кг. В итоге наблюдали изменения статуса половых гормонов, ухудшение качества спермы, нарушения морфологии семенников [80]. Изучено влияние гербицида раундап на активность пептидаз в кишечнике рыб разных видов. Выявлено, что глифосат *in vitro* ингибирует пептидазы слизистой оболочки кишечника и мускула разных видов рыб [81].

Представлен обзор научной базы оценки Евросоюза и ее различий с данным IARC по токсичности и канцерогенности глифосата [82]. Выявлено изменение ультраструктуры иммунокомпе-

тентных клеток в почках, селезенке и печени головешки-ротана под влиянием гербицида раундап [83]. Изучено воздействие предвсходовых гербицидов и фунгицида флуопирама на повреждение посевов сои, популяцию, синдром внезапной гибели и урожайность [84]. Монтмориллонит-альгинатные гранулы предложены в качестве сорбента опасного гербицида параквата [85].

АНАЛИЗ ГЕРБИЦИДОВ

В мировой литературе продолжают публиковать работы по анализу гербицидов. Как правило, используют современные инструментальные методы анализа: газожидкостную хроматографию (ГЖХ) в сочетании с масс-спектрометрией (ГЖХ-МС) и тандемной масс-спектрометрией (ГЖХ-МС/МС), высокоэффективную и ультраэффективную жидкостную хроматографию в сочетании с МС (ВЭЖХ/МС и ВЭЖХ/МС/МС) и другие методы. Современная аппаратура позволяет одновременно идентифицировать и количественно определять в различных матрицах десятки и сотни пестицидов из различных химических классов.

Свойства связывания гербицида пендиметалина с ДНК изучали с помощью УФ- и флуоресцентной спектроскопии и молекулярного докинга [86]. Проведена сертификация надежности и избирательности методов прямого определения глифосата и аминометилфосфоновой кислоты в молоке коров и моче людей методом ВЭЖХ-МС/МС [87]. Разработан метод скрининга остатков 12 регуляторов роста растений в зеленом чае с помощью ультраэффективной ЖХ и МС высокого разрешения с электрораспылительной ионизацией [88].

Предложено определение глифосата в воде, почве и продуктах питания с помощью дериватирующих агентов [90]. Разработан метод прижизненного и посмертного определения гербицидов глифосата, глюфосината, параквата и диквата в депротеинизированных пробах крови, мочи и содержимого желудка методом ВЭЖХ-МС/МС с элюированием ацетонитрила [90]. Описано быстрое определение и динамика диссипации 2,4-D в банане райском методом ВЭЖХ-МС/МС. Пределы обнаружения и определения 2,4-D составляли соответственно 0.0015 и 0.005 мг/кг; период полужизни гербицида в банане равен 5.4 сут [91].

Разработан метод определения гербицида метрибузина в пестицидных препаратах электроаналитическим способом хронопотенциалометрией с тонкопленочным Hg-электродом в качестве

датчика [92]. Представлен метод определения регулятора роста растений этефона в овощах и фруктах методом ГЖХ после дериватизации с помощью (триагметилсилил)диазометана. Пределы обнаружения и определения этефона были равны 0.01 и 0.03 мг/кг соответственно [93]. Предложен метод быстрого определения 11 амидных гербицидов в чае твердофазной микроэкстракцией в комбинации с ГЖХ-МС/МС [94].

Проведено одновременное определение остатков 8-ми хлорорганических пестицидов и 5-ти гербицидов в воде и седиментах с использованием ГЖХ-МС/МС [95]. Представлен быстрый скрининг 28 разрушающих эндокринную систему пестицидов в продуктах водного происхождения с помощью ультра-ВЭЖХ-квадрупольной МС высокого разрешения [96]. Разработан метод одновременного определения остаточных количеств гербицидов флоразулама и флуороксипира в пшенице и почве ультра-ВЭЖХ и тандемной МС. Интервал определяемых концентраций гербицидов равен 0.005–1 мг/кг [97].

Проведено исследование связывания и одновременного количественного определения гербицидов пропанила и бромоксирила в человеческом сывороточном альбумине с помощью УФ-видимой и флуоресцентной спектроскопии. Полученные данные способствуют пониманию механизма токсичности гербицидов для людей и нецелевых организмов [98]. Осуществлено простое вольтамперометрическое определение гербицида метсульфурон-метила в водных образцах с использованием дифференциальной импульсной катодной инверсионной вольтамперометрии [99].

В какой-то степени итогом многоплановых исследований, посвященных особенностям применения гербицидов на современном этапе их применения, служит монография, посвященная 60-летию основания ВНИИ фитопатологии [100]. В книге обобщены результаты многолетних исследований ведущих сотрудников по актуальнейшим проблемам стратегии и тактики защиты растений и урожая. Проанализирована современная и перспективная техника для внесения пестицидов. Рассмотрены инновационные химические препараты, используемые для защиты растений в России на площади 50 млн га, а также в странах Ближнего Зарубежья. Всесторонне обоснованы защитные технологии производства зерновых культур и картофеля, включая личные подсобные и фермерские хозяйства. Оценены экологические последствия от применения современных гербицидов и производства генно-инженерно-модифицированных пестицидных препаратов. Подчеркнута важная роль здоровой почвы в орга-

ническом и традиционном земледелии, описаны уникальные приемы повышения продуктивности почвы, ее обработки, внутрпочвенного орошения и рециклинга органических продуктов жизнедеятельности и техногенных отходов. Изложены протоколы анализов количественного определения параметров почвенного здоровья. Приведен краткий аннотированный глоссарий 266 специальных экологических и гербологических терминов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Информация, представленная в предлагаемом дайджесте, свидетельствует о том, что исследования по научной и прикладной гербологии проводят во всем мире в достаточно широком масштабе:

- продолжается поиск химических и биологических соединений с гербицидной активностью;
- предложены новые подходы для разработки новых комплексных препаративных форм гербицидов, изучаются сроки и способы их применения;
- производится оценка токсических свойств гербицидов и продуктов их деградации для различных видов биоты;
- продолжают исследования по оценке негативных экологических последствий при применении гербицидных традиционных и новых препаратов и способов их эффективного устранения;
- совершенствуются методы индикации и количественного анализа остатков гербицидов в различных почвенно-климатических ситуациях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Спиридонов Ю.Я., Жемчужин С.Г., Клейменова И.Ю., Босак Г.С. Современное состояние проблемы изучения и применения гербицидов (дайджест публикаций за 2014–2017 гг.) // Агрохимия. 2019. № 6. С. 81–91.
2. Niemczak M., Biedziak A., Czeriak K., Marcinkowska K. Preparation and characterization of new ionic licoid forms of 2,4-DP herbicide // Tetrahedron. 2017. V. 73. № 52. С. 7315–7325.
3. Marcinkowska K., Praczyk T., Gawlak M., Niemczak M. Efficacy of herbicidal ionic liquids and choline salt based on 2,4-D // Crop. Prot. 2017. V. 98. С. 85–93.
4. Huras B., Zakrzewski J., Kielczewska A., Krawczyk M. Herbicidal and fungistatic properties of phenoxyacetic herbicides // J. Fluor. Chem. 2017. V. 202. С. 76–81.
5. Голубев А.С., Маханькова Т.А., Свирина Н.В. Новый гербицид Килео на основе дифосфата и 2,4-Д // Изв. СПбГАУ. 2017. № 48. С. 80–84.
6. Wei W., Zhon Sh., Cheng D., Li Yu. Design, synthesis and study of the herbicidal activity of aryl-2,6-derivatives of sulfonylureas as potent inhibitors of aceto-

- droxyacid-synthase // *Bioorg. Med. Chem. Lett.* 2017. V. 27. № 15. С. 3365–3369.
7. *Wu Y., Wang P., Zhang G., Wu C.* Water osmosis in separating acidic HCl/glyphosate liquor by continuous diffusion dialysis // *Separ. Purif. Technol.* 2017. V. 179. P. 86–93.
8. *Roy S., Rhim J.-Wh.* Probing of binding interaction of lysozyme-viologen herbicide // *J. Mol. Struct.* 2018. V. 1171. С. 1–8.
9. *Wei L., Huang Y., Li Y., Huang L.* Biochar characteristics produced from rice husks and their sorption properties for the acetanilide herbicide metolachlor // *Environ Sci. Pollut Res.* 2017. V. 24. № 5. P. 4552–4561.
10. *Xu Sh.-Ch., Zhu Sh., Wang J., Bi L.-W.* Design, synthesis and evaluation of novel *cis-p*-menthane type Schiff base compounds effective herbicides // *Chin. Chem. Lett.* 2017. V. 28. № 7. P. 1509–1513.
11. *Крутьков В.М., Вороненко Б.И., Хуснутдинов Р.И., Ибрагимов А.Г.* Соль N¹⁻, N¹⁻, N⁴⁻, N⁴⁻-тетраметил-2-бутан-1,4-диамин с 2-метокси-3,6-дихлор-бензойтом, проявляющая гербицидную активность, и способ ее получения. Пат. 2626648. Россия. Оpubл. 31.07.2017.
12. *Кролевец А.А.* Способ получения нанокapsул 2,4-дихлорфеноксиуксусной кислоты. Пат. 2631885. Россия. Оpubл. 28.09.2017.
13. *Xu Xi., Xu T., Peng W., Zhong L.* Study on herbicidal activity of innovative compound ZJ 10361 // *J. Pestic. Sci.* 2017. V. 19. № 4. P. 428–433.
14. *Xu J., Lin H., Wu F., Kang D.* Herbicidal activity and selectivity profiles of imidazole keton-containing *p*-hydrophenylpyratodehydrogenase inhibitors // *Chin. J. Pestic. Sci.* 2017. V. 19. № 4. P. 418–427.
15. *Эл Си, Лю Лю Чжан Х., Кеннеди А., Танк Х.* Пат. 2664577, Россия. Оpubл. 21.08.2018.
16. *Эл Си, Херкэми Дж., Ли М., Шао Х., Шень Х.* Твердые гербицидные композиции, содержащие антидот. Пат. 2691376. Россия. Оpubл. 11.06.2019.
17. *Дмитриева И.Г., Доценко В.В., Дядюченко Л.В., Ткач Л.Н.* О-(4-третбутилфенил)карбонил-4,6-диметил-2-хлорпиридил-3-амидоксим в качестве антидота 2,4-Д на подсолнечнике. Пат. 2672881. Россия. Оpubл. 20.11.2018.
18. *Валитов Р.Р., Логвин Б.О., Мейзлер Б.Л., Зарипов Р.В.* Гербицидное средство и способ получения рабочей жидкости гербицидного средства. Пат. 2631030. Россия. Оpubл. 15.09.2017.
19. *Эл Си, Йеркс К., Манн Р.* Гербицидные композиции, содержащие (4-амино-3-хлор-5-фтор-3-метоксифенил)пиридин-2-карбоновую кислоту или ее производное и галосульфурон, пиризосульфурон и эспрокарб. Пат. 2630705. Россия. Оpubл. 12.09.2017.
20. *Бристоу Д.Т.* Способ приготовления солей карбоновой кислоты, обладающих гербицидным действием. Пат. 2664642. Россия. Оpubл. 21.08.2018.
21. *Дзин Й., Фудзино Е.* Гербицидная композиция. Пат. 2628507. Россия. Оpubл. 17.08.2017.
22. *Corrab M., Leroux J., Tresch S., Newton T.* Exploiting the evolutionary relationship between malarial parasites and plants to develop new herbicides // *Angew. Chem. Int. Ed.* 2017. V. 56. № 33. С. 9881–9885.
23. *Mu J., Zhai Z., Tan Ch., Weng J.* Synthesis and herbicidal activity of 1,2,4-triazolo derivatives containing of pyrazole moiety // *J. Heterocycl. Chem.* 2019. V. 56. № 3. С. 968–971.
24. *Егоров А.Б., Постников А.М., Бубнов А.А., Павлюченкова Л.Н.* Применение гербицидов при обработке площадей под культуры сосны и ели, создаваемые сеянцами с закрытой корневой системой. Тр. СПбНИИЛХ. 2017. № 2. С. 30–45.
25. *Дворянкин Е.А.* Влияние кристаллизации бетанолов на качество обработки против сорняков // *Сахар. свекла.* 2017. № 4. С. 29–32.
26. *Morran S., Moretti M., Brunharo C., Fische A.* Multiple target site resistance to glyphosate in junglerice (*Echinochloa colona*) lines from California orchards // *Pest Manag. Sci.* 2018. V. 74. № 12. С. 2747–2753.
27. *Heap I., Duke St.* Overview of glyphosate-resistant weeds worldwide // *Pest Manag. Sci.* 2018. V. 74. № 5. С. 1040–1049.
28. *Scherner A., Avila L., Schreiber F., Kruse N., Diehl A.* Glyphosate-resistant weed species worldwide // *Crop Protect.* 2017. V. 97. P. 1–7.
29. *Barroso J., Gourlie J.A., Lutcher L.K., Liu M., Mallory-Smith C.A.* Identification of glyphosate resistance in *Salsola tragus* in north-eastern Oregon // *Pest. Manag. Sci.* 2018. V. 74. № 5. P. 1089–1093.
30. *Nascentes R., Carbonari C., Sindes P., Brunelte M.* Low doses of glyphosate enhance growth, CO₂ assimilation, stomatal conductance and transpiration in sugarcane and eucalyptus // *Pest Manag. Sci.* 2018. V. 74. № 6. P. 1197–1205.
31. *Hammerschmidt R.* How glyphosate affects plant disease development; it is more than enhanced susceptibility // *Pest Manag. Sci.* 2018. V. 74. № 5. P. 1054–1063.
32. *Dake S.* The history and current status of glyphosate // *Pest Manag. Sci.* 2018. V. 74. № 5. P. 1027–1034.
33. *Ngo N.T., Krishnan M., Boutsalis P., Gill G.* Target-site mutations conferring resistance to glyphosate in teatkertop Rhodes grass (*Gloris virgate*) populations in Australia // *Pest Manag. Sci.* 2018. V. 74. № 5. P. 1094–1100.
34. *Wiese A., Schulte M., Theuysen L., Steinman H.* Interactions of glyphosate use with farm characteristics and cropping patterns in Central Europe // *Pest Manag. Sci.* 2018. V. 74. № 5. P. 1155–1165.
35. *Ou J., Stahlman Ph., Jugulam M.* Reduced absorption of glyphosate and decreased translocation of dicamba contribute to poor control of foehia // *Pest. Manag. Sci.* 2018. V. 74. № 5. P. 1134–1142.
36. *Гавриков С.В., Макаро В.М., Рутковская Л.С.* Эффективность применения гербицидов при беспокровном посеве люцерны на семена // *Глав. агроном.* 2017. № 8. С. 53–54.

37. Курдюкова О.Н., Тыщук Е.П. Видовая и фазовая чувствительность сорняков к гербицидам // Защита и карантин раст. 2017. № 12. С. 16–18.
38. Забражная А.И., Балашов А.В., Дьячков С.В., Омаров А.Н. Определение конструктивных параметров аппликаторов для локальной обработки посевов сахарной свеклы // Достиж. науки и техн. АПК. 2017. Т. 31. № 1. С. 52–55.
39. Шабалина Н.А. Применение природных регуляторов для черенков декоративных растений // Вестн. ПГФА. 2017. № 19. С. 229–231.
40. Филиппов А.С., Немченко В.В. Оптимизация фитосанитарного состояния зерновых культур с помощью разноплановых гербицидов в современном земледелии // АПК России. 2017. Т. 24. № 2. С. 314–321.
41. Семьнина Е.В., Разумейко И.Н. Роль регуляторов роста растений и микроудобрений в защите подсолнечника от вредных организмов // Глав. агроном. 2018. № 1–2. С. 59–60.
42. Бугаева С.К., Лунанов А.Е. Агрохимический и химический методы защиты проса от сорных растений // Биол. в сел. хоз-ве. 2017. № 1. С. 20–24.
43. Гапуев В.В., Вилков В.М. Уничтожение корнеотпрысковых сорняков в посевах озимой пшеницы — предшественника сахарной свеклы // Сахар. свекла. 2017. № 7. С. 22–24.
44. Пушкарев В.Г. Продуктивность льна-долгунца в зависимости от примененных гербицидов в условиях Псковской области // Изв. ОренбургГАУ. 2017. № 3. С. 263–281.
45. Редюк С.И. Защита картофеля от сорных растений // Вестн. защиты раст. 2017. № 2. С. 55–58.
46. Пеклоева С.С. Ростстимулирующая активность спирогетероциклических соединений фуранонового ряда, содержащих сульфаниламидный фрагмент // Вестн. ПГФА. 2017. № 19. С. 209–210.
47. Лысов А.К., Корнилов Т.В. Совершенствование технологий применения средств защиты растений методом опрыскивания // Вестн. защиты раст. 2017. № 2. С. 50–53.
48. Nunes A.R., Araújo K.R., Moura A. Magadite as a support for controlled release of herbicides // Chem. Pap. 2018. V. 72. № 2. P. 479–486.
49. Nichan K., Sivachandiran S., Maramble B. Seedbank dynamics and integrated management *P. hysterothorus* in vegetable capsicum // Crop. Protect. 2018. V. 107. P. 56–63.
50. Laznik Z., Trdan St. The influence of herbicides on viability of entomopathogenic nematodes // Inter. J. Pest. Manag. 2017. V. 63. № 2. P. 105–111.
51. Xu H., Su W., Lu Ch., Zhang Zh. Differential sensitivity of field muskmelona (*Cucumis melo* L.) to nicosulfuron, imazapic, fomesafen and bentazon // Crop. Protect. 2018. V. 106. P. 58–63.
52. Zellweger H., Giechtinger G., Perez E., Walter A. Lutte controls adventices du sarrasin comparatson de cinq herbicides // Rech. Agron. Suisse. 2017. V. 8. № 7–8. P. 310–317.
53. Григорьева М., Козяев С. Эффективность граминицида Шогун против однолетних однодольных сорных растений в посадках капусты белокочанной // Овощевод. и теплич. хоз-во. 2017. Т. 5–6. С. 65–68.
54. Трошин М.А., Николаева А.В., Руденко А.Н., Дунаева А.С. Особенности применения гербицидов для удаления древесно-кустарниковой растительности // Пробл. регион. экол. 2017. № 1. С. 9–12.
55. Калинин А.В., Байбеков Р.Ф. Влияние длительного применения удобрений на поведение гербицида 2,4-D // Агротех. вестн. 2017. № 5. С. 62–64.
56. Пугачев О.А., Беседин Н.В. Целесообразность осеннего применения гербицида при возделывании озимой пшеницы в Центральном Черноземье // КурскСХА. 2017. № 2. С. 15–20.
57. Rieffer P., Klausmeyer T., Schmidt B., Schüffer A. Distribution and incorporation mode of the herbicide MCPA in soil derived organo-clay complexes // J. Environ. Sci. Health. B. 2017. V. 52. № 8. P. 584–599.
58. Трудина Л.А. Уничтожение пырея ползучего (*Agropyron repens*) в посевах ярового рапса // Агромир Приволжья. 2017. № 3. С. 41–43.
59. Церетели И.С., Агоронян А.Г. Гербициды в посевах гороха в Армении // Защита и карантин раст. 2017. № 10. С. 51–52.
60. Кондратьев М.Н., Скороходова А.Н., Ларинова Ю.С., Евдокимова Д.П. Аллелопатические свойства вторичных соединений лекарственных растений (обзор) // Вопр. биол., мед. и фармац. химии. 2018. Т. 21. № 2. С. 12–22.
61. Гринько А.В. Эффективный гербицид для защиты подсолнечника // Пути повышения эффектив. орош. земледелия. 2017. № 66. С. 159–164.
62. Venetia S., Hazzit M., Abdelkrim H. Allelopathic effect of *Eucalyptus citriodora* essential oil and its potential use as bioherbicide // Chem. Biodivers. 2018. V. 15. № 8. P. 180–202.
63. Спиридонов Ю.Я., Никитин Н.В., Протасова Л.Д., Абубикеров В.А. Итоги многолетнего изучения осеннего применения гербицидов в посевах озимой пшеницы в условиях Центрального Нечерноземья РФ // Агротех. 2017. № 9. С. 53–67.
64. Спиридонов Ю.Я., Никитин Н.В., Абубикеров В.А. Распылители для применения пестицидов в растениеводстве способом опрыскивания вегетирующих растений и почвы // Агротех. 2017. № 10. С. 49–60.
65. Zhon Sh., Hua Xu., Wei W., Chen M. Research on controllable alkaline soil degradation of 5-substituted chloresulfuron // Chin. Chem. Lett. 2018. V. 29. № 6. P. 945–948.
66. Duan J., Gao B., Dong X., Sun M. Stereoselective degradation behavior of carfentrazone-ethyl and its metabolite carfentrazone in soils // RSC Adv. 2018. V. 8. № 63. P. 35897–35902.
67. Ma J., Li T., Zhou L., Zhang J. Residue and dissipation of uniconazole in *Cossypium* spp. and soil // Chin. J. Pest. Sci. 2017. V. 19. № 3. P. 374–380.
68. Mamy L., Barrinso E., Gabelle B. Glyphosate fate in soils when arriving in plant residues // Chemosphere. 2016. V. 154. P. 425–493.
69. Zhang Sh., Lui N., Cheng G., Yang Q. Residues and dissipation dynamics of flumioxazin in soybean and soil

- samples // *Chin. J. Pest. Sci.* 2018. V. 20. № 4. P. 487–494.
70. Wang F., Li Xu., Hu M., Li Sh. Cascade biodegradation of organic pesticide isoproturon // *Chem. J. Chin. Univ.* 2017. V. 38. № 8. С. 1362–1367.
 71. Mueller Th., Parker E., Steckel L., Clay Sh. Enhanced atrazine degradation is widespread across the Limited States // *Pest. Manag. Sci.* 2017. V. 73. № 9. P. 1953–1961.
 72. Wang Ch., Qin J., Yang Y., Zheng J. Identification and characterization of novel carboxylesterase that hydrolyzes aryloxyphenate herbicides // *Biotechnol. Lett.* 2017. V. 39. № 4. С. 553–560.
 73. Gong W., Liu Xi., Xia Sh., Liang B. Abiotic reduction of trifluralin and pendimethalin by sulfides in black-carbon-amended coastal sediments // *J. Hafazdons Mater.* 2016. V. 310. P. 125–134.
 74. Villaverde J., Santie-Montanya B., Alonso-Prados J. Assessing effects of alloxymid phototransformation products by qsar models and a phytotoxicity study // *Molecules.* 2018. V. 23. № 5. С. 993.
 75. Zhang Sh., Ji M., Gu Z., Yang Qi. The hydrolytic and photolytic properties of 2,4-D isooctyl ester // *Chin. J. Pest. Sci.* 2019. V. 21. № 1. P. 125–130.
 76. Katagi T. Direct photolysis mechanism of pesticides in water // *J. Pest. Sci.* 2018. V. 43. № 2. P. 57–72.
 77. Chen Ji., Li X., Wang Ya., Ma Li. Assessment of photodegradation of herbicide prometryn in soil // *Water Air Soil Pollut.* 2017. V. 228. № 4. P. 135/1–135/14.
 78. Mehrbadi Z., Faghihian H. Elimination of highly consumed 2,4-dichlorophenoxyacetic acid from aqueous solution by TiO₂ impregnated clinoptilolite, study of degradation pathway // *Spectrochim. Acto. A.* 2018. V. 204. P. 248–252.
 79. Iummato M., Pizarro H., Cataldo D., Di Flori E. Effect of glyphosate acid on biochemical markers perfiton exposed in outdoor mesocosms in the presens and absence of the mussel // *Toxicol. Chem.* 2017. V. 36. № 7. P. 1775–1784.
 80. Owagboriaye F., Dedeke G., Ademolu K., Olujimi O. Reproductive toxicity of Roundup herbicide exposure in male albino rat // *Exp. Toxicol. Pathol.* 2017. V. 69. № 7. P. 461–468.
 81. Кузьмина В.В., Тарлева А.Ф., Шенцицкий В.А. Влияние гербицида раундап на активность пептидаз в кишечнике рыб разных видов // *Вопр. ихтиол.* 2017. Т. 57. № 5. С. 607–613.
 82. Tarazona J., Contr-Marynes D., Taramani M., Reich H. Glyphosate toxicity and carcinogenicity: a review of the scientific basis of the European Union assessment and its differences with IARC // *Arch. Toxicol.* 2017. V. 91. № 8. P. 2723–2743.
 83. Заботкина Е.А., Голованов В.К., Голованова И.Л. Изменение ультраструктуры иммунокомпетентных клеток в почках, селезенке и печени ротана *Percejtus glenii* под влиянием пестицида Раундап // *Тр. ВНИРО.* 2016. Т. 162. С. 73–81.
 84. Kandel Y., Mueller D., Legeleiter T., Johnson W. Impact of fluopyram fungicide and preemergence herbicides on soybean injuri, population, sudden death syndrome and yield // *Crop. Protect.* 2018. V. 106. P. 103–109.
 85. Etcheverry M., Cappa V., Trelles J., Zanini G. Montmorillonite-alginate beads: natural mineral and biopolymers based sorbent of paraquat herbicides // *J. Environ. Chem. Eng.* 2017. V. 5. № 6. P. 5868–5875.
 86. Ahmad I., Ahmad A., Ahmad M. Binding properties of pendimethalin herbicide to DNA // *Phys. Chem. Phus.* 2016. V. 18. № 9. P. 6476–6485.
 87. Jensen P.K., Wujcik C.E., Mo Guire M., Mo Guire M.A. Validation of reliable and selective methods for direct determination of glyphosate and aminomethylphosphonil and in milk and urine using LC-MS/MS // *J. Environ. Sci. Health. B.* 2016. V. 51. № 4. P. 254–259.
 88. Xu X., Hou X., Han M., Cai T. Development of a screening method for twelve plant growth regulator residues in green tea by ultra performance liquid chromatography – high resolution mass spectrometry // *Chin. J. Pest. Sci.* 2017. V. 19. P. 422–430.
 89. Gill J., Pal K., Sethi N., Mochan A. Analysis of the glyphosate in water, soil and food using derivatising agents // *Environ. Chem. Lett.* 2017. V. 15. № 1. P. 85–100.
 90. Tsao Y., Lai Y., Lin H., Liu H., Liu R. Simultaneous determination and quantitation of paraquat, diquat, glufosinate and glyphosate in postmortem blood and urine by LC-MS-MS // *J. Anal. Toxicol.* 2016. V. 40. № 6. P. 427–436.
 91. Lin T., Li Q., Lin H. Shao J. Rapid determination and dissipation dynamics of 2,4-D in *Musa paradisiac* // *Chin. J. Pest. Sci.* 2017. V. 19. № 4. P. 518–522.
 92. Darovic A., Stojanovic Z., Kravie S., Zeremski T. Determination of metribusin content in pesticide formulations using electroanalytical methodology // *Acta Period. Technol.* 2018. V. 49. P. 43–51.
 93. Chen K., Wang Y., Shen X., Ju X. Determination of mination of ethephon residue in fruits and vegetable by gas chromatography after derivatization with (trimethylsilyl) diazomethane // *Chin. J. Pest.* 2018. V. 20. № 4. P. 495–499.
 94. Li J., Sun M., Hu X., Wu X. Rapid determination of 11 amide herbicides in tea by headspace solidphase microextraction combined with gas chromatography-triple quadrupole mass spectrometry // *J. Instrum. Anal.* 2017. V. 36. № 11. P. 1339–1345.
 95. Qin D., Gao L., Huang X., Chen Z. Simultaneous determination of organochlorine pesticides and herbicides residues in water and sediment by gas chromatography-tandem mass spectrometry // *Environ. Chem.* 2017. V. 36. № 11. P. 2366–2374.
 96. Ju L., Li Zh., Wang J., Xu Ch.-G. Rapid screening of 28 pesticides endocrine disruptors in aquatic products ultrahigh performance liquid chromatography-quadrupole/electrostatic field orbitrap high-resolution mass-spectrometry // *J. Instrum. Anal.* 2017. V. 36. № 12. P. 1445–1451.
 97. Jin T., Duan J., Gao T. Residue and dissipation of florasulam and fruroxypyr in wheat and soil by QuEChERS-ultraperformance liquid chromatography-tandem mass-spectrometry // *Chin. J. Pest. Sci.* 2018. V. 20. № 4. P. 468–476.
 98. Appah E., Elzey B., Fakayode S. Investigation of the binding and simultaneous quantifications of propanil and bromoxynil herbicide concentrations in hu-

- man serum albumin // *J. Environ. Sci. Health.* 2017. V. 52. № 7. P. 495–504.
99. *Thanalechumi P., Mohd Y., Yusep Z.* A simple voltammetric determination of metsulfuron–methyl in water samples using differential pulse cathode stripping voltammetry // *J. Pest. Sci.* 2017. V. 42. № 2. P. 39–44.
100. *Спиридонов Ю.Я., Соколов М.С., Глинушкин А.П., Каракотов С.Д., Коршунов А.В., Торопова Е.Ю., Сараев П.В., Семенов А.М., Семенов В.М., Никитин Н.В., Калинин В.П., Лысенко Ю.Н.* Адаптивно-интегрированная защита растений. М.: Печатный город, 2019. 628 с.

Current Condition of Problems in the Study and Application of Herbicides (Digest of 2017–2019)

Yu. Ya. Spiridonov^{a, #}, S. G. Zhemchuzhin^a, L. M. Koroleva^b, and G. S. Bosak^a

^a *All-Russian Institute of Phitopathology
ul. Institut bld. 5 Moskow region, r.p. Bolshie Vyazemy 143050, Russia*

^b *All-Russian Institute of Science–Technical Information
ul. Usievitcha 20, Moscow 126815, Russia*

[#] *E-mail: spiridonov@vniif.ru*

In connection with every year permanent growth of number publications about different problems scientific and applied herbology now exist necessity of permanent and operative monitoring published in world communications with the aim to provide their accessibility for wide circle of scientist and practical workers. Presented review included current and foreign information about different scientific and practical herbology (publications in 2017–2019).

Key words: study and application of herbicides, publications in 2017–2019 years.