

СОДЕРЖАНИЕ

Номер 5, 2021

Дегумусирование и почвенная секвестрация углерода

Б. М. Козут, В. М. Семенов, З. С. Артемьева, Н. Н. Данченко

3

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ СТАТЬИ

Плодородие почв

Динамика содержания подвижного фосфора
в почвах нечерноземной зоны и его регулирование

С. А. Шафран, Н. А. Кирпичников, А. А. Ермаков, А. И. Семенова

14

Влияние применения удобрений на физико-химические и биологические свойства почв
в зоне орошения и богары Юго-Востока Казахстана

З. А. Туkenова, М. Б. Алимжанова, К. Ашимулы, Т. Н. Акылбекова

21

Удобрения

Эффективность систем удобрения с применением йода на однолетних травах

А. И. Иванов, П. С. Филиппова, П. А. Филиппов

37

Пестициды

Защита картофеля от золотистой картофельной нематоды *Globodera rostochiensis* W.
в Северо-Западном регионе России

Н. Е. Агансонова

47

Действие фунгицидов на рост грибов, вызывающих снежную плесень злаков

А. С. Орина, Т. Ю. Гагкаева, О. П. Гаврилова, М. Ю. Усольцева

52

Поиск гербицидных антидотов для растений сахарной свеклы

Л. В. Дядюченко, И. Г. Дмитриева

62

Современное состояние и перспективы экономики применения пестицидов
в агроэкосистемах России

В. А. Захаренко

68

Фумигантная токсичность некоторых эфирных масел по отношению
к обыкновенному паутинному клещу (*Tetranychus urticae* Koch.) (Acari: Tetranychidae)

Е. М. Мунтян, М. Г. Батко

84

Экотоксикология

Разработка способов нейтрализации остаточных количеств хлорсульфурина в почвах

В. В. Тараненко, В. С. Белоусов, Л. В. Дядюченко

88

КРИТИКА И БИБЛИОГРАФИЯ

А. Х. Шеуджен, А. Н. Еремеева. У истоков агрономической химии:
Йоган Готтшалк Валлериус. Майкоп: ООО "Полиграф-ЮГ", 2020. 66 с.

О.А. Гуторова

93

Contents

No. 5, 2021

Humus Depletion and Soil Carbon Sequestration

B. M. Kogut, V. M. Semenov, Z. S. Artemyeva, N. N. Danchenko

3

EXPERIMENTAL ARTICLES

Soil Fertility

Dynamics of the Content of Mobile Phosphorus in the Soils of the Non-Chernozem Zone and Its Regulation

S. A. Shafran, N. A. Kirpichnikov, A. A. Ermakov, A. I. Semenova

14

Effect of Fertilizers on the Physical, Chemical and Biological Properties of Soils in the Irrigation and Bogara Zone of the South-East of Kazakhstan

Z. A. Tukenova, M. B. Alimzhanova, K. Ashimuly, T. N. Akylbekova

21

Fertilizers

Efficiency of the Fertilizer Systems with Iodine on Annual Grasses

A. I. Ivanov, P. S. Filippova, P. A. Filippov

37

Pesticides

Potato Protection System from Potato Golden Nematode *Globodera rostochiensis* W. in Northwest region of Russia

N. E. Agansonova

47

Effect of Fungicides on the Growth of Fungi Causing Snow Mold of Cereals

A. S. Orina, T. Yu. Gagkaeva, O. P. Gavrilova, M. Usoltseva

52

Search for Herbicidal Antidotes for Sugar Beet Plants

L. V. Dyadyuchenko, I. G. Dmitrieva

62

Current State and Prospects of the Economy of the Use of Pesticides in Agroecosystems of Russia

V. A. Zakharenko

68

Fumigant Toxicity of Plant Essential Oils against *Tetranychus urticae* Koch. (Acari: Tetranychidae)

E. M. Muntyan, M. G. Batko

84

Ecotoxicology

Development of Methods for Neutralizing Residual amounts of Chlorsulfuron in Soils

V. V. Taranenko, V. S. Belousov, L. V. Dyadyuchenko

88

CRITIQUE AND BIBLIOGRAPHY

A. H. Sheudzhen, A. N. Eremeyeva. At the Origins of Agronomic Chemistry: Johann Gottschalk Wallerius. Maykop: LLC "Polygraph-YUG", 2020. 66 p.

O. A. Gutorova

93

УДК 631.417.2

ДЕГУМУСИРОВАНИЕ И ПОЧВЕННАЯ СЕКВЕСТРАЦИЯ УГЛЕРОДА

© 2021 г. Б. М. Когут^{1,*}, В. М. Семенов^{2,3}, З. С. Артемьева¹, Н. Н. Данченко¹

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

² Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН
– обособленное подразделение ФИЦ ПНЦБИ РАН
142290 Пушкино Московской обл., Институтская ул., 2, Россия

³ Всероссийский научно-исследовательский институт фитопатологии
143050 Московской обл., Одинцовский р-н, р.п. Большие Вяземы ул. Институт, влад. 5, Россия

*E-mail: kogutb@mail.ru

Поступила в редакцию 18.09.2020 г.

После доработки 19.10.2020 г.

Принята к публикации 11.02.2021 г.

Рассмотрены понятия потерь (дегумусирование), сохранения и накопления (секвестрация, депонирование) органического вещества в почвах и предложены новые формулировки отдельных терминов. Обосновано положение о доминирующей роли верхнего слоя 0–40 (50) см почв в дегумусировании и секвестрации углерода. Представлены материалы о реальных размерах потерь и секвестрации органического углерода ($C_{\text{орг}}$) в почвах. Проведен критический анализ положений инициативы “4‰”. Указано на принципиальную ошибочность изложенного в ней подхода оценивать углерод-секвестрирующий потенциал почв по содержанию и запасам $C_{\text{орг}}$ в 2-метровом слое. Обоснована необходимость проведения долгосрочного национального мониторинга органического углерода в почвах России.

Ключевые слова: почвенное органическое вещество, потери гумуса, накопление гумуса, инициатива “4‰”.

DOI: 10.31857/S0002188121050070

ВВЕДЕНИЕ

Текущее столетие – это проблемы глобальных изменений природной среды и климата, дефицита продовольствия и энергии, утраты биоразнообразия и устойчивости экосистем, дефорестизации и деградации почв. В этом же ряду стоит проблема превышения “углеродного бюджета человечества”, тесно связанная с дегумусированием почв и разбалансированием биогеохимических циклов углерода и азота. Научное объяснение причин этих проблем и выработка стратегии смягчения последствий их проявления – одна из ключевых задач современного почвоведения и исследований почвенного органического вещества (ПОВ) [1].

ТЕРМИНЫ И ПОНЯТИЯ

Исследователи, изучающие вопросы потерь и накопления органического вещества почвами, – проблему, имеющую давнюю историю, все еще до настоящего времени сталкиваются с разночтениями и недостаточной смысловой точностью понятийного аппарата в этой области. По мне-

нию Д.С. Орлова с соавт. [2], для широко употребляемых понятий и терминов в области изучения ПОВ необходимы однозначные определения, способные обеспечить единое понимание публикуемых текстов и теоретических выводов.

Рассмотрим основные понятия, которые нами вынесены, в т.ч. и для обсуждения в профессиональной среде, с целью выработки для них унифицированных, а в будущем – и стандартизированных формулировок и символов.

Почвенное органическое вещество. К нему относится вся совокупность органических соединений и материалов растительного, животного и бактериального происхождения, независимо от того, являются ли эти соединения и материалы природными или синтетическими [2]. Вероятно, в это определение следует внести поправку: заменить “бактериального” на “микробного”. Включение синтетических органических соединений и органических поллютантов природного происхождения (нефть и нефтепродукты, уголь и т.п.) в ПОВ спорно, однако в современных условиях

бурного развития техногенеза окружающей среды оно может оказаться правильным. В зависимости от целей, подходов и методов познания допустимы альтернативные определения почвенного органического вещества. В англоязычной литературе ПОВ – это все природные и термически измененные органические материалы биологического происхождения, находящиеся в почве или на почвенной поверхности независимо от источника, будь он живой или мертвый, или стадии разложения, но за исключением надземной части живых растений [3]. Эти и другие известные [4] определения передают в основном концептуальное представление о ПОВ. В нашем определении ПОВ акцент сделан на номенклатуру формирующих его компонентов, взаимодействие органической части почвы с минеральной матрицей, подверженность органических соединений стабилизации и количественное фракционирование. Под ПОВ понимают “систему разноразмерных органических частиц и биомолекул растительно-го, животного и микробного происхождения, находящихся в свободном, агрегированном и связанном почвенными минералами состоянии”. В рамках этого определения ПОВ слагают растительные остатки (10–2 мм), твердые дискретные частицы полуразложившегося органического материала (2–0.053 мм), гумус (<0.053 мм) в виде химически связанных минеральными частицами биомолекул и гуминовых веществ, растворенные вещества (<0.45 мкм), угли и обугленные материалы. Указанные размеры частиц являются стандартными для основных компонентов ПОВ и используются в качестве основного признака при фракционировании [3]. Растительные остатки локализованы в мегаагрегатах, полуразложившиеся остатки в виде твердых дискретных частиц (Particulate Organic Matter, *ПОМ*) – в макро- и микроагрегатах, растворенное органическое вещество – в поросфере почвы, а гумус представляет собой часть ПОВ, которую в современной литературе называют “минерально-ассоциированным органическим веществом” (Mineral Associated Organic Matter, *МАОМ*), присутствующим во фракциях пыли и глины. Присутствие растительных остатков, твердых дискретных частиц и растворенного органического вещества отличает ПОВ от гумуса.

Гумус. Представляет собой подсистему почвенного органического вещества, сформированную из органических материалов и соединений растительного, животного и микробного происхождения, прошедших гумификационные и негумификационные стадии стабилизации, со временем полного разложения составляющих компо-

нентов >10 лет [5]. Гумусом следует считать только ту часть ПОВ, которая относится к медленному и пассивному пулам со временем оборачиваемости (*ТТ*) углерода соответственно 10–100 и >100 лет в отличие от быстро оборачиваемого активного пула с *ТТ* от нескольких суток и месяцев до 10 лет [4, 6]. В операциональном понимании, предусматривающем переход от концептуального к эмпирическому познанию этого природного образования, гумус – это хорошо разложившийся органический материал преимущественно микробного происхождения размером <0.053 мм, связанный, как правило, почвенными минералами [7]. Если в ПОВ растительная биомасса может находиться в исходном или в слабо-разложившемся виде, то в гумусе она содержится только после переработки микроорганизмами и преобразования в микробную биомассу. Гумус отвечает за консервативные свойства ПОВ, придает ему стабильность и обеспечивает сохранность в почве.

Дегумусирование. Процесс уменьшения содержания в почве органического углерода и мощности гумусового профиля с ухудшением качественного состава почвенного органического вещества [4]. При дегумусировании, в отличие от сезонной или краткосрочной динамики, уменьшение содержания органического углерода в почве затрагивает не только активную (лабильную) часть ПОВ, но и стабильную (пассивную) часть в виде гумуса, которую невозможно моментально восполнить. По сравнению с дегумификацией, которой следует обозначать распад гуминовых веществ, дегумусирование характеризует тотальные потери ПОВ и гумуса, которые подразделяются на биохимические и физические [8].

Биохимические потери. Уменьшение содержания и/или запасов ПОВ и гумуса в верхнем слое почв за счет минерализации органических соединений и материалов.

Физические потери. Уменьшение содержания и/или запасов ПОВ и гумуса в почве в результате механического удаления части/всего почвенного профиля или физического перемещения тонкодисперсных частиц. Среди них, в свою очередь, можно выделить эрозионные, технологические и миграционные потери.

В результате выноса почвенных тонкодисперсных частиц (относительно обогащенных гумусом) под воздействием водных потоков или ветра происходят эрозионные потери гумуса. В местах привноса этих частиц формируются намытые (наносные), богатые гумусом почвы, т.е.

образующиеся за счет физических процессов накопления органического вещества.

При уборке сельскохозяйственных культур, особенно пропашных (сахарная свекла, картофель и т.п.), вместе с урожаем выносятся почвенный материал верхних, наиболее гумусированных слоев, что приводит к технологическим потерям гумуса.

В процессе иссушения (замерзания—оттаивания) почв образуются трещины, по которым под воздействием природных и/или антропогенных факторов, происходит просыпка почвенного материала, приводящая к миграционным потерям гумуса из верхних горизонтов почв. Миграционные потери могут быть также и физико-химическими, обусловленными растворением органических и гумусовых веществ в воде под влиянием процессов подкисления, подщелачивания, что приводит к миграции последних по почвенному профилю. Нисходящая миграция растворенных органических соединений является одним из механизмов обогащения нижних горизонтов почвы органическим углеродом и его депонирования. Основные причины и механизмы потерь органического вещества при сельскохозяйственном использовании почв ранее изложены в работах [2, 4].

Образование и накопление почвенного органического вещества и гумуса (гумусообразование и гумусонакопление. Сохранение гумуса, почвенная секвестрация и почвенное депонирование органического углерода имеют сходные процессы и эффекты, но отличаются по смысловому наполнению терминов.

Гумусообразование — это биотическое и абиотическое преобразование органических материалов в ПОВ и в гумус. Образование “нового” ПОВ может происходить как при дегумусировании, так и при гумусонакоплении или не сопровождаться приростом $C_{орг}$ в почве в случае уравновешенных размеров образования и потерь ПОВ.

Гумусонакопление — приращение содержания и/или запасов ПОВ и гумуса в почве, вследствие преобладания гумусообразования над дегумусированием.

Сохранение гумуса — длительное поддержание содержания и/или запасов ПОВ и гумуса в почве на стационарном уровне при условиях уравновешенности гумусообразования и дегумусирования.

Почвенная секвестрация углерода. Перевод атмосферного углекислого газа в живое органическое вещество растений (фотосинтез) с последующей трансформацией формирующейся морт-массы в гумус с периодом полного разложения (минерализации) составляющих его новообразо-

ванных компонентов от 10 до 100 лет. Чтобы считаться секвестрированным, органическое вещество должно не просто поступить в почву, а стабилизироваться, приобретая защищенность от быстрого разложения, но быть способным к медленной минерализации. Углерод со временем полного оборота >100 лет следует считать депонированным. Наиболее употребляемые способы оценки почвенной секвестрации углерода — это определение изменений валового содержания $C_{орг}$ в почве или его запасов в слое 0–20 (0–50, 0–100) см за какой-либо период или содержания $C_{орг}$ в гранулометрических фракциях пыли и глины размером <0.05 (0.02) мм [9].

Депонирование органического углерода в почве. Долговременное запасаение $C_{орг}$ преимущественно в виде гумуса с периодом полного разложения (минерализации) составляющих его компонентов >100 лет в верхнем 0–30 (50) см слое почв и/или захоронение неживого органического вещества в почвенном профиле на глубине >50 (100) см. Если почвенная секвестрация углерода обязательно предусматривает удаление CO_2 из атмосферы за счет получения новой биомассы, то депонирование направлено на сохранение $C_{орг}$ в почве и предотвращение относительно быстрого его возврата из почвы в атмосферу в ходе минерализации.

МОНИТОРИНГ ОРГАНИЧЕСКОГО УГЛЕРОДА В ПОЧВАХ

Общие закономерности дегумусирования при сельскохозяйственном освоении и использовании почв достаточно хорошо известны. Вместе с тем глобальные количественные оценки потерь органического углерода почвами по вполне понятным причинам слишком условны и приблизительны. И это, несмотря на то что принципы, технология и методы организации и проведения мониторинга органического углерода, в том числе и высокоточного, в почвах России достаточно подробно ранее разработаны и описаны [10–17].

Высокоточный мониторинг почвенного органического углерода включает следующие составляющие: аналитическое обеспечение (унифицированная методика прямого определения содержания $C_{орг}$ способом сухого сжигания на автоматических анализаторах, стандартные образцы почв, аттестованные на содержание $C_{орг}$ и информация об аналитических ошибках), учет пространственной вариабельности, сезонной изменчивости и многолетних изменений содержания $C_{орг}$ в почве, определение фактических размеров поступления $C_{орг}$ в почву, пороговой величины насыщения

почвы органическим углеродом, эмиссионного и секвестрирующего потенциалов почвы. Только располагая надежной информацией об этих составляющих, можно оценить реальные запасы $C_{\text{орг}}$ в почвах России, определить углеродсеквестрирующую способность почв и дать количественную оценку многолетней динамики (тренда изменения) содержания органического углерода в почвах длительных полевых опытов и биосферных заповедников.

Однако масштабировать высокоточный мониторинг органического углерода по финансовым, техническим и организационным причинам даже в условиях одной страны крайне затруднительно. Вместе с тем, в связи с проектом ФАО ООН GSOC17 по составлению Всемирной карты запасов органического углерода в слое 0–30 см почвы [18, 19] предлагаемая методология мониторинга $C_{\text{орг}}$ в почвах в настоящее время оказывается весьма востребованной. Представляется актуальным поэтапная ее реализация в почвах длительных полевых опытов и биосферных заповедников России, а затем на региональном уровне. Срок проведения работ по уточнению оценки запасов $C_{\text{орг}}$ в верхнем слое 0–30 см почв России в целом составит не менее 10–15 лет. Следует отметить, что Почвенная карта РСФСР масштаба 1:2 500 000 [20, 21] создавалась в течение почти 20 лет. Работа по созданию и аттестации государственных стандартных образцов почвенных масс Почвенного института им. В. В. Докучаева и НИИ прикладной физики Иркутского государственного университета продолжалась около 20 лет [22], а последующий срок переаттестации этих образцов составил еще 10 лет [23]. Не вызывает сомнений, что для реализации крупных научных проектов в области почвоведения требуется длительный период. Именно к таким проектам необходимо отнести и национальный мониторинг органического углерода в почвах России.

Фундаментальное определение Ю.А. Израэля [24] гласит, что “Экологический мониторинг (мониторинг окружающей среды) — это комплексные наблюдения за состоянием окружающей среды, в том числе компонентов природной среды, естественных экологических систем, за происходящими в них процессами, явлениями, оценка и прогноз изменений состояния окружающей среды”. Тогда мониторинг органического углерода в почве — это система наблюдений и контроля за содержанием и запасами $C_{\text{орг}}$, оценка их состояния и прогноз изменений под влиянием естественных и антропогенных факторов.

Потери и накопление органического вещества и гумуса на современном (~100 лет) этапе агрогенной и постагрогенной эволюции почв происходят в основном в слое 0–40 см [6, 25–35]. Можно предположить, что изменения при таких условиях в содержании $C_{\text{орг}}$ в более глубоких слоях почв могут составлять максимум 10^{-2} – $10^{-3}\%$, а учитывая уровень аналитических ошибок и высокую вариабельность этого показателя в слоях глубже 40 см, экспериментально количественно зафиксировать такие флуктуации не представляется реальным.

По данным радиоуглеродного датирования, современное обновление гумуса происходит только в верхнем слое 0–40 см черноземов [36, 37]. В работе [38] показано увеличение среднего времени пребывания почвенного органического углерода до 2000–10000 лет на глубине >20 см, что, по мнению авторов, отражает существенное снижение микробиологической активности вниз по почвенному профилю.

На основании обобщения материалов из 50 литературных источников [34], обработаны данные 625 целинных и освоенных почв (13 стран мира), находящихся на парных делянках, в длительных опытах или хронорядках. Анализ динамики запасов органического углерода в зависимости от длительности использования почв показал, что наибольшие изменения происходили в первые 20 лет освоения. Во всех случаях проявилось влияние исходного содержания $C_{\text{орг}}$: почвы с очень низким содержанием $C_{\text{орг}}$ (<1%) теряли очень мало гумуса или имели тенденцию к накоплению небольших количеств органического углерода после введения в культуру; почвы с высоким содержанием $C_{\text{орг}}$ (>5%) в период возделывания теряли ~20% $C_{\text{орг}}$. Потери $C_{\text{орг}}$ большинством пахотных почв из верхнего слоя (0–30 см) составляют в среднем менее чем 20% от исходных величин. Эти изменения, по мнению автора, не могут быть перенесены на более глубокие слои. В другой работе, этот же автор [33], сопоставляя содержание $C_{\text{орг}}$ в 303 профилях, охватывающих 88 почвенных серий из 12 штатов США, пришел к выводу, что потери гумуса характерны главным образом для пахотных слоев, и они частично могут компенсироваться его накоплением в нижележащих слоях.

В 1964 г. на Петринском опорном пункте (Курская обл.) Почвенного института им. В.В. Докучаева на типичном черноземе был заложен опыт с бессменным чистым паром. В 1998 г. этот опыт был модифицирован: 1/3 участка отведена под залежь, а 2/3 оставлены без изменений [39]. При бессменном паровании типичного чернозе-

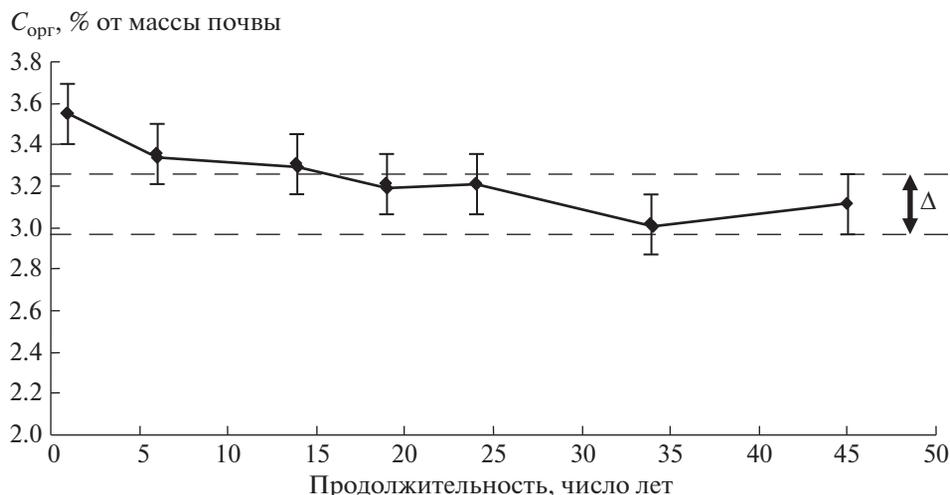


Рис. 1. Дегумусирование старопахотного типичного чернозема под бесменным чистым паром: Δ — максимальный размах многолетних изменений содержания $C_{\text{орг}}$ в пахотном слое 0–25 см после установления в почве квазиравновесного состояния.

ма равновесное состояние в содержании $C_{\text{орг}}$ установилось в течение ~20–25 лет (рис. 1). При этом следует отметить, что длительный опыт на Петринском опорном пункте был заложен на старопахотном (~200 лет) черноземе, в определенной степени уже выпаханном [40]. На начальном этапе за 14 лет парования верхний слой (0–40 см) этого типичного чернозема потерял гумуса ~31 т/га, т.е. ежегодная убыль гумуса составляла ~2.2 т/га или 0.03% [41]. Для сравнения приведем данные [42], которые показали, что за 15 лет пребывания целинного типичного чернозема (Центрально-Черноземный государственный биосферный заповедник им. В.В. Алехина, Курская обл.) в режиме бесменного черного пара из верхнего слоя 0–30 см почвы минерализовалось гумуса 33 т/га.

Анализ показал (табл. 1), что при зарастании участка бесменного пара естественной растительностью в течение 3-х лет накопления органического вещества в типичном черноземе не происходило и даже отмечена некоторая тенденция к снижению содержания $C_{\text{орг}}$ в этих условиях. Объяснить этот факт можно следующим образом. При поступлении свежего органического вещества растений в максимально выпаханную почву активизируются микробиологические процессы. Микроорганизмы начинают использовать в качестве основного источника питания инертный гумус, вызывая его минерализацию, т.е. проявляется прайминг-эффект [45–47]. С течением времени количество поступающей естественной растительности значительно возрастает: одна существенная ее часть минерализуется, а другая незначительная

часть через ряд промежуточных процессов стабилизируется, переходя в гумус. Из данных [44] следует, что ежегодное приращение $C_{\text{орг}}$ за первые 17 лет залежи составляли ~0.05% (0.5‰). Необходимо отметить, что некоторые расхождения между данными работ [43] и [44] по содержанию $C_{\text{орг}}$ в типичном черноземе под бесменным черным паром, находящимся в квазистационарном гумусовом состоянии, связаны с многолетними изменениями $C_{\text{орг}}$, использованием разных приборов

Таблица 1. Содержание органического углерода на участке бесменного черного пара, заложенного на старопахотном типичном черноземе и отведенного под залежь (C , % от массы почвы, слой 0–25 см)

Вариант, год отбора образцов	n	\bar{x}	s	$s_{\bar{x}}$	V , %
Бесменный пар (участок отведенный под залежь), 1998*	6	3.43	0.24	0.10	6.9
Залежь, 2001*	6	3.24	0.11	0.05	3.4
Залежь, 2015**	3	3.72	0.15		
Бесменный пар, 1998*	10	3.29	0.17	0.05	5.1
Бесменный пар, 2001*	10	3.19	0.09	0.03	2.8
Бесменный пар, 2015**	3	2.80	0.07		

Примечание: n — число образцов, \bar{x} — среднее, s — стандартное отклонение, $s_{\bar{x}}$ — ошибка среднего, V — коэффициент вариации.

* [43].

** [44].

при определении его содержания и методик отбора почвенных проб у двух авторских коллективов.

В хронорядях залежей на дерново-подзолистых почвах Костромской и Тверской обл. отмечали следующую динамику накопления органического вещества в процессе зарастания пашни лесом в слое 0–20 см. В первые 20 лет скорость почвенной секвестрации углерода составила ~0.8 т $C_{\text{орг}}$ /га в год (0.02% или 0.2‰), а в последующие 80 лет она снизилась до 0.23–0.64 т $C_{\text{орг}}$ /га в год (0.006–0.016% или 0.06–0.16‰) [48, 49].

В период резкой смены систем землепользования в России в конце XX века более 45 млн га из 110 млн га пашни были переведены в залежное состояние. Зарастание пашни естественной растительностью сопровождалось накоплением в почве органического вещества. В верхнем слое 0–20 см почв скорость секвестрации $C_{\text{орг}}$ в первые 20 лет после зарастания (1990–2009 гг.) составила 0.96 т/га в год (0.04% или 0.4‰), а в следующие 30 лет прогнозируется в размере 0.19 т/га в год (0.008% или 0.08‰) [31].

По мета-данным, технология No-till по сравнению с традиционной системой обработки почв способствует увеличению содержания органического вещества в верхнем слое 0–30 см [6, 29, 32, 35]. Величина почвенной секвестрации углерода в этих условиях составила 0.57–4.9 т С/га в год (~0.02–0.16% или 0.2–1.6‰). Только в субтропиках Бразилии в севообороте с травами [50] преимущество технологии No-till на накопление органического вещества проявлялось до глубины 100 см (0.48–1.53 т С/га в год). Согласно работе [51], корневая биомасса трав является основным источником накопления органического вещества в глубоких слоях почв. Поступающие на поверхность свежие растительные остатки сельскохозяйственных растений не вносят существенного вклада в накопление $C_{\text{орг}}$ в нижних горизонтах почв вследствие их минерализации и консервации в верхнем слое. К тому же по данным [30], 90% первичного органического вещества, поступившего в почву, происходящего из растительной биомассы, вновь минерализуется и возвращается в атмосферу.

По мнению [6], секвестрация органического углерода в почве требует определенного срока (~100 лет), чтобы считать устойчивым повышение его содержания по сравнению с исходным под воздействием сельскохозяйственных мероприятий.

ИНИЦИАТИВА 4 ПРОМИЛЛЕ

Основываясь на вышеприведенных в данной статье материалах о размерах потерь и накоплении органического углерода в почвах, попытаемся критически оценить широко обсуждаемую инициативу “Soil carbon 4 per mille” [52–58].

Соглашение “4 per mille Soils for Food Security and Climate” было продекларировано на 21-й Конференции участников Конвенции ООН по глобальному изменению климата (СОР21) в Париже (30.11–11.12.2015). Целью данного документа явилось стремление увеличивать содержание органического углерода в почвах мира на 4‰ в год в качестве компенсации глобальной эмиссии парниковых газов антропогенными источниками [59, 60]. В основе этой инициативы лежит следующее чисто механистическое допущение. Если соотнести ежегодные объемы антропогенных выбросов углерода в атмосферу и запасы $C_{\text{орг}}$ в 2-метровом слое почв (8.9 к 2400 Гт), то получаемая величина в 4 промилле (0.4% $C_{\text{орг}}$ от массы почвы) может служить количественным ориентиром увеличения содержания $C_{\text{орг}}$ в почве с целью компенсации эмиссии углерода в атмосферу.

Приведенные в настоящей статье собственные экспериментальные и литературные данные секвестрации органического углерода почвами земель сельскохозяйственного назначения показывают ряд существенных недостатков в выдвинутой инициативе в количественном аспекте: во-первых, способностью к накоплению $C_{\text{орг}}$ обладает только гумусовый горизонт, а не 2-метровый почвенный профиль, как совершенно необоснованно считают авторы инициативы; во-вторых, ежегодные размеры секвестрации углерода даже в верхнем слое в глобальном масштабе как минимум на порядок меньше, чем заявлено в инициативе; в-третьих, допущены грубые ошибки при переводе запасов органического углерода (т/га) в содержание $C_{\text{орг}}$ (% от массы почвы), что привело к полному несоответствию между величиной 4‰ (0.4% от массы почвы) и установленными самими же авторами скоростями ежегодной почвенной секвестрации углерода, выраженными в т/га. Следует также обратить внимание на то, что при смене систем землепользования или земледелия, способных повысить углеродсеквестрирующую способность, через определенный срок (20–50–100 лет) в почве устанавливается квазистационарное гумусовое состояние, т.е. достигается уравновешенность процессов минерализации и гумусообразования.

К приведенным выше аргументам и фактам против инициативы “Soil carbon 4 per mille” необ-

Таблица 2. Гипотетический сценарий секвестрации углерода в черноземах ЦЧО России (условная территориальная единица) в верхнем слое 0–25 см

Степень выпаханности или эродированности почв	Доля площадей, %	Элемент системы землепользования или земледелия	Средневзвешенное содержание $C_{орг}$ на участке, %		Время достижения стационарного уровня, лет	Средняя скорость секвестрации $C_{орг}$,	
			исходное	конечное		% в год	т/га в год
1. Сильновыпаханные	5	Залежь	3.1	5.0	50	0.038	1.03
2. Средневыпаханные	40	Пашня, севооборот, традиционная обработка, Навоз 4–8 т/га + + NPK	3.5	4.0	30	0.017	0.46
3. Средневыпаханные	10	Пашня, севооборот, технология No-till	3.5	4.7	50	0.024	0.65
4. Средневыпаханные	15	Лесополосы	3.4	4.0	100	0.006	0.16
5. Слабо- и среднеэродированные	20	Пастбища	2.0	4.0	1000	0.002	0.05
6. Сильноэродированные	10	Луга	1.2	3.2	5000	0.0004	0.01
Всего:	100	Средневзвешенная скорость секвестрации на всей территории				0.0124	0.34

ходимо добавить следующие убедительные примеры.

При анализе данных 42 длительных полевых опытов мира было достоверно установлено, что ежегодно вносимый навоз в дозе 11 т/га способен увеличить содержание $C_{орг}$ в пахотном слое за весь срок стационарного эксперимента по сравнению с неудобренным вариантом в среднем на 0.24% (2.4‰) $C_{орг}$ [30]. При этом отметим, что навоз – это уже ранее секвестрированное и глубоко трансформированное органическое вещество. Близкие результаты были получены и в работе [40]. Например, при ежегодном внесении навоза 20 т/га под бессменный картофель содержание $C_{орг}$ за 35 лет возросло в слое 0–25 см типичного чернозема на 0.4% (4‰) по отношению к неудобренному контролю.

Согласно [9], наличие у разных почв предельной границы насыщения углеродом делает неральной распространение инициативы “4 промилле” на весь почвенный покров в глобальном масштабе. Более того, по авторитетному мнению Кершенса, полвека изучавшего динамику гумуса в полевом стационаре (заложен в 1902 г.) в Бад-Лаухштедте (Германия) и обобщившего данные содержания $C_{орг}$ в почвах 79 длительных опытов мира, эта “инициатива” носит совершенно необоснованный характер и не может быть выпол-

нена в условиях XXI века. “Теоретически это могло быть осуществимо, если бы отказались от питания 7 миллиардов человек” [30].

ПРЕДЛОЖЕНИЯ ДЛЯ ОРИЕНТИРОВОЧНЫХ РАСЧЕТОВ ПОЧВЕННОЙ СЕКВЕСТРАЦИИ УГЛЕРОДА

Проблема сохранности гумуса и рационального управления почвенным органическим углеродом в последнее время приобретает все бóльшую актуальность, о чем свидетельствуют материалы встречи министров сельского хозяйства стран G20 (Аргентина, 2018 г.) [61]. Органическое вещество почв в определенной степени оказывает влияние на глобальные циклы углерода, в т.ч., вероятно, и на климатические флуктуации, связанные с парниковым эффектом, и играет первостепенную роль в простом и расширенном воспроизводстве плодородия почв.

Теоретически рассчитать приблизительную ежегодную скорость почвенной секвестрации углерода как для отдельных территорий, так и в целом для почвенного покрова России, не представляет особой сложности. Однако, чтобы практически выполнить эти расчеты, необходимо располагать определенной информацией, которая, к сожалению, либо отсутствует, либо харак-

теризуется как недостаточно достоверная. Тем не менее, попытаемся составить гипотетический сценарий почвенной секвестрации углерода на условной территориальной единице ЦЧО России (табл. 2). Теоретически рассчитанная ежегодная скорость почвенной секвестрации углерода для этой территории составила $\sim 0.01\%$ ($0.1\%_c$), что по порядку величин ($n \times 10^{-2}\%$) достаточно близка таковой, полученной в реальных условиях. Подобным же образом можно приблизительно оценить и средневзвешенную скорость почвенной секвестрации для всей территории России. Но для практического внедрения этих расчетов требуется организация и проведение национального мониторинга почвенного органического углерода. Существующие на данный период базы данных содержания и запасов $C_{орг}$ в почвах России необходимым для таких расчетов требованиям не отвечают.

Уточнение оценок запасов почвенного органического углерода является целью современного проекта Глобального почвенного партнерства ФАО ООН – создание Всемирной карты запасов органического углерода в слое 0–30 см почв [18, 19]. Еще более востребована высококачественная аналитическая информация о содержании и запасах органического углерода в верхнем слое почв для оценки реальных размеров почвенной секвестрации углерода в России.

Однако, к сожалению, следует признать, что базы данных содержания и запасов органического углерода в почвах России, сформированные на основе результатов обследований еще в 1960–1980 гг. организациями систем Гипрозема и Агротехслужбы, данных почвенно-агротеххимических аналитических лабораторий НИИ и вузов сельскохозяйственного и биологического профиля страны, существенно устарели, не отвечают современным требованиям надежности и нуждаются в полном обновлении. Они были преимущественно созданы на основе определения содержания $C_{орг}$ косвенным методом – методом Тюрина, причем в самых различных модификациях. Д.С. Орлов с соавт. [2] указывал на значительные систематические ошибки при использовании метода Тюрина в разных модификациях даже во внутрилабораторном эксперименте. Низкое качество аналитических данных было также связано и с тем, что в абсолютном большинстве исследований не применяли стандартные образцы почвенных масс, аттестованные на органический углерод. Такое положение приводило к массовым как систематическим, так и случайным аналитическим ошибкам. Отмеченное нашло, наряду и с другими упущениями и недочетами, отражение в

существенных разбросах обобщенных оценок запасов почвенного органического углерода на территории России у различных авторов [62–65].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Как уже отмечено выше, к настоящему времени на базе современных теоретических знаний и высокоточного аналитического оборудования была создана методология мониторинга почвенного органического углерода. Существует острая необходимость скорейшего поэтапного проведения мониторинга органического углерода в почвах России.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Иванов А.Л., Когут Б.М., Семенов В.М., Оберландер М., Шанбахер Н.* Развитие учения о гумусе и почвенном органическом веществе: от Тюрина и Ваксмана до наших дней // Бюл. Почв. ин-та им. В.В. Докучаева. 2017. Вып. 90. С. 3–38.
2. *Орлов Д.С., Бирюкова О.Н., Суханова Н.И.* Органическое вещество почв Российской Федерации. М.: Наука, 1996. 256 с.
3. *Baldock J.A., Broos K.* Soil Organic Matter // Handbook of soil sciences. Properties and processes. 2nd edit. / Eds. P.M. Huang, Y. Li, M.E. Sumner. BocaRaton: Taylor & Francis Group, 2011. P. 11.1–11.52.
4. *Семенов В.М., Когут Б.М.* Почвенное органическое вещество. М.: ГЕОС, 2015. 233 с.
5. *Когут Б.М., Семенов В.М.* Количественный подход к формулировке понятия ‘гумус’ пахотных почв // Современные проблемы изучения почвенных и земельных ресурсов. Сб. докл. III Всерос. откр. конф. 9–11.12.2019. М., Почв. ин-т им. В.В. Докучаева, 2019. С. 165–169.
6. *Stockmann U., Adams M.A., Crawford J.W., Field D.J., Henakaarchchi N., Jenkins M., Minasny B., McBratney A.B., de Courcelles V.R., Singh K., Wheeler I., Abbott L., Angers D.A., Baldock J., Bird M., Brookes P.C., Chenu C., Jastrow J.D., Lal R., Lehmann J., O'Donnell A.G., Parton W.J., Whitehead D., Zimmermann M.* The knowns, known unknowns and unknowns of sequestration of soil organic carbon // *Agricult. Ecosyst. Environ.* 2013. V. 164. P. 80–99.
7. *Семенов В.М.* Органический континуум почвы: структурно-функциональная организация, ключевые процессы и основные драйверы // Гуминовые вещества в биосфере. Мат-лы VII Всерос. конф. с международ. участием, посвящ. 90-летию со дня рожд. Д.С. Орлова. Москва, 4–8 декабря 2018. М.: МАКС Пресс, 2018. С. 78.
8. *Когут Б.М., Лукин С.М., Масютенко Н.П., Шарков И.Н., Турусов В.И., Чевердин Ю.И., Титова Т.В.* Потери и воспроизводство органического вещества в пахотных почвах // Научные основы предотвращения деградации почв (земель) сельскохозяйственных угодий России и формирования систем воспроизводства их плодородия в адаптивно-ландшафтном земледелии. Т. 1. Теоретические и

- методические основы предотвращения деградации почв (Земель) сельскохозяйственных угодий. М.: Почв. Ин-т им. В.В. Докучаева РАСХН, 2013. Гл. 9. С. 369–382.
9. *Когут Б.М., Семенов В.М.* Оценка насыщенности почвы органическим углеродом // Бюл. Почв. ин-та им. В.В. Докучаева. 2020. Вып. 102. С. 103–124.
 10. Аналитическое обеспечение мониторинга гумусового состояния почв: Метод. указ. Состав. Б.М. Когут. М.: РАСХН, 1993. 74 с.
 11. *Добровольский Г.В., Орлов Д.С., Гришина Л.А.* Принципы и задачи почвенного мониторинга // Почвоведение. 1983. № 11. С. 8–16.
 12. *Когут Б.М.* Трансформация гумусового состояния черноземов при их сельскохозяйственном использовании: Автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук. М.: Почв. ин-т им. В.В. Докучаева, 1996. 48 с.
 13. *Орлов Д.С., Когут Б.М.* Принципы организации мониторинга содержания и качества органического вещества почв // Ресурсосберегающие технологии использования органических удобрений в земледелии. Владимир: РАСХН, 2009. С. 18–22.
 14. Свидетельство на стандартный образец СП-1 (курский чернозем) № 901-90 (ООКО152) по Государственному реестру мер и измерительных приборов СССР (разд. “Стандартные образцы”). М.: ВАСХНИЛ, 1991. 14 с.
 15. Свидетельство на стандартный образец СП-2 (московская дерново-подзолистая почва) № 902-90 (ООКО153) по Государственному реестру мер и измерительных приборов СССР (разд. “Стандартные образцы”). М.: ВАСХНИЛ, 1991. 14 с.
 16. Свидетельство на стандартный образец СП-3 (прикаспийская светло-каштановая почва) № 903-90 (ООКО151) по Государственному реестру мер и измерительных приборов СССР (разд. “Стандартные образцы”). М.: ВАСХНИЛ, 1991. 14 с.
 17. *Сорокина Н.П., Когут Б.М.* Динамика содержания гумуса в пахотных черноземах и подходы к ее изучению // Почвоведение. 1997. № 2. С. 178–184.
 18. *Чернова О.В., Голозубов О.М.* Всемирная карта запасов органического углерода в 30 см слое почвы для территории России (проект ФАО ООН GSOC17) // Современное состояние черноземов. Мат-лы II Международ. научн. конф. Т. 1. Ростовн/Д.–Таганрог, 2018. С. 49–56.
 19. Soil Organic carbon mapping. GSOC Map. cookbook manual / Eds. Y. Yugini, R. Baritz, R.R.Vargas. Rome, 2017.
 20. *Иванов И.В., Замотаев И.В.* Научные идеи почвовед-географа В.М. Фридланда, их истоки и развитие (к 100-летию со дня рождения) // Бюл. Почв. ин-та им. В.В. Докучаева. 2020. Вып. 101. С. 202–219.
 21. Почвенная карта РСФСР масштаба 1:2500000 / под ред. В.М. Фридланда. М.: ГУГК, 1988. 16 листов.
 22. *Большаков В.А., Когут Б.М., Фрид А.С.* Переаттестация государственных стандартных образцов почвенных масс // Почвоведение. 1995. № 3. С. 308–313.
 23. Стандартные образцы состава континентальных осадочных отложений. Иркутск: НИИ прикладной физики ИркутГУ, 2001. 30 с.
 24. *Израэль Ю.А.* Экология и контроль состояния природной среды. Л.: Гидрометеиздат, 1979. 376 с.
 25. *Артемьева З.С.* Органические органо-глинистые комплексы агрогенно-деградированных почв: Автореф. дис. ... д-ра биол. наук. М.: Изд-во МГУ, 2008. 48 с.
 26. *Иванов И.В., Песочина Л.С., Семенов В.М.* Биоминерализация органического вещества в современных целинных, пахотных, погребенных и ископаемых черноземах // Почвоведение. 2009. № 10. С. 1192–1202.
 27. Органическое вещество пахотных почв. Тр. Почв. ин-та им. В.В. Докучаева. М., 1987. 173 с.
 28. *Тимова Н.А., Когут Б.М.* Трансформация органического вещества при сельскохозяйственном использовании почв // Итоги науки и техники (сер. почвоведение и агрохимия). Т. 8. М.: ВИНТИ, 1991. 156 с.
 29. *Angers D.A., Eriksen-Hamel N.S.* Full-inversion tillage and organic carbon distribution in soil profiles: a meta-analysis // Soil Sci. Soc. Am. J. 2008. V. 72. P. 1370–1374.
 30. *Körschens M.* Soil – Humus – Climate. Practically relevant results of 79 long-term field experiments // Vortrag zum 2. Symp. “Wahrnehmung und Bewertung von Böden in der Gesellschaft am 12 Oktober 2018 im UFZ Leipzig”. 2018. 12 p.
 31. *Kurganova I.N., Lopes de Gerenyu V.J., Six J., Kuzyakov Y.* Carbon cost of collective farming collaps in Russia // Glob. Change Biol. 2014. V. 20 (3) P. 938–947. <https://doi.org/10.1111/gcb.12379>
 32. *Luo Z., Wang E., Sun O.J.* Can no-tillage stimulate carbon sequestration in agricultural soils? A meta-analysis of paired experiments // Agric. Ecosyst. Environ. 2010. V. 139 (1–2). P. 224–231.
 33. *Mann L.K.* A regional comparison of carbon in cultivated and uncultivated allisols and mollisols in the Central United States // Geoderma. 1985. V. 36. P. 241–253.
 34. *Mann L.K.* Changes in soil carbon storage after cultivation // Soil Sci. 1986. V. 142. P. 279–288.
 35. *Virto I., Barre P., Burlot A., Chenu C.* Carbon input differences as the main factor explaining the variability in soil organic C storage in no-tilled compared to inversion tilled agrosystems // Biogeochemistry. 2012. V. 108. P. 17–26.
 36. *Черкинский А.Е.* Применение радиоуглеродного метода для изучения трансформации гумусовых кислот современных почв // Тез. Всесоюз. шк.-семинара “Методы изотопной геологии”. М., 1983. С. 161–163.
 37. *Чичагова О.А.* Радиоуглеродное датирование гумуса почв. Метод и его применение в почвоведении и палеогеографии. М.: Наука, 1985. 143 с.
 38. *Fontaine S., Barot S., Barre P., Bdioui N., Mary B., Rumpel C.* Stability of organic carbon in deep soil layers controlled by fresh carbon supply // Nature. 2007. V. 450. P. 277–280.
 39. Длительные полевые опыты на черноземах Курской области (путеводитель). Курск: ВНИИ земледелия и защиты почв от эрозии РАСХН, 2010. 35 с.
 40. *Когут Б.М., Фрид А.С., Масютенко Н.П., Куваева Ю.В., Романенков В.А., Лазарев В.И., Холо-*

- дов В.А. Динамика содержания органического углерода в типичном черноземе в условиях длительного полевого опыта // *Агрохимия*. 2011. № 12. С. 37–44.
41. *Когут Б.М.* Изменение содержания, состава и природы гумусовых веществ при сельскохозяйственном использовании типичного мощного чернозема: Автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. М.: Почв. ин-т им. В. В. Докучаева, 1982. 24 с.
 42. *Афанасьева Е.А.* Черноземы Средне-Русской возвышенности. М.: Наука, 1966. 224 с.
 43. *Когут Б.М.* Гумус почв в длительных бессменных парах (история и география изучения, экспериментальные результаты, теоретические аспекты, практическая реализация) // Теоретические и технологические основы воспроизводства плодородия почв и урожайность сельскохозяйственных культур. Мат-лы Международ. научн.-практ. конф. М.: РГАУ–МСХА, 2012. С. 39–47.
 44. *Холодов В.А., Ярославцева Н.В., Фарходов Ю.Р., Яшин М.А., Лазарев В.И., Ильин Б.С., Филиппова О.И., Воликов А.Б., Иванов А.Л.* Оптические характеристики экстрагируемых фракций органического вещества типичных черноземов в многолетних полевых опытах // *Почвоведение*. 2020. № 6. С. 691–702.
 45. *Смирнов П.М.* Использование растениями, потери и превращение в почве азота разных форм азотных удобрений // *Изв. ТСХА*. 1968. Вып. 6. С. 98–116.
 46. *Турчин Ф.В., Береснева В.Н., Корицкая И.А., Жидких Г.Г., Лобовикова Г.А.* Превращение азота в почве по данным исследований с применением изотопа ¹⁵N // Докл. советских почвоведов к 7-му Международ. конгр. в США. М.: Изд-во АН СССР, 1960. С. 197–201.
 47. *Kuzyakov Y., Friedel J.K., Stahr K.* Review of mechanisms and quantification of priming effects // *Soil Biol. Biochem.* 2000. V. 32. P. 1485–1498.
 48. *Артемова З.С.* Некоторые особенности динамики качественного состава органического вещества дерново-подзолистых почв в период зарастания пашни лесом // *Пробл. регион. экол.* 2017. № 2. С. 54–59.
 49. *Таллер Е.Б., Артемова З.С., Кириллова Н.П., Данченко Н.Н.* Некоторые особенности динамики качественного состава органического вещества хронорядя дерново-подзолистых почв в процессе лесовосстановления // *Бюл. Почв. ин-та им. В.В. Докучаева*. 2019. Вып. 98. С. 77–104.
 50. *Boddey R.M., Jantalia C.P., Conceição P.C., Zanatta J.A., Bayer C., Mielniczuk J., Dieckow J., Dos Santos H.P., Denardin J.E., Aita C., Giacomini S.J., Alves B.J.R., Urquiaga S.* Carbon accumulation at depth in Ferrasols under zero-till subtropical agriculture // *Global Change Biol.* 2010. V. 16 (2). P. 784–795.
 51. *Liebmann P., Wordell-Dietrich P., Kalbitz K., Mikutta R., Kalks F., Don A., Woche S.K., Dsilva L.R., Guggenberger G.* Relevance of aboveground litter for soil organic matter formation – a soil profile perspective // <https://doi.org/Preprint>. Discussion started: 2 January 2020. <https://doi.org/10.5194/bg-2019-465>
 52. *Иванов А.Л., Столбовой В.С.* Инициатива “4 промилле” – новый глобальный вызов для почв России // *Бюл. Почв. ин-та им. В.В. Докучаева*. 2019. Вып. 98. С. 185–202.
 53. *Кудеяров В.Н.* Почвенно-биогеохимические аспекты состояния земледелия в Российской Федерации // *Почвоведение*. 2019. № 1. С. 109–121.
 54. *Amundson R., Biardeau L.* Soil carbon sequestration is an elusive climate mitigation tool // *PNAS*. 2018. V. 115. № 46. P. 11652–11656.
 55. *Baveye P.C.* Bypass and hyperbole in soil research: Worrying practices critically reviewed through examples // *Eur. J. Soil Sci.* 2020. V. 36 (1). P. 1–20. <https://doi.org/10.1111/ejss.12941>
 56. *Baveye P.C., White R.E.* The “4p1000” initiative: A new name should be adopted 2019 // <https://doi.org/10.1007/s13280-019-01188-9>
 57. *Lal R.* Beyond COP21: Potential and challenges of the “4 per Thousand” initiative // *J. Soil Water Conserv.* 2016. V. 71 (1). P. 20A–25A. <https://doi.org/10.2489/jswc.71.1.20A>
 58. *Rumpel C., Amiraslani F., Chenu C., Cardenas M.G., Kaonga M., Koutika L.-S., Ladha J., Madari B., Shirato Y., Smith P., Soudi B., Soussana J.-F., Whitehead D., Wollenberg E.* The 4p1000 initiative: opportunities, limitations and challenges for implementing soil organic carbon sequestration as a sustainable development strategy // *Ambio*. 2020. V. 49. P. 350–360. <https://doi.org/10.1007/s13280-019-01165-2>
 59. <https://www.4p1000.org/>
 60. *Minasny B., Malone B.P., McBratney A.B., Angers D.A., Arrouays D., Chambers A., Chaplot V., Chen Z.S., Cheng K., Das B. S., Field D.J., Gimona A., Hedley C.B., Hong S.Y., Mandal B., Marchant B.P., Martin M., McConkey B.G., Mulder V.L., O'Rourke Sh., Richer-de-Forges A.C., Odeh I., Padarian J., Paustian K., Pan G., Poggio L., Savin I., Stolbovoy V., Stockmann U., Sulaeman Y., Tsui Chun-Chih, Vågen T.-G., vanWesemael B., Winowiecki L.* Soil carbon 4 per mille // *Geoderma*. 2017. V. 292. P. 59–86. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2017.01.002>
 61. https://www.ranepa.ru/images/media/g20/2018buensaires/g20_agriculture_declaration_2018.pdf
 62. *Орлов Д.С., Бирюкова О.Н.* Запасы углерода органических соединений в почвах Российской Федерации // *Почвоведение*. 1995. № 1. С. 21–32.
 63. *Кудеяров В.Н., Заварзин Г.А., Благодатский С.А.* Пулы и потоки углерода в наземных экосистемах России. М.: Наука, 2007. 315 с.
 64. *Rozhkov V.A., Vagner V.B., Kogut B.M., Konyushkov D.E., Nilsson S., Sheremet B.V., Shvidenko A.Z.* Soil carbon estimates and soil carbon map for Russia // WP-96-60. 1996. Austria: IASA, 44 p.
 65. *Stolbovoi V.* Carbon in Russian soils // *Climat. Change*. 2002. V. 55. P. 131–156.

Humus Depletion and Soil Carbon Sequestration

B. M. Kogut^{a, #}, V. M. Semenov^{b,c}, Z. S. Artemyeva^a, and N. N. Danchenko^a

^a*Federal Research Center V.V. Dokuchaev Soil Science Institute
per. Pyzhyovskii 7, Moscow 119017, Russia*

^b*Institute of Physicochemical and Biological Problems of Soil Science of RAS
ul. Institutskaya 2, Pushchino, Moscow region 142292, Russia*

^c*All-Russian Institute of Phitopathology
ul. Institut 5, Bolshie Vyazemy, Moscow region 143050, Russia*

[#]*E-mail: kogutb@mail.ru*

The concepts of losses (humus depletion), preservation and accumulation (sequestration, deposition) of organic matter in soils are considered. New formulations of certain terms are proposed. The dominant role of the upper 0–40 (50) cm soil layer in the humus depletion and carbon sequestration is theoretically and experimentally substantiated. The data on the real amount of losses and sequestration of organic carbon (C_{org}) in soils are presented. A critical analysis of the main points of the “4 per mille initiative” was carried out. It is pointed out that it is fundamentally wrong to assess the carbon sequestration potential of soils by the content and reserves of C_{org} in a two-meter layer. The necessity of long-term national monitoring of organic carbon in Russian soils has been substantiated.

Key words: soil organic matter, humus depletion, humus accumulation, 4 per mille.

ДИНАМИКА СОДЕРЖАНИЯ ПОДВИЖНОГО ФОСФОРА В ПОЧВАХ НЕЧЕРНОЗЕМНОЙ ЗОНЫ И ЕГО РЕГУЛИРОВАНИЕ

© 2021 г. С. А. Шафран^{1,*}, Н. А. Кирпичников¹, А. А. Ермаков¹, А. И. Семенова¹

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

*E-mail: shafran38@mail.ru

Поступила в редакцию 30.10.2020 г.

После доработки 15.11.2020 г.

Принята к публикации 11.02.2021 г.

Показана динамика содержания подвижного фосфора в пахотных почвах Нечерноземной зоны за длительный период при различной интенсивности применения фосфорсодержащих удобрений. Приведены данные о балансе фосфора в агроценозах зоны и его влиянии на фосфатный фонд дерново-подзолистых почв различного гранулометрического состава. Выявлена связь между агрохимическими свойствами почв и затратами фосфорсодержащих удобрений на увеличение содержания подвижного фосфора на 10 мг/кг или 1 мг/100 г почвы. Установлено, что в тяжелосуглинистых почвах наиболее высокий расход фосфора удобрений “на сдвиг” его содержания отмечен при низкой степени обеспеченности P_2O_5 и кислой реакцией почвенной среды. На супесчаных почвах наибольшее влияние, увеличивающее содержание P_2O_5 , оказало содержание гумуса, а также исходная степень обеспеченности фосфатами. Скорость снижения содержания подвижного фосфора в тяжелосуглинистой почве в равной степени зависела от исходного содержания P_2O_5 и величины кислотности.

Ключевые слова: динамика содержания подвижного фосфора, баланс фосфора в агроценозах, затраты фосфорсодержащих удобрений, вынос фосфора урожаем.

DOI: 10.31857/S0002188121050100

ВВЕДЕНИЕ

Считается, что содержание подвижного фосфора в почве является признаком ее уровня плодородия, а повышение обеспеченности P_2O_5 — показателем роста окультуренности. В Нечерноземной зоне России 62% пахотных почв расположены на дерново-подзолистых почвах, которые характеризуются низким естественным плодородием, они имеют небольшую мощность пахотного слоя, низкое содержание гумуса и питательных веществ. Вместе с тем дерново-подзолистые почвы отличаются хорошими условиями увлажнения, поэтому при достаточном обеспечении растений питательными веществами на них можно получить высокие и устойчивые урожаи сельскохозяйственных культур.

В 1971 г. был закончен первый цикл агрохимического обследования пахотных почв зоны, согласно которому 90% пашни характеризовались недостаточным уровнем содержания подвижного фосфора. Благодаря планомерной и целенаправленной работе по повышению плодородия почв в период интенсивной химизации, в зоне наметилась устойчивая тенденция к улучшению фосфат-

ного режима почв. Баланс фосфора в земледелии стал положительным. С 1971 по 1995 г. было внесено в почву с удобрениями сверх выноса урожаев 675 кг P_2O_5 /га, что позволило за короткий срок снизить долю пашни, низкообеспеченную подвижным фосфором, с 64 до 16%. При этом одновременно возрастал удельный вес почв с повышенным, высоким и очень высоким содержанием P_2O_5 . Как правило, более высокому уровню применения удобрений соответствовал также и прирост содержания подвижного фосфора. Например, за этот период в Московской обл. на каждый 1 га пахотной площади вносили в 2 раза больше минеральных и органических удобрений, что оказало соответствующее влияние на продуктивность пашни и повышение содержания подвижного фосфора. Вследствие более высокой урожайности вынос фосфора в Московской обл. в 1.5 раза превышал таковой в среднем в Нечерноземной зоне (табл. 1). Наряду с этим, благодаря более значительному превышению выноса фосфора над его внесением темпы обогащения почв подвижным фосфором оказались более высокими по сравнению со среднезональными. По состоя-

Таблица 1. Баланс фосфора в земледелии, кг P₂O₅/га пашни

Годы	Поступление с удобрениями			Вынос урожаями	Баланс	Возмещение выноса, %
	минеральные	органические	всего			
Нечерноземная зона						
1971–1995	30	11	41	14	27	293
1996–2010	6	3	9	10	–1	90
2011–2015	3	2	5	12	–7	42
2016–2019	3	3	6	11	–5	54
Московская обл.						
1971–1995	60	19	79	21	58	371
1996–2010	4	4	8	12	–4	67
2011–2015	6	2	8	11	–3	72
2016–2019	3	2	5	11	–6	45

Таблица 2. Динамика содержания подвижного фосфора в пахотных почвах, % от обследованной площади

Годы	Содержание в почве, мг P ₂ O ₅ /кг						
	очень низкое	низкое	среднее	повышенное	высокое	очень высокое	среднее
Нечерноземная зона							
1971	24	40	26	6	4	2	40
1996	4	12	26	20	25	12	135
2010	4	13	29	20	23	11	131
2020	17	29	20	2	23	11	132
Московская обл.							
1971	27	32	23	8	8	2	59
1996	0.3	2	10	15	37	37	211
2010	0.2	1	8	15	34	41	216
2020	1	2	13	17	34	33	199

нию на 1 января 1971 г. в области насчитывали 82% пашни с недостаточной степенью обеспеченности P₂O₅, т.е. почти столько же, что и в целом в Нечерноземной зоне (табл. 2). Через 25 лет доля недостаточно обеспеченных почв подвижным фосфором снизилась до 12%, а средневзвешенное содержание P₂O₅ достигло 211 мг/кг.

Начиная с 1990-х гг. прошлого столетия положение изменилось коренным образом. Применение минеральных и органических удобрений резко сократилось, баланс питательных веществ в земледелии Нечерноземной зоны стал складываться со значительным превышением выноса над их поступлением в почву (табл. 1), что повлекло за собой снижение содержания подвижного фосфора в почве, наметилась тенденция к увеличению удельного веса почв с очень низким и низким содержанием P₂O₅ и снижению площа-

дей высокообеспеченных этим питательным веществом. В отдельных областях, таких как Костромская, Орловская, Рязанская, средневзвешенное содержание подвижного фосфора перешло из группы повышенообеспеченных в среднюю. Это означало, что продукционная способность таких почв снизилась примерно на 30–40% [1].

Результаты агрохимического обследования пахотных почв свидетельствовали о том, что в Нечерноземной зоне >8 тыс. га нуждались в повышении фосфатного уровня. В Московской обл., несмотря на достаточно высокое средневзвешенное содержание подвижного фосфора ≈100 тыс. га характеризовались недостаточной степенью обеспеченности пашни P₂O₅. В связи с этим возникла необходимость, с одной стороны, принимать меры по повышению фосфатного уровня почв, с другой, – прогнозировать снижение степени обеспеченности почв подвижным фосфором

вследствие превышения выноса P_2O_5 над поступлением его в почву.

Для организации этой работы на научной основе нужна надежная нормативно-справочная информация. В годы интенсивной химизации для выполнения работ по комплексному агрохимическому окультуриванию полей были использованы «Временные нормативы затрат удобрений на проведение работ по комплексному агрохимическому окультуриванию полей» [2]. В этом документе были представлены дозы фосфора, которые надо внести сверх выноса урожаем для увеличения содержания P_2O_5 на 10 мг/кг или 1 мг/100 г почвы. Эти данные были использованы также при составлении прогноза содержания подвижного фосфора на примере областей центральной части Нечерноземной зоны. Сравнение прогнозных величин с фактическими показало хорошую сходимость результатов при прогнозировании средневзвешенного содержания P_2O_5 на региональном уровне, когда баланс этого питательного вещества в земледелии складывался положительно [3].

Для того чтобы прогнозировать изменения содержания подвижного фосфора в почве при отрицательном балансе, нужны иные нормативы, которые должны представлять собой величины выноса, снижающие содержание P_2O_5 в почвах на 10 кг/кг или 1 мг/кг. Такие данные были получены при обобщении длительных полевых опытов Геосети ВНИИА, в которых на величину выноса P_2O_5 оказывали влияние тип почвы и ее гранулометрический состав [4]. Использование этих данных для прогнозирования изменения содержания подвижного фосфора в почвах центральных областей Нечерноземной зоны дало положительный результат.

Вместе с тем следует иметь в виду, что величину расхода удобрений и выноса питательных веществ на «сдвиг» в ту или иную сторону могут оказать и другие факторы: реакция почвенной среды, содержание гумуса, виды и формы удобрений, исходное содержание P_2O_5 в почве. Следовательно, для управления фосфатным режимом почв нужна более совершенная нормативно-справочная база, в которой необходимо учесть приведенные выше показатели.

Цель работы – установление влияния агрохимических свойств дерново-подзолистых почв на изменение в них содержания подвижного фосфора в зависимости от интенсивности применения фосфорсодержащих удобрений.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Для решения поставленных задач был использован метод математического моделирования. Исходной информацией для этого послужили данные длительных полевых опытов ВНИИА, ДАОС и других научно-исследовательских учреждений, входящих в Географическую сеть ВНИИА. Влияние изученных факторов, влияющих на «сдвиг» содержания подвижного фосфора в почвах, оценивали по величинам коэффициентов корреляции (r) и корреляционных отношений (η). По величинам коэффициентов детерминации и индексов детерминации оценивали долю изменчивости выходной величины, которую определяли изменения изученных факторов.

Результаты опытов были объединены в 3 выборки в зависимости от гранулометрического состава почв и уровня применения фосфорсодержащих удобрений. В первую и вторую выборки были включены опыты, в которых применение фосфора превышало его вынос урожаем. Вместе с тем эти выборки различались по гранулометрическому составу почв, в первой из них была тяжелосуглинистая почва, во второй – супесчаная. В третьей выборке изучали последствие фосфорных удобрений, т.е. удобрения не вносили, и поэтому имелась возможность изучить влияние выноса P_2O_5 урожаем на снижение содержания подвижного фосфора в почве.

Расход фосфорсодержащих удобрений, внесенных сверх выноса урожаем, на увеличение содержания P_2O_5 на 10 мг/кг или 1 мг/100 г почвы определяли по формуле (1):

$$P = \frac{D - B}{C_{yb} \times 0.1},$$

где, P – расход удобрений сверх выноса на увеличение содержания питательного вещества на 10 мг/кг, или на 1 мг/100 г, кг/га; D – доза питательного вещества, кг/га; B – вынос питательного вещества урожаем, кг/га; C_{yb} – величина роста содержания питательного вещества в почве, мг/кг; 0.1 – поправочный коэффициент.

Величину выноса фосфора, снижающую его содержание в почве на 10 мг/кг или 1 мг/100 г, устанавливали по формуле (2):

$$H = \frac{B - D}{C_{ym} \times 0.1},$$

где, H – норма выноса питательного вещества, снижающая его содержание в почве на 10 мг/кг, кг/га; B и D – то же, что и в формуле (1); C_{ym} – снижение содержания питательного вещества в почве, мг/кг; 0.1 – поправочный коэффициент.

Таблица 3. Характеристика выборок для изучения связи между агрохимическими свойствами почв, балансом фосфора и изменением содержания P_2O_5 в почве

Почвы	Число наблюдений	Агрохимические свойства		
		P_2O_5 , мг/кг	pH	гумус, %
Дерново-подзолистая тяжелосуглинистая	90	17–334	3.7–5.8	1.73–2.0
Дерново-подзолистая супесчаная	77	25–391	5.0–6.6	0.95–2.0
Дерново-подзолистая тяжелосуглинистая	12	20–134	4.0–5.5	1.4–1.5

Таблица 4. Характеристика связи между агрохимическими свойствами дерново-подзолистой тяжелосуглинистой почвы и затратами фосфорных удобрений на увеличение содержания P_2O_5 на 10 мг/кг или 1 мг/100 г., кг/га

Корреляция						Критерий линейности корреляции	
линейная			криволинейная				
коэффициенты		уровень значимости	корреляционное отношение	индекс детерминации	уровень значимости		
корреляции	детерминации					F_ϕ	F_T
Содержание P_2O_5							
–0.4	0.2	4.1	0.5	0.3	5.4	1.1	2.5
pH							
–0.3	0.1	2.6	0.8	0.6	10.8	12.9	2.8

Характеристика выборок для изучения связи между агрохимическими свойствами почв, балансом фосфора и изменением содержания P_2O_5 в почвах свидетельствовала о том, что число наблюдений было вполне достаточным для выполнения цели исследования. Диапазон изменений содержания подвижного фосфора в почвах охватывал практически все классификационные группы, которые могут встретиться в условиях производства. Реакция почвенной среды варьировала менее заметно, но все-таки достаточно ощутимо. Изменения содержания гумуса наиболее отчетливо проявились только в супесчаной почве (табл. 3).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты корреляционного анализа показали, что связь между содержанием подвижного фосфора и затратами фосфорных удобрений на увеличение содержания P_2O_5 в дерново-подзолистой тяжелосуглинистой почве носила линейный, а между затратами и величиной pH – криволинейный характер (табл. 4). Установление тесноты связи между расходом фосфорных удобрений на увеличение содержания P_2O_5 в почве и содержанием гумуса не имело смысла, поскольку его запас в выборке менялся незначительно. Все это послужило основанием для расчета величин затрат фосфорных удобрений на увеличение содержания P_2O_5 в почве только в за-

висимости от исходной степени обеспеченности почвы подвижными фосфатами и степени кислотности. Для этого были составлены соответствующие уравнения регрессии. Расчеты выполняли согласно градам, установленным для агрохимической службы при проведении массового обследования сельскохозяйственных угодий нашей страны. При этом расчеты содержания подвижного фосфора были сделаны для 5-ти классификационных групп: очень низкой, низкой, средней, повышенной и высокой степени обеспеченности, которые в дальнейшем были скорректированы, исходя из данных, полученных по уравнению регрессии для величины pH (табл. 5).

Согласно приведенным данным, наибольшие затраты фосфорных удобрений выявлены при очень низкой обеспеченности данной почвы подвижным фосфором и очень высокой степенью

Таблица 5. Затраты фосфорных удобрений на увеличение содержания подвижного фосфора в дерново-подзолистой тяжелосуглинистой почве на 10 мг/кг или 1 мг/100 г, кг/га

P_2O_5	<4.1	4.1–4.5	4.6–5.0	5.1–5.5	>5.5
<25	161	145	124	100	92
26–50	96	86	74	59	55
51–100	82	74	63	51	47
101–50	73	65	56	45	41
>150	68	61	52	42	38

Таблица 6. Характеристика связи между агрохимическими свойствами дерново-подзолистой тяжелосуглинистой почвы и затратами на увеличение содержания P_2O_5 на 10 мг/кг или 1 мг/100 г, кг/га

Корреляция						Критерий линейности корреляции	
линейная			криволинейная				
коэффициенты		уровень значимости	корреляционное отношение	индекс детерминации	уровень значимости		
корреляции	детерминации					F_ϕ	F_T
Содержание P_2O_5							
-0.3	0.1	3.1	0.5	0.3	5.6	2.4	2.7
pH							
0.1	0.01	0.87	0.5	0.3	5.0	1.5	2.2
Содержание гумуса							
0.3	0.1	2.8	0.5	0.2	4.6	1.1	2.4

кислотности. При увеличении исходного содержания подвижного фосфора и снижении кислотности почвы постепенно снижался расход фосфорных удобрений на увеличение удельного содержания P_2O_5 . В почве, высокообеспеченной подвижными фосфатами, и с реакцией среды, близкой к нейтральной, затраты снижались в 4 раза по сравнению с почвой, низкообеспеченной фосфатами, и с очень сильной степенью кислотности.

В выборке, которая была сформирована по данным длительных опытов, проведенных на дерново-подзолистых супесчаных почвах, в отличие от рассмотренной выше выборки, представилась возможность оценить влияние не только его исходного содержания и степени кислотности, но также и содержания гумуса, на расход фосфорных удобрений на “сдвиг” в сторону увеличения содержания P_2O_5 . Статистическая обработка выборки показала, что связь между затратами удобрений, содержанием P_2O_5 и гумуса была линейной, а между затратами и величиной pH – криволинейной (табл. 6). Это позволило учесть влияние 3-х факторов в единой системе на расход фосфорных удобрений на увеличение содержания P_2O_5 в дерново-подзолистой почве. Принцип расчета был аналогичен предыдущему примеру, т.е. за основу были взяты данные, полученные при оценке действия содержания подвижного фосфора на результативный признак. Затем полученные данные корректировали, исходя из соответствующих уравнений регрессии (табл. 7).

Результаты исследования показали, что наибольшее влияние на расход удобрений, увеличивающих содержание P_2O_5 в дерново-подзолистой супесчаной почве, оказывало содержание гумуса. Это вполне объяснимо, т.к. с приростом гумусированности возрастает буферная способность

почв, и фосфор удобрений в таких почвах образует прочные фосфорорганические соединения [5]. Весьма заметное влияние на величину расхода фосфорных удобрений на увеличение содержания P_2O_5 в супесчаной почве оказывала также ее исходная степень обеспеченности подвижным фосфором. С возрастанием запаса P_2O_5 от очень низкого до высокого затраты удобрений снижа-

Таблица 7. Затраты фосфорных удобрений на увеличение содержания подвижного фосфора в дерново-подзолистых супесчаных почвах, на 10 мг/кг или 1 мг/100 г, кг/га

P_2O_5	pH			
	4.6–5.0	5.1–5.5	5.6–6.0	>6.0
Гумус до 1.0%				
<25	74	70	65	61
26–50	65	61	57	54
51–100	46	44	41	38
101–150	41	39	36	34
>150	38	36	33	31
Гумус 1.0–1.5%				
<25	123	116	109	102
26–50	108	102	96	89
51–100	77	73	68	64
101–150	69	65	61	57
>150	63	60	56	52
Гумус >1.5%				
<25	172	163	152	142
26–50	151	143	134	125
51–100	108	102	95	89
101–150	96	91	85	80
>150	88	84	78	73

Таблица 8. Характеристика связи между агрохимическими свойствами дерново-подзолистой тяжелосуглинистой почвы и выносом фосфора урожаями, снижающим его содержание на 10 мг/кг или 1 мг/100 г, кг/га

Корреляция						Критерий линейности корреляции	
линейная		криволинейная					
коэффициенты		уровень значимости	корреляционное отношение	индекс детерминации	уровень значимости	F_ϕ	F_T
корреляции	детерминации						
Содержание P_2O_5							
-0.8	0.6	3.9	0.96	0.92	10.8	9.3	4.6
рН							
-0.9	0.8	6.2	0.95	0.9	9.6	10.2	8.7
Содержание гумуса							
0.02	0.0004	0.06	0.8	0.7	4.2	7.1	14.2

лись в 2 раза. Величина рН хотя и оказывала определенное влияние, но оно было невысоким.

Одной из проблем современного земледелия Нечерноземной зоны является превышение выноса фосфора урожаями над его поступлением в почву, что приводит к обеднению почв подвижными фосфатами. Вместе с тем исследований в длительных полевых опытах, изучающих влияние отрицательного баланса фосфора на скорость снижения содержания подвижных фосфатов, крайне мало. Тем не менее, подобные исследования проведены ВНИИА на дерново-подзолистой тяжелосуглинистой почве, что позволило оценить величину выноса фосфора урожаями, снижающую содержание подвижных фосфатов на 10 мг/кг или 1 мг/100 г почвы.

Статистическая обработка данных показала, что исходная степень обеспеченности почв подвижным фосфором оказывала весьма существенное воздействие на величину выноса фосфора, снижающего его удельное содержание. Наряду с этим изменение данного показателя в сторону снижения немаловажное влияние оказывала величина рН. Влияние содержания гумуса на величину выноса фосфора выявить не представилось возможным, т.к. его содержание в выборке было практически одинаковым (табл. 8).

Таблица 9. Вынос фосфора урожаями, снижающий содержание P_2O_5 в дерново-подзолистой тяжелосуглинистой почве на 10 мг/кг или 1 мг/100 г почвы, мг/100 г

P_2O_5	<4.0	4.1–4.5	4.6–5.0	5.1–5.5
<25	922	802	535	221
26–50	521	453	302	125
51–100	356	310	206	85
101–150	206	179	119	49

Расчеты, выполненные по уравнениям регрессии, показали, что скорость снижения содержания подвижного фосфора в дерново-подзолистой тяжелосуглинистой почве в равной степени зависела как от исходного содержания P_2O_5 , так и степени кислотности почвы.

Выявленная закономерность была такова: чем выше содержание подвижных фосфатов и ниже степень кислотности, тем быстрее происходит обеднение почвы этим питательным элементом (табл. 9). Для того, чтобы снизить содержание P_2O_5 на 10 мг/кг почвы или на 1 мг/100 г в очень кислой почве с низкой обеспеченностью P_2O_5 надо, чтобы вынос фосфора урожаем был >900 кг P_2O_5 /га, тогда как при высокой обеспеченности и слабокислой реакции почвенной среды он должен быть в несколько раз меньше.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты исследования показали, что в годы интенсивной химизации сельского хозяйства благодаря планомерной и целенаправленной работе по повышению плодородия почв в Нечерноземной зоне наметилась устойчивая тенденция к улучшению фосфатного режима пашни. В период с 1971 по 1995 г. было внесено в почву с удобрениями сверх выноса урожаем до 675 кг P_2O_5 /га, что позволило за короткий срок снизить долю пашни, низкообеспеченную подвижным фосфором, с 64 до 16%. Более интенсивное применение фосфорсодержащих удобрений в Московской обл. позволило еще быстрее перевести почвы с низкой степенью обеспеченности P_2O_5 в более высокую категорию и довести средневзвешенное содержание до 211 мг P_2O_5 /кг.

В настоящее время в Нечерноземной зоне резко сократилось применение удобрений, баланс фосфора стал складываться со значительным превышением его выноса урожаями над поступлением в почву, что повлекло за собой снижение содержания подвижного фосфора в пахотных почвах зоны. В связи с этим возникла необходимость, с одной стороны, принимать меры по повышению фосфатного уровня почв, с другой, — прогнозировать снижение степени обеспеченности подвижным фосфором вследствие превышения выноса P_2O_5 над его поступлением в почву.

Для организации этой работы на более совершенной нормативно-справочной основе был обобщен материал нескольких длительных опытов, проведенных на дерново-подзолистых почвах научными учреждениями, входящими в Географическую сеть ВНИИА. Результаты этих исследований показали, что в дерново-подзолистых тяжелосуглинистых почвах при увеличении исходного содержания подвижного фосфора и снижении их кислотности постепенно снижался расход фосфорных удобрений на увеличение удельного содержания P_2O_5 . В почве, высокообеспеченной подвижными фосфатами и с реакцией среды, близкой к нейтральной, затраты снижались в 4 раза по сравнению с почвой, низкообеспеченной фосфором, и с очень сильной степенью кислотности. Скорость снижения содержания подвижного фосфора в дерново-подзолистой тяжелосуглинистой почве в равной степени зависела от исходного содержания P_2O_5 и величины кислотности.

В супесчаных почвах наибольшее влияние на расход удобрений, увеличивающих содержание P_2O_5 ,

оказывала величина содержания гумуса, а также исходная степень обеспеченности фосфатами.

Таким образом, полученные результаты представляют собой более совершенную нормативно-справочную основу, которую можно использовать при научно обоснованном формировании фосфатного режима дерново-подзолистых почв и прогнозировании динамики содержания P_2O_5 в почвах в зависимости от интенсивности применения фосфорсодержащих удобрений.

Наряду с этим считаем, что подобные исследования необходимо проводить не только в Нечерноземной зоне, но и в других почвенно-климатических условиях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шафран С.А. Динамика плодородия почв Нечерноземной зоны и его резервы // *Агрохимия*. 2019. № 8. С. 3–11.
2. Временные нормативы затрат удобрений на проведение работ по комплексному агрохимическому окультуриванию полей. М.: ВНИПТИХИМ, 1982. 10 с.
3. Шафран С.А. Прогнозирование агрохимических показателей почвенного плодородия. Плодородие почв и пути его повышения. М.: Колос, 1983. С. 129–133.
4. Шафран С.А. Прогнозирование обеспеченности подвижными формами фосфора и калия почв Нечерноземной зоны // *Агрохимия*. 1997. № 5. С. 5–12.
5. Бабарина Э.А. Продуктивность полевого севооборота, фосфатный и калийный режимы дерново-подзолистой среднесуглинистой почвы // *Агрохимия*. 1991. № 2. С. 22–28.

Dynamics of the Content of Mobile Phosphorus in the Soils of the Non-Chernozem Zone and Its Regulation

S. A. Shafran^{a, #}, N. A. Kirpichnikov^a, A. A. Ermakov^a, and A. I. Semenova^a

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

[#] E-mail: shafran38@mail.ru

The dynamics of the content of mobile phosphorus in arable soils of the Non-Chernozem zone over a long period with different intensity of application of phosphorus-containing fertilizers is shown. The data on the balance of phosphorus in the agrocenoses of the zone and its effect on the phosphate fund of sod-podzolic soils of different granulometric composition are presented. The relationship between the agrochemical properties of soils and the cost of phosphorus-containing fertilizers to increase the content of mobile phosphorus by 10 mg/kg or 1 mg/100 g of soil was revealed. It was found that in heavy-loamy soils, the highest consumption of phosphorus fertilizers “for the shift” of its content was noted with a low degree of P_2O_5 and acidic reaction of the soil environment. On sandy loam soils, the humus content, as well as the initial degree of phosphate availability, had the greatest effect, increasing the P_2O_5 content. The rate of decrease in the content of mobile phosphorus in heavy loamy soil was equally dependent on the initial content of P_2O_5 and the value of acidity.

Key words: dynamics of mobile phosphorus content, phosphorus balance in agrocenoses, costs of phosphorus-containing fertilizers, phosphorus removal by crops.

УДК 631.8:631.41:631.46:631.6(574.51)

ВЛИЯНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ УДОБРЕНИЙ НА ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ И БИОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОЧВ В ЗОНЕ ОРОШЕНИЯ И БОГАРЫ ЮГО-ВОСТОКА КАЗАХСТАНА

© 2021 г. З. А. Туkenова^{1,*}, М. Б. Алимжанова¹, К. Ашимулы², Т. Н. Акылбекова²

¹ *Казахский научно-исследовательский институт почвоведения и агрохимии им. У. Успанова
А17А6Е8 Алматы, просп. аль-Фараби, 75в, Республика Казахстан*

² *Казахский национальный университет им. аль-Фараби
А17А6Е8 Алматы, просп. аль-Фараби, 71, Республика Казахстан*

*E-mail: otdel_nauki8@mail.ru

Поступила в редакцию 26.07.2020 г.

После доработки 19.08.2020 г.

Принята к публикации 11.01.2021 г.

В системе современного земледелия зоны орошения и богары юго-востока Казахстана изучены физико-химические и биологические свойства почв под культурами плодосменного севооборота (кукуруза—рапс—соя—кормовая свекла) на орошаемой лугово-каштановой почве и на богаре светло-каштановой почвы под посевами люцерны на юго-востоке Республики. Показаны результаты хроматографического анализа почвенных образцов на содержание пестицидов. Выявлены виды почвенных беспозвоночных животных, а также почвенные ферменты, которые необходимо использовать в качестве биоиндикаторов для мониторинга загрязнения изученных почв пестицидами.

Ключевые слова: удобрения, орошение, богара, пестициды, мезофауна почв, ферментативная активность почв, экология, хроматографический анализ.

DOI: 10.31857/S0002188121050124

ВВЕДЕНИЕ

Одной из важнейших фундаментальных проблем почвоведения является познание процессов почвообразования и формирования плодородия почв. В этой связи наряду с физико-химическими показателями использование живых организмов в качестве биологических индикаторов на изменение среды вызывает необходимость разработки ряда критериев, на основе которых можно подбирать индикаторные виды. К таковым относятся биологическая активность почв (мезофауна, ферменты).

Вопросу изучения роли биологической активности в почвообразовательном процессе, в разложении органических веществ и влиянии хозяйственной деятельности человека на изменение почвенной фауны посвящено немало работ. Изменение физико-химических и биологических свойств почв при длительном применении удобрений вызывает необходимость разработки системы органического земледелия. Принцип органического земледелия предусматривает не только получение чистой продукции растениеводства, но и создание экологически чистой среды обита-

ния почвенных организмов. В этой связи изучение роли биологической активности почв при антропогенном формировании их плодородия является необходимым, чтобы одновременно использовать ее в качестве надежного живого индикатора, определяющего влияние различных факторов на здоровье почвы.

Многие исследователи считают [1–5], что современные приемы регулирования плодородия почв в сельском производстве основываются на следующих приемах, таких как структура посевов и севообороты, обработка почвы, удобрения, химические мелиоранты, орошение и осушение, почвозащитные мероприятия, включая нормативно-правовые. При этом степень воздействия определяется динамикой ряда агрофизических, агрохимических, биологических и экологических показателей. В связи с этим привлечение данных физико-химических и биологических свойств почв позволяет определить такое воздействие при сельскохозяйственных и лесохозяйственных мероприятиях и при оценке загрязнения среды отходами промышленности, тяжелыми металлами, пестицидами и радионуклидами. За последние

10–12 лет применение удобрений значительно сократилось, при этом снижение урожайности сельскохозяйственных культур происходило не так заметно, и даже в отдельные благоприятные годы отмечали увеличение урожайности зерновых культур.

Известно, что наряду с прямым действием удобрения обладают значительным последствием. Именно этим можно объяснить тот факт, что снижение продуктивности пашни происходит не пропорционально уменьшению количества вносимых удобрений [6–19]. Как считают многие исследователи, удобрения являются мощным рычагом регулирования качества получаемой продукции растениеводства [9–11, 17–19]. В частности, как отмечал ряд авторов [12, 13], внесение азотных удобрений способствовало наряду с повышением урожайности семян и содержания жира масличных культур, значительному улучшению технологических качеств жира, изменяя соотношение в нем ненасыщенных жирных кислот.

В Казахстане физико-химические и биологические исследования почв носят фрагментарный характер, в то время как научное познание проблемы управления современными почвообразовательными процессами в традиционных и агротехнических системах земледелия и повышение плодородия почв Казахстана требует системного изучения почвенной фауны во взаимосвязи с физико-географическими, педо-экологическими и антропогенными факторами. Несмотря на большое значение почвенной фауны в почвообразовательном процессе, в Казахстане она до сих пор изучена недостаточно. Отсутствие достаточных сведений о биологической активности почв предгорной зоны юго-востока Казахстана, недооценка роли мезо- и микроартропод и их значения в формировании и воспроизводстве почвенного плодородия, неразработанность методов биодиагностики почв определили актуальность и необходимость проведения системных исследований в этом направлении.

Данные о мезофауне почв юго-востока Казахстана будут служить основой для мониторинга почвенного плодородия при разработке современных технологий возделывания сельскохозяйственных культур в предгорных условиях юго-востока Казахстана; биодиагностики эффективности и экологичности агротехнических и агрохимических приемов повышения плодородия почв при органической системе земледелия.

Аналогичные исследования проводят в странах ближнего, зарубежья в различных почвенно-

климатических условиях [20, 21]. Отличительной особенностью наших исследований от имеющихся работ в научной литературе является изучение систем применения удобрений под кормовые культуры в многопольных короткоротационных севооборотах для крупных, средних и мелких хозяйств в почвенно-климатических условиях юго-востока Казахстана.

В условиях юго-востока Казахстана изучают влияние применения различных доз, сочетаний минеральных и органических удобрений на плодородие почвы, динамику ее агрохимических, биологических агрофизических показателей и продуктивность культур. На основании их будет дана эколого-агрохимическая оценка состояния почвы и качества продукции кормовых культур и экономическая эффективность различных систем применения удобрений.

Почвенное плодородие в значительной степени определяется заселением почв различными группами почвенной фауны, реагирующими в неодинаковой степени при изменении экологических условий. Биоиндикация позволяет выявить степень антропогенного воздействия, деградации почвы по структуре комплексов мезофауны и микроартропод. Причем более показательны не отдельные виды-индикаторы, а соотношения более крупных групп как в видовом, так и в количественном отношении [22].

Детальное изучение почвенной фауны как мощного естественного фактора увеличения глубины почвенного горизонта земной коры должно стать одним из важных направлений агробиологических исследований. В результате тех изменений, которые происходят в почве под влиянием деятельности почвенных животных (улучшение аэрации почвы, ее водопроницаемости, создание агрономически ценной структуры почвы, равномерное перемешивание органических и минеральных частиц, обогащение азотом и т.п.) повышается общее плодородие почвы. Это положение подтверждено многими исследованиями, специальными опытами преимущественно с дождевыми червями. В полевых условиях многие исследователи наблюдали более интенсивный рост ряда растений в местах активной деятельности животных [23–32]. Цель работы – изучение воздействия основных агроприемов на физико-химические и биологические свойства почв юго-востока Казахстана, в частности, установить коррелятивную связь почвенной фауны с основными традиционными показателями плодородия почв, что может существенно усилить их экологическое значение при оценке агроприемов в сельскохозяйственном производстве.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследование проведено в полевых опытах в УОС “Агроуниверситет” Казахского национального аграрного университета на орошаемой лугово-каштановой почве и в полевых стационарных опытах отдела кормовых и масличных культур КазНИИ земледелия и растениеводства МСХ РК.

Полевые опыты в УОС “Агроуниверситет” на орошаемой лугово-каштановой почве проводили в 4-польном севообороте, развернутом в пространстве и во времени со следующим чередованием культур: кукуруза – соя – рапс – ячмень.

В посевах каждой культуры применяли следующую схему внесения удобрений, варианты: 1 – контроль без удобрений, 2 – расчетная доза минеральных удобрений, 3 – навоз 30 т/га, 4 – навоз 45 т/га, 5 – биогумус 6 т/га, 6. Солома 6 т/га, 7 – жидкий навоз, 8 – солома + жидкий навоз, 9 – расчетная доза NPK + микроэлементы (Mo, Co, Zn), 10 – расчетная доза NPK + Mo, 11 – расчетная норма NPK + Co, 12 – расчетная норма NPK + Zn, 13 – микроэлементы (Mo, Co, Zn). Под сою вносили расчетную дозу азота + P75K30, расчетную дозу NPK + Mo, расчетную дозу NPK + Co; под ячмень – N120P75K25, под кукурузу – N120P75K30, под рапс – N75P80K20. В качестве удобрений использованы N_{aa} (34% N), P_c (19% P_2O_5) и K (50% K_2O). Площадь опытной деланки 54 м² (3.6 × 15), повторность трехкратная. Объекты исследования – рапс, ячмень, соя, кукуруза. На этих фонах питания размещены посевы рапса, ячменя, сои, кукурузы с оптимальным сроком посева, нормой высева, глубиной заделки семян, площади питания (рапс с междурядьями 30 см, ячмень, кукуруза, соя – 70 см). В опыте посевные работы проведены с применением соответствующей сельскохозяйственной техники. Влажность почвы в опыте на уровне 60–70% от НВ поддерживали проведением 1-го, 2-х, 5-ти поливов с поливной нормой 800–850 м³/га, с учетом осадков и особенностей культур.

В течение вегетации культур в основных фазах роста и развития были отобраны почвенные образцы на глубине 0–20, 20–40 см.

Перед закладкой опыта отбирали исходные почвенные образцы со слоев почвы 0–20, 20–40, 40–60 см для определения содержания гумуса, валовых N, P, K и их подвижных форм. В почвенных образцах были определены: валовые азот, фосфор, калий – из одной навески (по Гинзбург и Щегловой) с дальнейшим определением азота по Кьельдалю, фосфора – колориметрическим методом, калия – методом пламенной фотометрии; подвижных форм N, P, K: нитратный азот

(N-NO₃) – по Грандваль–Ляжу, аммиачный азот – с реактивом Несслера, подвижный фосфор и обменный калий – в 1%-ной углеаммонийной вытяжке (по Мачигину); содержание гумуса – по Тюрину.

Полевой опыт на богаре на светло-каштановой почве проводили в ТОО Казахского НИИ земледелия и растениеводства, отдела кормовых и масличных культур (п. Алмалыбак) в посевах люцерны, варианты: 1 – контроль P0, 2 – N60, 3 – K70, 4 – Co2, 5 – Mo2, 6 – контроль P150, 7 – P150 + N60, 8 – P150 + K70, 9 – P150 + Co2, 10 – P150 + Mo2, 11 – контроль P200, 12 – P200 + N60, 13 – P200 + K70, 14 – P200 + Co2, 15 – P200 + Mo2.

В почвенных образцах определяли общепринятыми методами: влажность – весовым методом, содержание общего гумуса – по Тюрину, удельную массу – пикнометрическим методом, объемную массу с использованием бура Качинского, общую порозность – расчетным методом; биологические показатели: мезофауну почв – метод ручной разборки по Гилярову [23], определение активности почвенных ферментов – методами Гофмана и Паллауфа [34].

Анализ почвенных образцов проводили на газовом хроматографе с масс-спектрометрическим детектором 6890/5973N (Agilent, США), оснащенном автосамплером Combi-PAL (CTC Analytics AG, Швейцария) [35].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Повышение запасов органического вещества в почве отмечено лишь при совместном внесении минеральных и органических удобрений [36]. Известно, что важнейшая роль гумуса в почвенном плодородии и его положительное влияние на растение обусловлено не только его общим содержанием, но и соотношением в нем различных органических кислот (гуминовых и фульвокислот), обладающих разными свойствами и определяющих качественный состав гумуса [37]. Качественное состояние гумуса отражает интенсивность и направленность биологических и биохимических процессов, определяющих гумусовый режим, и уровень эффективного плодородия почвы [38].

Вопросам изучения влияния антропогенной деятельности, в частности, применения средств химизации на изменение почвенной фауны посвящен ряд работ, проводившихся в разные годы [11, 39–43]. При этом обращали внимание на индикационное значение отдельных видов почвенной мезофауны, характеризующей экологическое состояние почв.

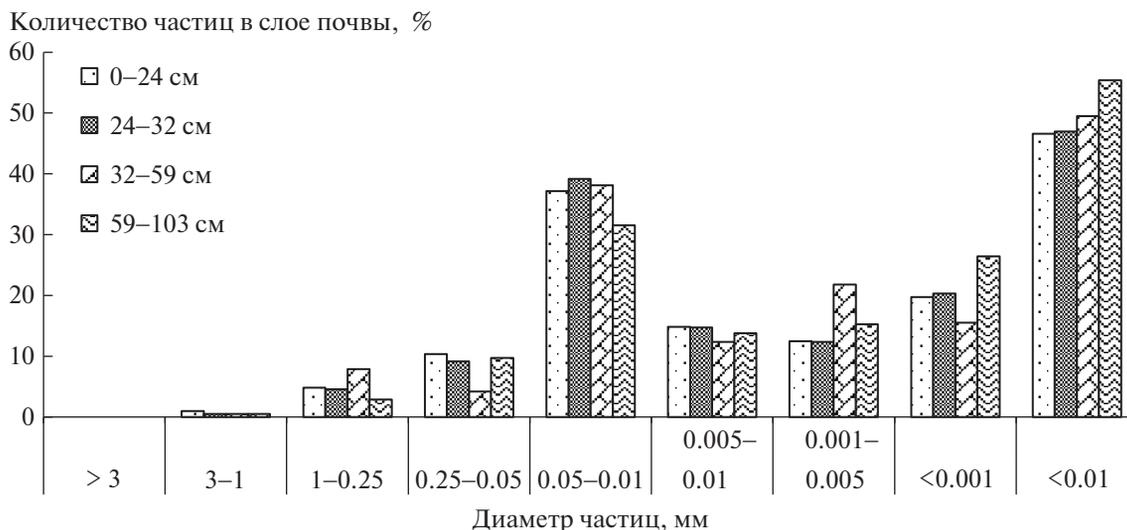


Рис. 1. Гранулометрический состав лугово-каштановой почвы.

Полевые опыты были заложены на лугово-каштановой почве тяжелого гранулометрического состава, которые являются характерными для предгорной сазовой полосы.

На процессы формирования исследованных почв огромное влияние оказывало близкое залегание грунтовых вод, а также общие гидротермические условия, свойственные пустынной зоне. Хотя годовое количество осадков и превышает таковое для пустынной зоны, но распределение их по месяцам свидетельствует о том, что летом создаются условия, аналогичные пустыням. Подобное сочетание условий почвообразования влечет за собой некоторое ослабление темпов минерализации органических остатков.

В Казахстане, кроме зональных почв, последовательно сменяющихся в направлении с севера на юг, широко распространены интразональные почвы: солончаки, солонцы, солоды и луговые. Между зональными и интразональными почвами существует ряд переходов: солончаковатые, солонцеватые и осолоделые разновидности зональных почв, а также лугово-черноземные, лугово-каштановые, лугово-бурые и лугово-сероземные почвы. Как показывает само название, интразональные почвы не связаны с определенной зоной. Они возникают и распространены там, где для них соответствуют условия.

Естественная растительность зоны исследования на непахотных землях представлена в основном разнотравно-злаковыми и полынно-эфемеровыми ассоциациями. Преобладающими видами травостоя являются ежа сборная, пырей ползучий, волоснец ситниковый и песчаный,

житняк широко- и узкоколосый, степная и луговая тимофеевка, мятлик луговой, лисохвост луговой и вздутый, а также множество сложноцветных — в основном полыни, эфемеры и эфемероиды.

Лугово-каштановые почвы встречаются в понижениях рельефа со сравнительно близким залеганием грунтовых вод (1.5–2.0 м), а также в межгорных долинах и на террасах рек.

Горные реки Заилийского Алатау, выйдя на предгорную равнину, в значительной части теряются в толще щебнисто-галечниковых пролювиальных наносов. Грунтовые воды местами подходят близко к поверхности и даже выклиниваются, образуя сазовую полосу с преобладанием гидроморфных и полугидроморфных почв. Сазовая полоса окаймляет все предгорные равнины Заилийского и Джунгарского Алатау, где гидроморфные почвы получили широкое распространение. Почвообразующими породами являются лессовидные суглинки, глубоко подстилаемые галечниковыми отложениями.

Лугово-каштановые почвы подгорной равнины Заилийского Алатау имеют темно-каштановую окраску гумусового горизонта, мощность которого достигает 30–40 см. Почвы отличаются отсутствием резко выраженного иллювиально-карбонатного горизонта, но в солончаковатых (содовозасоленных) родах могут присутствовать карбонатные горизонты гидрогенного генезиса. В случае очень близкого залегания грунтовых вод нижние горизонты имеют признаки заболачивания. Они оглеены, а в отдельных случаях при низкой скорости потока грунтовых вод содержание

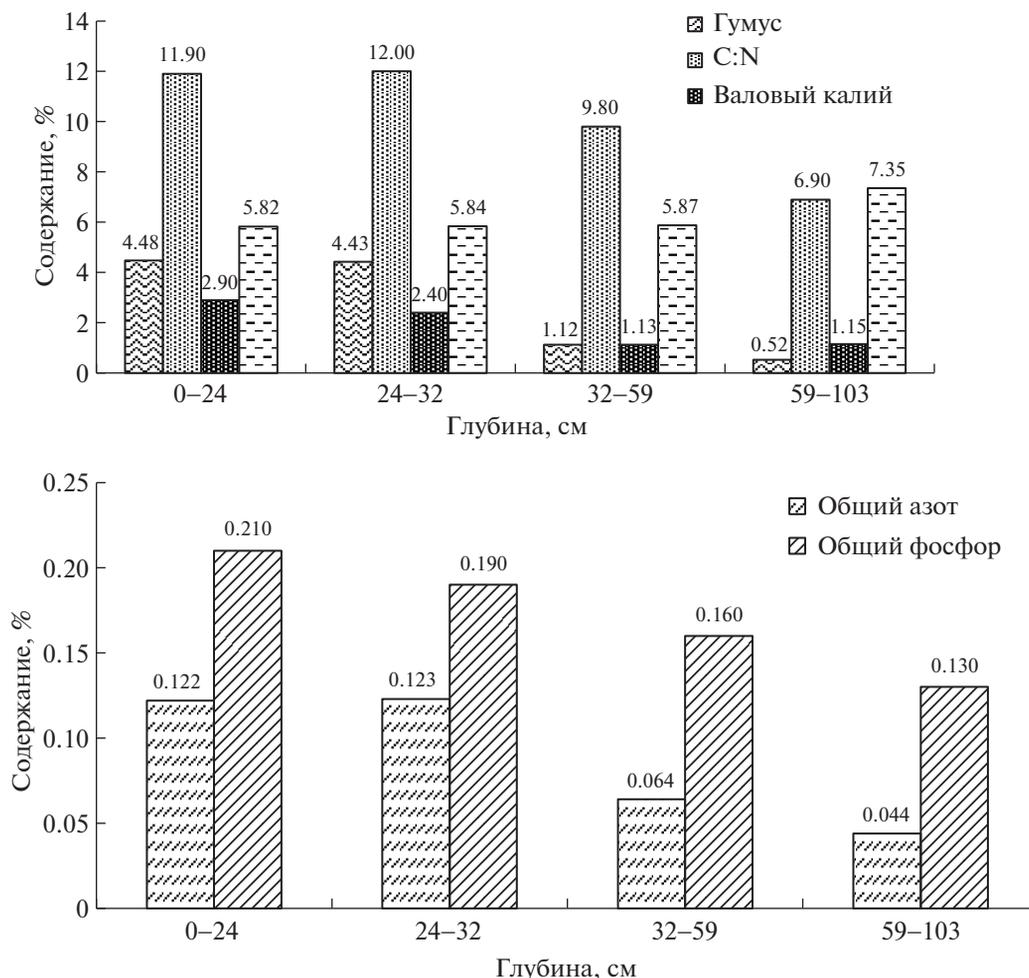


Рис. 2. Основные агрохимические показатели лугово-каштановой почвы.

легкорастворимых солей может оказаться выше их токсичных величин.

Из морфологического описания разреза видно, что профиль лугово-каштановых почв растянут, с глубиной влажность увеличивается, отмечены ржавые пятна в нижних горизонтах, гумусовый горизонт хорошо оструктурен, средне уплотнен.

По гранулометрическому составу описываемая почва относится к тяжелосуглинистой крупнопылевой (рис. 1). Частицы крупнее 3 мм в большинстве случаев отсутствуют. Содержание крупнопесчаных частиц также незначительно. В распределении их по профилю не наблюдается определенной закономерности, преобладает крупная пыль. Распределение по профилю иловатой фракции указывает на заметное преобладание тонких частиц в средних и нижних слоях почвы.

Тяжелый гранулометрический состав определяет неблагоприятные физические свойства поч-

вы: липкость во влажном состоянии, уплотненность и затвердевание при высыхании, что в свою очередь ведет к высокому сопротивлению при вспашке и к глыбистой поверхности поля.

Данные химического состава морфологического разреза показали, что лугово-каштановая почва характеризуется умеренным содержанием гумуса (рис. 2).

В распределении гумуса по профилю следует отметить следующую закономерность: относительно высокое содержание его в верхнем горизонте резко, более чем в 2 раза, уменьшалось при переходе к следующему подпахотному горизонту. Дальнейшее уменьшение содержания гумуса происходило постепенно, растягиваясь на значительную глубину.

Содержание валового азота в почве низкое и составляло 0.12%, в силу чего отношение углерода гумуса к общему азоту было широким. В данном случае оно варьировало в пределах 10–12, т.е. бы-

Таблица 1. Состав водной вытяжки почвенного разреза лугово-каштановой почвы

Глубина, см	0–24	24–32	32–59	59–103
pH	7.8	7.9	8.1	8.3
Сухой остаток, %	0.166	0.173	0.184	0.269
CO_3^{2-} , $\frac{\text{мг-экв}}{\%}$	–	–	$\frac{0.0038}{0.125}$	$\frac{0.0140}{0.465}$
HCO_3^- , $\frac{\text{мг-экв}}{\%}$	$\frac{0.9788}{0.0597}$	$\frac{0.8361}{0.0512}$	$\frac{1.774}{0.1082}$	$\frac{2.033}{0.1242}$
Cl^- , $\frac{\text{мг-экв}}{\%}$	$\frac{0.0790}{0.0025}$	$\frac{0.0674}{0.0020}$	$\frac{0.1174}{0.0035}$	$\frac{0.1493}{0.0045}$
SO_4^{2-} , $\frac{\text{мг-экв}}{\%}$	$\frac{0.4201}{0.0203}$	$\frac{0.488}{0.0235}$	$\frac{0.292}{0.0141}$	$\frac{0.291}{0.0142}$

Таблица 2. Состав и содержание поглощенных оснований в лугово-каштановой почве

Глубина, см	Сумма поглощенных оснований, мг-экв/100 г почвы	Содержание от суммы, %		
		Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^+
0–24	18.3	76.7	21.9	1.8
24–32	18.8	64.0	32.0	4.3
32–59	16.2	74.5	19.0	7.5
59–103	12.5	72.7	16.3	11.6

ло более широким отношение углерода гумуса к общему азоту в сравнении с зональными аналогами. Валовое содержание фосфатов в гумусовом горизонте не выходило за пределы 0.13–0.21%, что характеризует низкий уровень обеспеченности.

Количество CO_2 изменялось от 5.82 до 7.35%, с минимумом в верхнем горизонте и максимумом в нижнем. Возрастание содержания CO_2 с увеличением глубины происходило постепенно, что видимо было связано с гидрогенной аккумуляцией.

Данные анализа водной вытяжки (табл. 1) показали, что пахотные и подпахотные горизонты описываемой почвы не засолены, но вместе с тем в нижних горизонтах присутствовало небольшое, но токсичное количество нормальных карбонатов, что приводило к слабой солончаковатости и средней степени щелочности почвенного раствора. Сухой остаток в верхних горизонтах не превышал 0.173%. Анионы по профилю почвы были распределены неравномерно. В гумусовом горизонте (0–32 см) анион CO_3^{2-} отсутствовал, в материнской породе его содержание было невелико, а в средней части профиля – в пределах токсичности для растений (>0.001%).

Показано (табл. 2), что сумма поглощенных оснований составила 18–16 мг-экв/100 г в верхних горизонтах с преобладанием кальция. Его содержание достигало 64–77% от суммы поглощенных оснований.

Величина поглощенного натрия от суммы поглощенных оснований в гумусовом горизонте составляла <5%. Вместе с тем следует отметить, что повышенное содержание магния в целом в профиле и натрия в нижней его части, во втором полуметровом слое позволило отнести данные горизонты к слабо-солонцеватым.

На рис. 3 приведены количественные показатели важнейших физических и водно-физических свойств лугово-каштановых почв. Удельная масса изменялась в пределах 2.65–2.76 г/см³, постепенно возрастая с глубиной, объемная масса верхних горизонтов была сравнительно небольшой – 1.22–1.26 г/см³, резкое ее увеличение наблюдали лишь с 1-метровой глубины. В связи с этим общая порозность верхних горизонтов была довольно высокой – 53–52%. Уплотнение начиналось со слоя, залегающего глубже 80 см.

Предельная полевая влагоемкость в верхнем слое 0–20 см почвы была невысокой – 26.4–27.2%, с глубиной ее величина снижалась до 22.4%. Максимальная гигроскопичность в связи с тяжелым гранулометрическим составом достигала в верхних горизонтах 5.03%, уменьшаясь с глубиной до 4.42%.

Данные по определению водопроницаемости позволили отметить, что почвы, несмотря на тяжелый гранулометрический состав, обладали удовлетворительной скоростью впитывания, средний коэффициент водопроницаемости на целине был равен 0.9 мм/мин, чему способствовало проявление хорошо выраженной макроагрегатности и высокой порозности.

Агрофизические и агрохимические характеристики почв опытного участка, на которых были заложены полевые опыты, представлены на рис. 4. Содержание гумуса в пахотном горизонте составило 4.48%, которое постепенно убывало с глубиной. Содержание валового азота было равно 0.219%, валового фосфора – было средним (0.183%). По обеспеченности доступными элементами питания почва опытного участка характеризовалась как среднеобеспеченная легкогидролизуемым азотом (87 мг/кг) и высоко – калием (435 мг/кг), подвижного фосфора – слабообеспеченная (26 мг/кг почвы). Таким образом, лугово-каштановая почва по водно-физическим свойствам и уровню потенциального плодородия была вполне благоприятной для возделывания всех



Рис. 3. Физические и водно-физические свойства лугово-каштановой почвы.

видов сельскохозяйственных культур. Однако в условиях орошения для получения высоких урожаев кормовых, овощных и зерновых культур и обеспечения воспроизводства плодородия почв необходимо применение удобрений, отвечающих биологическим потребностям культур и уровням запланированного урожая.

Выявлено изменение содержания гумуса и минерального азота в почве под посевами культур севооборота. Содержание гумуса в почве является важным интегральным показателем плодородия почв, исследования показывают необходимость постоянного мониторинга гумусового состояния почвы и принятия мер по предотвращению потерь гумуса, сохранению плодородия почвы, прежде всего за счет севооборотов с включением бобовых культур, применения научно обоснованных доз органических и минеральных удобрений.

В наших исследованиях, с целью определения изменений содержания гумуса в почве плодосменного севооборота в зависимости от чередования культур и систем их удобрения были отобраны и проанализированы исходные образцы почв пахотного и подпахотного слоев на полях севооборота (рис. 5). Показано, что изменение содержания гумуса в пахотном слое почвы было незначительным (4.48–4.65%). Подпахотный слой почвы опытного участка характеризовался достаточно высоким содержанием гумуса, даже не уступающим его величине в пахотном слое (4.41–4.50%).

Одним из главных элементов питания растений является азот. Применение минеральных и

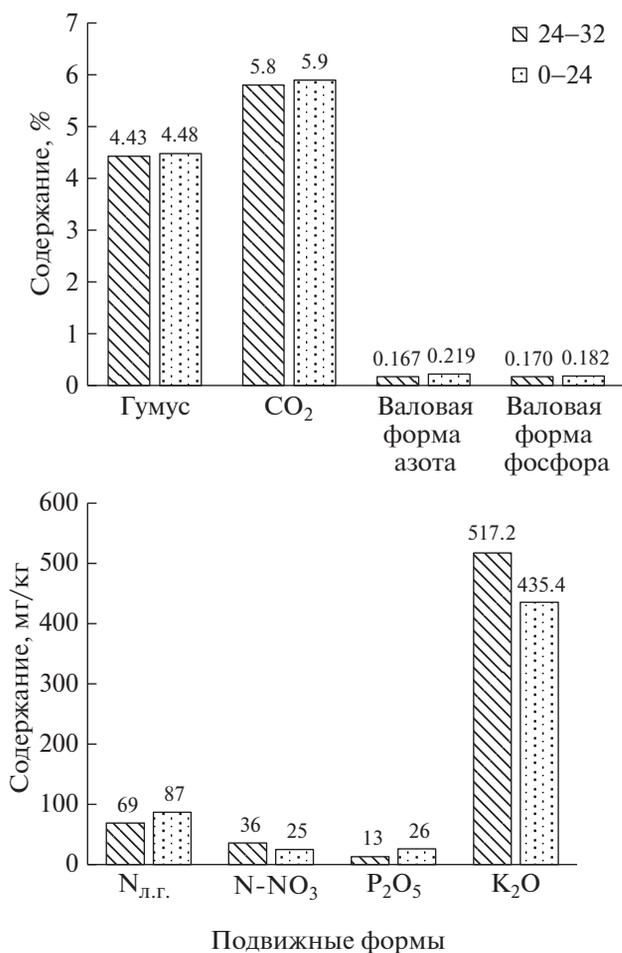


Рис. 4. Агрофизические и агрохимические свойства лугово-каштановой почвы опытного участка.

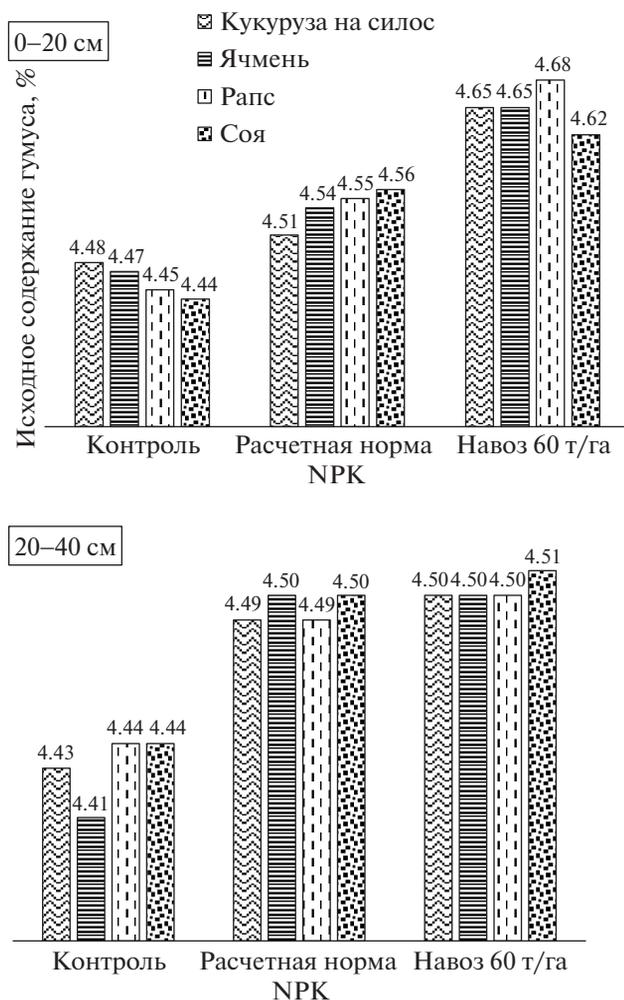


Рис. 5. Исходное содержание гумуса в лугово-каштановой почве под культурами короткороотационного севооборота, %.

органических удобрений и биопрепаратов, способы обработки почв, тип почвы, влажность почвы, предшествующая культура и другие факторы влияют на содержание и запасы минерального азота в почве. Основными источниками азотного питания растений служат соли аммония и азотной кислоты. Почвы юга и юго-востока Казахстана характеризуется высокой нитрификационной способностью, в связи с этим аммонийный азот, образующийся в результате минерализации органического вещества почвы или внесенный с удобрениями, быстро вовлекается в процесс нитрификации.

Внесение расчетных доз азотных удобрений весной способствовало повышению количества минерального азота в пахотном слое почвы, содержание минерального азота под посевом рапса определяли в 2 срока и во всех фазах вегетации.

В варианте с внесением расчетной дозы NPK оно было максимальным (35.6 – в первый срок и 31.6 мг/кг почвы – в фазе цветения).

В наших исследованиях динамику минерального азота в зависимости от применения удобрений и особенностей культур севооборота с коротким периодом вегетации определяли в 2 и 3 срока (табл. 3). Показано, что под всеми культурами севооборота в начале вегетации в почве было относительно высокое содержание минерального азота как в пахотном, так и в подпахотном слое. Причем значительная часть его была представлена нитратной формой. Под рапсом в слое 0–20 см содержание N-NH₄ было равно 2.4 мг, N-NO₃ – 22.9 мг, под посевом ячменя – соответственно 4.9 и 22.3 мг, под кукурузой – 5.0 и 21.1 мг/кг почвы.

В опытах по выявлению действия минеральных и органических удобрений на содержание аммонийного азота в почве под посевом ячменя установлено, что внесенные минеральные удобрения не оказывали существенного влияния на содержание аммонийной формы азота в течение вегетации ячменя. В период всходов содержание минерального азота в слое 0–20 см составило в контроле 27.2 мг/кг. При внесении 1.5 расчетной дозы минеральных удобрений содержание минерального азота в почве увеличилось до 51.7 мг/кг. В варианте применения органических удобрений повысило содержание этого элемента при его определении во 2-й и 3-й срок.

Минеральные и органические удобрения, внесенные под кукурузу, также способствовали увеличению содержания нитратного азота по сравнению с естественным его содержанием в почве. Максимальное содержание минерального азота наблюдали в варианте с внесением одинарных расчетных и 1.5 расчетных доз NPK. Под посевом сои в течение вегетации отмечали невысокое содержание минерального азота как в пахотном, так и в подпахотном слое почвы.

Внесение фосфорно-калийных удобрений и обработка семян нитрагином весной способствовали повышению содержания минерального азота в пахотном слое почвы от 37.3 до 41.2 мг/кг. При этом увеличение произошло за счет нитратной формы, т.е. азотные удобрения способствовали увеличению содержания в основном нитратного азота. По сравнению с минеральными удобрениями на количество минерального азота менее заметным в первый срок определения было влияние органических удобрений. Внесение биопрепаратов не оказало значительного влияния на содержание минерального азота, и величина его находилась почти на уровне контрольного вари-

Таблица 3. Изменение содержания минерального азота в почве в зависимости от применения удобрений под посевами культур севооборота, мг/кг сухой почвы

Рапс										
Вариант	Слой почвы, см	1-й срок			2-й срок					
		N-NH ₄	N-NO ₃	N _{мин}	N-NH ₄	N-NO ₃	N _{мин}			
Контроль без удобрений	0–20	3.2	17.5	20.7	1.6	15.1	16.7			
	20–40	2.8	12.7	15.5	1.9	17.3	19.2			
Расчетная доза НРК	0–20	4.5	27.6	32.1	2.5	22.8	25.3			
	20–40	3.7	26.9	30.6	3.4	26.5	29.9			
Навоз 60 т/га, последствие	0–20	5.8	30.1	35.9	3.7	26.0	28.7			
	20–40	5.0	20.2	25.7	2.9	24.4	27.3			
Ячмень										
Вариант	Слой почвы, см	1-й срок			2-й срок			3-й срок		
		N-NH ₄	N-NO ₃	N _{мин}	N-NH ₄	N-NO ₃	N _{мин}	N-NH ₄	N-NO ₃	N _{мин}
Контроль без удобрений	0–20	4.5	21.5	26.0	2.9	18.9	21.8	1.3	18.0	19.3
	20–40	2.8	14.1	16.9	3.1	20.5	23.6	1.8	15.9	17.7
Расчетная норма НРК	0–20	5.0	36.8	41.8	.3	25.9	29.2	2.1	20.5	22.6
	20–40	3.7	21.4	25.1	3.0	24.0	27.0	1.8	22.1	23.9
Навоз 60 т/га, последствие	0–20	5.9	32.4	38.3	2.7	28.3	31.0	2.8	23.8	26.6
	20–40	5.0	21.1	26.1	3.5	21.6	25.1	2.3	20.9	23.2
Кукуруза										
Вариант	Слой почвы, см	1-й срок			2-й срок			3-й срок		
		N-NH ₄	N-NO ₃	N _{мин}	N-NH ₄	N-NO ₃	N _{мин}	N-NH ₄	N-NO ₃	N _{мин}
Контроль без удобрений	0–20	1.9	21.3	23.2	2.0	20.5	22.5	1.9	16.4	18.3
	20–40	0.9	16.3	17.2	1.5	16.0	17.5	2.1	16.0	18.1
Расчетная доза НРК	0–20	3.1	28.2	31.3	2.9	24.7	27.6	2.4	20.2	22.6
	20–40	2.7	21.1	23.8	3.3	20.1	23.4	2.5	18.8	21.3
	20–40	1.7	17.8	19.5	3.2	18.0	21.2	2.1	20.0	22.1
Навоз 60 т/га, последствие	0–20	2.7	36.6	39.3	3.5	29.5	33.0	3.2	23.2	26.4
	20–40	1.9	38.1	40.0	2.0	23.8	25.8	2.0	21.0	23.0
Соя										
Вариант	Слой почвы, см	1-й срок			2-й срок			3-й срок		
		N-NH ₄	N-NO ₃	N _{мин}	N-NH ₄	N-NO ₃	N _{мин}	N-NH ₄	N-NO ₃	N _{мин}
Контроль без удобрений	0–20	4.2	21.1	28.3	3.0	19.0	22.0	3.1	18.3	21.4
	20–40	3.7	14.1	17.8	2.3	20.5	22.8	2.5	20.8	23.3
Расчетная доза НРК	0–20	5.8	35.3	41.1	2.9	29.6	32.5	2.7	24.5	27.2
	20–40	4.2	21.1	25.3	3.3	25.0	28.3	3.0	20.0	23.0
Навоз 60 т/га, последствие	0–20	5.0	36.3	41.5	3.4	23.0	26.9	2.8	25.1	27.9
	20–40	3.4	17.8	21.2	2.7	25.6	28.3	2.5	21.5	24.0

Таблица 4. Результаты хроматографического анализа почвенного образца

Время удерживания, мин	Содержание соединения, %	Соединение
12.308	3.62	Nonane, 1-iodo-
12.489	6.15	2-Octene, 2-methoxy
13.819	11.14	Cyclooctasiloxane, hexadecamethyl-
14.303	4.76	1-Undecene, 7-methyl-
14.873	11.43	Hexyl octyl ether
16.047	8.77	Hexane, 3,3-dimethyl-
17.171	5.54	1-Butanol, 4-(hexyloxy)-
27.147	48.59	Eicosane

анта (29.4 мг/кг) – 30.8 мг/кг почвы. Многими исследователями установлено, что дозы фосфорных удобрений способствуют быстрому образованию клубеньков и улучшению снабжения азотом растений сои уже начальные периоды роста, что было заметно и в нашем исследовании.

Определены физико-химические показатели образцов лугово-каштановой почвы, отобранных в с. Саймасай, и светло-каштановой почвы – в п. Алмалыбак Алматинской обл. Установлено, что содержание пестицидов в образцах почвы в посевных угодьях п. Алмалыбак не превышало их ПДК. Результаты хроматографического анализа почвенных образцов на содержание пестицидов (табл. 4), показали, что в большинстве проб данные соединения отсутствовали, а найденные концентрации пестицидов являлись следовыми и не оказывали вредное воздействие. Хроматографический скрининг почвенных образцов показал в большинстве образцов содержание углеводородов нефти антропогенного происхождения (рис. 6).

Анализ данных мезофауны в исследованных вариантах опыта (лугово-каштановые, светло-каштановые почвы) показал, что общими видами были личинки насекомых из семейств Carabidae, Scarabaeidae, Formicidae, т.к. эти виды обладают пластичностью (способностью к обитанию в самых различных биотопах). Доминирующими видами являлись личинки насекомых семейств Formicidae, Scarabaeidae.

Установлено, что количественный и качественный состав мезофауны почв связан с определенным типом почв. Выяснили, что личинки из семейств Chrisomelidae, Elateridae, Chloropidae, Pygaustidae были связаны с почвами более гумусированными и влагообеспеченными (лугово-каштановыми почвами), которые не встречались в светло-каштановых почвах. В светло-каштановых почвах под посевами люцерны в основном встречались личинки из семейств Curculionidae, Miridae, которых не обнаружили в лугово-каштановых почвах. Мезофауна, наряду с другими почвенными характеристиками, вполне может быть использована в качестве биоиндикатора. Уста-

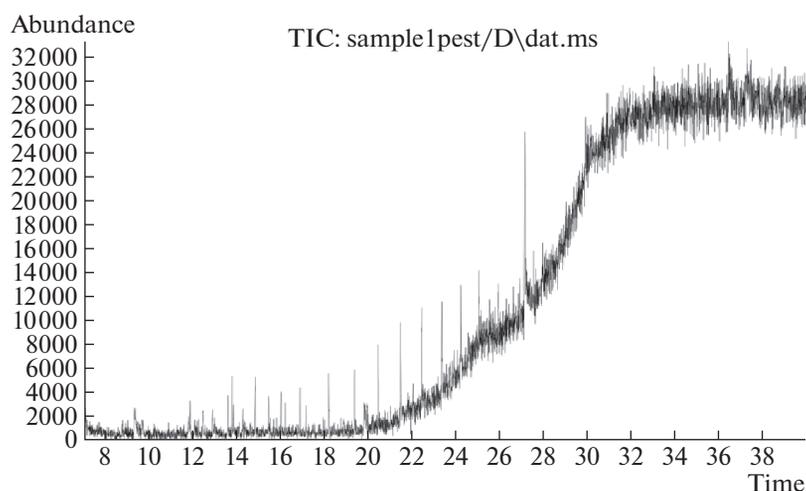
**Рис. 6.** Хроматограмма экстракта почвенного образца, отобранного у с. Саймасай.

Таблица 5. Агрофизические и агрохимические свойства светло-каштановых почв опытного участка (2019 г.)

Глубина, см	Гумус	CO ₂	Валовая форма, %		Подвижные формы, мг/кг			
	%		N	P	N	N-NO ₃	P ₂ O ₅	K ₂ O
0–10	2.78	4.9	0.123	0.162	52.6	14	12.2	456
10–20	2.08	4.8	0.137	0.170	51.4	16	11.9	537
20–30	1.44	3.8	0.119	0.134	50.1	12	13.6	415
30–40	1.20	3.5	0.116	0.122	49.7	11	10.6	264

новлено, что видовой состав почвенных организмов можно использовать как критерий для качественной оценки степени воздействия пестицидов на почву [45].

Изучено влияние удобрений на фоне различных видов обработки почвы на физико-химические и биологические свойства светло-каштановой почвы предгорной зоны юго-востока Казахстана. Светло-каштановые почвы формируются в предгорной пустынно-степной зоне под эфемероидно-типчаковой-полынной растительностью, занимая волнистую часть предгорной равнины. Мощность их гумусового горизонта увеличивается из-за гумусовых затеков и неоднородности окраски горизонта В, а также его плотности (табл. 5). Установлено, что при внесении в почву только минеральных удобрений численность почвенных живых организмов увеличивалась незначительно. При совместном внесении минеральных и органических удобрений, а также различных растительных остатков численность почвенных беспозвоночных в среднем возрастала в 1.5–2.0 раза.

Показано, что минеральные удобрения действовали угнетающе на развитие как полезных (Coccinellidae, Carabidae, Formicidae) так и вредных насекомых (Curculionidae, Aphididae, Tenebrionidae). Фосфорные и калийные удобрения в отдельности, а также сочетание каждого из них с азотным удобрением заметного влияния на численность проволочников (Elateridae, Chrysomelidae) не оказывали. Однако при совместном действии фосфорных и калийных удобрений количество проволочников уменьшалось в 2–3 раза, а в сочетании с азотными – соответственно в 4–6 раз. Выявлено, что минеральные удобрения оказались более эффективными против проволочников (Elateridae), долгоносиков (Curculionidae) при наличии в почве достаточного количества влаги.

Численность полезной фауны несколько снизилась (Coccinellidae, Carabidae, Formicidae, Psephenidae), однако возросла доля энтомофагов и других полезных почвообитающих беспозвоночных во всей мезофауне и также по отношению к вредителям.

Проведено исследование по определению динамики видовой состава почвенной мезофауны в условиях богары (светло-каштановые почвы с содержанием гумуса в пахотном слое 2.7–2.04%) в зависимости от изученных факторов (предшественников, способов обработки почвы). Отмечена корреляция между содержанием гумуса в почве и составом мезофауны (табл. 6).

Установлено, что для роста и развития растений люцерны необходимы бор, кобальт, марганец, медь, молибден и цинк. Имеются данные о положительном влиянии на жизнедеятельность растений люцерны ванадия, иода и селена. Известно, что молибден повышает активность ферментов, действие которых связано с азотным и, в частности, с белковым обменом в растениях. Без достаточного количества молибдена клубеньковые бактерии слабо поглощают азот из воздуха. Влияя на синтез аминокислот и белков, молибден улучшает использование растениями люцерны не только азота, но и фосфора. Недостаток молибдена в почве приводит к нарушению обмена веществ, к торможению синтеза белков, углеводов и витаминов, приводит к снижению урожайности сена и семян люцерны, ухудшению их качества. При этом меняется окраска листьев, на них появляются светлые пятна, возможен хлороз. В отдельных случаях никаких внешних признаков недостатка молибдена может не наблюдаться, но растения плохо растут и развиваются.

Таблица 6. Взаимосвязь между содержанием гумуса и составом мезофауны светло-каштановых почв опытного участка под посевами люцерны

Глубина, см	Гумус, %	Почвенные беспозвоночные	
		количество групп	численность, экз./м ²
0–10	2.78	5	10
10–20	2.08	8	16
20–30	1.44	2	4
30–40	1.20	0	0

Таблица 7. Влияние молибдена и кобальта на урожайность семян люцерны в зависимости от содержания подвижного фосфора в почве

Вариант	Урожайность семян в зависимости от содержания подвижного фосфора в почве					
	23.8 мг/кг		27.4 мг/кг		32.0 мг/кг	
	ц/га	%	ц/га	%	ц/га	%
Контроль без обработки	3.03	100	3.32	100	3.73	100
Mo	4.18	138	4.79	144	5.59	150
Co	3.86	127	4.22	127	4.55	122

Таблица 8. Влияние обработки посевов семенной люцерны микроэлементами на содержание элементов питания в растениях люцерны

Вариант	Семена				Стебли				Масса 1000 семян, г
	N	±	P ₂ O ₅	±	N	±	P ₂ O ₅	±	
	%								
P0 (фон)	4.70	—	1.17	—	1.40	—	0.17	—	2.23
Фон + Mo	5.04	0.34	1.27	0.10	1.57	0.17	0.18	0.01	2.13
Фон + Co	5.04	0.34	1.41	0.24	1.57	0.17	0.21	0.04	2.11

В качестве молибденовых удобрений применяют молибденовокислый аммоний (50% молибдена) в виде 0.1–0.2%-ного раствора для опрыскивания растений, технический молибдат аммония–натрия (36% молибдена), молибденовый суперфосфат (0.2% молибдена) для внесения в почву.

Кобальт оказывает положительное воздействие на фиксацию молекулярного азота клубеньковыми бактериями, поэтому влияет на обеспеченность растений люцерны азотом [45]. Выявлено, что значительное количество кобальта в бобовых культурах также сосредоточено в клубеньках. Потребность в кобальте значительно меньше, чем в молибдене. Однако на почвах, недостаточно обеспеченных кобальтом, применение кобальтсодержащих удобрений дает существенную прибавку урожая семян люцерны.

Установлено, что молибдена в почвах содержится значительно меньше, чем других элементов питания. Изменения в содержании валового молибдена находятся в пределах 0.1–12.0 мг/кг, из которых от 8 до 17% приходится на долю подвижных форм. В орошаемых светло-каштановых почвах содержание валового молибдена составило 0.95 мг/кг, подвижных форм – 0.076–0.160 мг/кг почвы, что по принятой для карбонатных почв градации относится к низкой группе обеспеченности. Содержание подвижных форм кобальта составляло 0.69 мг/кг почвы с изменениями от 0.54 до 0.80 мг/кг, что характеризовало обеспеченность почвы кобальтом как пониженную.

Количество семян в бобах люцерны при этом составило 2.8–4.9 шт./боб (табл. 7). При проведении некорневой подкормки молибденовокислым аммонием на фоне внесения P60, по количеству бобов в кистях выделялись веточки, на которых в каждом бобе было семян от 3.6 до 5.2 шт. Аналогичную закономерность отметили и при опрыскивании в фазе бутонизации растений люцерны 0.1%-ным раствором сернокислого кобальта. Урожайность семян при применении микроудобрений существенно возросла. При опрыскивании молибденовокислым аммонием растений люцерны в фазе бутонизации урожайность семян повышалась на естественном фоне на 37.0%, в варианте внесения P30 – на 49.9%, или в 1.5 раза по сравнению с контролем. При обработке растений сернокислым кобальтом семенная продуктивность люцерны увеличивалась на 22.0–27.4%.

Установлено, что при опрыскивании молибденовокислым аммонием растений люцерны в фазе бутонизации урожайность семян люцерны повышалась на фоне содержания подвижного фосфора 32 мг/кг почвы на 5.59 ц/га или на 150% по сравнению с контролем, а при обработке растений сернокислым кобальтом семенная продуктивность люцерны увеличивалась на 4.55 ц/га, или на 122%. Под влиянием обработки посевов семенной люцерны микроэлементами происходило увеличение содержания азота, фосфора, молибдена и кобальта в растениях (табл. 8). При обработке растений молибденом возрастало содер-

Таблица 9. Активность ферментов в светло-каштановой почве при применении различных доз минеральных и микроудобрений

Вариант	Инвертаза	Уреаза	Дегидрогеназа	Каталаза
Контроль P0	10.8	2.9	2.5	9.8
P0 + Co2	12.7	3.2	2.8	9.5
P0 + Mo2	15.9	3.3	2.7	8.9
P150 + Mo2	9.1	2.2	2.4	9.2
P150 + Co2	10.8	2.6	2.6	8.5
P200 + Mo2	10.2	2.5	2.4	8.3
P200 + Co2	11.8	2.8	1.8	8.2

жание молибдена в семенах до 1.57 мг/кг семян при 0.85 мг/кг без обработки, кобальта — до 0.74 мг/кг при 0.59 мг/кг без обработки. Масса 1000 семян при этом оставалась высокой: т.е. при применении фосфорных удобрений и обработке растений микроэлементами формировались полноценные семена, лучше обеспеченные энергетическим материалом.

Установлено, что применение азотных удобрений под люцерну, возделываемую на семена, было неэффективным. В посевах люцерны при внесении молибдена и кобальта численность личинок насекомых из семейств Elateridae, Curculionidae, Asilidae уменьшилась в 1.5 раза, а при внесении молибдена — в 3 раза по сравнению с контролем. Микроудобрения снижали плодовитость и численность вредителей с колюще-сосущим ротовым аппаратом из семейств Tettigoniidae, Cicadidae, Scutelleridae.

В соответствии с поставленной целью учитывали активность почвенных ферментов в вариантах, где вносили минеральные удобрения. Из класса гидролаз анализировали инвертазу и уреазу, из класса оксидоредуктаз — дегидрогеназу и каталазу (табл. 9). В светло-каштановых почвах уровень активности ферментов был выше, чем в лугово-каштановых. Реакция ферментов на удобрения была неодинаковой, наибольшую чувствительность проявили инвертаза и уреазы, разница в активности дегидрогеназы и каталазы была незначительной. Активность уреазы в вариантах без внесения фосфора и с внесением азотных и азотно-калийных удобрений при применении молибдена и кобальта увеличивалась в следующем ряду вариантов: Mo2 > Co2 > P200 + Mo2 > P150 + Co2 > P150 + Mo2 > контроль. Что касается фона P150, то в этих вариантах опыта активность уреазы была подавлена и обнаружено количество фермента гораздо меньше, чем в контроле. Вы-

явлено, что внесение азотных удобрений в сочетании с высокими дозами фосфорных приводило к ингибированию активности фермента уреазы. Следует отметить, что в зависимости от почвенной разности активность уреазы была выше в светло-каштановой, чем в лугово-каштановой почве, где активность фермента снижалась почти в 2 раза.

Установлено, что минеральные удобрения оказывали различное влияние на активность инвертазы. Ферментативная активность светло-каштановой почвы была подвержена существенным изменениям не только от внесения минеральных удобрений, но и от особенностей возделываемой культуры. Инвертазная активность почвы менялась под посевами люцерны от 10.8 до 15.9 мг в зависимости от видов удобрений. Расчетные дозы удобрений способствовали снижению инвертазной активности при внесении P150 + Mo2, но она значительно возросла при внесении Co2. Таким образом, ферментативную активность почв также можно использовать для биологической индикации плодородия почвы.

Установлено, что в светло-каштановых почвах происходило снижение численности и изменение группового состава мезофауны почв. Светло-каштановые почвы формируются в условиях засушливого климата. Запасы доступной влаги в слое 0–40 см в них уменьшаются в 1.5–2.2 раза по сравнению с темно-каштановыми почвами. Летом из-за высокой температуры происходит сильное иссушение почвы, выгорает растительность, что приводит к депрессии почвообитающих организмов. Относительно низкая встречаемость мезофауны светло-каштановых почв соответствует понижению содержания гумуса в последних по сравнению с лугово-каштановыми почвами. Изменение численности и группового состава мезофауны светло-каштановых почв также связано с распределением ила и физической глины, уменьшением суммы и состава поглощенных оснований. Мезофауна светло-каштановых почв малочисленна и менее разнообразна, чем в лугово-каштановых почвах. Для светло-каштановых почв отмечено низкое разнообразие (8.4) и неравномерность встречаемости групп ($H = 2.3$).

ВЫВОДЫ

1. На основе проведенного исследования установлено, что лугово-каштановая почва предгорной зоны хорошо обеспечена органическим веществом, и исходное содержание гумуса в почве в начале исследования было достаточно высоким как в пахотном (4.44–4.65%), так и в подпахотном

слое (4.41–4.50%) во всех вариантах и в полях севооборота.

2. В начале вегетации изученных культур в лугово-каштановой почве отмечено невысокое содержание минерального азота в пахотном (17.5–23.5 мг/кг почвы) и подпахотном (15.1–20.0 мг/кг почвы) слоях, и значительная часть азотного фонда была уже в этот период представлена нитратной формой.

3. По содержанию подвижного фосфора под посевами культур севооборота лугово-каштановая почва относится к уровню низко- и среднеобеспеченных для зерновых культур и (21.5–23.8 мг/кг), для зернобобовых – в основном низкообеспеченной, применение удобрений позволило увеличить содержание подвижного фосфора до 33.6–38.9 мг/кг, или в 1.4–1.6 раза.

4. Выявлено, что удобрения повлияли на динамику уреазной и инвертазной активности почвы. При этом дегидрогеназная активность в отличие от инвертазной не столь сильно изменялась от внесения удобрений и особенностей культуры севооборота. К второму сроку отбора уреазная активность существенно снижалась, особенно на фоне применения расчетной дозы удобрений.

5. Биологическая (ферментативная) активность почвы реагировала на антропогенные воздействия, в частности, на внесение минеральных удобрений и возделывание различных культур. Определено, что активность уреазы на фоне без внесения фосфора, но с внесением азотных и азотно-калийных удобрений увеличивалась в ряду, который выглядит следующим образом: Mo2 > Co2 > P200 + Mo2 > P150 + Co2 > P150 + Mo2 > контроль.

6. Установлено, что светло-каштановые почвы отличались наиболее низкой численностью и групповым составом мезофауны почв. Эти почвы формируются в условиях высокой температуры при большом дефиците влаги, что приводило к депрессии жизнедеятельности почвообитающих организмов.

7. Выявлено, что люцерна реагировала не только на внесение минеральных удобрений, содержащих макроэлементы, но и на ряд микроудобрений (молибдена и кобальта). Эффективность их применения во многом зависела от содержания подвижных форм микроэлементов в почве.

8. Установлено, что в светло-каштановых почвах молибдена содержится значительно меньше, чем других элементов питания. Изменения в содержании валового молибдена находились в пределах 0.1–12.0 мг/кг, из которых от 8 до 17% приходилось на долю подвижных форм. В богарных

светло-каштановых почвах содержание валового молибдена составило 0.95 мг/кг, подвижных форм – 0.076–0.160 мг/кг почвы, что по принятой для карбонатных почв градации относится к низкой группе обеспеченности. Содержание подвижных форм кобальта составляло 0.69 мг/кг почвы с изменениями от 0.54 до 0.80 мг/кг, что характеризовало обеспеченность кобальтом как пониженную.

9. Анализ данных о наличии, количестве и составе мезофауны в исследованных вариантах опыта (в лугово-каштановых, светло-каштановых почвах) показал, что общими видами были личинки насекомых из семейств Carabidae, Scarabaeidae, Elateridae, Formicidae, т.к. эти виды обладают пластичностью (способностью к обитанию в самых различных биотопах). Доминирующими видами были личинки насекомых семейств Formicidae, Scarabaeidae.

10. Установлено, что количественный и качественный состав мезофауны почв связан с определенным типом почв. Выяснилось, что личинки из семейств Chrisomelidae Elateridae, Chloropidae, Pugaustidae связаны с почвами более гумусированными, влагообеспеченными (лугово-каштановыми почвами), которые не встречались в светло-каштановых. В светло-каштановых почвах под посевами люцерны в основном отмечены личинки из семейств Curculionidae, Miridae, которых не обнаружили в лугово-каштановых почвах. Мезофауна, наряду с другими почвенными характеристиками, вполне может быть использована в качестве биоиндикатора плодородия почв.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Condron L.M., Cameron K.C., Di H.J., Clough T.J., Forbes E.A., McLaren R.G., Silva R.G.* A comparison of soil and environmental quality under organic and conventional farming systems in New Zealand // *New Zealand J. Agricult. Res.* 2000. V. 43. P. 443–466.
2. *Dawson J.C., Huggins D.R., Jones S.* Characterizing nitrogen use efficiency in natural and agricultural ecosystems to improve the performance of cereal crops in low-input and organic agricultural systems: a review // *Field Crops Res.* 2008. V. 107. P. 89–101.
3. *Diepeningen A.D., Vos O.J., Korthals G.W., van Bruggen A.H.C.* Effects of organic versus conventional management on chemical and biological parameters in agricultural soils // *Appl. Soil Ecol.* 2006. V. 31. P. 120–135.
4. *Ghosh S., Wilson B.R., Mandal B., Ghoshal S.K., Grown I.* Changes in soil organic carbon pool in three long-term fertility experiments with different cropping systems and inorganic and organic soil amendments in the eastern cereal belt of India // *Austr. J. Soil Res.* 2010. V. 48. № 5. P. 413–420.

5. *Gomiero T., Paoletti M.G., Pimentel D.* Energy and environmental issues in organic and conventional agriculture // *Critic. Rev. Plant Sci.* 2008. V. 27. P. 239–254.
6. *Gosling P., Shepherd M.* Long-term changes in soil fertility in organic arable farming systems in England, with particular reference to phosphorus and potassium // *Agricult. Ecosyst. Environ.* 2005. V. 105. P. 425–432.
7. *Gregorich E.G., Beare M.H., McKim U.F., Skjemstad J.O.* Chemical and biological characteristics of physically uncomplexed organic matter // *Soil Sci. Soc. Am. J.* 2006. V. 70. № 3. P. 975–985.
8. *Hai L., Li X.G., Li F.M., Suo D.R., Guggenberger G.* Long-term fertilization and manuring effects on physically-separated soil organic matter pools under 148 a wheat-wheat-maize cropping system in an arid region of China // *Soil Biol. Biochem.* 2010. V. 42. № 2. P. 253–259.
9. *Loveland P., Webb J.* Is there a critical level of organic matter in the agricultural soils of temperate regions: a review // *Soil Till. Res.* 2003. V. 70. № 1. P. 1–18.
10. *Сальникова Н.А.* Почвенные микробсообщества как индикаторы процессов деградации экосистем // Тез. докл. Всерос. научн. конф. студентов, аспирантов и молод. ученых. М., 2006. С. 210–212.
11. *Павлова Н.Н., Егорова Е.И.* Биологическая активность почв как биоиндикатор загрязнения тяжелыми металлами и радионуклидами (на примере почв г. Обнинска) // Тез. докл. IV регион. конф. “Техногенные системы и экологический риск”. Обнинск, 2007. С. 96–100.
12. *Wicklum D.* Ecosystem health and integrity? // *Can. J. Bot.* 1995. № 73. P. 997–1000.
13. *Криволицкий Д.А.* Почвенная фауна в экологическом контроле. М.: Наука, 1994. 272 с.
14. *Яковлев А.С.* Биологическая диагностика и мониторинг состояния почв // *Почвоведение.* 2000. № 1. С. 70–79.
15. *Спивакова Н.А.* Биодиагностика нефтяного загрязнения почв сухих степей и полупустынь юга России // Актуальные вопросы экологии и природопользования. Мат.-лы научн. конф., Ростов н/Д.: Ростиздат, 2011. С. 104–109.
16. *Петрова Н.А., Магамедова З.М., Колесников С.И.* Изменение биологических свойств солонцов каштановых при химическом загрязнении // Мат.-лы научн. конф. “Неделя науки 2013”. Ростов н/Д.: Изд-во Южного федерал. ун-та, 2013. С. 126–135.
17. *Елешев Р.Е., Басибеков Б.С., Кисиков К.Ш.* Сравнительная агроэкологическая оценка традиционной и альтернативной систем удобрения культур орошаемой зоны // Проблемы экологии в АПК и охрана окружающей среды. Алматы, 1998. С. 9–13.
18. *Тазобекова Е.Т.* Ферментативная активность почв Республики Казахстан и пути регулирования: Автореф. ... д-ра биол. наук. Алматы, 1998. 40 с.
19. *Утробина Н.М.* Влияние удобрений и гексахлорана на численность и видовой состав почвообитающих беспозвоночных в серой лесной почве под кукурузой // Мат.-лы по фауне и экологии беспозвоночных. Казань, 1968. С. 162–175.
20. *Мельникова О.В.* Влияние средств химизации на накопление тяжелых металлов в системе почва–растение и биологические свойства почв: Автореф. ... канд. с.-х. наук. М., 1999. 20 с.
21. *Bordet F., Inthavong D., Mallet J., Maurice L.* Analysis of traces of organo-chloride pesticides and of polychloro-biphenyls in foods of animal origin. Multiresidue rapid method. Study of the repeatability and improvement of purification // *Analisis.* 1996. V. 24. P. 328–333.
22. *Марчик Т.П., Ефремов А.Л.* Почвоведение с основами растениеводства. Гродно, 2006. 220 с.
23. *Гуляров М.С.* Зоологический метод диагностики почв. М.: Наука, 1965. 278 с.
24. *Syers J.K., Springett J.A.* Earthworms and soil fertility // *Plant Soil.* 1984. V. 76. № 1–3. P. 93–104.
25. *Jouquet P., Dauber J., Lagerlof J., Lavelle P., Lepage M.* Soil invertebrates as ecosystem engineers: Intended and accidental effects on soil and feedback loops // *Appl. Soil Ecol.* 2006. V. 32. P. 153–164.
26. *Suthar S.* Earthworm communities as bio-indicator of arable land management practices: A case study in semiarid region of India // *Ecol. Indic.* 2009. V. 9. P. 588–594.
27. *Curry J.P.* Factors affecting the abundance of earthworms in soil // *Earthworm Ecology* / Ed. Edwards C.A. Boca Raton, FL, USA: CRC Press LLC, 2004. P. 91–114.
28. *Ranson T.S., Billa B.J.* Differences in soil characteristics between field and forest may influence the distribution of an invasive earthworm // *Invertebr. Biol.* 2015. V. 134. P. 78–87.
29. *Ravenek J.* Mineralization and earthworm populations in a Norway spruce forest at Hasslov (SW Sweden), Years after Liming. SLU, Department of Ecology: Uppsala, Sweden, 2009.
30. *Wever L.A., Timothy J.L., Clapperton M.J.* The influence of soil moisture and temperature on the survival, aestivation, growth and development of juvenile *Aporrectodea tuberculata* (eisen) (Lumbiricidae) // *Pedobiologia.* 2001. V. 45. P. 121–133.
31. *Lavelle P., Barois I., Martin A., Zaidi Z., Schaefer P.* Management of earthworm populations in agro-ecosystems. A possible way to maintain soil quality? // *Ecology of arable land-perspectives and challenges* / Eds. Clarholm M., Bergström L. Dordrecht, The Netherlands: Springer, 1989. P. 109–122.
32. *Chan K.Y.* An overview of some tillage impacts on earthworm population abundance and diversity – Implications for functioning in soils // *Soil Till. Res.* 2001. V. 57. P. 179–191.
33. *Сайлауханулы Е., Кенесов Б., Батырбекова С., Хамитова К., Дзекунов В., Карлсен Л., Наурызбаев М.* Решение вопросов по стойким органическим загрязнителям // Пром-ть Казахстана. 2012. № 2 (71). С. 46–51.
34. *Хазиев Ф.Х.* Ферментативная активность почв. Метод. пособ. М.: Наука, 1976. 180 с.
35. *Alimzhanova M., Sergazina M., Yelemessova M., Ashimuly K.* Optimization of gas chromatography – mass-spectrometry parameters for determination fractional and component composition of petroleum // *Proceed. of 16th Inter. Multidisciplin. Sci. Conf. “SGEM”*, Albena, Bulgaria, Book 1. 2016. V. 3. P. 883–890.

36. Peary W., Jreig I. Effect of organic and mineral fertilizers on some soil properties // Commun. Soil Sci. Pland Anal. 1972. V. 36. P. 487–492.
37. Сычев В.Г., Шафран С.А. Влияние агрохимических свойств почв на эффективность минеральных удобрений. М.: ВНИИА, 2012. 200 с.
38. Практические рекомендации по почвенной диагностике азотного питания полевых культур и применению азотных удобрений в сибирском земледелии. М.: Росинформагротех, 2018. 48 с.
39. Бессолицына Е.П. Влияние антропогенных факторов на состояние мезонаселения почв юга Сибири // Биogeография почв. Тез. докл. Международ. конф. Сыктывкар, 2002. С. 59–60.
40. Бутовский Р.О. Экотоксикология почвенных беспозвоночных животных. Тула: Тул. пед. ун-т, 2009. 80 с.
41. Зейферт Д.В., Бикбулатов И.Х., Рудаков К.М., Григорьева Н.Н. Растительные сообщества и почвенная мезофауна территорий химических предприятий в степной зоне Башкирского Предуралья. Уфа: Изд-во УГНТУ, 2000. 166 с.
42. Касымова Ж.С. Влияние загрязнения тяжелыми металлами на биологические свойства темно-каштановой почвы восточного Казахстана // Международ. журн. эксп. образ-я. 2016. № 5–2. С. 169–173.
43. Ладонин Д.В. Соединения тяжелых металлов в почвах – проблемы и методы изучения // Почвоведение. 2002. № 6. С. 682–699.
44. Туkenova З.А., Алимжанова М.Б. Влияние удобрений на физико-химические и биологические свойства светло-каштановой почвы предгорной зоны юго-востока Казахстана // Сб. тр. Международ. науч.-практ. конф., посвящ. 70-летию Т.М. Досмухамбетова. 2019. Т. 3. С. 182.

Effect of Fertilizers on the Physical, Chemical and Biological Properties of Soils in the Irrigation and Bogara Zone of the South-East of Kazakhstan

Z. A. Tukenova^{a, #}, M. B. Alimzhanova^a, K. Ashimuly^b, and T. N. Akyzbekova^b

^aU. Usanov Kazakh Scientific Research Institute of Soil Science and Agrochemistry
al-Farabi Ave. 75b, Almaty A17A6E8, Republic of Kazakhstan

^bKazakh Al-Farabi National University al-Farabi
Ave. 71, Almaty A17A6E8, Republic of Kazakhstan

[#]E-mail: otдел_nauki8@mail.ru

In the system of modern agriculture irrigation zone and bogary South-East of Kazakhstan it was studied physico-chemical and biological properties of the soil under crops, crop rotation crop rotation (maize—rape-seed—soybean—forage beet) irrigated meadow-chestnut soil and rainfed light-chestnut soil under crops of alfalfa in the South-East of the Republic. The results of chromatographic analysis of soil samples for the content of pesticides are shown. The types of soil invertebrates and soil enzymes that should be used as bioindicators for monitoring the contamination of the studied soils with pesticides were identified.

Key words: fertilizers, irrigation, bogara, pesticides, soil mesofauna, soil enzymatic activity, ecology, chromatographic analysis.

Светлой памяти выдающегося агронома-агрохимика
Владимира Ильича Панасина посвящается

ЭФФЕКТИВНОСТЬ СИСТЕМ УДОБРЕНИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ ЙОДА НА ОДНОЛЕТНИХ ТРАВАХ

© 2021 г. А. И. Иванов^{1,2,*}, П. С. Филиппова², П. А. Филиппов¹

¹ Агрофизический научно-исследовательский институт
195220 Санкт-Петербург, Гражданский просп. 14, Россия

² Северо-Западный Центр междисциплинарных исследований проблем продовольственного обеспечения –
Санкт-Петербургский федеральный исследовательский центр РАН
196608 Санкт-Петербург–Пушкин, шоссе Подбельского, 7, лит. А, Россия

*E-mail: ivanovai2009@yandex.ru

Поступила в редакцию 15.10.2020 г.

После доработки 13.11.2020 г.

Принята к публикации 11.02.2021 г.

В многофакторных микрополевых опытах проведена агроэкологическая оценка некорневой подкормки посева однолетних трав раствором KI в широком диапазоне почвенно-агрохимических условий (степень окультуренности почвы от средней до высокой, дозы NPK от 0 до 180 кг/га). Установлено, что лучшим сроком ее проведения была фаза выхода в трубку овса, оптимальная концентрация раствора KI для опрыскивания посевов трав составляла 0.08% на фоне применения N60P30K90 и 0.16% – на неудобренном и слабоудобренном (N30P30K60) фонах. Это повышало урожайность зеленой массы однолетних трав на 1.30–3.69 т/га или 20–80%, содержание йода в ней – на 0.469–0.672 мг/кг или на 640–730%, снижало концентрацию нитратов на 1120–1460 мг/кг или 55–72%. Отзывчивость однолетних трав на некорневую подкормку KI возрастала до 170% по мере увеличения степени окультуренности почвы и снижалась на 9–65% при применении полного минерального удобрения.

Ключевые слова: дерново-подзолистая почва, окультуренность почвы, однолетние травы, система удобрения, йод, некорневая подкормка, качество кормов, урожайность, продуктивность.

DOI: 10.31857/S0002188121050069

ВВЕДЕНИЕ

Специфика почвенно-климатических условий Северо-Западного региона России такова, что основной задачей земледелия является обеспечение крепкой кормовой базы для животноводства [1]. Однако наращивание производства высококачественных, сбалансированных по составу кормов в настоящее время сдерживается совокупностью неблагоприятных факторов. В их числе важное место занимают снижающийся уровень эффективного плодородия дерново-подзолистых почв [2–4], растущие риски погодно-климатических аномалий [5], неудовлетворительное и крайне неоднородное микроэлементное состояние почв [6–8]. В условиях, когда основным фактором оптимизации последнего выступают органические удобрения [9], а среднегодовой уровень их применения сократился до 1–2 т/га, получение по-на-

стоящему высококачественных кормов становится проблематичным.

Особенное, геохимически аномальное положение в этой группе микроэлементов занимает йод. Его дефицит в почвах и природных водах [10–12] негативно сказывается на качестве растениеводческой и животноводческой продукции и, как следствие, на репродуктивной и регуляторной функциях сельскохозяйственных животных [13, 14] и человеческого организма [15–17]. Успешно решить национальную задачу оздоровления населения без всеобъемлющего преодоления последствий геохимической аномалии йодной недостаточности, охватывающей весь северо-западный регион, практически невозможно [16, 17].

Для восполнения недостатка йода сегодня с помощью йодсодержащих компонентов коррек-

тируются рационы питания как человека, так и сельскохозяйственных животных. Доказана положительная роль таких кормовых добавок в укреплении здоровья, повышении репродуктивной функции и увеличении удоев молока коров и коз [18–20]. И все же, несмотря на выраженную очевидность этой проблемы для агрохимической науки, многомасштабные комплексные исследования выполнены к настоящему времени лишь в Калининградской обл. под руководством заслуженного агронома РСФСР, доктора с.-х. наук, профессора В.И. Панасина [21–23]. Их результаты убедительно доказали, что даже приморское расположение региона не гарантирует нормальной обеспеченности почв и сельскохозяйственной продукции йодом. При этом весьма опасно пренебрегать и возможными негативными последствиями, связанными прежде всего с избыточным йодным питанием, которое отделяют от оптимального сотые доли процента концентрации элемента в удобрительных растворах [12, 24].

Цель работы – в комплексном исследовании, в широком диапазоне почвенно-агрохимических условий определить оптимальные концентрации рабочего раствора KI, сроки и кратность некорневых подкормок однолетних трав, а также их агроэкологическую оценку.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Методической базой исследования служил многолетний стационарный полевой опыт “Агрофизический стационар”, развернутый в Меньковском филиале Агрофизического НИИ в Гатчинском р-не Ленинградской обл. в 2006 г. [24, 25]. В условиях этого эксперимента в звене полевого севооборота “картофель – однолетние травы + многолетние травы – многолетние травы” в 2018 г. были заложены 2 микрополевых опыта. В качестве однолетних трав изучали смесевой посев овса (сорт Скаун, 130 кг семян/га) и вики посевной (сорт Вера, 80 кг семян/га). Двухфакторный опыт 1 был спланирован по принципу прецизионного эксперимента и заложен на среднеокультуренной дерново-подзолистой почве с целью поиска оптимальной в диапазоне от 0 до 0.64% концентрации рабочего раствора KI. Схема опыта (фактор А) включала в себя 3 варианта минеральной системы удобрения (контроль – без удобрений, N30P30K60 – NPK-1 и N60P30K90 – NPK-2) и 9 вариантов концентраций рабочего раствора KI (фактор Б) (табл. 1). Опрыскивание посева проводили в фазе выхода в трубку овса. Опыт 2 имел трехфакторную схему и был направлен на поиск оптимальной кратности

обработок йодными микроудобрениями на почвах 3-х видов (фактор А) по степени окультуренности (средне-, хорошо- и высокоокультуренной) с 3-мя аналогичными первому опыту вариантами минеральной системы удобрения (фактор Б). Некорневые подкормки 0.02%-ным раствором KI (фактор В) производили в фазах кущения, выхода в трубку овса, а также двукратно в этих фазах.

Почва опытного участка – дерново-слабоподзолистая пылевато-крупнопесчаная супесчаная на маломощной опесчаненной суглинистой морене, подстилаемой озерно-ледниковым песком и локально – красноцветным моренным песком. В средне-, хорошо- и высокоокультуренном состоянии в пределах пахотного слоя она характеризовалась следующими показателями: pH_{KCl} 5.17, 6.13 и 6.52, содержание гумуса – 2.51, 3.48 и 4.46%, подвижных соединений фосфора – 199, 325 и 364 мг/кг, подвижных соединений калия – 49, 162 и 274 мг/кг и валового йода – 0.94, 1.22, 1.48 мг/кг соответственно. Такая обеспеченность йодом соответствовала крайне недостаточному уровню по классификации, предложенной В.И. Панасиным с соавт. [22].

Площадь опытной делянки в опытах составила 1 м², повторность в опыте 1 – трехкратная, в опыте 2 – шестикратная. Размещение вариантов и повторений систематическое. Минеральные удобрения вносили в форме N_{аа}, АФК и K_x под предпосевную обработку почвы в день посева. Учеты проводили в опытах сплошным весовым методом. Химико-аналитические исследования образцов почвы и зеленой массы однолетних трав были выполнены в ГСАС “Псковская” с использованием стандартизированных методик. Содержание йода в почве было определено роданид-нитритным методом по Проскураковой, в сухой зеленой массе однолетних трав – по ГОСТу 28458-90. Статистическую обработку основных данных проводили дисперсионным, корреляционным и регрессионным методами анализа с использованием программного пакета Statistica.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Полученные в ходе исследования с однолетними травами результаты носили во многих аспектах неожиданный характер, по всей видимости связанный с последствиями для развития культуры весьма вероятной, но необычно продолжительной поздневесенней-раннелетней засухи [5]. Острый недостаток влаги задержал развитие однолетних трав и снизил их продуктивность относительно предшествующих лет [25] в 2.6 раза, а

Таблица 1. Агрonomическая эффективность системы удобрения в опыте 1

Вариант		Урожайность, т/га	Прибавка урожайности					
Фактор А (минеральная система удобрения)	Фактор Б (концентрация раствора КІ)		всего		от минеральной системы удобрения		от КІ	
			т/га	%	т/га	%	т/га	%
Без удобрений	Контроль без удобрений	4.62	—	—	—	—	—	—
	C_{KI}							
	0.005%	5.10	0.49	11	—	—	0.49	11
	0.01%	5.19	0.58	12	—	—	0.58	12
	0.02%	5.98	1.36	30	—	—	1.36	30
	0.04%	6.49	1.87	41	—	—	1.87	41
	0.08%	6.61	1.99	43	—	—	1.99	43
	0.16%	8.30	3.69	80	—	—	3.69	80
	0.32%	7.45	2.84	61	—	—	2.84	61
0.64%	5.76	1.15	25	—	—	1.15	25	
NPK-1	Контроль без удобрений	4.88	0.26	6	0.26	6	—	—
	C_{KI}							
	0.005%	5.33	0.71	15	0.23	4	0.45	9
	0.01%	5.44	0.82	18	0.25	5	0.56	12
	0.02%	5.80	1.19	26	-0.18	-3	0.93	19
	0.04%	6.08	1.46	32	-0.41	-6	1.20	25
	0.08%	6.72	2.11	46	0.11	2	1.85	38
	0.16%	8.22	3.60	78	-0.09	-1	3.34	68
	0.32%	6.88	2.26	49	-0.57	-8	2.00	41
0.64%	6.55	1.93	42	0.79	14	1.67	34	
NPK-2	Контроль без удобрений	6.58	1.96	43	1.96	43	—	—
	C_{KI}							
	0.005%	6.91	2.29	50	1.80	35	0.33	5
	0.01%	6.95	2.34	51	1.76	34	0.37	6
	0.02%	7.24	2.62	57	1.26	21	0.66	10
	0.04%	7.42	2.80	61	0.93	14	0.84	13
	0.08%	7.88	3.27	71	1.27	19	1.30	20
	0.16%	6.20	1.58	34	-2.10	-25	-0.38	-6
	0.32%	5.60	0.98	21	-1.85	-25	-0.98	-15
0.64%	5.16	0.55	12	-0.60	-10	-1.42	-22	
HCP_{05}					0.52		0.68	

Примечание. Вариант NPK-1 – N30P30K60, NPK-2 – N60P30K90. То же в табл. 2.

отдачу от полного минерального удобрения, особенно на среднекультуренной почве – еще значительнее. Применение N30P30K60 в таких условиях оказалось практически неэффективным (табл. 1). Хотя овес положительно отреагировал

на увеличение дозы до N60P30K90 (доля вики в структуре при этом сокращалась с 58 до 31%), абсолютный уровень прибавки урожайности зеленой массы трав был низким. Окупаемость 1 кг д.в. удобрений с трудом достигла 2.1 з.е.

Вопреки ожиданиям действие некорневой подкормки растворами йодистого калия имело более выраженный, чем влияние макроудобрений, физиологический характер. Достоверные прибавки продуктивности трав на всех почвенно-агрохимических фонах опыта были получены при концентрации рабочего раствора KI равной 0.02%. В отличие от картофеля, для которого оптимальная концентрация рабочего раствора находилась в пределах 0.02–0.04% [24], для однолетних трав эта величина достигла 0.16% в вариантах без удобрений и NPK-1 и 0.08% – в варианте NPK-2. Прибавка урожайности зеленой массы трав от некорневой подкормки раствором йодистого калия достигла 80, 68 и 20% соответственно.

По данным корреляционного и регрессионного анализа, как и в случае с картофелем, зависимость между концентрацией рабочего раствора KI (x) и продуктивностью культуры (y) носила практически функциональный прямолинейный характер с уровнем достоверности аппроксимации равном 0.91–0.98: $y = 20.58x + 5.12$ в варианте без удобрений ($R^2 = 0.91$), $y = 19.13x + 5.2$ – в варианте NPK-1 ($R^2 = 0.98$), $y = 14.57x + 6.79$ – в варианте NPK-2 ($R^2 = 0.92$).

Столь высокие, превосходящие по уровню отдачу от полного минерального удобрения прибавки урожайности от применения KI, вероятно, были связаны не столько с физиологической активностью йода, сколько с острой нуждаемостью растений в условиях засухи в усиленном калийном питании. Это положение нашло свое подтверждение в закономерном снижении отдачи от некорневой подкормки по мере роста дозы калия в составе полного минерального удобрения. Абсолютный уровень прибавок урожайности трав в вариантах с оптимальными дозами калия сократился за счет этого фактора в 2.8 раза.

Токсические эффекты от избытка йода были обнаружены при концентрации рабочего раствора KI равной 0.16% в варианте NPK-2 и в 0.32% – в вариантах без удобрений и NPK-1. Безопасная для самих растений концентрация йода в сухом веществе биомассы однолетних трав достигла 0.7 мг/кг (рис. 1а). Превышение этого уровня вызвало общий токсикоз растений, в первую очередь более чувствительной к йоду вики посевной. Внешне он выражался в остановке ростовых процессов за счет ингибирования синтеза белков, антоциановом окрашивании листьев и растущих побегов за счет образования ксантофилоподобных пигментных структур, частичной и полной (к уборке) гибели растений вики.

За счет увеличения концентрации рабочего раствора йодистого калия до 0.16% в данном эксперименте удалось повысить содержание йода в зеленой массе однолетних трав до 7-ми раз (с 0.105 до 0.695 мг/кг). Прямая функциональная зависимость содержания йода (C_1) от концентрации рабочего раствора йодистого калия (C_{KI} или x) имела вид: $C_1 = 0.0994x + 0.082$ при уровне достоверности аппроксимации $R^2 = 0.95$.

В отличие от опыта с картофелем, где подкормка йодом усиливала накопление нитратов в клубнях [24], для однолетних трав эффект был прямо противоположный (рис. 1б). Зависимость от концентрации рабочего раствора (x) при ее повышении до оптимального уровня в 0.16% имела обратно пропорциональный характер: $C_{NO_3^-} = -218.15x + 2052.8$ при уровне аппроксимации $R^2 = 0.91$. Так как установить прямое влияние этого фактора на накопление сырого протеина не удалось (рис. 1в), вероятно, такой эффект мог быть связан с определенными антагонистическими отношениями этих 2-х анионов внутри растительной клетки.

В опыте 2 размах почвенно-агрохимических условий был максимальным (табл. 2). На фоне засухи отзывчивость однолетних трав на окультуривание дерново-подзолистой почвы, вопреки бытующему мнению о их низкой требовательности к уровню почвенного плодородия, оказалась очень высокой. За счет повышения обеспеченности подвижным калием (регулирующим обводненность цитоплазмы клеток) в 3.3 и 5.6 раза, а также полевой влажности почвы в пределах пахотного слоя на 1.72 и 2.23% продуктивность однолетних трав увеличилась на хорошо- и высокоокультуренной почвах на 64 и 210% соответственно. В таких условиях максимальная отдача от полного минерального удобрения, вопреки ожиданиям, была получена на высокоокультуренной почве. Окупаемость 1 кг д.в. удобрений в вариантах NPK-1 и NPK-2 достигла 11.2 и 8.0 з.е., тогда как на хорошоокультуренной почве – 5.7 и 6.3 з.е. соответственно. Естественно, что это стало следствием, в том числе и резкого изменения соотношения между злаковым и бобовым компонентом в пользу первого (с 43 : 57 до 88 : 12).

Выбранная для изучения в опыте 2 концентрация рабочего раствора йодистого калия равная 0.02%, как следовало из данных опыта 1, не была оптимальной в сложившихся погодноклиматических условиях. Вероятно, по этой причине эффективность некорневой подкормки в этом случае носила недостаточно устойчивый характер. Средняя в вариантах урожайность зеленой массы однолетних трав при некорневой подкормке рас-

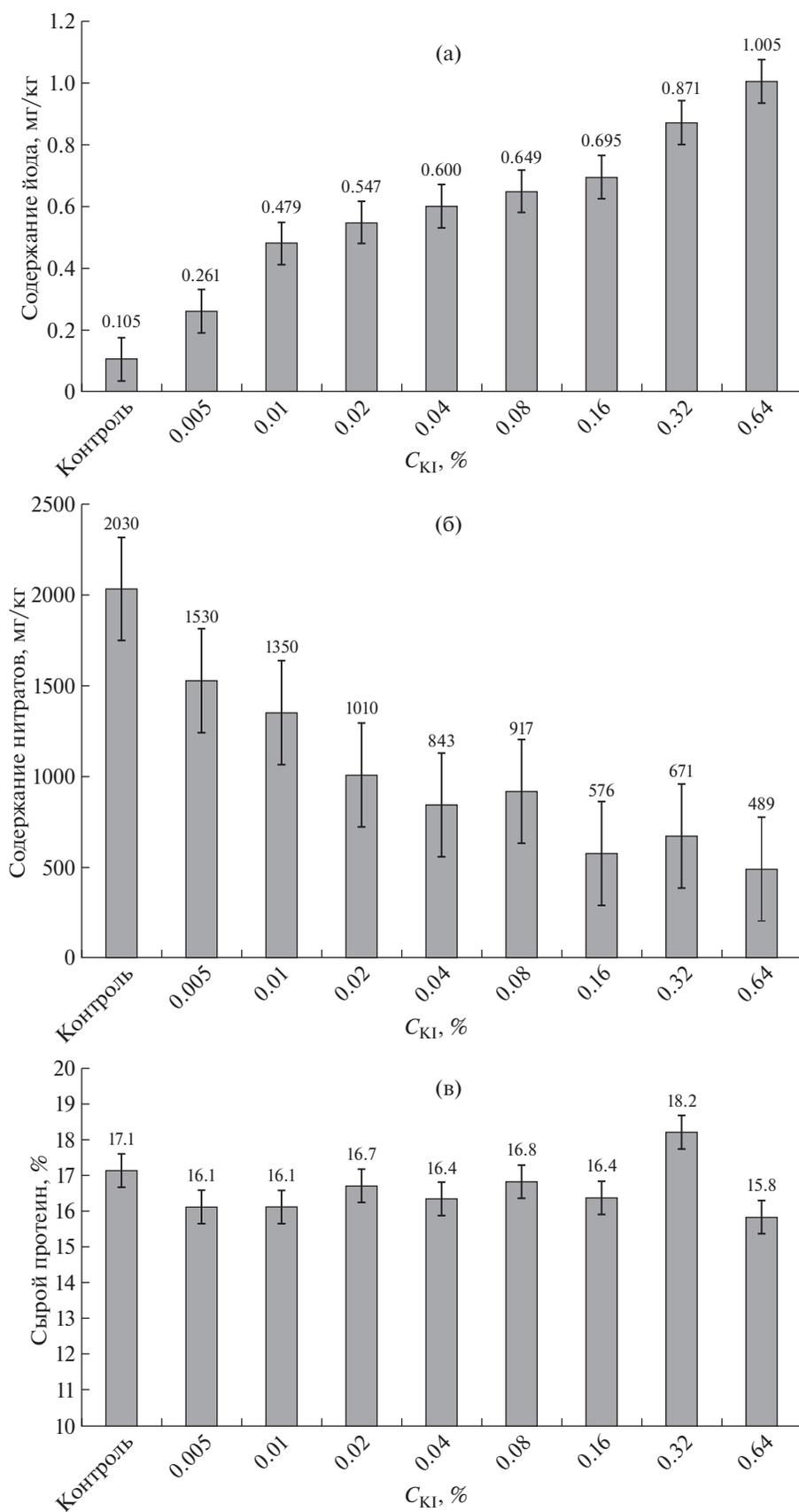


Рис. 1. Зависимость содержания: (а) — йода, (б) — нитратов, (в) — сырого протеина, в сухом веществе зеленой массы однолетних трав от концентрации раствора KI.

Таблица 2. Агрономическая эффективность системы удобрения в опыте 2

Фактор А (окультуренность почвы)		Вариант		Урожайность, т/га	Прибавка урожайности										
фактор А	фактор Б (минеральная система удобрения)	фактор В (подкормка К1 в фазах развития растений овса)	фактор В		всего		от окультуривания		от минеральной системы удобрения		от К1				
				т/га	%	т/га	%	т/га	%	т/га	%	т/га	%		
Среднеокультуренный фон	Без удобрений	Контроль без обработки Кущение Выход в трубку Кущение + выход в трубку	фактор В (подкормка К1 в фазах развития растений овса)	4.5	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
				5.9	1.4	31	—	—	—	—	—	—	1.4	31	
				6.3	1.7	38	—	—	—	—	—	—	—	1.7	38
				5.3	0.8	17	—	—	—	—	—	—	—	0.8	17
	НРК-1	Контроль без обработки Кущение Выход в трубку Кущение + выход в трубку	фактор В (подкормка К1 в фазах развития растений овса)	фактор В	5.0	0.5	11	—	—	—	—	0.5	11	—	
					5.7	1.2	26	—	—	—	—	-0.2	-4	0.7	14
					6.7	2.1	47	—	—	—	—	0.4	6	1.6	32
					6.7	2.2	48	—	—	—	—	1.4	26	1.7	33
	НРК-2	Контроль без обработки Кущение Выход в трубку Кущение + выход в трубку	фактор В (подкормка К1 в фазах развития растений овса)	фактор В	6.5	1.9	42	—	—	—	—	1.9	42	—	
					7.1	2.6	57	—	—	—	—	1.2	20	0.7	11
					6.6	2.0	45	—	—	—	—	0.3	5	0.1	2
					6.1	1.5	34	—	—	—	—	0.8	14	-0.4	-6
Хорошо окультуренный фон	Без удобрений	Контроль без обработки Кущение Выход в трубку Кущение + выход в трубку	фактор В (подкормка К1 в фазах развития растений овса)	7.4	2.9	64	2.9	64	—	—	—	—	—		
				9.4	4.9	110	3.5	58	—	—	—	—	2.0	26	
				9.7	5.1	110	3.4	54	—	—	—	—	2.2	30	
				8.6	4.1	91	3.4	63	—	—	—	—	1.2	16	
НРК-1	Контроль без обработки Кущение Выход в трубку Кущение + выход в трубку	фактор В (подкормка К1 в фазах развития растений овса)	фактор В	11.2	6.7	150	6.2	120	3.8	51	—	—	—		
				12.0	7.5	170	6.3	110	2.6	28	0.8	7	—		
				12.0	7.5	170	5.3	80	2.3	24	0.8	7	—		
				10.3	5.7	130	3.6	54	1.6	19	-1.0	-8	—		

Таблица 2. Окончание

фактор А (окультуренность почвы)	Вариант		Урожай- ность, т/га	Прибавка урожайности							
	фактор Б (минеральная система удобрения)	фактор В (подкормка К1 в фазах развития растений овса)		всего		от окультуривания		от минеральной системы удобрения		от К1	
				т/га	%	т/га	%	т/га	%	т/га	%
Высококультур- ренный фон	NPK-2	Контроль без обработки Кущение Выход в трубку Кущение + выход в трубку	13.7	200	7.3	113	6.3	84	—	—	
			14.2	210	7.1	99	4.8	51	0.5	4	
			14.7	230	8.1	120	5.1	52	1.0	7	
			13.2	190	7.2	120	4.6	53	-0.5	-4	
	NPK-1	Контроль без обработки Кущение Выход в трубку Кущение + выход в трубку	13.9	210	9.4	210	—	—	—	—	
			14.8	230	8.9	150	—	—	0.9	7	
			17.4	280	11.1	180	—	—	3.5	25	
			13.0	190	7.7	150	—	—	-0.9	-7	
	NPK-2	Контроль без обработки Кущение Выход в трубку Кущение + выход в трубку	21.3	370	16.3	320	7.5	54	—	—	
			23.7	420	17.9	310	8.8	60	2.3	11	
			24.2	440	17.6	260	6.9	39	2.9	14	
			20.4	350	13.8	210	7.5	58	-0.9	-4	
NPK-1	Контроль без обработки Кущение Выход в трубку Кущение + выход в трубку	21.9	380	15.4	240	8.0	58	—	—		
		22.9	410	15.8	220	8.1	55	1.0	5		
		24.9	450	18.4	280	7.6	44	3.0	14		
		22.0	390	15.9	260	9.0	70	0.1	0		
НСР ₀₅					0.9		1.5		2.0		

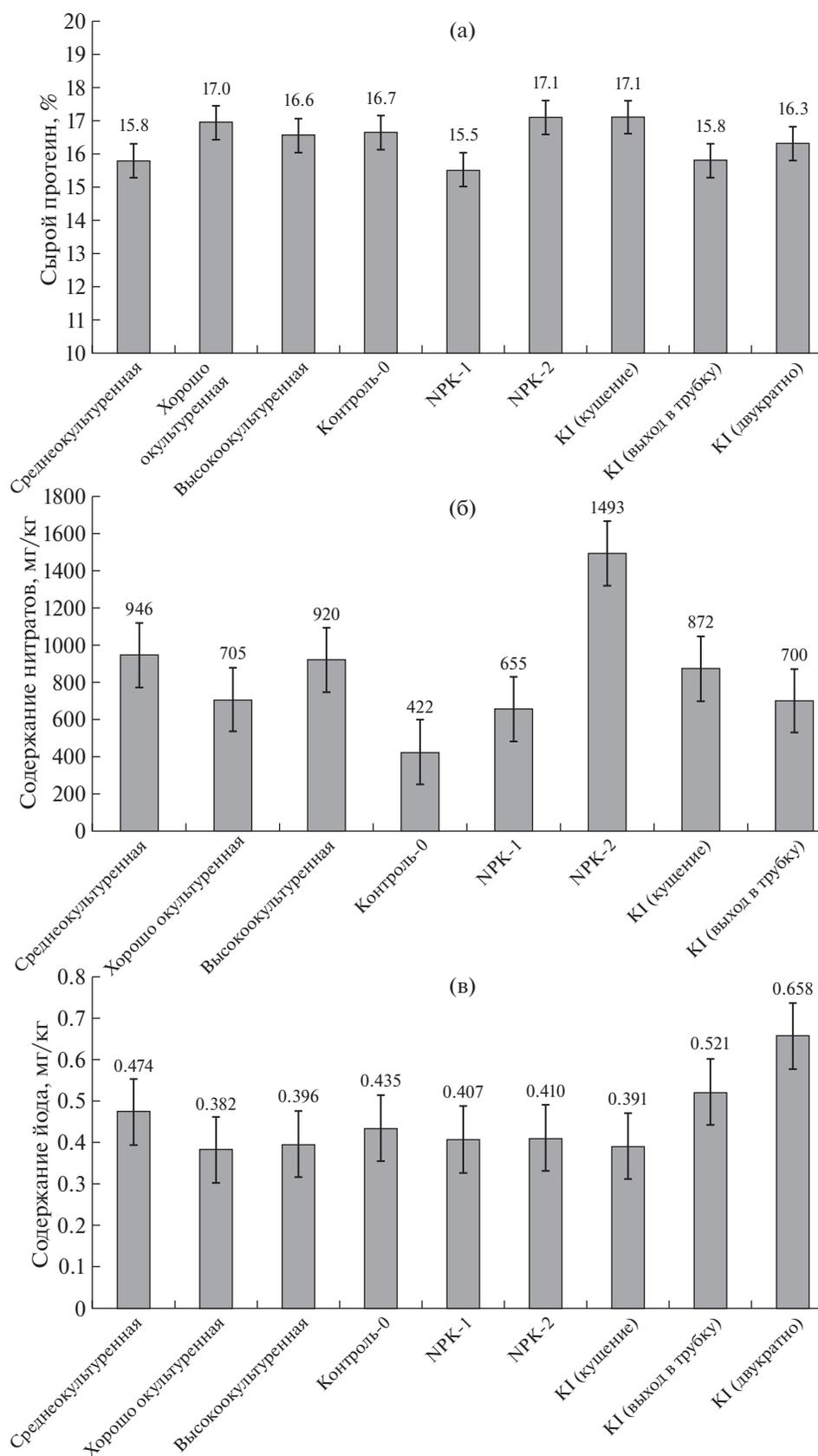


Рис. 2. Зависимость содержания: (а) – сырого протеина, (б) – нитратов, (в) – йода в сухом веществе зеленой массы однолетних трав от почвенно-агрохимических условий и срока применения некорневой подкормки 0.02%-ным раствором К1.

твором КІ в фазе кущения овса характеризовалась лишь тенденцией к увеличению относительно неудообренного йодом фона (11.7 т/га) на 1.1 т/га (на 10%), в фазе выхода в трубку – достоверным увеличением на 1.9 т/га (на 16%), двукратно в обеих фазах – нулевым приростом относительно контроля и достоверным снижением относительно однократной обработки в фазе выхода в трубку. Но даже наиболее эффективный вариант некорневой подкормки однократно в фазе выхода в трубку растений овса позволил повысить продуктивность посева на средне-, хорошо- и высококультуренной почвах всего на 1.2, 1.3 и 3.1 т/га или на 22, 12 и 17% соответственно. Средняя во всех вариантах почвенно-агрохимических условий опыта прибавка урожайности зеленой массы однолетних трав достигла 1.9 т/га (16%), что было в 1.5 раза меньше при подкормке растворами оптимальной концентрации 0.08 и 0.16% КІ в опыте 1 на среднекультуренной почве.

Тем не менее, влияние некорневых подкормок на основные качественные показатели биомассы однолетних трав было вполне ощутимым. Основными факторами изменения содержания сырого протеина в зеленой массе однолетних трав в пределах 0.90–4.73 отн.% были ботанический состав (соотношение бобового и злакового компонентов) и уровень азотного питания, с одной стороны, сокращавший долю вики посевной, с другой стороны, увеличивавший содержание азота в злаковом компоненте (рис. 2а).

Содержание нитратов в зеленой массе однолетних трав в таких условиях практически не зависело от уровня окультуренности почвы (рис. 2б). Под действием азотного компонента полного минерального удобрения в вариантах НРК-1 и НРК-2 оно увеличивалось в среднем на 55 и 350% соответственно. Напротив, как и в опыте 1, некорневая подкормка йодом в фазах кущения и выхода в трубку овса сократила накопление нитратов на 19 и 35% соответственно. Она же имела решающее значение для увеличения в среднем в 3.9–6.6 раза накопления йода в зеленой массе однолетних трав (рис. 2в). При двукратном опрыскивании посева средний уровень накопления йода в надземной биомассе трав приблизился к безопасной пороговой величине 0.7 мг/кг, ставшей критической и в опыте 1.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе комплексного полевого исследования на культуре однолетних трав (смесь вики посевной и овса посевного) было установлено, что смесь была весьма отзывчива на оптимизацию

питания йодом за счет некорневой подкормки как относительно продуктивности, так и биологической ценности зеленой массы. Оптимальным сроком ее проведения установлена фаза выхода в трубку овса. Оптимальная концентрация раствора йодистого калия для опрыскивания посевов с нормой расхода рабочего раствора 300 л/га составила 0.08% на фоне N60P30K90 и 0.16% – на неудообренном и слабоудообренном (N30P30K60) фонах. При этом повышение урожайности зеленой массы однолетних трав достигало 1.30–3.69 т/га или 20–80%, содержания йода в ней – 0.469–0.672 мг/кг или 640–730%, снижение уровня накопления нитратов – 1120–1460 мг/кг или 55–72%.

Отзывчивость посева однолетних трав на некорневую подкормку раствором йодистого калия в оптимальной концентрации в засушливых условиях уменьшалась на фоне полного минерального удобрения в дозах N30P30K60 и N60P30K90 на 9 и 65%. Напротив, по мере повышения степени окультуренности почвы со средней до высокой, абсолютный уровень прибавок продуктивности культуры от некорневой подкормки раствором 0.02% КІ увеличивался на 170% (с 1.16 до 3.14 т/га). При этом среднее содержание йода в зеленой массе трав удалось повысить на 660% (с 0.100 до 0.658 мг/кг).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Научные основы эффективного использования агроресурсного потенциала Северо-Запада России / Под ред. М.В. Архипова. СПб.–Пушкин, 2018. 135 с.
2. *Ефимов В.Н., Иванов А.И.* Деградация хорошо окультуренных дерново-подзолистых почв // Докл. РАСХН. 2001. № 6. С. 21–23.
3. *Иванов А.И., Воробьев В.А., Иванова Ж.А.* Современные деградационные процессы в хорошо окультуренных дерново-подзолистых почвах // Пробл. агрохим. и экол. 2015. № 3. С. 15–19.
4. *Сычев В.Г.* Современное состояние плодородия почв и основные аспекты его регулирования. М.: РАН, 2019. 325 с.
5. *Иванов А.И., Конашенков А.А.* Снижение зависимости земледелия Северо-Запада России от погодноклиматических аномалий: проблемы и решения // Мелиорац. и водн. хоз-во. 2018. № 5. С. 32–37.
6. *Панасин В.И.* Избр. научн. тр. Калининград: Изд-во БФУ им. И. Канта, 2018. Т. 2. Биогеохимические аспекты распространения микроэлементов. 199 с.
7. *Панасин В.И., Депутатов К.В., Рымаренко Д.А.* Эколого-геохимические особенности распределения микроэлементов в почвах Калининградской области // Пробл. агрохим. и экол. 2019. № 3. С. 3–7.
8. *Иванов А.И., Конашенков А.А., Хомяков Ю.В., Фоменко Т.Г., Федькин И.А.* Оценка параметров пространственной неоднородности показателей поч-

- венного плодородия // *Агрохимия*. 2014. № 2. С. 39–49.
9. *Иванов А.И., Суханов П.А., Дымова Е.А., Воробьев В.А.* Влияние различных систем удобрения на микроэлементный состав дерново-подзолистой почвы // *Агрохимия*. 2010. № 12. С. 3–9.
 10. *Шеуджен А.Х.* Биогеохимия. Майкоп: ГУРИПП “Адыгея”, 2003. 1028 с.
 11. *Кашин В.К.* Биогеохимия, физиология и агрохимия йода. Л.: Наука, 1987. 261 с.
 12. *Панасин В.И.* Избр. научн. тр. / Сост., подготовка текста Д.А. Рымаренко. Калининград: Изд-во БФУ им. И. Канта, 2018. Т. 1: Микроэлементы в земледелии. 209 с.
 13. *Карабаева М.Э.* Проблема йододефицита у животных // *Эффект животноводства*. 2018. № 2. С. 28–29.
 14. *Субботин С.В., Хоштария Е.Е., Смирнова Л.В.* Влияние качества кормов на уровень и полноценность питания коров // *Молочно-хоз. вестн.* 2011. № 4. С. 44–46.
 15. *Дедов И.И.* Дефицит йода – угроза здоровью и развитию детей России: Нац. докл. М.: ЮНИСЕФ, 2006. 124 с.
 16. *Хинталь Т.В.* Дефицит йода и йододефицитные заболевания: актуальность проблемы профилактики и лечение в Российской Федерации // *Terra medica nova*. 2010. № 1. С. 25–28.
 17. *Платонова Н.М.* Йодный дефицит: решение проблемы в мире и России (25-летний опыт) // *Consilium Med.* 2015. № 17 (4). С. 44–50.
 18. *Короткова А.А., Мосолова Н.И., Ковзалов Н.И., Козенко З.Н.* Повышение молочной продуктивности и качества молока для детского питания при использовании в рационах козوماتок органических форм йода и селена // *Изв. Нижневолж. агроуниверситет. компл.* 2011. № 4 (24). С. 1–6.
 19. *Белосов Н.М.* Эффективность использования Гумитона, обогащенного йодом, в рационах высокопродуктивных коров // *Достиж науки и техн АПК*. 2012. № 5. С. 61–63.
 20. *Шалак М.В., Почкина С.Н., Марусич А.Г., Муравьева М.И., Шейграцова Л.Н.* Коррекция продуктивности коров йодсодержащим препаратом “Йодомарин” // *Актуал. пробл. интенсиф. разв. животноводства*. 2019. № 22–2. С. 85–93.
 21. *Панасин В.И., Рымаренко Д.А., Дедков В.П., Саврасова В.А.* Содержание и распространение йода в экосистемах Калининградской области. Калининград: Изд-во Калининград. гос. ун-та, 2002. 115 с.
 22. *Панасин В.И., Вихман М.И., Чечулин Д.С., Рымаренко Д.А.* Агрохимические особенности распределения йода в почвах агроландшафтов Калининградской области // *Плодородие*. 2019. № 1 (106). С. 31–35.
 23. *Панасин В.И., Рымаренко Д.А., Вихман М.И., Чечулин Д.С.* Действие йодных микроудобрений на урожай и качество озимого рапса // *Агрохим. вестник*. 2019. № 2. С. 39–41.
 24. *Иванов А.И., Филиппова П.С., Филиппов П.А.* Некоторые возможности управления продуктивностью и качеством картофеля (*Solanum tuberosum* L.) с использованием йода // *Пробл. агрохим. и экол.* 2019. № 4. С. 43–49.
 25. *Филиппов П.А.* Эффективность средств управления продуктивностью культур и плодородием почв в полевом и овоще-кормовом севооборотах // *Пробл. агрохим. и экол.* 2020. № 1. С. 14–19.

Efficiency of the Fertilizer Systems with Iodine on Annual Grasses

A. I. Ivanov^{a, b, #}, P. S. Filippova^b, and P. A. Filippov^a

^a *Agrophysical Research Institute
Grazhdanskiy prosp. 14, St.-Peteburg 195220, Russia*

^b *Northwestern Center for Interdisciplinary Research on Food Security Problems –
Saint Petersburg Federal Research Center of the RAS
shosse Podbelskogo 7, lit. A, Saint Petersburg–Pushkin 196608, Russia*

[#] *E-mail: ivanovai2009@yandex.ru*

In multivariate microfield experiments, an agroecological assessment of non-root top dressing of annual grasses with KI solution was carried out in a wide range of soil and agrochemical conditions (the degree of soil cultivation from medium to high, NPK doses from 0 to 180 kg/ha). It is established that the best period was a phase of booting, oats, optimal concentration of KI solution for spraying herbs amounted to 0.08% on the background of the application N60P30K90 and 0.16% for waste and slobodina (N30P30K60) backgrounds. This increased the yield of the green mass of annual grasses by 1.30–3.69 t/ha or 20–80%, the iodine content in it-by 0.469–0.672 mg/kg or 640–730%, reduced the concentration of nitrates by 1120–1460 mg/kg or 55–72%. The responsiveness of annual grasses to non-root top dressing KI increased to 170% as the degree of cultivation of the soil increased and decreased by 9–65% when using a full mineral fertilizer.

Key words: sod-podzolic soil, soil cultivation, single-year grasses, fertilizer system, iodine, foliar top dressing, feed quality, yield, productivity.

УДК 632.651/.955:635.21

ЗАЩИТА КАРТОФЕЛЯ ОТ ЗОЛОТИСТОЙ КАРТОФЕЛЬНОЙ НЕМАТОДЫ *Globodera rostochiensis* W. В СЕВЕРО-ЗАПАДНОМ РЕГИОНЕ РОССИИ

© 2021 г. Н. Е. Агансонова

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

*E-mail: agansonovan@mail.ru

Поступила в редакцию 23.10.2020 г.

После доработки 16.11.2020 г.

Принята к публикации 11.02.2021 г.

Биологическая эффективность почвенного применения нематодицида Видат 5 Г, Г в норме расхода 20, 40, 80 кг/га против золотистой картофельной нематоды *Globodera rostochiensis* W. (GR) на GR-чувствительном сорте Невский составила 35, 63 и 98%. Использование нематодицида с GR-устойчивым сортом Sante в защите картофеля от фитогельминта дала возможность повысить биологическую эффективность, уменьшить количество препарата и сократить количество обработок. Сочетание Видат 5 Г, Г в норме расхода 20, 40, 80 кг/га с сортом Sante после двухлетнего применения не привела к обнаружению жизнеспособных нематод. GR-восприимчивые сорта картофеля следует выращивать с использованием нематодицида.

Ключевые слова: защита картофеля, *Globodera rostochiensis* W., Видат нематодицид 5 Г, Г., сорта картофеля.

DOI: 10.31857/S0002188121050033

ВВЕДЕНИЕ

Проблема борьбы с золотистой картофельной нематодой *Globodera rostochiensis* W., объектом внутреннего и внешнего карантина, включенным в список Европейской организации по защите растений (ЕРО) — одна из самых экономически значимых и препятствующих развитию картофелеводства, приоритетного направления с.-х. производства России.

Ни один из современных методов борьбы (биологический, агротехнический, химический) отдельно не обеспечивает ее быстрый и полный контроль на картофеле *Solanum tuberosum* L. Фитопаразит вызывает снижение урожайности и ухудшение качества клубней, в том числе проявляющееся в уменьшении содержания крахмала и витамина С, способен усугублять грибные и бактериальные болезни культуры, переносить вирусы, увеличивать заселенность колорадским жуком *Leptinotarsa decemlineata* S., снижать эффективность комплексных минеральных удобрений. Длительная жизнеспособность цист при неблагоприятных условиях (10 и более лет) и отсутствии растений-хозяев, а также возможность преодолевать их устойчивость, опасность появления агрессивных патотипов, высокая скорость размножения, очаговое распространение, существенно усложняющее своевременное выявление, выращивание картофеля в монокультуре и возделывание восприимчивых сортов, обеспечивающих нараста-

ние численности, вызывают необходимость интеграции методов для совершенствования систем защиты картофеля от фитогельминта.

Стратегия борьбы с фитопаразитической нематодой согласно рекомендациям Европейского общества по защите и карантину растений (ЕОЗР) состоит в снижении численности популяций до экономически неврежденного уровня [1].

В целях реализации в сельскохоззяйственном производстве для обеспечения растениеводческой продукции потенциала таких факторов как сорт и химические средства защиты растений [2, 3], основываясь на том, что оздоровление почв научно обоснованными средствами защиты растений — императивный фактор стабилизации продуктивности растениеводства [4], устойчивость отрасли обеспечивает в том числе ассортимент сортов [5], учитывая необходимость экологизации приемов защиты растений — базового атрибута адаптивной интенсификации растениеводства [6], длительность снижения численности популяции нематоды при возделывании нематодоустойчивых сортов картофеля (до 60–95% после 1–3 лет выращивания) [7], зависимость эффективности использования сортов от уровня зараженности почвы фитопаразитом (снижение урожайности и эффективности очищения почвы при предпосадочной плотности популяции >5 тыс. инвазионных личинок/100 см³) [8], актуальной является разработка эффективной и

экологически малоопасной системы борьбы с применением нематодицидов, гарантирующих максимальное снижение уровня инвазионного заражения и сортов картофеля, устойчивых к патотипу R₀1 *G. rostochiensis*, при их рациональном сочетании.

Химические препараты, разрешенные к применению в РФ против золотистой картофельной нематоды на картофеле, из-за высокой токсичности в “Государственном каталоге ...” отсутствовали, в 2019 г. в него был включен для использования нематодицид Видат 5 Г, Г.

Цель работы – оценить биологическую эффективность нематодицида Видат 5 Г, Г против золотистой картофельной нематоды и перспективы совместного использования препарата с нематоустойчивым сортом картофеля.

МЕТОДИКА ИСЛЕДОВАНИЯ

Мелкоделяночные эксперименты проводили в 1-й почвенно-климатической зоне Северо-Западного региона РФ (Ленинградская обл.) на дерново-подзолистой суглинистой почве в посадках картофеля *Solanum tuberosum* L. (Solanaceae) в 2014–2015 гг.

Объект исследования – золотистая картофельная нематода *Globodera rostochiensis* (Wollenweber, 1923) Skarbilovich, 1959 (Tylenchida: Heteroderidae) патотип R₀1. Методами морфометрии, ПЦР и биотеста с использованием растений-дифференциаторов установлено, что в Северо-Западном регионе РФ распространен вид *G. rostochiensis* R₀1 [9].

В исследовании использовали классические нематологические методы [10]. В каждой повторности всех вариантов буром объемом 5 см³ отбирали через 10–15 см пробы почвы. Объем почвенной пробы – 1.5 л. Количество проб, собранных из пахотного слоя 0–25 см почвы – 20 и 2 пробы на повторность для каждого опыта. Почвенные пробы просушивали 14 сут на воздухе до воздушно-сухого состояния, тщательно перемешивали и выделяли для анализа средние, объемом 400 мл. Выделение цист из почвы проводили методом флотации. Зараженность почвы фитогельминтом выражали количеством живых личинок, содержащихся в цистах, выделенных из 100 см³ почвы.

Нематодицид Видат 5 Г, Г (50 г/кг): препаративная форма – гранулы, д.в. – оксамил (*ISO*), N,N-диметил-2-метилкарбамоилоксимино-2-(метилтио) ацетамид (IUPAC), производитель: ДюПон-Химпром, регистрант: ООО “Дюпон Наука и Технологии”. Препарат вносили ручным способом на поверхность почвы с последующей заделкой гранул на глубину 5 см перед посадкой клубней картофеля. Рекомендованные нормы расхода и способы применения нематодицида – рядковое внесение одновременно с посадкой картофеля в норме расхода 20 кг/га и сплошное внесение перед посадкой клубней с заделкой в почву в нормах применения 40 и 80 кг/га.

Схема опыта по оценке биологической эффективности нематодицида на естественном очаге нематоды (табл. 1) включала внесение препарата рядковое (20 кг/га) и сплошное (40 и 80 кг/га) с посадкой клубней восприимчивого сорта картофеля Невский (селекция ЛенНИИСХ “Белогорка”). Учет численности фитопаразита проводили до посадки картофеля, в течение вегетации – через 6 нед после внесения препарата и после уборки культуры. Размер опытных делянок 10 м². Контроль – без внесения препарата.

Биологическую эффективность оценивали по изменению количества живых личинок нематоды в опыте от аналогичного показателя в контроле и рассчитывали по формуле Хендерсона–Тилтона [11].

Схема опыта при изучении перспектив совместного использования нематодицида с нематоустойчивым сортом Sante (Agrico U.A, Нидерланды) на естественном фоне заражения фитогельминтом (табл. 2) включала одно- и двухлетнее внесение препарата в рекомендованных нормах расхода и способах внесения с посадкой клубней картофеля устойчивого сорта Sante. Для сравнения использовали одно- и двухгодичное возделывание устойчивого сорта Sante и восприимчивого сорта Невский, внесение нематодицида в рекомендованных нормах применения и способах внесения с посадкой клубней восприимчивого сорта Невский. Площадь опытных делянок – 1 м². Численность фитогельминта учитывали до посадки картофеля, определяя исходную степень зараженности почвы и после уборки культуры.

Для определения жизнеспособности личинок использовали метод окрашивания 0.05%-ным водным раствором малахитового зеленого. Через 10 мин мертвые личинки окрашивались в голубовато-зеленоватый цвет, живые не окрашивались. Использованный метод подтверждали методом визуальным для оценки жизнеспособности личинок нематод: у жизнеспособной личинки наблюдали активное движение при уколе иглой – видимые спонтанные движения, волнистые изгибы тела и ненарушенную структуру внутренних органов. К мертвым относили неподвижных, вытянутых нематод или с угловатыми изгибами тела, зернистостью пищевода и вакуолизацией внутренностей. Отсутствие жизнеспособности таких нематод подтверждали путем перенесения их в чашку Петри с водой на 3-и сут.

Повторность опытов четырехкратная. Размещение опытных делянок – рендомизированное, мероприятия по уходу – рыхление междурядий, трехкратное окучивание. Органические и минеральные удобрения не вносили. Культура-предшественник – картофель.

Статистическую обработку экспериментальных данных проводили дисперсионным методом

Таблица 1. Биологическая эффективность нематодицида Видат 5 Г, Г против золотистой картофельной нематоды на картофеле

Норма расхода препарата, кг/га	Зараженность почвы живыми личинками, экз./100 см ³			Снижение численности личинок относительно контроля, %	
	до посадки культуры (перед внесением препарата)	в течение вегетации (через 6 нед после внесения препарата)	после уборки культуры	в течение вегетации (через 6 нед после внесения препарата)	после уборки культуры
Видат 5 Г, Г, рядковое внесение одновременно с посадкой					
20	2450 ± 110(a)	2090 ± 38(b)	4090 ± 250(b)	26	35
Видат 5 Г, Г, сплошное внесение перед посадкой с заделкой в почву					
40	1570 ± 110(b)	830 ± 40(c)	1500 ± 100(c)	54	63
80	2560 ± 190(c)	370 ± 20(d)	145 ± 10(d)	87	98
Контроль (без внесения препарата)					
—	2270 ± 70(a)	2610 ± 190(a)	5860 ± 160(a)	—	—

Примечание. Средние величины с разными буквенными индексами достоверно различались ($p \leq 0.05$). То же в табл. 2.

с использованием компьютерной программы ANOVA. В таблицах приведены средние величины показателей \pm ошибка средней. Данные с разными буквенными индексами внутри графы достоверно различались при $p \leq 0.05$.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Анализ данных биологической эффективности показал, что нематодицид Видат 5 Г, Г в Северо-Западном регионе России обеспечивал эффективную защиту восприимчивого сорта картофеля Невский от золотистой картофельной нематоды при средней степени зараженности почвы (табл. 1). Биологическая эффективность препарата в нормах расхода 20, 40, 80 кг/га при рядковом и сплошном внесении с заделкой в почву перед посадкой клубней составляла после уборки культуры 35, 63 и 98% соответственно. Пестицид, обеспечивая длительный период защитного действия (>6 нед), существенно сократил численность инвазионных личинок II возраста фитопаразитической нематоды, мигрирующих из цисты в корни растений, в течение одного вегетационного сезона выращивания картофеля.

При оценке совместного использования нематодицида с различными по устойчивости к нематоды сортами картофеля установлено, что при выращивании восприимчивого сорта Невский препарат обеспечивал статистически достоверное снижение высокого уровня заражения почвы фитогельминтом (табл. 2). Снижение численности живых личинок при его применении в нормах расхода 20, 40, 80 кг/га при рядковом и сплошном внесении составляло 30.3, 53.3 и 92.6%. В отсутствие химической защиты одно- и двухгодичное возделывание сорта Невский увеличивало численность личинок паразита на 90.4 и 183% соответственно.

Установлена возможность высокоэффективного снижения численности фитопаразита (на 92.3–100%) при использовании препарата в сочетании с устойчивым сортом картофеля Sante. Сравнительный анализ полученных данных при уборке культуры, с учетом статистически недостоверного отличия предпосадочной численности фитогельминта на делянках, показал следующее.

Рядковое внесение на поверхность почвы гранул нематодицида в норме расхода 20 кг/га перед посадкой клубней устойчивого сорта Sante было сравнимо со сплошным внесением в норме применения 80 кг/га с последующим выращиванием восприимчивого сорта Невский и превышало двухлетнее рядковое внесение 20 кг/га под картофель сорта Невский.

Сочетание указанной технологии применения препарата с возделыванием устойчивого сорта Sante позволило уменьшить рекомендованную для сплошного внесения против нематоды норму применения в 4 раза и сократить кратность обработок в 2 раза.

Внесение препарата сплошное в норме расхода 20 кг/га с посадкой клубней сорта Sante было сравнимо с почвенным применением сплошным при выращивании сорта Невский в норме 80 кг/га и с двухгодовым возделыванием сорта Sante.

Применение нематодицида с посадкой устойчивого сорта Sante снизило рекомендованную норму применения при указанном способе внесения в 4 раза и срок полного очищения почвы от фитогельминта при выращивании сорта Sante в 2 раза.

Применение нематодицида сплошное в норме расхода 40 кг/га с посадкой сорта Sante сравнимо со сплошным внесением в норме 80 кг/га с возделыванием сорта Sante и использованием препарата в течение 2-х лет в норме 40 кг/га в сочетании с

Таблица 2. Изменение численности нематоды при использовании нематицида Видат 5 Г, Г в сочетании с выращиванием нематодоустойчивого сорта картофеля Sante и восприимчивого сорта Невский

Препарат Видат 5 Г, Г, норма расхода, кг/га	Зараженность почвы живыми личинками, экз./100 см ³		Изменение послеуборочной численности личинок по сравнению с предпосадочной, %
	до посадки клубней	после уборки	
	Сорт Sante		
20	Рядковое внесение одновременно с посадкой		
	5580 ± 340(a)	429 ± 66	-92.3 (p)
	Сплошное внесение перед посадкой с заделкой в почву		
	5250 ± 420(a)	210 ± 21	-96 (u)
40	Рядковое 2-летнее внесение одновременно с посадкой		
	5150 ± 440(a)	0	-100 (r, x, w)
80	Сплошное внесение перед посадкой с заделкой в почву		
	5300 ± 380(a)	3.8 ± 2.6	-99.9 (n)
	Сплошное 2-летнее внесение перед посадкой с заделкой в почву		
	7030 ± 600 (a)	0	-100 (x, r, w)
Сорт Невский	Сплошное внесение перед посадкой с заделкой в почву		
	5630 ± 370(a)	4.8 ± 3.1	-99.9 (m, n)
	Сплошное 2-летнее внесение перед посадкой с заделкой в почву		
	6830 ± 370(a)	0	-100 (w, r, x)
20	Сорт Невский		
	Рядковое внесение одновременно с посадкой		
	5940 ± 250(a)	4140 ± 190	-30.3 (y)
	Рядковое 2-летнее внесение одновременно с посадкой		
40	Сорт Невский		
	6080 ± 70(a)	2470 ± 140	-59.4 (l)
80	Сплошное внесение перед посадкой с заделкой в почву		
	6870 ± 350(a)	3210 ± 190	-53.3 (z)
	Сплошное 2-летнее внесение перед посадкой с заделкой в почву		
	5420 ± 380(a)	8.8 ± 1.9	-99.9 (f, m, n)
Сорт Невский	Сплошное внесение перед посадкой с заделкой в почву		
	5790 ± 110(a)	428 ± 45	-92.6 (d, p)
	Сплошное 2-летнее внесение перед посадкой с заделкой в почву		
	6370 ± 250(a)	6.3 ± 2.3	-99.9 (j, f, m, n)
Сорт Sante	1-летнее возделывание		
	5080 ± 440(a)	9670 ± 780	+90.4 (c)
Сорт Sante	2-летнее возделывание		
	4940 ± 480(a)	14000 ± 1500	+183 (o)
Сорт Sante	1-летнее возделывание		
	6060 ± 130(a)	1890 ± 100	-68.8 (a)
Сорт Sante	2-летнее возделывание		
	6090 ± 190 (a)	247 ± 8	-95.9 (b, u)

сортом Невский, превышало двухгодичное выращивание картофеля сорта Sante.

Интеграция нематицида с устойчивым сортом Sante позволила уменьшить в 2 раза норму применения и кратность обработки, а также срок отдельного возделывания сорта Sante для уничтожения паразита.

Двухлетнее совместное использование химического препарата в нормах расхода 20, 40 и 80 кг/га с сортом Sante, обеспечивающее полное подавление нематоды в почве, превышало эффективность отдельных двухгодичных внесений нематицида в нормах 20, 40 и 80 кг/га перед посадкой клубней сорта Невский и выращивания сорта Sante. Обработка

пестицидом устраняла необходимость возделывания более 2-х лет устойчивого сорта Sante для полного очищения почвы от нематоды.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Высокая биологическая эффективность нематодицида Видат 5 Г, Г против золотистой картофельной нематоды свидетельствовала о возможности решения проблемы сортов картофеля, имеющих ограниченное применение для получения хозяйственной эффективности при возделывании на зараженной фитопаразитом почве в отсутствии химической защиты.

Применение нематодицида может иметь существенное практическое значение при вовлечении в оборот неиспользуемых из-за заражения нематодой земель сельскохозяйственного назначения для обеспечения высокоэффективного производства картофеля.

Для максимального снижения заражения почвы фитопаразитической нематодой препарат Видат 5 Г, Г целесообразно использовать в сочетании с посадкой районированных сортов картофеля с высоким уровнем устойчивости к фитогельминту.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. EPPO Bulletin 48 (3): PM 9/26 (1) National regulatory control system for *Globodera pallida* and *Globodera rostochiensis*. 2018. P. 516–532.
2. Кудеяров В.Н. Баланс азота, фосфора и калия в земледелии России // Агрохимия. 2018. № 10. С. 3–11.
3. Кудеяров В.Н. Агрогеохимические циклы углерода и азота в современном земледелии России // Агрохимия. 2019. № 12. С. 3–15.
4. Кудеяров В.Н., Соколов М.С., Глинушкин А.П. Современное состояние почв агроценозов России, меры по их оздоровлению и рациональному использованию // Агрохимия. 2017. № 6. С. 3–11.
5. Соколов М.С., Глинушкин А.П., Спиридонов Ю.Я., Торопова Е.Ю., Филипчук О.Д. Технологические особенности почвозащитного ресурсосберегающего земледелия (в развитие концепции ФАО) // Агрохимия. 2019. № 6. С. 3–20.
6. Соколов М.С., Спиридонов Ю.Я., Глинушкин А.П., Каракотов С.Д. Стратегия фундаментально-прикладных исследований в сфере адаптивно-интегрированной защиты растений // Агрохимия. 2018. № 5. С. 3–12.
7. Шестенеров А.А., Федотова Е.Л., Закабунина Е.Н., Колесова Е.А. Создание нематодоустойчивых сортов и гибридов сельскохозяйственных культур. М.: РГАЗУ, 2004. 96 с.
8. Володин А.И., Грибоедова О.Г., Шестенеров А.А. Применение глободероустойчивых сортов картофеля в очаге золотистой картофельной нематоды *Globodera rostochiensis* // Тр. Центра паразитологии. Т. L: Биоразнообразие паразитов. М.: Товарищество научн. изданий КМК, 2018. С. 64–66.
9. Лиманцева Л.А. Золотистая картофельная нематода *Globodera rostochiensis* в Северо-Западном регионе РФ: состав популяции, источники и доноры устойчивости: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. СПб.: ВИЗР, 2010. 21 с.
10. Кирьянова Е.С. Паразитические нематоды растений и меры борьбы с ними. Л.: Наука, 1969. Т. 1. 447 с.; 1971. Т. 2. 521 с.
11. Гуськова Л.А., Метлицкий О.З., Данилов Л.Г., Белоножко Г.А., Болотный А.В., Зорьева Т.Д., Хрянина Р.А. Методические указания по проведению государственных испытаний нематодицидов. М., 1983. 34 с.

Potato Protection System from Potato Golden Nematode *Globodera rostochiensis* W. in Northwest region of Russia

N. E. Agansonova

All-Russian Institute of Plant Protection sh. Podbel'skogo 3, St. Petersburg–Pushkin 196608, Russia

E-mail: agansonovan@mail.ru

The biological effectiveness of soil application of nematicide Vidat 5 G, G at 20, 40, 80 kg/ha against potato golden nematode *Globodera rostochiensis* W. (GR) on GR-susceptible cv. Nevskij was 35, 63 и 98%. Using of nematicide with GR-resistant cv. Sante in potato protection against phytohelminth provided the possibility to increase biological effectiveness and to reduce the amounts of preparation and the number of treatments. The combination of 20, 40, 80 kg/ha of Vidat 5 G, G with cv. Sante after two years application resulted in no detectable viable nematode. GR-susceptible potato cultivars are should be to grown provided of nematicide application.

Key words: potato protection system, *Globodera rostochiensis* W., Vidat 5 G, G, cultivar.

УДК 632.952:532.4:633.1

ДЕЙСТВИЕ ФУНГИЦИДОВ НА РОСТ ГРИБОВ, ВЫЗЫВАЮЩИХ СНЕЖНУЮ ПЛЕСЕНЬ ЗЛАКОВ¹

© 2021 г. А. С. Орина^{1,*}, Т. Ю. Гагкаева¹, О. П. Гаврилова¹, М. Ю. Усольцева²

¹ Всероссийский научно-исследовательский институт защиты растений (ВИЗР)
196608 Санкт-Петербург—Пушкин, ш. Подбельского, 3, Россия

² Группа ботанических исследований
41319 Гетеборг, ул. Карла Скоттберга, 22В, Швеция

*E-mail: orina-alex@yandex.ru

Поступила в редакцию 09.10.2020 г.

После доработки 11.11.2020 г.

Принята к публикации 11.02.2021 г.

Анализировали чувствительность к 7-ми препаратам и тебуконазолу 22 штаммов *Microdochium majus*, *M. nivale* и *F. culmorum* при их культивировании на питательной среде, содержащей разные концентрации фунгицидов. Выявлена высокая и сходная чувствительность к тебуконазолу и пропиконазолу штаммов *F. culmorum* и *M. nivale*. Чувствительность *M. nivale* к содержащим стробилурины фунгицидам была выше, чем *F. culmorum* и *M. majus*. Флудиоксонил подавлял рост *F. culmorum* лучше, чем грибов *Microdochium*. Штаммы *M. majus* в среднем были менее чувствительными ко всем анализированным фунгицидам, из них 62.5% штаммов продемонстрировали резистентность к 1–2-м препаратам, содержащим стробилурины. В то же время 45% штаммов *M. nivale* показали резистентность к 1–4-м препаратам, содержащим стробилурины или триазолы. Штаммы *Microdochium*, выделенные из зерна, были достоверно менее чувствительны к триаколам и 2-м содержащим стробилурины препаратам, чем штаммы из листьев растений. Географическое происхождение штаммов грибов не оказывало влияния на их чувствительность к фунгицидам.

Ключевые слова: *Microdochium majus*, *Microdochium nivale*, фунгицид, эффективность, резистентность.

DOI: 10.31857/S0002188121050094

ВВЕДЕНИЕ

К вредоносному заболеванию злаковых трав относится снежная плесень, возбудителями которой являются грибы из разных таксономических групп, но наиболее часто выявляют представителей рода *Microdochium* Syd. & P. Syd. Недавние исследования показали, что в РФ на злаковых растениях встречаются несколько видов грибов этого рода, среди которых доминируют *M. nivale* (Fr.) Samuels & I.C. Hallett и *M. majus* (Wollenw.) Glynn & S.G. Edwards [1].

Грибы рода *Microdochium* относятся к эндофитным организмам, часто существующим бессимптомно в тканях растений и не наносящим им вреда. Присутствие этих грибов в семени не приводит к ухудшению прорастания, развития растений и не влияет на качество урожая. Однако такое “безболезненное” для растения сосуществование происходит только при благоприятных условиях

окружающей среды. При ослаблении хозяина грибы *Microdochium* вызывают снежную плесень, ожог листьев, паршу колосьев [2]. Анализ патогенности штаммов разных видов *Microdochium* на отрезках листьев зерновых культур показал их способность вызывать некрозы растительной ткани, величина которых зависела от штамма [3–5].

Кроме того, в комплексе возбудителей, вызывающих снежную плесень, гниль проростков, пятнистости листьев злаковых культур, а также инфицированность семян встречаются грибы рода *Fusarium* Link, из которых *F. culmorum* (Wm.G. Sm.) Sacc. является одним из наиболее агрессивных патогенов [6].

Снежная плесень на зерновых культурах, газонах городских парков и скверов, полей спортивных сооружений проявляется в весенний период. Зараженные растения отстают в росте, гибнут их надземная и подземная части, и в результате на растительном покрове появляются плешки различной величины и конфигурации. Основными путями оздоровления являются технологические

¹ Исследование выполнено при поддержке гранта РФФ (проект № 19-76-30005).

приемы – выравнивание поверхности, посев качественных семян устойчивых видов и сортов трав, своевременное использование комплекса минеральных удобрений. На полях сельхозугодий опрыскивания растений фунгицидами применяют как профилактические (осенью) и лечебные (весной) меры для борьбы с заболеваниями [7, 8]. В отличие от посевов зерновых на газонных травах снежная плесень может быть активна и вызывать повреждение круглый год. Для создания ровного плотного покрова траву часто стригут, ограничивают азотные удобрения и полив, что создает благоприятные условия для развития снежной плесени [9]. Например, частое проявление снежной плесени газонных трав и необходимость борьбы с заболеванием объясняют массовое использование фунгицидов в Канаде [10].

Ассортимент разрешенных к применению на территории РФ коммерческих фунгицидов, направленных на борьбу со снежной плесенью в течение вегетации, ограничен. В 2020 г. на зерновых культурах для опрыскивания в период вегетации разрешены 5 препаратов на основе беномила и 3 препарата на основе карбендазима и его комбинации с флутриафолом [11]. Для защиты газонов от болезней разрешены 2 фунгицида: двухкомпонентный препарат на основе карбоксина и тирама и препарат на основе азоксистробина.

Ассортимент протравителей для обработки зерновых культур против снежной плесени значительно шире и включает 79 препаратов на основе 18 действующих веществ (д.в.) из разных классов и их комбинаций, а также 2 биопрепарата на основе *Pseudomonas aureofaciens* BS 1393.

Цель работы – оценка чувствительности к фунгицидам широко распространенных грибов *M. nivale* и *M. majus*, а также *F. culmorum*, вызывающих вредоносные заболевания злаковых культур.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

В качестве объектов исследования были выбраны 8 штаммов *M. majus*, 11 штаммов *M. nivale* и 3 штамма *F. culmorum*. Все анализированные штаммы выделены из зерновых культур и злаковых трав различного географического происхождения (19 штаммов из РФ – Белгородская, Брянская, Воронежская, Калининградская, Ленинградская, Пензенская обл., Краснодарский край, Ставропольский край, Республика Татарстан; 3 штамма из Финляндии) в период с 2012 по 2019 г. Из образцов зерна пшеницы и ячменя были выделены 12 штаммов, остальные 10 были изолированы из листьев растений пшеницы, ржи, тимофеевки луговой и

газонных трав, имевших симптомы снежной плесени или пятнистости.

Поскольку по морфологическим признакам видовую идентификацию грибов рода *Microdochium* проводить затруднительно, то предварительно принадлежность анализированных штаммов к видам *M. majus* и *M. nivale* была определена с помощью ПЦР с видоспецифичными праймерами [12–14].

Анализировали сравнительную эффективность подавления роста грибов 7-ми коммерческих фунгицидов, 4 из которых были однокомпонентными, 3 – двухкомпонентными и 1 – трехкомпонентным (табл. 1). В состав анализированных препаратов входило 14 д.в., среди которых по механизму действия можно выделить ингибиторы синтеза стеролов (SBI, тебуконазол, пропиконазол), ингибиторы митохондриального дыхания (QoI, азоксистробин, пираклостробин, трифлуксистробин), ингибиторы сукцинатдегидрогеназы (SDHI, боскалид, флуопирам), ингибиторы трансдукции осмотического сигнала (флудиоксонил), ингибиторы синтеза аминокислот и белков (AP, ципродинил) и мультисайтовые д.в. (хлороталонил). Исследованные препараты разрешены и используются в странах Европейского Союза для борьбы со снежной плесенью, на территории РФ зарегистрирован и разрешен к применению только один препарат – Signum (Сигнум). В эксперимент также был включен аналитический стандарт тебуконазол (CAS number 107534-96-3, Merck).

Препараты разводили в стерильной воде таким образом, чтобы получить концентрацию рабочего раствора для обработки 1 га (300 л воды), содержащего максимальную дозу д.в., рекомендованную для использования в странах ЕС. Тебуконазол применяли в дозе, рекомендованной для препарата Фоликур (1.0 л/га). В дальнейшем полученные рабочие растворы последовательно десятикратно разводили стерильной водой и вносили в картофельно-декстрозный агар 50% (КДА, Merck), остуженный до температуры 50°C. Конечные концентрации препарата в среде составили 1, 0.1, 0.01 и 0.001% исходного рабочего раствора. Максимальная концентрация д.в. была подобрана в предварительном тестировании по определению диапазона чувствительности выборки штаммов. После тщательного перемешивания смеси разливали по 20 мл в пластиковые чашки Петри диаметром 90 мм.

Культуры грибов 2-х видов *Microdochium* и *F. culmorum* выращивали на КДА в темноте при 24°C в течение 5-ти сут. Из выросших колоний стерильным микробиологическим сверлом выре-

Таблица 1. Фунгициды, использованные в исследовании

Коммерческое название	Содержание действующего вещества (д.в.)	Рекомендованная доза* на 1 га	Концентрация д.в. в рабочем растворе**, г/л
Banner Махх	Тебуконазол 250 г/л	1.0 л	0.83
	Пропиконазол 156 г/л	3.0 л	1.56
Exteris Stressgard	Трифлуксистробин 12.5 г/л + флуопирам 12.5 г/л	10.0 л	0.42 + 0.42
Heritage	Азоксистробин 500 г/кг	0.5 кг	0.83
Instrata	Хлороталонил 362 г/л + пропиконазол 57 г/л + флудиоксонил 14.5 г/л	3.0 л	3.62 + 0.57 + 0.15
Medallion TL	Флудиоксонил 125 г/л	3.0 л	1.25
Signum Сигнум	Боскалид 267 г/кг + пиракlostробин 67 г/кг	1.0 кг	0.89 + 0.22
Switch 62.5 WG	Ципродинил 375 г/кг + флудиоксонил 250 г/кг	1.0 кг	1.25 + 0.83

*По инструкции производителя. **Из расчета 300 л рабочего раствора/га обрабатываемой площади.

зали диски диаметром 5 мм, которые затем мицелием вниз помещали на КДА в центр каждой пластиковой чашки Петри. Через 5 сут инкубации (24°C, темнота) определяли диаметр колонии гриба как среднее из двух перпендикулярных измерений. Из полученной величины вычитали величину инокуляционного диска 5 мм. Диаметр колонии штаммов на КДА без фунгицида использовали в качестве контроля. Ингибирующее действие фунгицида на радиальный рост гриба определяли как отношение разницы диаметра колонии в контроле и в варианте к диаметру колонии в контроле, выраженное в %. Штаммы, чувствительность которых к фунгициду оказалась более чем в 2 раза меньше, чем средняя для вида, характеризовали как резистентные к данному фунгициду.

Эксперимент выполняли минимум двукратно. Для статистической обработки и визуализации полученных данных использовали программы Microsoft Excel 2010, Minitab 17 и STATISTICA 10.0. При попарных сопоставлениях использовали тест Тьюки, достоверность различий принимали при $p < 0.05$. Концентрации фунгицидов, приводящих к 50%-ному подавлению роста грибов – EC_{50} (полумаксимальная эффективная концентрация, half maximal effective concentration), рассчитывали с помощью программного обеспечения Quest Graph™ LD50 Calculator (<https://www.aatbio.com/tools/ld50-calculator/>).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

На 5-е сут культивирования на КДА в контрольных вариантах диаметр колоний штаммов *M. majus* варьировал от 38 до 60 мм и в среднем составил 50 ± 5 мм, тогда как диаметр колоний штаммов *M. nivale* оказался в диапазоне 50–71 мм и в среднем был достоверно больше – 60 ± 4 мм. Штаммы *F. culmorum* характеризовались наиболее интенсивным ростом – средний диаметр их колоний составлял 75 мм, без различий между штаммами.

Влияние препаратов на рост грибов. Влияние препаратов на рост большинства штаммов грибов при наименьшей анализированной концентрации в питательной среде проявлялось как в ингибировании, так и стимуляции роста штаммов грибов в сравнении с контролем (рис. 1).

Обнаружено стимулирующее действие минимальной 0.001%-ной концентрации препарата Banner Махх, содержащего пропиконазол, на рост 11 штаммов *Microdochium* (50% всех анализированных штаммов), размеры их колоний оказались в среднем на 17% больше, чем в контроле ($p = 0.0002$). Также было выявлено достоверное стимулирующее действие минимальной концентрации рабочего раствора препаратов Exteris Stressgard, Instrata, Switch 62.5 WG и Signum на штаммы *M. nivale*. Добавление в среду препаратов Heritage и Medallion TL, Switch 62.5 WG и тебуконазола в минимальной концентрации оказывало стимулирующее действие на единичные штаммы *M. majus*, которое проявлялось в увеличении диа-

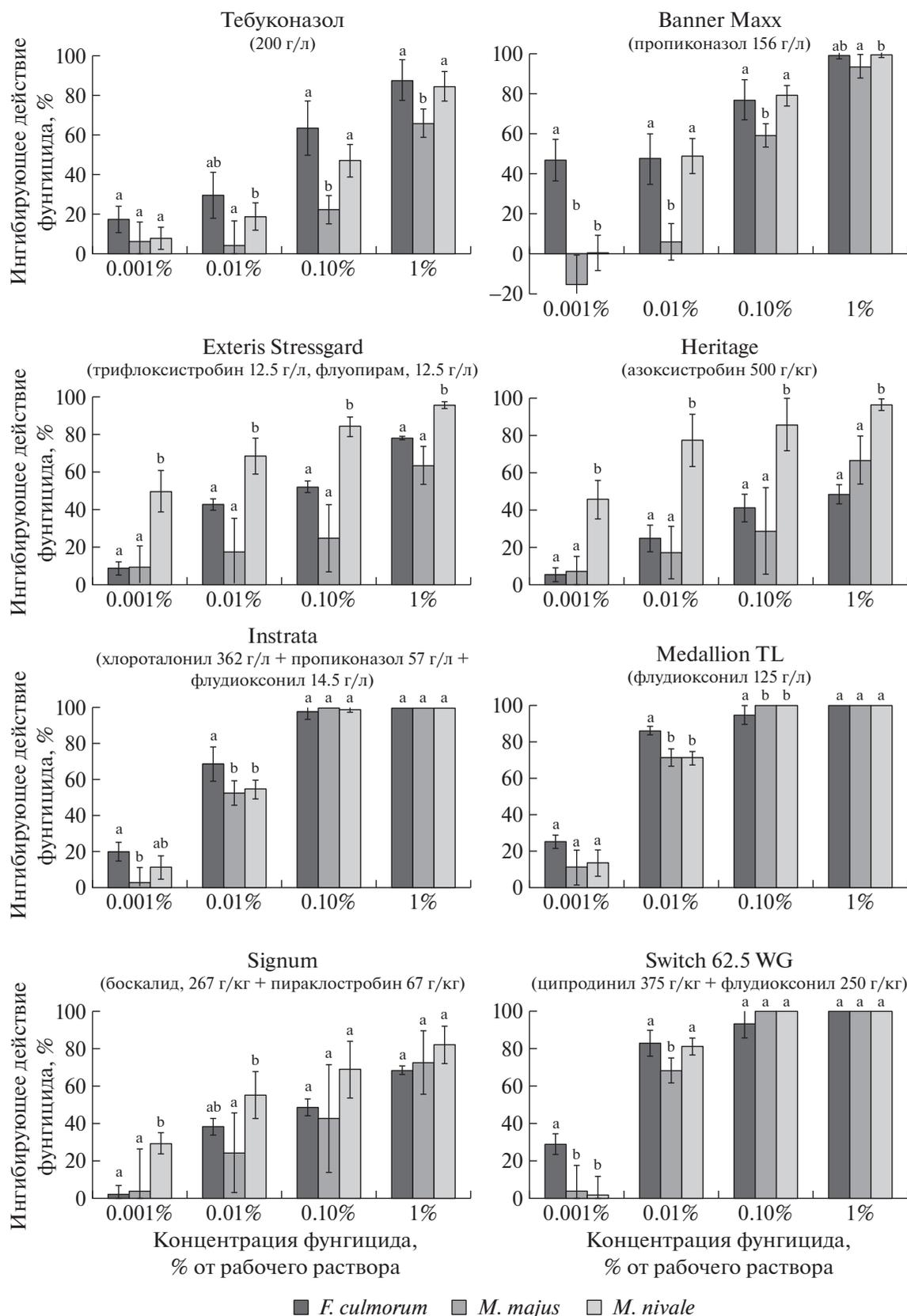


Рис. 1. Подавление фунгицидами радиального роста грибов при культивировании на КДА, содержащем препараты в различных концентрациях. Величины, обозначенные одной буквой, не имеют достоверных различий ($p < 0.05$) при определенной концентрации фунгицида.

Таблица 2. Концентрации фунгицидов в питательной среде, приводящие к полумаксимальному ингибированию роста грибов (EC_{50})

Коммерческое название	Действующее вещество (д.в.)	Концентрации фунгицидов EC_{50} для вида гриба, %* (мкг д.в./л питательной среды)		
		<i>F. culmorum</i>	<i>M. majus</i>	<i>M. nivale</i>
	Тебуконазол	0.041 (338)	0.487 (4041)	0.113 (936)
Banner Махх	Пропиконазол	0.004 (608)	0.063 (9812)	0.012 (1888)
Exteris Stressgard	Трифлуксистеробин + + флуопирам	0.047 (199 + 199)	0.565 (2373 + 2373)	0.001 (5 + 5)
Heritage	Азоксистробин	0.619 (5139)	0.406 (3366)	0.001 (10)
Instrata	Хлороталонил + + пропиконазол + + флудиоксонил	0.004 (159 + 25 + 7)	0.010 (344 + 54 + 14)	0.008 (297 + 47 + 12)
Medallion TL	Флудиоксонил	0.002 (30)	0.005 (63)	0.005 (59)
Signum	Боскалид + + пираклостробин	0.084 (751 + 245)	0.180 (1601 + 522)	0.013 (37 + 5)
Switch 62.5 WG	Ципродинил + + флудиоксонил	0.002 (29 + 19)	0.006 (78 + 51)	0.005 (63 + 42)

*% от концентрации рабочего раствора, приготовленного для обработки 1 га (300 л) и содержащего максимальную дозу, рекомендованную для использования в странах ЕС (табл. 1).

метра колоний на 8–19%. Не выявлено стимулирующее действие ни для одного из анализируемых препаратов на рост штаммов *F. culmorum*, включенных в исследование.

Концентрации фунгицидов EC_{50} , приводящих к 50%-ному подавлению радиального роста анализируемых видов грибов, приведены в табл. 2. В нашем исследовании установлено, что наибольшее ингибирующее действие на рост штаммов *M. majus* оказывали 3 препарата, содержащие флудиоксонил: их EC_{50} составили 0.005–0.010% концентрации рабочего раствора или 14–63 мкг д.в./л. В то же время остальные фунгициды менее эффективно подавляли рост штаммов этого вида (EC_{50} варьировали в диапазоне 0.063–0.565%).

Чувствительность штаммов *M. nivale* к препаратам, включенным в исследование, оказалась наиболее высокой в сравнении с *M. majus*. Максимальный ингибирующий эффект (средняя величина EC_{50} 0.001% или 10 мкг/л) на рост штаммов *M. nivale* оказывали препарат, содержащий азоксистробин (диапазон EC_{50} 0.001–0.258% концентрации рабочего раствора или 6.6–2140 мкг д.в./л), а также комбинированный препарат, включающий трифлуксистеробин в сочетании с флуопирамом

(EC_{50} 0.0001–0.029%, 0.4–121 мкг трифлуксистеробина/л). Другие фунгициды были менее эффективны – их EC_{50} варьировали от 0.002 до 0.426% для отдельных штаммов *M. nivale* и в среднем составляли 0.005–0.113%.

Все штаммы *F. culmorum* оказались высокочувствительными к содержащим пропиконазол и флудиоксонил препаратам, величина EC_{50} которых варьировала от 0.002 до 0.009%. Сходное, но менее эффективное действие продемонстрировали тебуконазол и стробилурин-содержащие препараты – диапазон величин EC_{50} составил 0.038–0.103%. Из всех анализируемых фунгицидов наименее эффективно ограничивал рост штаммов *F. culmorum* монопрепарат на основе азоксистробина (EC_{50} варьировала в диапазоне 0.341–1.407%).

Ранее показано, что флудиоксонил по сравнению со смесью битертанол + фуберидазол более эффективно подавлял рост грибов (анализировали содержание грибной ДНК в зерне), относящихся к роду *Microdochium*, чем *F. culmorum* [15]. Позже эти авторы провели эксперименты *in vitro* и установили, что соотношение средних величин EC_{50} флудиоксонила для видов *M. majus* / *M. nivale*

составляло 0.71, что свидетельствовало о меньшей чувствительности штаммов *M. nivale* в сравнении с *M. majus* к этому д.в. [16]. Высокая эффективность флудиоксонила против грибов *Microdochium*, выделенных из газонных трав и зерновых культур, была подтверждена норвежскими и литовскими учеными [17, 18]. Кроме этого, двухгодичные полевые испытания подтвердили положительное влияние обработки семян флудиоксонилом на их всхожесть и позволили значительно уменьшить потери урожая от болезней при использовании изначально сильно инфицированных грибами семян [19].

Значительный ингибирующий эффект тебуконазола на зараженность колосьев грибами *F. culmorum* и *F. avenaceum* показан ранее, при этом отмечено, что его эффективность в отношении *M. nivale* была низкой [20]. Наши результаты показали согласованность с ранее опубликованными данными – тебуконазол и пропиконазол эффективнее подавляли рост *F. culmorum* (диапазон EC_{50} составил 0.002–0.049% концентрации рабочего раствора, 332–1388 мкг д.в./л), чем *M. majus* (EC_{50} – от 0.033 до 1.031%, 2450–15850 мкг д.в./л) и *M. nivale* (EC_{50} – от 0.004 до 0.426%, 240–3537 мкг д.в./л). Чешские исследователи также установили, что тебуконазол и метконазол, добавленные в КДА, оказывали меньший ингибирующий эффект на рост 28 штаммов *M. nivale*, чем прохлораз и эпоксионазол [21].

Результаты полевых экспериментов показали, что применение азоксистробина снижало инфицированность колосьев пшеницы *M. nivale*, но увеличило их колонизацию грибами *Fusarium*, которые получали конкурентное преимущество [20, 22].

Согласно результатам норвежских исследователей, однократное использование пропиконазола (или смеси азоксистробин + пропиконазол) в октябре на 80% снижало проявление на полях для гольфа симптомов снежной плесени, вызванных грибами *Microdochium*, и эффект обычно превышал 90%, если опрыскивание одним из этих фунгицидов сопровождалось хотя бы одним применением флудиоксонила перед появлением снежного покрова [23].

Таким образом, в зависимости от доминирующего вида гриба в составе комплекса патогенов, вызывающих снежную плесень, необходимо использовать препараты, содержащие в своем составе целевое д.в. Согласно нашим результатам, следует применять флудиоксонил против *M. majus* и *F. culmorum*, а стробилурины – против *M. nivale*. Кроме того, системные фунгициды, проникающие в ткани растений, по всей видимости,

имеют преимущества, особенно в случае защиты газонных трав, которые подвергаются постоянному скашиванию в течение вегетационного сезона.

Внутривидовое разнообразие грибов по чувствительности к фунгицидам. Различий 3-х штаммов *F. culmorum* по чувствительности к включенным в исследование фунгицидам не выявлено, что, вероятно, связано с ограниченной выборкой штаммов данного вида. Ранее были отмечены существенные различия чувствительности к тебуконазолу и эпоксиконазолу 107 штаммов *F. culmorum*, а также обнаружена перекрестная резистентность этих штаммов к обоим триазиолам ($r = 0.61$), которая оставалась стабильной с течением времени [24]. Массовое использование фунгицидов может приводить к появлению резистентных популяций грибов в природе. Комитет по противодействию резистентности к фунгицидам (Fungicide Resistance Action Committee) отнес грибы *Microdochium*, вызывающие снежную плесень, к патогенам со средним риском развития резистентности к фунгицидам [25].

Из 8-ми анализированных в нашей работе штаммов *M. majus* 5 штаммов продемонстрировали резистентность к 1–2-м препаратам. Три штамма *M. majus* MFG 58971, MFG 58975 и MFG 59102, выделенные из зерна пшеницы в Калининградской обл., Ставропольском и Краснодарском краях соответственно, можно охарактеризовать как резистентные к азоксистробину (EC_{50} – от 0.915 до 2.022% концентрации рабочей жидкости или от 7.6 до 16.8 мг д.в./л). Штамм *M. majus* MFG 58971 также оказался резистентен к тебуконазолу: его чувствительность к этому д.в. оказалась в 2.4 раза меньше, чем в среднем для вида (EC_{50} – 1.031%, 8.6 мг д.в./л).

Два других штамма *M. majus* MFG 59023 и MFG 59108, выделенных из зерна пшеницы в Ленинградской обл. и Финляндии соответственно, продемонстрировали низкую чувствительность к препарату Signum на основе боскалида и пираклостробина: EC_{50} для этих штаммов составила 0.951 и 1.165% соответственно, что оказалось в 5.3–6.5 раза больше, чем в среднем для вида.

Среди 11-ти анализированных штаммов *M. nivale* 5 штаммов продемонстрировали резистентность к 1–4-м препаратам. Низкая чувствительность к 3-м препаратам, в состав которых входит азоксистробин, трифлуксистробин, пропиконазол, а также к тебуконазолу выявлена у штамма *M. nivale* MFG 59028, выделенного из зерна пшеницы в Ленинградской обл. Величина EC_{50} препарата Banner Махх, содержащего пропиконазол,

и тебуконазола для этого штамма составила 0.037 и 0.426% (3.5 и 5.8 мг д.в./л) соответственно и оказалась в 3.1–3.8 раза больше, чем в среднем для вида *M. nivale*. Для препаратов Exteris Stressgard и Heritage, содержащих трифлуксистробин и азоксистробин, EC_{50} в отношении *M. nivale* MFG 59028 была равна 0.029 и 0.258% (121 и 2144 мкг QoI д.в./л) соответственно и превышала средний показатель для вида в 26–215 раз.

У 3-х штаммов *M. nivale* MFG 59038, MFG 60223 и MFG 60231, выделенных из листьев злаковых растений в Санкт-Петербурге и Ленинградской обл., была выявлена резистентность хотя бы к одному из препаратов, содержащих пираклостробин (Signum) или трифлуксистробин (Exteris Stressgard): EC_{50} этих препаратов оказалась равна 0.004–0.935% (17–2712 мкг QoI д.в./л), что превышала средний показатель для вида *M. nivale* в 3–73 раза.

У штамма *M. nivale* MFG 59144, выделенного из зерна пшеницы в Краснодарском крае, отмечена низкая чувствительность как к препарату Signum, содержащему пираклостробин, (EC_{50} 4.527% или 13.1 мг QoI д.в./л), так и к тебуконазолу (EC_{50} 0.238% или 1.9 мг д.в./л).

Впервые информация о резистентности *M. nivale* к бензимидазолу была опубликована в 1983 г. [26]. Неоднократно были зарегистрированы лабораторно подтвержденные случаи полевой резистентности *M. nivale* к ипродиону – другому д.в. из класса имидазолов. Впервые в работе [27] в 1982 г. протестировали чувствительность к ипродиону изолятов, выделенных из травы полей для гольфа, где ипродион внезапно утратил эффективность после 3-х лет его активного использования против снежной плесени. Двадцать один из 24 изолятов *F. nivale* (в настоящее время *M. nivale sensu lato*) оказались резистентными и росли на КДА с добавлением ипродиона в концентрации ≥ 10 мкг/мл. Эти же изоляты были перекрестно-толерантными к винклозолину и процимидону. Позднее резистентные к ипродиону изоляты *M. nivale* были обнаружены на полях для гольфа в Новой Зеландии – их частота встречаемости составила 19%, и все изоляты, кроме одного, также были устойчивы к бензимидазолу [28]. Установлена связь между многократным ежегодным использованием ипродиона и пропиконазола в разных регионах Канады и выявлением высокой доли изолятов *M. nivale* (до 12–82 и 24–77% соответственно), которые проявили пониженную чувствительность к этим д.в. и более медленный рост на КДА в экспериментах *in vitro* [29]. Проведенное исследователями геномное сравнение

чувствительных и резистентных к ипродиону изолятов *M. nivale* выявило ряд новых мутаций в кодирующих последовательностях генов *mnos-1* и *mnos-4*, которые могли быть связаны с резистентностью к этому д.в.

В первом сообщении о резистентности к стробилуринам грибов *Microdochium* было показано, что половина штаммов *M. nivale* и особенно *M. majus*, собранных в полях 2007 г. во Франции, были нечувствительны к QoI фунгициду [30]. Большинство выявленных стробилуринов-резистентных изолятов также демонстрировали низкую чувствительность к бензимидазолам, в то время как положительной перекрестной резистентности к флудиоксонилу и ингибиторам биосинтеза стеролов (*SBI*) не установлено. В другом исследовании ожидаемой перекрестной резистентности штаммов *M. nivale* к 4-м анализированным фунгицидам из класса *DMI* не выявлено [21].

До недавнего времени не было ни одного лабораторно подтвержденного случая резистентности к *SBI* и *SDHI* фунгицидам [25]. С использованием ультрафиолетового излучения удалось индуцировать мутации у *M. nivale*, которые привели к появлению изолятов, устойчивых к *SBI* д.в., но полученные в лаборатории мутанты имели низкую жизнеспособность в полевых условиях [31].

В наш эксперимент были включены штаммы грибов широкого географического происхождения, чтобы охарактеризовать их индивидуальную чувствительность к фунгицидам. Априори предполагали нормальность распределения этого показателя, и что среди штаммов из контрастных регионов толерантными будут те, которые были выделены из растений, выращенных на полях южного региона европейской части России, где существует высокий фунгицидный прессинг. Однако результаты показали, что среди штаммов *Microdochium*, проявивших резистентность к препаратам, содержащим в своем составе разные д.в., оказались штаммы из географически отдаленных территорий, и какой-либо связи реакции чувствительности штамма с регионом его происхождения выявить не удалось.

В то же время анализ чувствительности штаммов грибов *Microdochium*, распределенных на 2 выборки (выделенные из зерна или из листьев с симптомами поражения) показал, что субстратное происхождение штамма достоверно влияло на чувствительность штаммов в случае половины анализированных фунгицидов – тебуконазола (при $p = 0.0107$), Banner Maxx (при $p = 0.0111$), Exteris Stressgard (при $p = 0.0125$) и Heritage (при $p =$

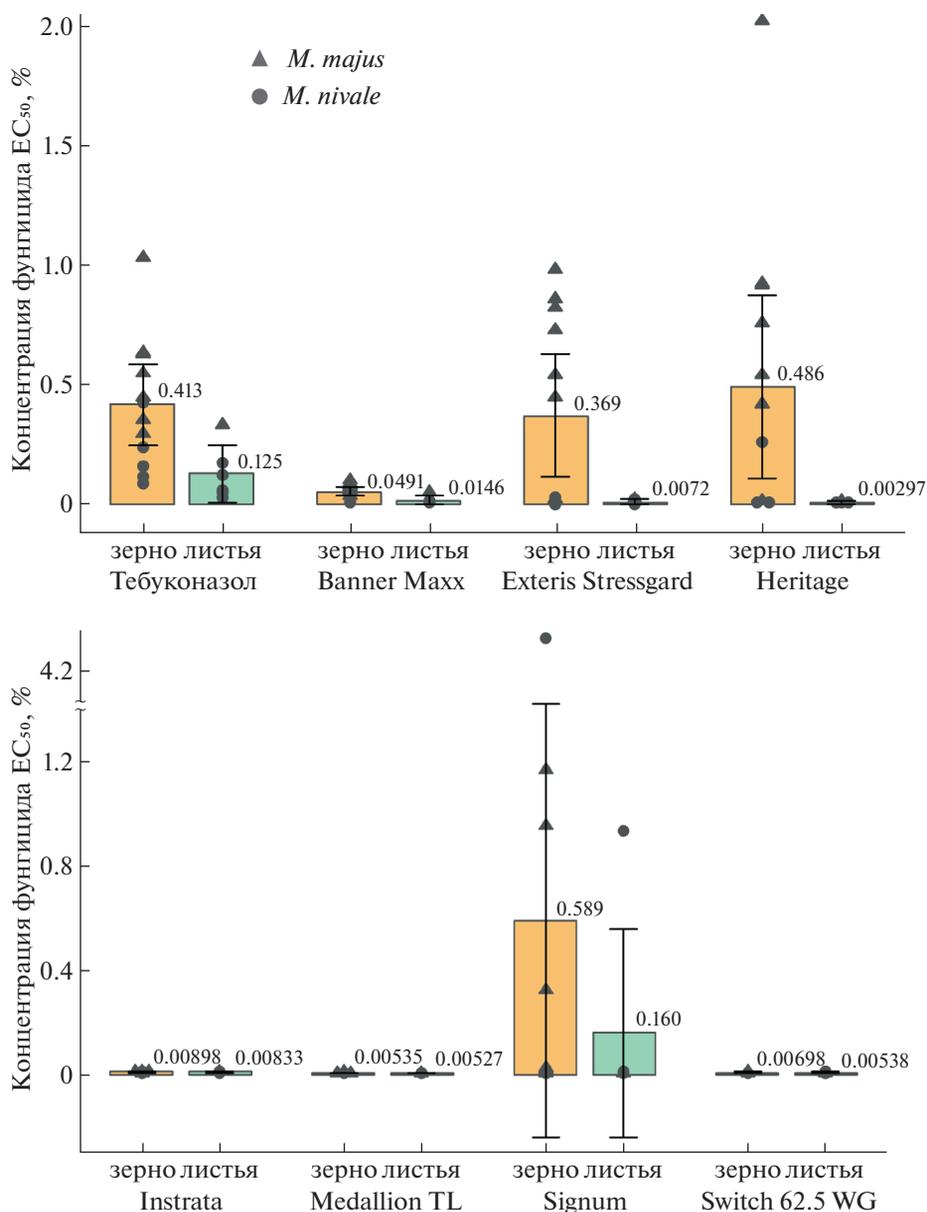


Рис. 2. Чувствительность штаммов грибов *M. majus* и *M. nivale*, выделенных из зерна и листьев, к анализируемым фунгицидам. Столбик и число – среднее для выборки штаммов, интервал – доверительный интервал при $p < 0.05$.

= 0.0215). Штаммы грибов *Microdochium*, выделенные из зерна, в среднем были менее чувствительны к этим фунгицидам по сравнению со штаммами, выделенными из листьев (рис. 2). Остальные 4 препарата такой существенной разницы не показали.

Комплекс видов грибов, обитающих на злаковых травах, может приводить не только к ухудшению внешнего вида растений, но и к снижению качества получаемого урожая семян.

Знание чувствительности различных видов грибов к тому или иному фунгициду чрезвычайно

важно при планировании систем защиты и помогает сформировать принципы стратегии при выборе мер борьбы с возбудителями заболеваний злаковых трав. Результаты нашего исследования позволили установить различное действие 7-ми коммерческих фунгицидов в отношении представителей 3-х видов грибов, широко распространенных представителей микобиоты злаковых трав, а также выявили меж- и внутривидовые различия грибов рода *Microdochium* и *F. culmorum* в чувствительности к разным препаратам.

ВЫВОДЫ

1. Выявлена высокая эффективность подавления роста грибов *M. majus* и *F. culmorum* препаратами, содержащими флудиоксонил, в случае *M. nivale* – препаратами, содержащими стробилурины. Тебуконазол и пропиконазол менее эффективно подавляли рост грибов *Microdochium*, чем *F. culmorum*.

2. Штаммы *M. majus* в среднем были менее чувствительными ко всем анализированным фунгицидам, чем штаммы 2-х других видов грибов. Среди включенных в исследование штаммов *M. majus* 62.5% продемонстрировали резистентность к 1–2-м препаратам, содержащим QoI д.в. (азоксистробин, пираклостробин). В то же время 45% анализированных штаммов *M. nivale* проявили резистентность к 1–4-м препаратам, содержащим QoI и SBI д.в.

3. Влияния географического происхождения штаммов на их чувствительность к анализированным фунгицидам не выявлено.

4. Штаммы грибов, имеющие различное субстратное происхождение – листья или зерно, достоверно различались чувствительностью к 4-м фунгицидам. Штаммы, выделенные из зерна, оказались менее чувствительными к тебуконазолу и препаратам, содержащим пропиконазол, азоксистробин, а также к смеси трифлуксистробин + флуопирам по сравнению со штаммами грибов, выделенных из листьев растений с симптомами ожога или снежной плесени. Эти д.в. входят в состав протравителей, которые давно и активно используют для обработок семян зерновых культур, что могло привести к снижению чувствительности к ним грибов, обитающих на зерне.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гагкаева Т.Ю., Орина А.С., Гаврилова О.П. Разнообразие грибов рода *Microdochium*, выявленных на зерновых культурах в России // Микол. и фитопатол. 2020. Т. 54. № 5. С. 347–364.
2. Гагкаева Т.Ю., Гаврилова О.П., Орина А.С. Хорошая новость – грибы Микродохиум не продуцируют микотоксины! // Защита и карантин раст. 2017. № 5. С. 9–13.
3. Simpson D.R., Rezanoor H.N., Parry D.W., Nicholson P. Evidence for different host preference in *Microdochium nivale* var. *majus* and *Microdochium nivale* var. *nivale* // Plant Pathol. 2000. V. 49. P. 261–268.
4. Ren R., Yang X., Ray R.V. Comparative aggressiveness of *Microdochium nivale* and *M. majus* and evaluation of screening methods for Fusarium seedling blight resistance in wheat cultivars // Eur. J. Plant Pathol. 2015. V. 141. № 2. P. 281–294.
5. Gavrilova O.P., Orina A.S., Kessenikh E.D., Gustyleva L.K., Savelieva E.I., Gogina N.N., Gagkaeva T.Yu. Diversity of physiological and biochemical characters of the *Microdochium* fungi // Chem. Biodivers. 2020. V. 17. e2000294.
6. Scherm B., Balmas V., Spanu F., Pani G., Delogu G., Pasquali M., Migheli Q. *Fusarium culmorum*: causal agent of foot and root rot and head blight on wheat // Mol. Plant Pathol. 2012. V. 14. № 4. P. 323–341.
7. Smiley R.A., Dernoeden P.H., Clarke B.B. Compendium of turfgrass diseases. St. Paul: American Phytopathological Soc., 2005. 167 p.
8. Vincelli P.C., Munshaw G. Chemical control of turfgrass diseases 2015 // Agric. Nat. Resour. Publications. 2014. V. 179. P. 1–23.
9. Espevig T., Usoltseva M., Norman K. Effects of rolling and N-fertilization on dollar spot and *Microdochium* patch on golf greens in Scandinavia // BIO Web Conf. 2020. V. 18. 00008.
10. Hsiang T., Matsumoto N., Millett S.M. Biology and management of *Typhula* snow molds of turfgrass // Plant Dis. 1999. V. 83. № 9. P. 788–798.
11. Государственный каталог пестицидов и агрохимикатов, разрешенных к применению на территории Российской Федерации. Ч. 1. Пестициды. М.: Минсельхоз РФ, 2020. 808 с.
12. Nicholson P., Lees A.K., Maurin N., Parry D.W., Rezanoor H.N. Development of a PCR assay to identify and quantify *Microdochium nivale* var. *nivale* and *Microdochium nivale* var. *majus* in wheat // Physiol. Mol. Plant Pathol. 1996. V. 48. P. 257–271.
13. Nicholson P., Parry D.W. Development and use of a PCR assay to detect *Rhizoctonia cerealis*, the cause of sharp eyespot in wheat // Plant Pathol. 1996. V. 45. P. 872–883.
14. Doohan F.M., Parry D.W., Jenkinson P., Nicholson P. The use of species-specific PCR-based assays to analyse *Fusarium* ear blight of wheat // Plant Pathol. 1998. V. 47. P. 197–205.
15. Glynn N.C., Ray R., Edwards S.G., Hare M.C., Parry D.W., Barnett C.J., Beck J.J. Quantitative *Fusarium* spp. and *Microdochium* spp. PCR assays to evaluate seed treatments for the control of *Fusarium* seedling blight of wheat // J. Appl. Microbiol. 2007. V. 102. № 6. P. 1645–1653.
16. Glynn N.C., Hare M.C., Edwards S.G. Fungicide seed treatment efficacy against *Microdochium nivale* and *M. majus* *in vitro* and *in vivo* // Pest. Manag. Sci. 2008. V. 64. № 8. P. 793–799.
17. Aamlid T.S., Espevig T., Waalen W.M., Pettersen T. Fungicide for control of *Microdochium nivale* and *Typhula incarnata* // Eur. J. Turfgrass Sci. 2014. V. 45. № 2. P. 105–106.
18. Jonavičienė A., Supronienė S., Semaškienė R. *Microdochium nivale* and *M. majus* as causative agents of seedling blight in spring cereals // Zemdirbyste-Agriculture. 2016. V. 103. № 4. P. 363–368.
19. Jørgensen L.N., Nielsen L.K., Nielsen B.J. Control of seedling blight in winter wheat by seed treatments – impact on emergence, crop stand, yield and deoxynivalenol // Acta Agric. Scand. B Soil. Plant Sci. 2012. V. 62. № 5. P. 431–440.
20. Nicholson P., Turner J.A., Jenkinson P., Jennings P., Stonehouse J., Nuttall M., Dring D., Weston G., Thomsett

- M.* Maximising control with fungicides of *Fusarium* ear blight (FEB) in order to reduce toxin contamination of wheat. Project Report No. 297. HGSA, 2003. 85 p.
21. Tvarůžek L., Kraus P., Hrabalová H. Sensitivity behaviour of *Microdochium nivale* isolates to some DMI-fungicide commonly used in the Czech Republic // Plant Protect. Sci. 2000. V. 36. P. 7–10.
 22. Ioos R., Belhadj A., Menez M., Faure A. The effects of fungicides on *Fusarium* spp. and *Microdochium nivale* and their associated trichothecene mycotoxins in French naturally-infected cereal grains // Crop Protect. 2005. V. 24. № 10. P. 894–902.
 23. Aamlid T.S., Waalen W.M., Espevig T. Fungicide strategies for the control of turfgrass winter diseases // Acta Agric. Scand. B Soil. Plant Sci. 2014. V. 65. № 2. P. 161–169.
 24. Hellin P., Scauflaire J., VanHese V., Munaut F., Legrève A. Sensitivity of *Fusarium culmorum* to triazoles: impact of trichothecene chemotypes, oxidative stress response and genetic diversity // Pest. Manag. Sci. 2016. V. 73. P. 1244–1252.
 25. Fungicide Resistance Action Committee, FRAC. 2020. <https://www.frac.info/knowledge-database/downloads>
 26. Tanaka F., Saito I., Miyajima K., Tsuchiya S., Tsuboki K. Occurrence of thiophanate methyl tolerant isolates of *Fusarium nivale* synonymy *Gerlachia nivalis* a causal fungus of snow mold of winter wheat in Japan // Ann. Phytopathol. Soc. Japan. 1983. V. 49. P. 565–566.
 27. Chastagner G., Vassey W. Occurrence of iprodione-tolerant *Fusarium nivale* under field conditions // Plant Dis. 1982. V. 66. P. 112–114.
 28. Pennucci A., Beever R., Laracy E. Dicarboximide-resistant strains of *Microdochium nivale* in New Zealand // Austral. Plant Pathol. 1990. V. 19. P. 38–41.
 29. Gourlie R. Resistance to fungicides in the plant pathogen *Microdochium nivale*: A Thesis of master of science in environmental sciences. Guelph: The University of Guelph, 2018. 201 p.
 30. Walker A.S., Auclair C., Gredt M., Leroux P. First occurrence of resistance to strobilurin fungicides in *Microdochium nivale* and *Microdochium majus* from French naturally infected wheat grains // Pest. Manag. Sci. 2009. V. 65. № 8. P. 906–915.
 31. Cristani C., Gambogi P. Laboratory isolation of *Microdochium (Fusarium) nivale* mutants showing reduced sensitivity to sterol biosynthesis inhibitors // Rivista di Patologia Vegetale. 1993. V. 3. P. 49–57.

Effect of Fungicides on the Growth of Fungi Causing Snow Mold of Cereals

A. S. Orina^{a, #}, T. Yu. Gagkaeva^a, O. P. Gavrilova^a, and M. Usoltseva^b

^a All-Russian Institute of Plant Protection (VIZR)
sh. Podbelskogo 3, St. Petersburg–Pushkin 196608, Russia

^b Botanisk Analysgrupp
Carl Skottbergs gata 22B, Göteborg 41319, Sweden

[#] E-mail: orina-alex@yandex.ru

The sensitivity of 22 *Microdochium majus*, *M. nivale* and *F. culmorum* strains to eight fungicides was evaluated. The inhibition of fungal growth was analyzed when strains were cultivated on potato dextrose agar containing different concentrations of active substances. High and similar sensitivity to tebuconazole and propiconazole of *F. culmorum* and *M. nivale* strains was revealed. The susceptibility of *M. nivale* to fungicides containing strobilurins is higher than that of *F. culmorum* or *M. majus*. Fludioxonil inhibits the growth of *F. culmorum* better than that of *Microdochium* fungi. On average *M. majus* strains were less sensitive to all analyzed fungicides than *M. nivale* and *F. culmorum* strains. Most of analyzed *M. majus* strains (62.5%) demonstrated resistance to 1–2 fungicides containing strobilurins. At the same time 45% of the analyzed *M. nivale* strains turned out to be resistant to 1–4 fungicide containing strobilurins or triazoles. The *Microdochium* strains isolated from grain were significantly less sensitive to SBI and two QoI fungicides than the strains isolated from infected plant leaves. The geographic origin of the fungal strains did not affect their susceptibility to fungicides.

Key words: *Microdochium majus*, *Microdochium nivale*, fungicides, efficiency, resistance.

УДК 632.954:633.63

ПОИСК ГЕРБИЦИДНЫХ АНТИДОТОВ ДЛЯ РАСТЕНИЙ САХАРНОЙ СВЕКЛЫ¹

© 2021 г. Л. В. Дядюченко¹, *, И. Г. Дмитриева²

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

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

*E-mail: ludm.dyadiuchenko@yandex.ru

Поступила в редакцию 06.10.2020 г.

После доработки 11.11.2020 г.

Принята к публикации 11.02.2021 г.

В современной системе выращивания сахарной свеклы важное место занимает защита посевов от сорняков с помощью гербицидов. Несмотря на избирательность, растения сахарной свеклы испытывают стресс от применения гербицидов, что приводит к потерям урожая. Одним из способов снижения фитотоксичности гербицидов на культурные растения является применение антидотов. В работе проведен скрининг гербицидных антидотов для вегетирующих растений сахарной свеклы. Для поиска был синтезирован ряд производных 2-алкилтионикотинонитрилов. По результатам лабораторного скрининга выявлены потенциально активные вещества, которые испытывали в полевых условиях в 2017–2019 г. Антидоты наносили на растения сахарной свеклы в фазе 4–6 настоящих листьев вместе с баковой смесью гербицидов. В процессе эксперимента установлено, что использование новых веществ в дозе 20 и 40 г/га обеспечило существенное и достоверное повышение урожая сахарной свеклы по сравнению с гербицидным контролем (6.3–11.9%). Их применение положительно влияло на формирование таких биометрических показателей как высота растений, число, масса и площадь листьев, величина и масса корнеплодов. Увеличивалась также фотосинтетическая активность растений. Качественные показатели корнеплодов (сахаристость) превысили таковые не только гербицидного эталона, но и контроля. Таким образом, найденные соединения могут быть использованы в качестве действующих веществ для создания новых гербицидных антидотов.

Ключевые слова: новые гербицидные антидоты, сахарная свекла.

DOI: 10.31857/S0002188121050045

ВВЕДЕНИЕ

Сахарная свекла в Российской Федерации является одной из основных экономически важных сельскохозяйственных культур. Корнеплоды сахарной свеклы богаты углеводами, они являются источником производства сахара. При высокой урожайности культуры сбор сахара может достигать 7–8 т/га и более.

В современной системе выращивания сахарной свеклы по интенсивной технологии важное место занимает защита посевов от сорняков с помощью гербицидов. Засоренность посевов часто носит сложный характер. В агроценозе сахарной свеклы присутствуют около 60 видов сорных рас-

тений, которые относятся к различным биологическим группам: однолетние и многолетние однодольные, однолетние и многолетние двудольные. С момента появления всходов и до смыкания рядков культура слабо конкурирует с сорняками. Поэтому для получения высокого урожая важную роль играет уничтожение сорной растительности в первые 4–6 нед вегетации. В противном случае недобор урожая может составлять 25% и более [1]. В настоящее время нет ни одного селективного для сахарной свеклы гербицида, который мог бы надежно защитить посевы от всего спектра двудольных сорняков, поэтому для достижения желаемого результата применяют различные гербицидные смеси [2]. Самыми широко используемыми препаратами против сорняков на сахарной свекле являются гербициды группы Бетанала и Лонтрел. Бетанал борется с

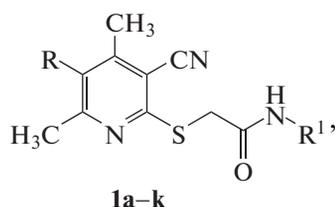
¹ Исследование выполнено в соответствии с государственным заданием № 075-00376-19-00 Министерства науки и высшего образования РФ в рамках НИР по теме № 0686-2019-0013.

однолетними двудольными сорняками, Лонтрел используется против трудноискоренимых сорняков (осот, амброзия, горчак ползучий и др.).

Несмотря на избирательность, растения сахарной свеклы испытывают стресс от применения гербицидов. Фитотоксическое воздействие бетаналов усиливается, если их наносят в жаркую погоду. Оптимальной для нанесения гербицидов бетанальной группы считается температура в пределах 16–25°C, однако в полевых условиях не всегда удается ее выдержать. Сущность действия гербицидов заключается в том, что они подавляют процессы фотосинтеза, дыхания, поступление питательных веществ, что вызывает нарушение синтеза свободных аминокислот [3]. В начале вегетации под влиянием бетаналов отмечено также снижение энергии корнеобразования [4]. Торможение нарастания массы корнеплода и листьев у сахарной свеклы в период внесения гербицидов в условиях солнечной погоды создает предпосылки существенной потери урожая.

Одним из способов снижения фитотоксичности гербицидов на культурные растения является применение антидотов. Антидоты находят все более широкое практическое применение, исследования по изысканию новых препаратов продолжают в нашей стране и за рубежом [5]. Следует отметить, что ассортимент коммерческих почвенных антидотов довольно широк [6], в то время как антидоты, применяемые в посевах вегетирующих растений, практически отсутствуют.

Цель работы – поиск гербицидных антидотов для вегетирующих растений сахарной свеклы. Для этого была синтезирована серия соединений, относящихся к ряду 2-алкилтионикотинитрилов общей формулы 1:



где R = H, Cl, CH₃; R¹ = алкил, бензил, замещенный фенил.

Ранее успешно был проведен скрининг регуляторов и гербицидных антидотов для подсолнечника в данном ряду соединений [7–10].

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Синтез новых соединений осуществлен по оригинальным и известным методикам [11]. Выход целевых продуктов составил 61–93%. Для

всех синтезированных соединений определены физико-химические константы (T_{пл}, T_{кип}), их структура подтверждена элементным анализом, а также методами ЯМР ¹H- и ¹³C-спектроскопии и масс-спектрометрии. Индивидуальность соединений установлена с помощью тонкослойной хроматографии.

Биологические испытания осуществляли в посевах сахарной свеклы гибрида F₁ Вектор. Первичную оценку активности новых соединений осуществляли в лабораторном опыте по официально рекомендованной методике [13]. Вещества, отобранные по результатам лабораторного опыта, изучали в условиях поля.

Исследование проводили в 2017–2019 гг. на экспериментальном поле КубГАУ, г. Краснодар (центральная зона Краснодарского края). Климат умеренно-континентальный, с мягкой зимой и жарким летом.

Почва опытного участка представлена черноземом выщелоченным, рН_{H₂O} 7.5, рН_{KCl} 6.5, содержание гумуса в пахотном горизонте – 2.5–3.2%. Предшественник – озимая пшеница. Обработка почвы: зяблевая вспашка на глубину 30 см, покровное боронование в 2 следа, 2 культивации. Перед вспашкой вносили удобрений N90P90K90, гербициды применяли дважды – после появления всходов и в фазе 4–6 настоящих листьев. Варианты опыта: контроль без обработки (ручная прополка), эталон – обработка баковой смесью гербицидов, смесь гербицидов + антидот 20 г/га, смесь гербицидов + антидот 40 г/га. Расход рабочего раствора 300 л/га.

В баковой смеси использовали гербициды, общепринятые в технологии выращивания сахарной свеклы: Бетанал 22 – селективный гербицид для послевсходового контроля однолетних двудольных сорняков; Лонтрел® 300 – послевсходовый гербицид для защиты от комплекса трудноискоренимых сорняков (осот, горчак ползучий, амброзия и др.), Зелек Супер – селективный послевсходовый системный гербицид, предназначенный для борьбы с однолетними и многолетними злаковыми сорняками.

Обработку растений с использованием антидотов проводили в фазе 4–6 настоящих листьев сахарной свеклы, при обработке к баковой смеси гербицидов добавляли растворы исследованных веществ. Баковая смесь содержала следующие количества гербицидов: Зелек Супер, КЭ + Бетанал 22, КЭ + Лонтрел 300, ВР в дозе 0.37 + 0.7 + 0.2 л/га.

Для изучения элементов механизма действия исследованных соединений определяли содержа-

Таблица 1. Урожайность сахарной свеклы гибрида F_1 Вектор (2017–2019 гг.)

Вариант	Урожайность, т/га	Прибавка к эталону		Корнеплод			Содержание сахара, %	Выход сахара, т/га
		т/га	%	длина, см	диаметр, см	масса, г		
2017 г.								
Контроль	56.5	1.34	2.4	26.0	9.3	638	14.8	8.42
Эталон (гербицид)	55.1	—	—	25.8	9.0	622	13.3	7.30
Id 40 г/га	59.7	4.51	8.2	27.1	9.5	665	15.0	9.04
Ig 40 г/га	60.5	5.34	9.7	27.3	9.6	683	18.0	10.8
<i>HCP</i> ₀₅	2.3	0.20	—	1.7	0.8	14	1.4	—
2018 г.								
Контроль	57.7	3.17	5.8	26.3	9.3	635	15.2	8.80
Эталон (гербицид)	54.5	—	—	25.8	9.1	620	13.5	7.31
Id 20 г/га	57.9	3.44	6.3	28.4	9.2	678	17.6	10.3
Id 40 г/га	59.9	5.58	9.9	29.6	9.3	690	17.7	10.4
Ig 20 г/га	61.0	6.50	11.9	33.6	9.4	651	17.7	10.8
Ig 40 г/га	60.3	5.8	10.6	28.8	9.7	654	17.5	10.7
<i>HCP</i> ₀₅	1.9	0.24	—	1.6	0.8	15	1.5	—
2019 г.								
Контроль	41.0	46.6	12.8	32.8	8.0	4610	16.3	6.68
Эталон (гербицид)	36.3	—	—	27.1	6.9	416	15.4	5.59
Ic 20 г/га	37.6	1.28	3.5	28.3	7.0	423	17.3	6.59
Ic 40 г/га	40.6	4.31	11.8	31.8	7.6	457	17.0	6.99
Id 20 г/га	40.5	4.17	11.5	31.5	7.6	456	17.1	6.97
Id 40 г/га	40.2	3.87	10.7	30.9	7.5	452	17.0	6.86
<i>HCP</i> ₀₅	2.3	0.19	—	1.7	0.7	14	1.2	—

ние пигментов в листьях растений, биометрические показатели надземной части и корнеплодов, урожайность и сахаристость.

Для определения содержания пигментов пробы отбирали на следующий день после обработки, затем через каждые 5 сут. Содержание фотосинтетических пигментов в листьях растений (хлорофилла *a*, хлорофилла *b* и каротиноидов) определяли на спектрофотометре Genesys 8 (Thermo Spectronic, Англия), в экстрактах 96%-ного этанола с последующим расчетом по формулам Лихтеналлера [13].

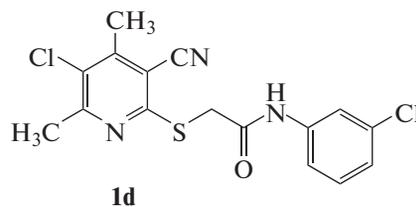
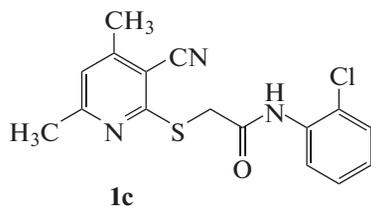
Биометрические показатели надземной части и корнеплодов определяли при уборке урожая, в том числе площадь ассимиляционной поверхности листьев, динамику накопления растениями

сырой и абсолютно сухой биомассы [14]. Содержание сахара в корнеплодах определяли по ГОСТ [15].

Учет урожая осуществляли количественно-весовым методом, путем подсчета и взвешивания корнеплодов с учетных площадок. Статистическую обработку результатов исследований проводили с использованием наименьшей существенной разницы (*HCP*₀₅) [16].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

По результатам лабораторного опыта 2 изученных соединения **Ic** и **Id** проявили защитный эффект от негативного воздействия гербицидов на высоком уровне:



Потенциальные антидоты были изучены в условиях полевого опыта в 2017 г. в дозе 40 г/га, в 2018–2019 гг. – в 2-х дозах 20 и 40 г/га. Данные урожайности сахарной свеклы и содержания сахара представлены в табл. 1. Полученные данные свидетельствовали, что применение гербицидов снижало урожайность культуры (вариант эталон) в сравнении с контролем. Внесение в баковую смесь исследованных антидотов способствовало увеличению размеров корнеплодов и урожайности сахарной свеклы как по сравнению с гербицидным эталоном, так и с контролем. Прибавка урожая к эталону при использовании соединения **1c** составила 3.44–5.58 т/га (6.3–11.8%), соединение **1d** обеспечило прибавку урожая 3.87–6.50 т/га (9.7–11.9%), причем его доза 20 г/га была более эффективной. В то же время оба антидота существенно увеличивали сахаристость корнеплодов как по отношению к гербицидному эталону, так и по отношению к контролю. Их применение позволило повысить содержание сахара по отношению к гербицидному эталону на 1.6–4.2%, выход сахара – на 1.0–3.5 т/га.

В табл. 2 приведены биометрические показатели сахарной свеклы в период уборки в 2019 г. Анализ данных свидетельствовал, что использование антидотов существенно повлияло на формирование надземных органов культуры. Высота растений увеличилась на 5.7–13.9 см, число листьев –

на 1.8–4.6 шт., площадь листьев – на 2.4–6.6 дм² в сравнении с гербицидным эталоном. Увеличение параметров надземных органов повлекло увеличение биомассы и массы сухого вещества. Биомасса листьев увеличилась на 22–60 г, сухого вещества – на 2.5–7.0 г/растение.

Увеличение ассимиляционного аппарата способствовало повышению фотосинтетической активности растений. На рис. 1 отображена динамика содержания хлорофилла *a*, хлорофилла *b* и каротиноидов в листья сахарной свеклы. Показано, что во всех опытных вариантах содержание пигментов превышало таковое в варианте гербицидного эталона, что свидетельствовало о снижении негативного влияния гербицидов на растения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, при обработке растений сахарной свеклы антидотами совместно с баковой смесью гербицидов получено существенное и достоверное повышение урожайности корнеплодов в сравнении с гербицидным эталоном, одновременно повышалась их сахаристость. Использование антидотов положительно влияло на биометрические показатели культуры, увеличивалось содержание фотосинтетических пигментов в листьях растений.

Таблица 2. Биометрические показатели растений сахарной свеклы *F*₁ Вектор в период уборки (2019 г.)

Вариант	Высота надземной части растений, см	Число листьев, шт.	Масса листьев, г		Масса листовых пластинок, г	Площадь листьев, дм ²
			сырая	сухая		
на одно растение						
Эталон (гербицид)	38.9	20.1	120	13.8	50.0	13.0
Контроль	53.2	26.3	186	21.4	77.2	20.1
1c 20 г/га	44.6	21.9	142	16.4	59.1	15.4
1c 40 г/га	51.5	25.7	181	20.9	75.3	19.6
1d 20 г/га	51.3	25.3	180	20.7	74.8	19.5
1d 40 г/га	50.6	24.6	175	20.2	72.8	18.8
<i>HCP</i> ₀₅	2.1	1.7	18	1.6	3.9	2.0

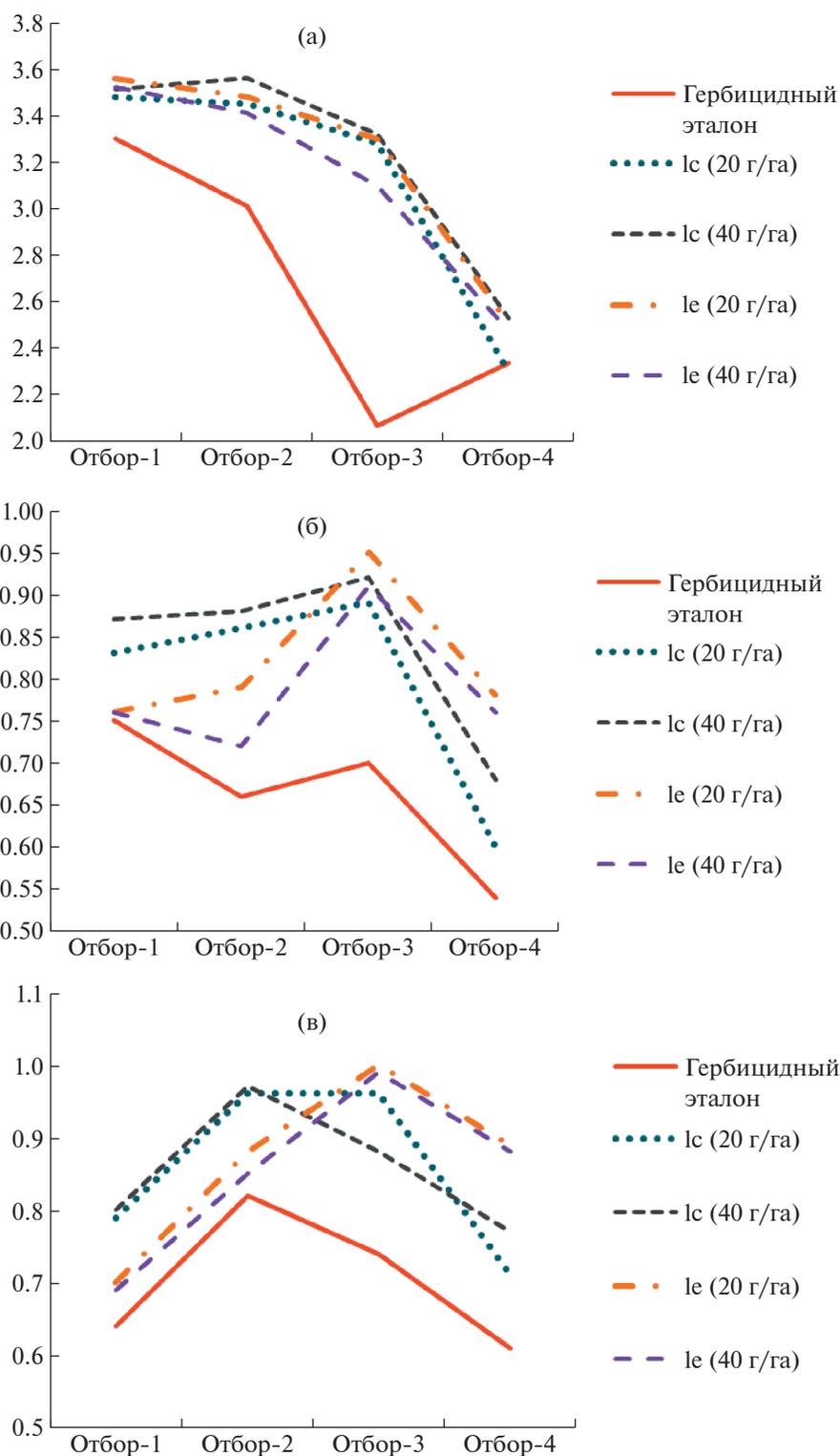


Рис. 1. Содержание пигментов в листьях сахарной свеклы: (а) – хлорофилла *a*, (б) – хлорофилла *b*, (в) – каротиноидов, мг/дм² (2019 г.).

Найденные новые действующие вещества могут послужить основой создания отечественных антидотов, способных уменьшить гербицидный

стресс на растения сахарной свеклы, увеличить адаптивные возможности культуры и сохранить урожай.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Куликова Н.А., Лебедева Г.Ф. Гербициды и экологические аспекты их применения. М.: Изд-во МГУ, 2010. 150 с.
2. Панченко В.Д. Защита посевов сахарной свеклы препаратами компании “Август” // СКФО-агро. 2014. № 3. С. 2.
3. Дворянкин Е.А., Дворянкин А.Е. Действие гербицидов группы Бетанала на фотосинтез сахарной свеклы // Сахарная свекла. 2011. № 4. С. 33–37.
4. Овчинникова Ю.А., Папикян Т.А. Влияние гербицидов на урожайность сахарной свеклы // Молодой ученый. 2016. № 23. С. 189–192.
5. Спиридонов Ю.Я., Хохлов П.С., Шестаков В.Г. Антидоты гербицидов // Агрохимия. 2009. № 5. С. 81–91.
6. Питина М.Р., Познанская Н.Л., Промоненков В.К., Швецов-Шиловский Н.И. Современный уровень и перспективные направления защиты сельскохозяйственных культур от нежелательных последствий применения гербицидов // Агрохимия. 1986. № 4. С. 107–136.
7. Стрелков В.Д., Дядюченко Л.В., Исакова Л.И., Дмитриева И.Г., Ткач Л.Н. 2-Алкилтионикотинонитрилы – потенциальные антидоты 2,4-дихлорфеноксисукусной кислоты // Агрохимия. 2011. № 4. С. 60–63.
8. Стрелков В.Д., Дядюченко Л.В., Дмитриева И.Г., Исакова Л.И. Синтез и скрининг гербицидных антидотов на подсолнечнике // Сб. тр. Международ. конф. “Биологическая защита растений – основа стабилизации агроэкосистем”. Краснодар, 2010. С. 503–515.
9. Стрелков В.Д., Дядюченко Л.В., Дмитриева И.Г. Синтез новых гербицидных антидотов для подсолнечника. Краснодар, 2014. 96 с.
10. Назаренко Д.Ю., Стрелков В.Д., Дядюченко Л.В., Дмитриева И.Г. Пат. РФ, № 2339377. Способ стимулирования роста сахарной свеклы регулятором роста. Оpubл. 22.03.2007. Бюл. № 32.
11. Дядюченко Л.В., Дмитриева И.Г., Стрелков В.Д., Доценко С.П., Кайгородова Е.А. Синтез новых 2-алкилтионикотинонитрилов и на их основе 3-аминотиено[2,3-*b*]пиридинов, а также скрининг потенциальных антидотов и регуляторов роста растений // Тр. КубГАУ. 2006. № 3. С. 129–134.
12. ГОСТ 12038-84. Семена сельскохозяйственных культур. Методы определения всхожести. М.: Госком. по стандартам, 1985. 57 с.
13. Lichtentaller H.K., Wellburn A.R. Determinations of total extracts in different solvents // Biochem. Soc. Transactions. 1983. V. 11. № 5. P. 591–592.
14. Глеванский И.В., Зубенко В.Ф., Мельниченко А.С. Свекловодство. Киев, 1989. 207 с.
15. ГОСТ Р 53036-2008. Свекла сахарная. Методы испытаний (с поправкой). М.: Стандартинформ, 2009. 12 с.
16. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта с основами статистической обработки результатов исследований. М.: Книга по требованию, 2012. 352 с.

Search for Herbicidal Antidotes for Sugar Beet Plants

L. V. Dyadyuchenko^{a, #} and I. G. Dmitrieva^b^a Federal Research Center of Biological Plant Protection
Krasnodar-39 350039, Russia^b I. T. Trubilin Kuban State Agrarian University
ul. Kalinina 13, Krasnodar 350044, Russia[#]E-mail: ludm.dyadyuchenko@yandex.ru

Modern system of sugar beet cultivation pays special attention to crop protection against weeds with the help of herbicides. Despite its selectivity, sugar beet plants experience stress from the use of herbicides, which leads to yield losses. One way to reduce the phytotoxicity of herbicides on crops is to use antidotes. The aim of this work is to screen herbicidal antidotes for vegetative sugar beet plants. For the search, a number of 2-alkylthionicotinonitrile derivatives was synthesized. Based on the results of laboratory screening, we identified potentially active substances that were tested in the field in 2017–2019. Antidotes were applied to sugar beet plants in the phase of 4–6 true leaves along with a tank mixture of herbicides. In the course of the experiment, we found that the use of new substances at a dose of 20 and 40 g/ha provided a significant and reliable increase in sugar beet yield compared to the herbicidal control (–6.3–11.9%). Their use positively influenced the formation of such biometric indicators as plant height, number, mass and area of leaves, size and mass of root vegetables. The photosynthetic activity of plants also increased. Qualitative indicators of root vegetables (sugar content) exceeded the similar ones not only in the herbicidal standard, but also in the control. Thus, the determined compounds can be used as active substances to develop new herbicidal antidotes.

Key words: new herbicidal antidotes, sugar beet.

УДК 63:54:632.95

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ ЭКОНОМИКИ ПРИМЕНЕНИЯ ПЕСТИЦИДОВ В АГРОЭКОСИСТЕМАХ РОССИИ

© 2021 г. В. А. Захаренко

Федеральный исследовательский центр “Немчиновка”

143026 Московская обл., Одинцовский р-н, р.п. Новоивановское, ул. Агрохимиков, 6, Россия

E-mail: zwa@mosniish.ru

Поступила в редакцию 27.07.2020 г.

После доработки 20.08.2020 г.

Принята к публикации 11.02.2021 г.

Выполнен анализ развития агроэкосистем России в условиях реформирования аграрного сектора страны после распада СССР (в течении 25-летнего периода развития рыночной экономики), созданного и развивающегося нового многоукладного аграрного сектора страны на основе показателей динамики площадей агроэкосистем, продуктивности культур и их фитосанитарного состояния. Определены экономические и экологические преимущества технологий химической защиты зерновых и технических культур при использовании прогрессивной опрыскивающей техники, обеспечивающей реализацию элементов информационных технологий (ИТ) при обработке 20% посевов страны в сравнении с применением традиционных технологий на 80% площадей (2016–2020 гг.), возможные перспективы использования прогрессивных технологий в связи с решением продовольственной программы России.

Ключевые слова: зерновые и технические культуры, химическая защита растений, агроэкосистемы, опрыскивающая техника, технологии защиты растений, информационные технологии, экономическая эффективность, цены.

DOI: 10.31857/S0002188121050148

ВВЕДЕНИЕ

За последнее десятилетие научно-технический прогресс (НТП) в мировом аграрном секторе получил развитие по следующим направлениям: информационные технологии (ИТ), цифровизация, глобальные позиционные системы GPS, географические позиционные системы ГИС, высокопроизводительные компьютерные системы, интернет, облачное хранение информации, электронное документирование, сенсорные станции, техника и технологии высокоточного внесения удобрений и химических средств защиты растений. Они создают возможности использования достижений биотехнологии, генетики, селекции в реализации генетического потенциала продуктивности новых высокоурожайных сортов культурных растений при прогрессивных сортовых технологиях их защиты.

В России НТП в период перехода к рыночной экономике (в последние 25 лет) на начальном этапе проявлялся в восстановлении разрушенного производства отечественной техники, а также применении зарубежной техники, закупаемой и поступающей в аграрный сектор.

Основу технической базы защиты растений составляла отечественная техника, оставшаяся после реорганизации крупных социалистических предприятий (колхозов и совхозов) с государственной собственностью на землю, при формировании многоукладного сектора сельских товаропроизводителей. Новый сектор получил развитие на основе вновь созданных сельскохозяйственных предприятий, крестьянских (фермерских) хозяйств и личных подсобных хозяйств населения с частной формой собственности на землю. Недостаточное обеспечение материально-техническими средствами сельских товаропроизводителей в многоукладном секторе снижало возможности ведения безубыточного рентабельного производства на значительных площадях пахотных земель при низком уровне земледелия. Следствием явилось сокращение посевных площадей (с убыточным производством) и переводом их в разряд бросовых земель. Значительные площади пашни оказались невостребованными для производства сельскохозяйственной продукции.

При низком уровне развития материально-технической базы в аграрном секторе сохрани-

лась опасность снижения культуры земледелия на оставшихся площадях в хозяйствах при дефиците техники для защиты растений и внесения удобрений. Однако уже на первом этапе реформирования было обращено внимание на важность развития научного обеспечения технологий защиты растений. Под руководством РАСХН была разработана и начала развиваться программа производства прогрессивной техники и технологий фитосанитарии, отмеченная Государственной премией развития материально-технической базы интегрированной защиты растений, разработанная коллективом ученых и руководителей предприятий (группой в составе 12 человек), под руководством автора настоящей статьи.

По существу этот этап успешно выполняли, он представлял базу для дальнейшего развития второго этапа НТП, связанного с научным и техническим развитием достижений ИТ в уже созданной новой технике для защиты растений, с использованием комплектующих (оборудования и приборов), обеспечивающих реализацию элементов ИТ в качестве технологических этапов точного земледелия и одного из важнейших его направлений (GPS в комплексах оборудования для РТК (терминал, автопилот и антенна на тракторе), бортовые компьютеры). Их производство начинали осваивать в последние годы на отечественных предприятиях, производящих технику для защиты растений, обеспечивающую применение прогрессивных технологий.

Системы GPS с элементами ИТ создают возможности выполнения техникой в сельскохозяйственных предприятиях и крестьянских (фермерских) хозяйствах мониторинга состояния развития растений и вредных организмов с использованием глобальных навигационных спутниковых систем. Также элементы ИТ устанавливаемого навигационно-связанного оборудования на опрыскивающей технике с внешними приемниками GPS помогают механизаторам в управлении самоходными и тракторными агрегатами с прицепными или навесными опрыскивателями, осуществляя контроль за перемещением работающих агрегатов на поле, следуя параллельным и равноудаленным линиям прямолинейного или криволинейного маршрутов. Техническими средствами также контролируется в опрыскивающей технике подача жидкости из баков опрыскивателя рабочего раствора для нормирования его расхода, дозированного распределения и индивидуальной подачи в разбрызгиватели на штангах опрыскивателей. Выполнение указанных функций позволяет в автоматическом режиме (без трудовых затрат механизатора) обеспечивать равномерное рас-

пределение пестицидов по обрабатываемой площади, снижая до минимума (на 10–20%) расход препаратов, обеспечивая экономию средств защиты растений и снижение опасности загрязнения агроэкосистем и окружающей среды.

Цель работы – анализ и экономическая оценка исходного первого этапа и начала нового этапа НТП в области ИТ в прогрессивных технологиях химической защиты растений в Российской Федерации в новых экономических условиях перехода к рыночной экономике (при развитии многоукладного сельскохозяйственного производства с частной собственностью на землю), при недостаточном обеспечении аграрного сектора материально-техническими ресурсами.

Предусмотрен учет возможности эффективной реализации научно-технического прогресса в фитосанитарии с использованием пестицидов отечественного производства (на действующих веществах зарубежных химических концернов) и освоении прогрессивной техники, отвечающей мировым достижениям, при применении комплектующих деталей и приборов в условиях открытого мирового рынка с экономическими санкциями и с ростом цен на технику и пестициды.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

В работе были использованы: монографическое описание характеристик агроэкосистем на уровне страны по показателям площадей и продуктивности культур в сельскохозяйственных предприятиях, крестьянских (фермерских) хозяйствах и личных подсобных хозяйствах населения, описательная статистика динамики фитосанитарного состояния и рисков потерь урожая от групп вредных организмов, расчеты с использованием компьютерного пакета программ Excell, оригинальные методы оценки экономической эффективности защитных мероприятий (сбор информации и статистическая обработка исходной информации) [1].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В РФ после распада СССР сохранился природный потенциал, и страна остается одной из крупнейших в мире по земельным ресурсам, занимая 4-е место по площади пашни и многолетних насаждений (125 млн га из 1534 млн га в мире, или 8.1%), после США (170 млн га), Китая (154 млн га), Индии (170 млн га). Россия обеспечена трудовыми ресурсами (при общей численности населения на начало 2018 г. 146 млн человек, в том числе сельского – 37.6 млн человек при обеспеченности

земельными ресурсами 0.87 га/человека [2]. В среднем в мире этот показатель составляет 0.25, в США — 0.59, в Индии — 0.16 и в Китае — 0.11 га/человека. Россия в целом остается страной с высоким потенциалом самообеспечения продукцией растениеводства, обладая благоприятными климатическими и почвенными условиями для ведения сельского хозяйства в агроэкосистемах от южных регионов (субтропиков) до центральных и северных регионов, позволяющих выращивать зерновые, зернобобовые, технические культуры (сахарную свеклу, подсолнечник, лен-долгунец и масличный лен, сою, рапс), картофель, овощные, плодово-ягодные, цитрусовые культуры и чай.

Однако, как показывает опыт реформирования аграрного сектора экономики страны, максимальная продуктивность культурных растений в оптимальных почвенно-климатических условиях при многоукладном аграрном секторе России не может реализоваться. Этому мешает использование не в полной мере природных ресурсов, т.к. нет должного обеспечения материально-техническими ресурсами (техникой, энергетическими ресурсами, удобрениями, средствами защиты растений) центральной сельскохозяйственной сферы АПК, производящей сельскохозяйственную продукцию, для обеспечения населения продовольствием, сельскохозяйственной отрасли животноводства — кормами, промышленности — сырьем, а также запросов в сельскохозяйственной продукции международного рынка.

В период экономической реформы аграрного сектора при недостаточном обеспечении материально-техническими ресурсами сельских товаропроизводителей, которые лишились возможности обрабатывать ранее засеваемые площади пашни, из оборота посевных площадей было выведено более 40 млн га засеваемых земель (33.6% к общей засеваемой площади в начале реформ в 1992 г.). При этом был потерян потенциал производства растениеводческой продукции порядка 100 млн т зерновых единиц (з.е.) на сумму около 900 млрд руб. при средней цене зерна зерновых и зернобобовых культур в 2016–2019 гг. 8762 руб./т, в т.ч. в 2019 г. — 10329 руб./т [3]. Бросовые земли не только не дают продукцию, но и превращаются в резервации сорных растений, вредителей и возбудителей болезней культурных растений, тем самым усиливая неблагоприятную фитосанитарную обстановку на оставшихся пахотных землях сельских товаропроизводителей, из которых лишь 25–30% ведут рентабельное производство (расширенное воспроизводство) при окупаемости материально-технических затрат в растение-

водстве. Известно, что естественное плодородие пахотных земель в России при нормальной технологии позволяет выращивать продукции растениеводства 14–16 ц з.е./га в среднем ежегодно, что явно недостаточно для обеспечения продовольственной безопасности страны.

Стабилизация высокого экономического плодородия почв и их благоприятного фитосанитарного состояния на основе достижений НТП представляет важное направление интенсификации земледелия и в сочетании с введением в оборот бросовых земель — важным резервом в решении задач дальнейшего роста валового производства продукции растениеводства на основе сбалансированного применения удобрений и улучшения фитосанитарного состояния агроэкосистем. До настоящего времени эти резервы не реализуются в качестве основных направлений стабилизации и дальнейшего повышения экономического плодородия почв. Продолжается на протяжении более чем четверти столетия ускоряющееся истощение плодородия высокоплодородных черноземов и окультуренных других менее плодородных почв, без восполнения питательных веществ на основе применения удобрений, при сложившейся тенденции к усилению отрицательного баланса элементов питания в агроэкосистемах с рисками выноса питательных веществ сорной растительностью и с низким их усвоением культурными растениями, повреждаемыми вредителями и возбудителями болезней.

Возможные резервы НТП, в частности, технического обеспечения на основе новейшей техники, в особенности в сфере защиты растений, проявляются в разной степени в работе предприятий, созданных и функционирующих в анализируемом периоде 2017–2019 гг. в многоукладном сельскохозяйственном производстве с частной собственностью на землю. Уже в настоящее время в освоении достижений НТП большие возможности имеют крупные 36054 сельскохозяйственные организации различных организационных форм с общей земельной площадью 290781 тыс. га, со средней площадью 2813.5 га. Из них 24.2% крупных предприятий имеют площадь 3000–40000 га и более, с оптимальными посевными площадями свыше 2500 га. В РФ работают 978 агрохолдингов (с 2552 сельскохозяйственными организациями), которые при поддержке государства имеют возможность использования достижений НТП [4]. В число хозяйств с возможностью использования достижений НТП, прежде всего ИТ, входит группа землевладельцев “ТОП-100”, включающая крупных землевладельцев и холдинги, финансово благополучная и обеспеченная материально-тех-

ническими ресурсами, имеющая возможности для инновационного освоения прогрессивных технологий производства продукции. Использование защитных технологий в этих хозяйствах позволило достичь более высокой урожайности (зерновых – 37.7 ц/га, подсолнечника – 17.9, сахарной свеклы – 388, картофеля – 284 и овощных культур – 362 ц/га в 2013–2015 гг. [5].

Возможности реализации НТП практически отсутствуют у 149 038 крестьянских (фермерских) хозяйств и предпринимателей с общей площадью 43 312 тыс. га и со средней земельной площадью 286.2 га, а также у 26 236 личных подсобных хозяйств (ЛПХ) с земельной площадью 13 118 тыс. га, со средней земельной площадью 0.5 га [3].

Группы российских производителей пестицидов, объединяющих 10 российских предприятий с годовой мощностью, превышающей 270 тыс. т препаратов в год (Фирма “Август” – 38.8% оборота, АО “Щелково Агрохим” – 27, ООО “Агро Эксперт Групп” – 19, АО “ФМРус” – 5.5, ТПК “Техноэкспорт” – 3.2, ООО “Кирово-Чепецкий завод “Агрохимикат” – 3.2, ООО “Листера” – 2.0, “Агрорус и Ко” – 1.7, ООО “Бисолби Интер” – 0.4, “Дюпон Химром” – 0.1% [6]), активно участвующие в сельскохозяйственном производстве принадлежащих компаниям сельскохозяйственных предприятий, также обеспечивают их прогрессивной техникой и осуществляют передовые технологии с элементами точной защиты растений с использованием выпускаемых пестицидов. Земельный банк, например, компании “Август” имеет такие возможности для 100 тыс. га земель [7].

Следует также отметить, что в сфере точного земледелия пока наиболее популярными являются системы параллельного вождения вручную 75% пользователей. Рейтинг регионов, использующих элементы точного земледелия, по количеству хозяйств представлен по областям: Липецкая – 812 хозяйств, Орловская – 108, Смоленская – 75, Курганская – 55, Воронежская – 54, Нижегородская – 50, Краснодарский край – 44, Тамбовская обл. – 41, Оренбургская – 31, Тюменская – 31 и Республика Крым – 30 хозяйств [8].

В меньшей степени, чем сельскохозяйственные предприятия, крестьянские (фермерские) хозяйства имеют возможность приобретать и использовать прогрессивную технику при недостаточном обеспечении финансовыми ресурсами и получении от государства льготных кредитов. Например, на 2017 г. Минсельхозом было принято решение о включении в реестр лишь небольшого числа (3117 из ранее указанного количества) заемщиков (из 3930 поступивших заявок), попадав-

ших под категорию малых форм хозяйствования. Общая сумма краткосрочных кредитов, планируемых для получения указанной группой заемщиков, составляла 16.54 млрд руб. [9].

Многообразие организационных форм сельскохозяйственных предприятий определяет особенности технологий производства продукции растениеводства, связанные с обеспечением трудовыми, финансовыми, материально-техническими и земельными ресурсами, и при многообразии почвенно-климатических условий обеспечивает в конечном итоге общий уровень продовольственной безопасности страны в части продукции растениеводства. Динамика обеспечения потребностей страны в продукции основных сельскохозяйственных культур характеризуется за период реформирования показателями, представленными в табл. 1.

Следует отметить, что показатели роста урожайности зерновых, технических культур, картофеля, овощных и плодово-ягодных культур по сравнению с базовым периодом последних 2-х пятилеток связаны с уровнем увеличения материально-технических ресурсов на существенно уменьшившейся площади пахотных засеваемых земель.

В соответствии с представленными данными определена площадь земель в крупных сельскохозяйственных предприятиях и крестьянских (фермерских) хозяйствах со специализацией зернового производства и производства технических культур – порядка 20% от общей уборочной площади, на которых осуществляют защитные мероприятия при применении прогрессивной техники с использованием элементов информационных технологий. Остальные 80% площадей обрабатывают традиционной техникой без использования ИТ.

В большинстве хозяйств на площади 80% в настоящее время используют технику с комплектующими деталями отечественного и зарубежного производства, приобретаемую зарубежную, а также технику, выпускаемую переоборудованными цехами отечественных машиностроительных предприятий или вновь созданными на первом этапе развития рыночной экономики специализированными предприятиями промышленного производства техники (Подольский электромеханический завод, Агро-Тех, Агроприцеп-Камаз, Казань-сельхозмаш, НПФ “Гута”, ООО “Заря”, Пегас-Агро и др.) без или с частичным использованием зарубежных комплектующих. Увеличивается доля техники для защиты растений на основе комплектующих деталей зарубежных компаний и оригинальной зарубежной техники (AGCO, Ama-

Таблица 1. Общие показатели развития растениеводства за период реформирования агропромышленного комплекса России с 1986–1990 по 2016–2018 гг.

Культура	Площадь, тыс. га	Урожайность, т/га	Площадь, тыс. га	Урожайность, т/га	Площадь, тыс. га	Урожайность, т/га
Годы	1986–1990		2011–2015		2016–2018	
Зерновые*	65644	1.59	45340	2.05	45685	2.70
Сахарная свекла	1475	22.5	1056	38.5	1114	43.5
Подсолнечник	3668	1.11	7065	1.25	7499	1.52
Соя**	—	—	—	—	2067	1.74
Рапс**	—	—	—	—	925	1.62
Лен-долгунец	481	0.25	54	0.78	43	0.91
Картофель	3313	10.8	2168	14.5	1360	16.3
Овощные	669	15.4	685	21.9	537	25.1
Плодово-ягодные и виноград	867	3.95	580	5.17	414	8.76
Кормовые	43308	2	17390	0.96	16121	2.26
Площадь, всего	1194225		74338		76665	

*Зерновые культуры, включая зернобобовые. То же в табл. 2–11.

**Прочерк – отсутствие данных.

zone, Berthoud, Hardi, LemkenJacto, John Deer, Montana, Technoma и др.). Предусмотрено развитие производства малогабаритной техники для защиты растений в небольших по площади крестьянских (фермерских) хозяйствах и ЛПХ: например, опрыскивателей, производимых АО “Инвестэлектро” [10].

Основная техника отечественного производства для проведения опрыскивания в сельскохозяйственных предприятиях без использования ИТ включает штанговые опрыскиватели ОПШ-15-01 с емкостью бака 1200 л, шириной захвата 16.2 м, производительностью 8–15 га/ч, в агрегатах с тракторами МТЗ-60/52; ОП-2000-2-01 с соответствующими показателями 2000 л, 18.5–22.5 м, производительностью 18.4–22.3 га/ч; ОМ-630-2 – 630 л, 16.2 м и 13.5–16.5 га/ч; дистанционные вентиляторные опрыскиватели ПОМ 630, ОПВ-100 и ОПВ-2000. Основные агрегаты для приготовления рабочей жидкости представлены АПЖ-12 с емкостью бака 3200 л и производительностью до 15 т/ч, СКТ-5Б – соответственно 4080 и 6.3 т/ч, с обслуживающим персоналом в количестве 2-х человек; заправщики ЗЖВ-1,8 с емкостью 1800 л и производительностью 9–27 т-км/ч, ЗЖВ-3.2 – соответственно 3200 л и 38 т-км/ч [10].

В настоящее время перечень предприятий, осуществляющих выпуск техники для защиты растений в России, существенно расширился до 63 предприятий с относительно небольшими объемами производства [11, 12]. Тем не менее, по

данным ассоциация “Росспецмаш”, на внутреннем рынке более половины поступающей техники (63% от общего количества) поставляют сельским товаропроизводителям зарубежные компании. Общий перечень выпускаемой техники первого периода создал базу для принципиально качественно нового этапа развития технической базы, совершенствующейся для освоения информационных технологий и поступающей сельским товаропроизводителям.

Кроме наземной опрыскивающей техники происходит прогресс в использовании отечественной авиационной техники для малообъемного опрыскивания сельскохозяйственного назначения (самолеты АН-2, АН-2М и вертолеты Ми-2 и Ка-26), пилотируемых сверхлегких летательных аппаратов, которые вытесняются беспилотными аппаратами. В перспективе предусматривалось использование для защиты растений сверхлегкого самолета “Авиатика-МАИ-890СХ с полезной нагрузкой 100 кг и АН-3Т – до 1700 кг, представляющего глубокую модернизацию АН-2, и новых вертолетов Ка 226 грузоподъемностью до 1350 кг и Аиста – до 1650 кг. Ведутся работы по модернизации опрыскивателей для АН-2 ОС-1М и для Ми-2 4202.0691.0000. [13]. Авиационное опрыскивание связано с использованием техники при трудностях выполнения наземного опрыскивания в горных условиях, с обработкой небольших площадей и со случаями выполнения срочных работ по защите растений. Для проведения

протравливания (в основном зерновых культур и клубней картофеля) используют на первом этапе относительно менее сложную протравливающую технику [14].

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ПРОГРЕСС, СВЯЗАННЫЙ С СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕМ ТЕХНИКИ ДЛЯ ЗАЩИТЫ РАСТЕНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЭЛЕМЕНТОВ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ХИМИЧЕСКОЙ ЗАЩИТЕ ЗЕРНОВЫХ И ТЕХНИЧЕСКИХ КУЛЬТУР

Новый этап совершенствования техники за последнее десятилетие получил развитие в связи с достижениями НТП, прежде всего зарубежных высокоразвитых стран в области информационных технологий, позволяющих принципиально изменять технологии защиты растений. В результате использования систем ИТ, глобальных позиционных систем (GPS), географических информационных систем (ГИС), компьютерных технологий и интернета существенно повышается качественный уровень техники. В России, с новой зарубежной и отечественной техникой с зарубежными комплектующими информационными системами, поступающими в аграрный сектор, происходит развитие технологий защиты растений. Например, система GPS позволяет выполнить в сельскохозяйственных предприятиях и крестьянских (фермерских) хозяйствах мониторинг развития растений с использованием глобальных навигационных спутниковых систем. Устанавливаемое навигационно-связанное оборудование на опрыскивающей технике с внешними приемниками GPS помогает механизаторам в управлении самоходными и тракторными агрегатами с прицепными или навесными опрыскивателями и автоматически контролирует перемещение по полю по параллельным и равноудаленным линиям прямолинейного или криволинейных маршрутов (без рабочей колеи и без использования слепоуказателей). Технические средства также контролируют в опрыскивающей технике работу подачи из баков опрыскивателя, расход, дозированное распределение и индивидуальную подачу рабочего раствора в разбрызгиватели на штангах опрыскивателей. Выполнение указанных функций позволяет в автоматическом режиме (без трудовых затрат механизатора) обеспечить равномерное распределение пестицидов по обрабатываемой площади, снижая до минимума опасность загрязнения агроэкосистем и окружающей среды.

Примером успешного использования зарубежных комплектующих при выпуске техники является отечественное предприятие Казаньсель-

хозмаш. Предприятие выпускает крупногабаритную технику для выполнения защитных мероприятий в крупных сельскохозяйственных предприятиях, специализирующихся на производстве зерна. Техника представлена самоходными опрыскивателями ОС-3000 Барс со штангой 24 м, емкостью бака 3000 л, производительностью 35–45 га/ч, ОС-3000-М Барс, прицепными ОП-3000 Барс и ОП-4000 Барс, ОП-2000 Руслан и ОП-2000 Агро. Выпускаемую отечественную технику по заказам пользователей можно оснащать бортовым компьютером, обеспечивающим контроль основных параметров работы опрыскивателей, GPS-навигатором Commander – для параллельного вождения и автоматического отключения секций опрыскивателя в зонах перекрытия, выполнения ночного режима работ с целью продления длительности работы и повышения качества опрыскивания [15]. В настоящее время техника, выпускаемая отечественной промышленностью с зарубежными комплектующими, не уступает зарубежной, позволяет повышать эффективность защиты растений (при рентабельном использовании за счет роста производительности и производства продукции растениеводства до уровня, окупающего затраты и приносящего прибыль в крупных хозяйствах с высокой культурой земледелия).

При существующей кредитной политике и государственной поддержке производства новая техника доступна для относительно небольшого количества финансово обеспеченных хозяйств. Современный механизм научно-технологического развития АПК недостаточно эффективен в проведении инвестиционной политики, учитывая, что инвестиции сконцентрировались в отраслях с быстрой окупаемостью, способных обеспечить залоги для 23% сельскохозяйственных организаций (из общего числа 20733 предприятий) и 93% прибыли. Остальные 77% организаций, для которых прибыль равна 7%, не могут брать кредиты, лишены возможности применения достижений НТП в сфере защиты растений. В настоящее время обоснована целесообразность создания фонда инноваций, обеспечиваемого государством и частными промышленными предприятиями [5].

Использование высокопроизводительных опрыскивателей, оснащенных зарубежными комплектующими (в целом или с частичным использованием инновационных достижений на основе информационных технологий) в соответствии с проведенным анализом в 2016–2018 гг. было зафиксировано на 20% засеваемых площадей, без оснащения зарубежными комплектующими – на 80% площадей.

Для оценки возможностей и перспектив экономической целесообразности приобретения сельскими товаропроизводителями техники в соответствии с ее агротехническими и стоимостными показателями проанализирована техника, выпускаемая группой компаний «Агротех-Гарант» [16]. Показатели опрыскивающей техники дифференцированы по уровню оснащения для выполнения отдельных технологических операций информационных технологий, а также систем и комплексов операций в работе опрыскивателей разных категорий, которые различаются ценами, действующими с 10.12.2018 г.

Проведен анализ результатов оценки инноваций информационного обеспечения опрыскивающей техники на основании сравнительных показателей прицепных штанговых опрыскивателей с зарубежными комплектующими и без них. Сопоставимость обеспечена выпуском в одинаковых условиях группой компаний Агротех-Гарант техники различного формата «Гварта» (без и с оснащением средствами реализации информационных технологий), по комплексу агротехнических и стоимостных показателей техники для защиты растений.

Учтены традиционные опрыскиватели, типичные для обеспечения защиты растений в стране (без использования зарубежных комплектующих), соответствующие опрыскивателям серии «Гварта-2»: опрыскиватель ОПГ-2000/18М с емкостью бака для рабочего раствора 2000 л и штангой с шириной полосы опрыскивания 18 м, цена — 525000 руб.; ОПГ-2000/21М с емкостью бака 2000 л, штангой с шириной полосы опрыскивания 21 м, цена — 545000 руб.; серии «Гварта-3»: ОПГ-2500/18МД — 21М с емкостью бака 2500 л и штангой с шириной полосы опрыскивания 18 м, цена — 675000 руб.; ОПГ-2500/21МК с емкостью бака 2500 л и штангой с шириной полосы опрыскивания 21 м, цена — 850000 руб.; серии «Гварта-4»: ОПГ-2500/24МК с емкостью бака 2500 л и штангой с шириной полосы опрыскивания 24 м, цена — 1150000 руб. Указанные цены использованы в расчетах, при условии их соответствия стоимости опрыскивателей других фирм, сопоставимых по показателям емкости баков, ширине захвата и производительности обработки площади в га/ч.

В расчетах учтены цены отечественных традиционных опрыскивателей в объемах общей техники, обеспечивающей защитные мероприятия на 80% посевных площадей, без использования зарубежных комплектующих деталей и приборов.

Отечественная техника с комплектующими деталями и приборами для реализации информа-

ционных технологий представлена сериями опрыскивателей: серия «Гварта-5» ОПГ-3000/24МК с емкостью бака 3000 л, шириной захвата штанги 24 м, с компьютером BRAVO 180 (для контроля распыления), цена 1295 тыс. руб., с компьютером BRAVO 400 (для контроля распыления и автоматического отключения секций штанги + встроенный GPS-навигатор), цена 1530 тыс. руб.; серия «Гварта-7» ОПГ-4000/27МК с компьютером BRAVO 180 (для контроля распыления), цена 1665 тыс. руб., с компьютером BRAVO 400 (для контроля распыления и автоматического отключения секций штанги + встроенный GPS-навигатор), цена 1905 тыс. руб.; серия «Гварта-8» ОПГ-3700/27МК с компьютером BRAVO 180 (для контроля распыления), цена 1685 тыс. руб., с компьютером BRAVO 400 (для контроля распыления и автоматического отключения секций штанги + встроенный GPS-навигатор), цена 1925 тыс. руб., с компьютером BRAVO 400 + SELETRON (с электронной системой контроля и управления распылением каждой отдельной форсунки + встроенный GPS-навигатор), цена 2225 тыс. руб. Таким образом, традиционная опрыскивающая техника без комплектующих, позволяющих выполнять функции элементов ИТ-технологий, имеет цену от 525 тыс. руб. до 1150 тыс. руб. за опрыскиватель, с комплектующими — от 1295 тыс. до 2225 тыс. руб.

Техника Агротех-Гарант с комплектующими имеет гораздо более высокие технологические параметры, что требует более высоких затрат для ее приобретения, но при этом обеспечивает возможности повышения интенсификации производства, на основе увеличения прибыльности, окупаемости и снижения себестоимости продукции растениеводства в результате повышения урожайности культур при применении прогрессивных технологий защиты растений при минимальной опасности загрязнения пестицидами окружающей среды.

Сельскохозяйственные организации и фермерские (крестьянские) хозяйства с 2500 га посевной площади используют традиционную технику (опрыскиватели) с емкостью баков до 2000–2500 л и шириной захвата штанг 6–12 м, 18–24 м, выпущенные в первом периоде и в настоящее время. Наименьшие возможности использования научно-технических достижений в области защиты растений имеют производители сельскохозяйственной продукции в ЛПХ, которые применяют ограниченный ассортимент химических средств для защиты картофеля, овощных, плодовых культур, кустарников и декоративных растений по специальным регламентам и технологиям при небольших затратах на технику с ограниченным на-

бором препаратов в мелкой расфасовке для обработки площадей, исчисляемых сотками (долями 1 га). Личные подсобные хозяйства населения используют обычно ранцевые опрыскиватели и перемещающиеся опрыскиватели-гидроагрегаты) ценой от 544 (8 л) до 1675 руб.

МЕТОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ОЦЕНКИ НТП, СВЯЗАННОГО С ИНФОРМАЦИОННЫМИ ТЕХНОЛОГИЯМИ В ХИМИЧЕСКОЙ ЗАЩИТЕ ЗЕРНОВЫХ И ТЕХНИЧЕСКИХ КУЛЬТУР РОССИИ

Экономическая эффективность прогрессивной техники и соответственно технологий характеризуется показателями чистого дохода в стоимостной оценке в виде разницы сохраняемой продукции и затрат на проведение защитных мероприятий. Расчеты проведены в соответствии с официальной методикой оценки технологий механизации производства продукции растениеводства. В расчетах учитывали затраты, связанные с освоением новых технических средств, отдельных и полного комплекса операций, соответствующих новым возможностям и достижениям информационных технологий [17, 18]. Затраты на дополнительное оборудование, связанное с информационными технологиями в технологических процессах обработки посевов сельскохозяйственных культур, рассматривали в составе материальных, технических и трудовых ресурсов (в виде дополнительных общих затрат или издержек).

При этом также учитывали технические, технологические, агротехнические характеристики и регламенты безопасности использованных пестицидов (для механизаторов, полезной фауны и флоры в агроэкосистемах и в целом для окружающей среды). Показатели представлены в Государственном каталоге пестицидов и агрохимикатов, разрешенных к применению на территории Российской Федерации [19].

Общие затраты на защитные мероприятия включали 2 группы показателей (постоянные и переменные издержки). Постоянные издержки на приобретение техники (трактора, техника для транспортировки пестицидов, воды, для приготовления рабочих растворов, опрыскиватели) переносят свою стоимость на защищаемую продукцию растениеводства в течение нескольких лет при выполнении отдельных технологических процессов в виде нормативных процентов ежегодных амортизационных отчислений от стоимости техники. Переменные текущие издержки на техническое обслуживание и ремонт техники, из-

расходованное горючее и смазочные материалы, на зарплату и прочие затраты, которые учитываются в натуральных показателях (в часах работы, показателях выполненных работ (ед. выполненных работ/га и в их стоимостной оценке)) учитывали в виде затрат на защиту растений за год. Перечень учтенных затрат на общий технологический процесс представлен для отдельных операций в защите растений.

В расчетах затрат на выполнение защитных мероприятий учитывали общие прямые эксплуатационные затраты денежных средств (И) на единицу наработки (1 га) по формуле:

$$И = З + Г + Р + А + П,$$

где З – затраты средств на оплату труда обслуживающего персонала, руб./ед. наработки (на 1 га), Г – затраты средств на горюче-смазочные материалы работающей техники (руб./га), Р – затраты средств на ремонт и техническое обслуживание (руб./га), А – затраты средств на амортизацию (руб./га), П – прочие прямые затраты средств на основные и вспомогательные материалы (руб./га). Нормативные показатели издержек представлены в табл. 2.

ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ТЕХНОЛОГИЙ ПРИМЕНЕНИЯ ПЕСТИЦИДОВ ПРОГРЕССИВНОЙ ТЕХНИКОЙ, ОСНАЩЕННОЙ КОМПЛЕКТУЮЩИМ ОБОРУДОВАНИЕМ И ПРИБОРАМИ ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

При оценке технологий применения пестицидов прогрессивной техникой, оснащенной оборудованием и приборами для выполнения элементов информационных технологий, использовали принцип оценки окупаемости затрат продукцией, сохраняемым урожаем в результате проведения защитных мероприятий. Затраты на использование технических средств при проведении защитных мероприятий оценивали в соответствии с представленной методикой и с нормативными показателями на отдельные элементы проведенных обработок [17].

На основании расчетов (с учетом нормативных показателей издержек на проведение защитных мероприятий традиционной и прогрессивной техникой) установлены затраты на обработку посевов пестицидами традиционной техникой: ОП-2000 – 348.59 руб./га, с учетом проведения фитомониторинга, накладных и прочих расходов (25%) – 435.74 руб./га, Грата 2 – соответственно 366.86 и 458.58 руб./га, опрыскивающей техникой, обеспечивающей элементы информацион-

Таблица 2. Нормативные показатели издержек на проведение защитных мероприятий [25, 26]

Показатель	Цена без НДС, тыс. руб.	Загрузка техники, ч/год	Выра-ботка, га/ч	Зарплата, руб./га	Аморти-зация	ТО и ремонт	Прочие затраты
					%		
Трактор М ТЗ-82	1240	1035	350	0.26	15	11	10
Орудие 2ПТС-2	42	130	800	0.12	14.2	13	10
Емкость для жидкости ОПМ-3,5; ЗЖВ-1,8	200	200	50	18.46	14.2	13	10
Пункт приготовления рабочего раствора	740	200	22	9.23	20	13	10
Опрыскиватель “Гварта -2”	545	200	22	18.46	20	12	10
Опрыскиватель “Гварта 4” ОП Г-2500	1165	200	22	18.46	20	13	10
Опрыскиватель серии “Гварта-8” ОПГ- 3700/27МК с системой управления	2250	200	33		20	13	10
Опрыскиватель вентилятор-ный ОПВ-2000	580	200	11		20	13	10

ных технологий (оборудование и приборы) опрыскивателей Грата 4 – 482.97 и 603.71 руб./га, Грата 8 – 471.68 и 589.60 руб./га.

В среднем на 1 га при обработке площади зерновых технических культур затраты составляли 596.655 руб. (~597 руб./га), традиционной техникой – 417.87 руб. (~418 руб./га) или 143% к затратам обработки посевов традиционной техникой.

Вторую группу затрат на защиту растений определяли стоимостные показатели приобретения пестицидов. Результаты расчетов эффективности использования техники, оснащенной оборудованием и приборами информационной технологии, при прогрессивной технологии защиты сельскохозяйственных культур препаратами представлены по группам наиболее применяемых пестицидов в 2016–2018 гг. Группа инсектицидов: Препарат 30 Плюс, ММЕ, БИ-58 Новый, КЭ, Каратэ Зеон, МКС, Эфория, КС, Борей СК, Кинфос КЭ, Рогор-С, КЭ, Брейк, МЭ, Фаскорд, МЭ, Цепеллин, КЭ, группа фунгицидов: Фалькон, КЭ, Колосаль Про, КНЭ, Абакус Ультра, СЭ, Альто Супер, КЭ, Солигор, КЭ, Рекс Дуо, КС, Альто Турбо, КЭ, Феразим, КС, Абакус, СЭ, Бенорад, СП, группа гербицидов: Балерина, СЭ, Торнадо 500, ВР, Прима, СЭ, Ураган Форте, ВР, Бетанал 22, КЭ, Глидер, ВР, Рап, ВР, Бетанал Эксперт ОФ, КЭ, Тотал, ВР. Затраты на приобретение препаратов (руб./га) рассчитаны как произведение величин средней арифметической нормы расхода препарата (л(кг)/га) и цены с НДС 1 л(кг) препарата [19].

Затраты на приобретение инсектицидов для защиты зерновых культур от вредителей составили 671.17 руб./га, сахарной свеклы – 882.26, подсолнечника – 525.60, сои – 530.49, рапса – 459.37, льна-долгунца – 502.58 руб./га; фунгицидов против возбудителей болезней растений соответственно 1325.09, 1298.38, 1164.48, 1699.17, 1580.00, 1142.80 руб./га; гербицидов против сорных растений – 1838.19, 2028.36, 2056.83, 2262.45, 3825.81, 1744.47 руб./га. Показатели затрат на 1 га на приобретение пестицидов и на проведение обработок использованы для определения общих затрат на уровне страны с учетом площадей обработок и групп культур.

Общие показатели на применение пестицидов представляют сумму 2-х средних показателей на приобретение пестицидов и на их внесение. Показатели использованы на завершающем этапе экономической оценки эффективности применения пестицидов – определении окупаемости затрат сохраненным урожаем для групп вредных организмов на 1 га и на уборочную площадь культур с учетом величины площадей обработанных культур группами пестицидов.

Оценка показателей сохраняемого урожая на уровне страны предусматривала поэтапный расчет для зерновых и технических культур и групп вредных организмов:

– расчет показателей продуктивности сельскохозяйственных культур на уровне страны в среднем на 1 га и в целом на всю площадь культуры, выращенной по прогрессивным технологиям

Таблица 3. Показатели продуктивности агроэкосистем сельскохозяйственных предприятий с прогрессивными технологиями, включающими элементы информационных технологий, при возделывании зерновых и масличных культур в России (2016–2018 гг.)

	Площадь, тыс. га	Урожайность, ц/га	Валовой сбор, тыс. т	Цена, руб./т	Валовой сбор, млн руб.
Зерновые и зернобобовые	9137.0	44.61	40760	8762	357140
Сахарная свекла	222.8	550	12254	2276	27890
Подсолнечник	1499.8	19.2	2886	17633	50882
Соя	413.4	22.0	910	21942	19974
Рапс	185.0	20.5	379	20990	7964
Лен-долгунец	8.6	13.0	11	25590	286
	11466.6				464136

с использованием для защиты растений техники, реализующей элементы информационных технологий;

– расчет показателей снижения урожайности культуры в результате распространения основных групп вредных организмов;

– расчет потенциала защитных мероприятий с учетом агротехнической эффективности по величине сохраняемого урожая в натуральных показателях (в т/га) и в стоимостной оценке (в руб./га).

Показатели производства продукции растениеводства представлены для выделенной группы сельских товаропроизводителей, финансово обеспеченных, с высокими показателями культуры земледелия, с наличием ≥ 2500 га засеваемых пахотных земель с высоким уровнем плодородия, возможностями приобретения и использования техники с элементами новейших информационных технологий защиты растений (табл. 3).

При экономической оценке фитосанитарного состояния агроэкосистем с высокопродуктивными интенсивными технологиями в связи со сложившимися условиями, определяющими нежелательные процессы формирования монокультурного земледелия (тенденции к повышению в структуре посевных площадей доли зернового клина и технических культур в сельскохозяйственных предприятиях и в крестьянских (фермерских) хозяйствах и одновременно концентрации производства картофеля, овощебахчевых и плодово-ягодных культур в мелких личных подсобных хозяйствах населения), необходимо учитывать распространение по соответствующим растениеводческим отраслям специализированных вредных организмов, а также дополнительно нестабильность погодных условий, связанную с производственной деятельностью человека.

Примерами нестабильности погодных условий является влияние на них теплопереноса течениями в океанах. Западные территории РФ, по мнению ученых, подвержены изменениям погодных условий, связанных в настоящее время с трансформацией теплого течения Гольфстрим. Океанское течение Гольфстрим, перестало в должной степени выполнять функции “печки” Европы и восточного побережья США и Канады. В пограничных регионах с Атлантическим океаном за последние 13 лет похолодало на 7°C , в России при этом во многих районах температура повысилась на $7\text{--}8^{\circ}\text{C}$.

В результате потепления (отступления заморозков на недели, без дождливого теплого периода, благоприятного для уборки и осеннего посева озимых культур) существенно повысилась урожайность зерновых культур. В странах Западной Европы и США проявляются отрицательные изменения климата, снижающие урожайность зерновых культур [20].

В агроэкосистемах России при сложившемся потеплении погодных условий, наряду с их положительным влиянием на повышение продуктивного потенциала отраслей растениеводства, отмечены негативные процессы, связанные с увеличением рисков опасности перемещения вредных организмов с юга на север практически во всех агроэкосистемах. Примером может служить Краснодарский край, занимающий первые места по производству зерна пшеницы, ячменя, кукурузы, подсолнечника, сои, сахарной свеклы и овощей. Теплые зимы с дефицитом влаги оказывают стимулирующее влияние на развитие насекомых, создавая условия для массового размножения прямокрылых, чешуекрылых и полужесткокрылых вредителей. Отмечено усиление вредоносности хлопковой совки на кукурузе,

Таблица 4. Потенциальные риски потерь урожая, вызываемые в высокопродуктивных агроэкосистемах группами вредных организмов в стоимостных показателях (средние 2017–2019 гг.)

	Площадь тыс. га	Валовой сбор		Риски потерь урожая, вызываемые вредными организмами, млн руб.			
		тыс. т	млн руб.	вредители	болезни	сорняки	итого
Зерновые	9137	40760	357140	29893	46035	55178	131106
Сахарная свекла	222.8	12254	27890	2421	2736	6409	11566
Подсолнечник	1499.8	2886	50882	5231	5276	8390	18898
Соя	413.4	910	19974	1854	2271	3294	7418
Рапс	185	379	7964	898	746	1313	2958
Лен-долгунец	8.6	11	286	21	26	60	108
Всего	11466.6		464136	40317	57092	74645	172054
%			100	8.69	12.3	16.1	37.1

подсолнечнике, сое, нуте и томате, а также опасности видов чешуекрылых (лугового и стеблевого мотыльков, подгрызающих совок, совки-гаммы, капустной и хлопковой совок, хлебных жуков и личинок жуков-щелкунов – проволочников). На Кубани следует учитывать повышение опасности капустной моли не только на яровых капустных культурах, но и на озимом рапсе. Нарастает опасность трудно поддающегося прогнозированию лугового мотылька, перехода хлопкового и огородного клопов на томаты, возросшую угрозу коричнево-мраморного клопа, способного поражать плодово-ягодные культуры, виноград, бахчевые культуры, бобовые и кукурузу [21].

В системе растениеводства в целом в стране с вычлениением высокопродуктивных агроэкосистем учитывали 3 уровня рисков распространения и опасности вредных организмов (низкий, средний и высокий), характеризующиеся плотностью популяций групп вредных организмов (вредителей, возбудителей болезней и сорных растений) для отдельных сельскохозяйственных культур. Использовали показатели рисков опасности потерь урожая от вредных организмов, полученные на основании обобщения многолетних опытных данных, и оценки площадей распространения вредных организмов с 3-мя уровнями плотности популяций, включая результаты учета государственной службой «Россельхозцентр» за 2017–2019 гг. [18, 22].

Потенциальные потери продуктивности агроэкосистем России в среднем ежегодно от вредителей зерновых культур составляли 8.37, от болезней – 12.9, сорной растительности – 15.5%; сахарной свеклы – соответственно 8.68, 9.81, 23.0%; подсолнечника – 10.3, 10.4, 16.5%; сои – 9.28, 11.4, 16.5%; рапса – 11.3, 9.37, 16.5%; льна-долгунца – 7.30, 9.23, 21.1%. Потенциальные риски по-

терь урожая, вызванные в высокопродуктивных агроэкосистемах группами вредных организмов (в среднем за 2017–2019 гг.), представлены в стоимостных показателях (табл. 4).

Валовой сбор урожая культур на площади 11.467 млн га оценен суммой 464.136 млрд руб., потенциальные потери от вредных организмов – 172.054 млрд руб. (37.1%). Потери урожая от распространения сорняков в агроэкосистемах составили 16.1, от возбудителей болезней – 12.3 и от вредителей растений – 8.69%.

Показатели агротехнической эффективности химической защиты растений на основе прогрессивных технологий, включая химическую защиту растений, реализующую преимущества информационных технологий на 20% площадей (от общих площадей в России), в сравнении с традиционной технологией на 80% площадей в среднем за год за период 2016–2018 гг. представлены в табл. 5.

При анализе показателей урожайности зерновых культур на общей площади 45685 тыс. га и валовом сборе зерна 123157 тыс. т, показана средняя урожайность 2.7 т/га в 2016–2018 гг. При этом на 20% площади при применении прогрессивных технологий химической защиты растений была обеспечена урожайность зерна 4.461 т/га, на 80% остальных площадей, без реализации в химической защите растений элементов информационных технологий урожайность составила 2.282 т/га (соотношение величин урожайности = 1.95). Аналогичную тенденцию преимуществ прогрессивных технологий с защитой растений, реализующих достижения ИТ-технологий, отметили и для технических культур. При выращивании сахарной свеклы на 20% посевных площадей по прогрессивным технологиям ее урожайность достигла 55.0 т/га, на 80% площадей при традиционных

Таблица 5. Урожайность культур в зависимости от прогрессивных технологий, включающих защиту растений, реализующих достижения информационных технологий (20% площади), и традиционных технологий на 80% остальной площади в РФ (2016–2018 гг.)

Культуры	Площадь тыс. га	Валовой сбор тыс. т	Урожайность на площади		
			100%	20%	80%
Зерновые	45685	123157	2.70	4.46	2.28
Сахарная свекла	1114	48435	43.5	55.0	40.6
Подсолнечник	7499	11417	1.52	1.92	1.41
Соя	2067	3597	1.74	2.20	1.62
Рапс	925	1500	1.62	2.05	1.50
Лен-долгунец	43	39	0.91	1.30	0.75

Таблица 6. Сохраняемый урожай в результате применения химических средств защиты растений на площади с высокой продуктивностью зерновых и технических культур, обрабатываемых пестицидами с использованием техники, укомплектованной средствами информационных технологий

Культура	Урожайность, ц/га	Сохраняемый урожай при обработке пестицидами					
		%			руб./га		
		инсек- тициды	фунгициды	гербициды	инсек- тициды	фунгициды	гербициды
Зерновые	44.6	6.7	10.3	12.4	2617	4031	4831
Сахарная свекла	550	6.9	7.8	18.4	8692	9824	23013
Подсолнечник	19.2	8.2	8.3	13.2	2790	2814	4476
Соя	22.0	7.4	9.1	13.2	3587	4395	6374
Рапс	20.5	9.0	7.5	13.2	3885	3227	5679
Лен-долгунец	13.0	5.8	7.4	16.9	1941	2455	5611

технологиях – 40.6 т/га (соотношение величин урожайности = 1.35), подсолнечника – соответственно 1.924 и 1.414 т/га (соотношение = 1.36), сои – 2.202 и 1.620 т/га (соотношение = 1.36), рапса – 2.051 и 1.502 т/га (соотношение = 1.37), льна-долгунца – 1.299 и 0.751 т/га (соотношение = 1.73).

Данные оценки экономической эффективности прогрессивных технологий, включающих химическую защиту растений, реализующую достижения информационных технологий, на площади 20% от общей уборочной площади зерновых и технических культур, как и показатели более высокой урожайности подтвердили целесообразность использования прогрессивной техники и технологий химической защиты растений.

При оценке экономической эффективности использования химических средств защиты растений учтены показатели агротехнической (биологической) эффективности (предотвращения потерь урожая при использовании химических средств защиты растений), которая в 2017 г. в среднем на территории РФ составила 87.0% для инсектицидов, 83.4% – для фунгицидов и 85.7% –

для гербицидов. В наших расчетах принята эффективность 80% и соответствующие показатели величин сохраняемого урожая на 1 га в натуральных и стоимостных показателях (с учетом уровня урожайности и показателей предотвращаемых потерь урожая, в % для групп использованных пестицидов) за 2016–2018 гг. (табл. 6). При использовании показателей применения средств защиты на 1 га и величины обрабатываемых площадей определены показатели сохраняемого урожая в стоимостной оценке (в руб.) в сельскохозяйственных предприятиях и хозяйствах, использующих химические средства защиты растений техникой, укомплектованной средствами информационных технологий (табл. 7) [23].

На площади, занимаемой зерновыми культурами, выращиваемыми по прогрессивным технологиям (9213 тыс. га), при обработке пестицидами посевов зерновых культур при помощи техники, укомплектованной средствами информационных технологий, сохраненный от вредных организмов урожай оценили в среднем ежегодно в 2016–2018 гг. суммой 37451 млн руб., сахарной свеклы на пло-

Таблица 7. Урожай, сохраненный в посевах культур, обрабатываемых пестицидами в России (средние в 2016–2018 гг.)

	Площадь обработки пестицидами, тыс. га			Сохраненный урожай, млн руб.		
	инсектициды	фунгициды	гербициды	инсектициды	фунгициды	гербициды
Зерновые	2526	1832	4855	6611	7384	23455
Сахарная свекла	61 (92)	44 (66)	118 (177)	530	432	2716
Подсолнечник	413	299	793	1152	842	3549
Соя	114	83	219	409	365	1396
Рапс	51	37	98	198	119	557
Лен-долгунец	2	2	5	4	5	28
Итого	3167	2297	6088	8904	9148	31700

Примечание. В скобках – полуторные обработки пестицидами. То же в табл. 9.

Таблица 8. Экономическая эффективность применения инсектицидов опрыскивающими агрегатами, оснащенными ИТ-комплектуемыми (средние в 2016–2018 гг.)

Культура	Площадь обработки, тыс. га	Сохраненный урожай	Затраты на препараты	Затраты на внесение	Затраты, всего	Чистый доход	Рентабельность, %
Зерновые	2526	6611	1695	1508	3203	3408	106
Сахарная свекла	61	530	81	54	135	395	293
Подсолнечник	413	1152	217	247	464	688	148
Соя	114	409	60	68	129	280	218
Рапс	51	198	23	30	54	144	268
Лен-долгунец	2	4	1	1	2	2	81.9

щади 223 тыс. га (с полуторакратной обработкой – 335 тыс. га) – 3678 млн руб., подсолнечника (1505 тыс. га) – 5543 млн руб., сои (416 тыс. га) – 2170 млн руб. рапса (186 тыс. га) – 874 млн руб., льна-долгунца (9 тыс. га) – 37 млн руб. Общий показатель предотвращенных потерь на обработанной пестицидами площади 11552 тыс. га составил 49.751 млрд руб. при потенциальных рисках потерь урожая 204.375 млрд руб. (29.3%). Эти показатели отражают агротехническую эффективность реализации защитных мероприятий.

ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ ПОТЕРЬ УРОЖАЯ ЗЕРНОВЫХ И ТЕХНИЧЕСКИХ КУЛЬТУР В РЕЗУЛЬТАТЕ ПРИМЕНЕНИЯ ПЕСТИЦИДОВ ОПРЫСКИВАЮЩИМИ АГРЕГАТАМИ, ОСНАЩЕННЫМИ КОМПЛЕКТУЮЩИМИ ИТ

На основании обобщенных данных о площадях посевов культур, обработанных пестицидами, сохраненного урожая культур, затрат на приобретение инсектицидов, их внесение опрыскивающими

агрегатами, оснащенными комплектуемыми ИТ-технологиями, определены экономические показатели эффективности защиты растений от вредителей сельскохозяйственных культур в РФ: чистый доход (разница сохраненного урожая и общих затрат (суммы затрат на приобретение и внесение препаратов) и уровень рентабельности (отношение чистого дохода и затрат, %) (табл. 8). Более высокие экономические показатели эффективности применения инсектицидов опрыскивающими агрегатами, оснащенными ИТ-комплектуемыми, отмечены при обработке технических культур (показатели рентабельности от 81.9 до 293%), менее высокие – при обработке зерновых культур (106%) при меньших показателях валовых сборов в стоимостной оценке на 1 га.

Также показаны аналогичные соотношения показателей эффективности при применении фунгицидов: более высокая эффективность при обработке технических культур, чем зерновых (табл. 9). Экономические показатели применения фунгицидов опрыскивающими агрегатами, оснащенными ИТ-комплектуемыми, при обра-

Таблица 9. Экономическая эффективность применения фунгицидов опрыскивающими агрегатами, оснащенными ИТ-комплектующими, в России (средние в 2016–2018 гг.)

Культура	Площадь обработки, тыс. га	Сохраненный урожай	Затраты на препараты	Затраты на внесение	Всего затрат	Доход	Рентабельность, %
Зерновые	1832	7384	2428	1094	3521	3863	109
Сахарная свекла	44	432	57 (86)	26 (39)	83 (125)	307	246
Подсолнечник	299	842	348	179	527	625	119
Соя	83	365	141	50	191	218	114
Рапс	37	119	58	22	80	117	146
Лен-долгунец	2	5	2	1	3	2	67

Таблица 10. Экономическая эффективность применения гербицидов опрыскивающими агрегатами, оснащенными ИТ-комплектующими, в России (средние в 2016–2018 гг.)

Культура	Площадь обработок, тыс. га	Сохраненный урожай	Затраты на препараты	Затраты на внесение	Всего затрат	Доход	Рентабельность, %
Зерновые	4855	23455	8924	2898	11823	11632	98.4
Сахарная свекла	118	2716	358	105	463	2253	487
Подсолнечник	793	3549	1631	473	2104	1445	68.6
Соя	219	1396	495	131	626	770	123
Рапс	98	557	243	59	302	255	84.4
Лен-долгунец	5	28	9	3	12	16	139

ботке технических культур были более высокими по уровню рентабельности (от 66.7 до 246%) по сравнению с зерновыми культурами (уровень рентабельности 110%). Как и в случае с инсектицидами более высокими были показатели валовых сборов урожая технических культур по сравнению с зерновыми на 1 га в стоимостной оценке.

Экономические показатели применения гербицидов опрыскивающими агрегатами, оснащенными ИТ-комплектующими, были обусловлены особенностями более интенсивного использования техники для защиты сельскохозяйственных культур при уничтожении сорных растений, но при этом одновременном сокращении трудоемких ручных прополок (табл. 10). Экономическая эффективность применения гербицидов опрыскивающими агрегатами, оснащенными ИТ-комплектующими, в России в среднем ежегодно в 2016–2018 гг. характеризовалась менее высокими показателями рентабельности в группе технических культур по сравнению с инсектицидами и фунгицидами, значение которых всегда больше при защите подсолнечника (фунгициды) и рапса (инсектициды).

Экономическая эффективность пестицидов, характеризующая экономическую эффектив-

ность комплексных систем химической защиты сельскохозяйственных культур от вредителей, возбудителей болезней и сорной растительности, представлена в табл. 11. Экономические показатели при применении пестицидов в комплексной защите растений при проведении обработок тремя группами пестицидов опрыскивающими агрегатами, оснащенными ИТ-комплектующими, в посевах технических культур (с изменениями уровня рентабельности от 80.2 до 409%) были выше, чем в посевах зерновых культур (102%).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В перспективе важным направлением в решении задач увеличения производства продукции растениеводства является рост использования прогрессивных технологий химической защиты растений, реализующих элементы информационных технологий на основе организационно-хозяйственных государственных мероприятий по увеличению доли хозяйств и площадей культур с высоким потенциалом продуктивности применения прогрессивной защиты растений с 20 до 50%. Обоснованность мероприятий подтверждена показателями высокой экономической эффектив-

Таблица 11. Экономическая эффективность комплексных систем химической защиты растений (применения сочетания химических средств – инсектицидов, фунгицидов и гербицидов) опрыскивающими агрегатами, оснащенными ИТ-комплектующими, в России (средние в 2016–2018 гг.)

Культура	Площадь обработки, тыс. га	Сохраненный урожай	Затраты на препараты	Затраты на внесение	Всего затрат	Доход	Рентабельность, %
Зерновые	9213	37450	1956	5500	18548	18902	102
Сахарная свекла	223	3678	525	198	723	2955	409
Подсолнечник	1505	5543	2196	899	3095	2482	80
Соя	416	2170	696	249	946	1268	134
Рапс	186	874	324	111	436	516	118
Лен-долгунец	9	37	12	5	17	20	118

ности защитных мероприятий на основе прогрессивных технических средств, реализующих элементы информационных технологий.

Расширение объемов производства продукции растениеводства также предполагает дополнительное обеспечение хозяйств государством и бизнесом соответствующей техникой и инновационными технологиями. Важным в решении развития НТП является увеличение кадрового обеспечения, учитывая, что в России в 2 раза меньше ИТ-специалистов, работающих в сельском хозяйстве, по сравнению со странами с традиционно развитым АПК. Российскому сектору сельского хозяйства при имеющихся 113 тыс. специалистов требуется дополнительно еще 90 тыс. [24].

Представлены результаты исследований, характеризующие динамику развития технического прогресса в химической защите растений в РФ в высокопродуктивных агроэкосистемах зерновых и технических культур в группе сельскохозяйственных предприятий, холдингов и крестьянских (фермерских) хозяйств с благополучным финансовым состоянием и с высоким уровнем развития земледелия на 20% посевов зерновых и технических культур в России. По состоянию на 2016–2018 гг. показаны затраты на приобретение техники для обработки зерновых и технических культур химическими средствами защиты растений с использованием прогрессивной опрыскивающей техники, обеспечивающей реализацию элементов интегрированной технологии: от 1295 тыс. до 2225 тыс. руб. за опрыскиватель при обработке химическими средствами защиты растений (в среднем 597 руб./га). Аналогичная традиционная опрыскивающая техника без комплектующих имела меньшую цену: от 525 тыс. до 1150 тыс. руб., затраты на обработку посева равнялись 417 руб./га. При химической защите 20% посевов зерновых и технических культур в хозяйствах с высокой куль-

турой земледелия, включая и возможности использования в комплексных системах химической защиты растений прогрессивной техники, при средней урожайности зерновых культур 4.461 т/га (на остальных 80% площадей в стране с применением традиционной техники – 2.282 т/га), было сохранено 29.4% урожая зерновых культур с уровнем рентабельности 102%, а также 32.6% урожая технических культур (например, максимальные показатели для сахарной свеклы были следующими: урожай – 55 т/га, уровень рентабельности – 409%).

Обоснована организационно-экономическая целесообразность использования прогрессивной техники, оснащенной комплектующими ИТ при расширении площадей комплексной химической защиты зерновых и технических культур до 50% от общей площади в стране. Условиями для выполнения этих задач являются обеспечение доступности сельским товаропроизводителям государственных кредитов, создание инновационного фонда с участием государства и частных структур, расширение подготовки кадров в области ИТ-технологий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Захаренко В.А., Судариков Г.В., Хардинов Ю.С., Захаренко А.В. Оптимизация фитосанитарного состояния сельскохозяйственных угодий с использованием программ для ПЭВМ. Вып. 4. М.: РАСХН, 2001. 80 с.
2. Министерство сельского хозяйства РФ. Агропромышленный комплекс России в 2015 году. М., 2016. 703 с.
3. Федеральная служба государственной статистики. Российский статистический ежегодник. М., 2018. 693 с.
4. Узун В.Д. Чья в России земля // Аргументы и факты (газета). 2020. № 6. С. 19.

5. *Петриков А.В.* Нужен фонд для инноваций. Информ. бюл. 2016. № 11. С. 31–33.
6. *Алгинин В.И.* На Российском рынке пестицидов должно присутствовать не менее 70% препаратов отечественных компаний // Защита и карантин раст. 2020. № 5. С. 3–4.
7. ПС/НСХ. Новое сельское хозяйство. От ста и выше // Новое сел. хоз-во. 2020. № 3. С. 8.
8. *Козубенко И.С.* Вводим цифровые технологии // Информ. бюл. 2018. № 7. С. 13–16.
9. Фермерам – льготные кредиты // Информ. бюл. 2017. № 6. С. 1.
10. Фитосанитарный щит для продовольствия России / Под ред. Захаренко В.А., Новожилова К.В. М.: ЗАО “Интрейдкорпорейшн”, 1998. 140 с.
11. *Котова В.В., Котикова Г.Ш., Гришечкина Л.Д.* Мероприятия по защите растений от болезней для зональных технологий выращивания сельскохозяйственных культур. Ежегодник. 2004. СПб., 2004. 32 с.
12. Машины и оборудование для внесения удобрений и средств защиты растений. М.: Росинформагротех, 2012. 96 с.
13. *Асовский В.П.* Актуальные вопросы авиационной защиты растений // Защита и карантин раст. 2008. № 3. С. 3–6.
14. *Захаренко В.А.* Прогрессивные технологии применения химических средств защиты растений с целью упреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций, вызываемых вредными организмами. Вып. 2. М.: РАСХН, 2010. 72 с.
15. Казаньсельхозмаш. Техника для защиты растений. 18 с. www.kazansm.ru
16. Группа компаний “Агротех-Гарант”, прайс-лист. ООО “Агротех Инвест”. www.gvarta.com
17. Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии. Национальный ГОСТ Р-53056-2008. Техника сельскохозяйственная. Методы экономической оценки. М.: Стандартинформ, 2009. 19 с.
18. Обзор фитосанитарного состояния посевов сельскохозяйственных культур в Российской Федерации в 2019 году и прогноз развития вредных организмов в 2020 г. М.: МСХ РФ, Россельхозцентр, 2020. 512 с.
19. Список пестицидов и агрохимикатов, разрешенных для применения на территории Российской Федерации. 2020 г. Справ. изд-е // Защита и карантин раст. 2020. 832 с.
20. Министерство сельского хозяйства и продовольствия. Методика определения экономической эффективности технологий и сельскохозяйственной техники. Ч. 2. Нормативно-справочный материал. М., 1998. 251 с.
21. *Орлов В.Н., Зеленский О.М.* Изменение климата требует перемен и в технологиях защиты растений // Защита и карантин раст. 2020. № 5. С. 5–8
22. Министерство сельского хозяйства и продовольствия. Методика определения экономической эффективности технологий и сельскохозяйственной техники. Ч. 2. Нормативно-справочный материал. М., 1998. 251 с.
23. Прайс-лист 2018 на средства защиты растений. <http://vankina-agro-ru/ceni/>
24. *Пронин В.М., Прокопенко В.И.* Испытания технологий: проблемы и решения. Описание технологии растениеводства. М.: Агро-информ, 2014. С. 10–13.

Current State and Prospects of the Economy of the Use of Pesticides in Agroecosystems of Russia

V. A. Zakharenko

Federal Research Center “Nemchinovka”

ul. Agrokhimikov 6, Moscow region, Odintsovsky district, r.p. Novoivanovskoe 143026, Russia

E-mail: zva@mosniish.ru

The analysis of the development of the agro-ecosystems of Russia in the conditions of reforming the agricultural sector after the collapse of the Soviet Union (within a 25-year period of development of the market economy) was completed, developed and developing new mixed agricultural sector on the basis of the measurement of the areas of agro-ecosystems, productivity of crops and their phytosanitary status. It was defined the economic and environmental advantages of chemical protection technologies for cereals and industrial crops with the use of advanced spraying equipment that ensures the implementation of information technology (IT) elements in the processing of 20% of the country’s crops in comparison with the use of traditional technologies on 80% of the area (2016–2020), possible prospects for the use of advanced technologies in connection with the decision of the food program of Russia.

Key words: grain and industrial crops, chemical plant protection, agroecosystems, spraying equipment, plant protection technologies, information technologies, economic efficiency, prices.

УДК 632.951.025.3:665.52

ФУМИГАНТНАЯ ТОКСИЧНОСТЬ НЕКОТОРЫХ ЭФИРНЫХ МАСЕЛ ПО ОТНОШЕНИЮ К ОБЫКНОВЕННОМУ ПАУТИННОМУ КЛЕЩУ (*Tetranychus urticae* Koch.) (Acari: Tetranychidae)

© 2021 г. Е. М. Мунтян^{1,*}, М. Г. Батко¹¹ Институт генетики, физиологии и защиты растений
MD 2002 Кишинев, ул. Пэдурий, 20, Республика Молдова

*E-mail: moontyane@yahoo.com

Поступила в редакцию 28.10.2020 г.

После доработки 11.11.2020 г.

Принята к публикации 11.02.2021 г.

Изучено фумигантное действие 5-ти коммерческих эфирных масел на обыкновенного паутинного клеща *Tetranychus urticae* Koch. Эфирные масла *Eucalyptus* spp., *Mentha piperita*, *Rosmarinus officinalis*, *Salvia sclarea* при концентрации 27 мкг/см³ воздуха через 24 ч вызывали 100%-ную гибель взрослых особей и односуточных яиц вредителя. Смертность клещей от паров *Santalum* spp. не превышала 20%. Анализ показателей CB_{50} и CK_{50} эфирных масел показал, что самым токсичным для вредителя было масло перечной мяты (CB_{50} 120 мин, CK_{50} 5.1 мкг/см³ при 5-часовой экспозиции). Сделано заключение, что эфирное масло *M. piperita* является наиболее перспективным природных акарицидом для разработки экологически безопасных средств контроля *T. urticae* в закрытом грунте.

Ключевые слова: фумигантная токсичность, эфирные масла, *Tetranychus urticae* Koch.

DOI: 10.31857/S0002188121050082

ВВЕДЕНИЕ

Обыкновенный паутинный клещ *Tetranychus urticae* (Koch.) является одним из основных экономически важных вредителей овощных и цветочно-декоративных культур закрытого грунта Республики Молдова. Для борьбы с паутинными клещами зарегистрированы препараты на основе 6-ти действующих веществ, относящиеся к 4-м химическим классам (фосфорорганических веществ, авермектинам, неоникотиноидам, производным тетраниковой и тетрамиктовой кислот) [1]. Акарифагов для борьбы с вредителями не применяют. В теплицах для защиты растений регулярно используют инсектоакарициды. Однако из-за быстрого развития у клещей резистентности к большинству применяемых препаратов контроль численности *T. urticae* по-прежнему остается актуальной проблемой [2, 3]. Кроме этого, с ростом устойчивости клещей к акарицидам неизбежно увеличиваются кратность и дозы их применения, что ухудшает санитарно-гигиенические показатели качества продукции тепличного овощеводства. Снижение пестицидной нагрузки в теплицах возможно путем уменьшения доли использования синтетических инсектоакарицидов

и замещения их альтернативными методами контроля вредных членистоногих, разработанными на основе экологически безопасных веществ и технологий. Недавно для контроля клещей был зарегистрирован препарат на основе этиловых эфиров жирных кислот рапсового масла, но он пока не нашел широкого применения [1].

Эфирные масла растений давно известны как источники природных биолого-активных экологически безопасных соединений. Из 3000 известных в настоящее время эфирных масел ≈ 300 нашли применение в фармацевтической, агрономической, пищевой, санитарной, косметической промышленности [4]. Показано, что некоторые эфирные масла токсичны для различных организмов, включая насекомых и клещей. К основным преимуществам применения эфирных масел в теплицах для борьбы с вредителями относят их низкую персистентность в окружающей среде, малую токсичность для нецелевых организмов, отсутствие срока ожидания перед сбором урожая.

Метод фумигации рассматривается как один из способов применения эфирных масел для контроля вредителей в теплицах. Фумигация превосходит другие методы борьбы с вредными члени-

стоногими, для которых характерен колюще-сосущий механизм питания. Клещи, белокрылки, трипсы питаются и размножаются на адаксиальной стороне листа, труднодоступной при опрыскивании ядохимикатами. В случае введения токсического вещества в виде летучих паров эфирных масел, легко проникающих к нижней стороне листа, становится возможным более эффективный контроль всей популяции сосущих вредителей. При изучении особенностей действия летучих компонентов некоторых эфирных масел на паутиных клещей установлено, что они эффективны против популяций вредителей, обладающих устойчивостью к синтетическим акарицидам [5]. Благодаря этим данным открывается возможность для применения эфирных масел в программах борьбы с резистентностью *T. urticae* к традиционным инсектоакарицидам. Кроме этого, показано, что сублетальные концентрации паров эфирных масел уменьшали продолжительность жизни, выживаемость и плодовитость *T. urticae* и вызывали снижение скорости роста популяции вредителя [6, 7]. В мире зарегистрировано несколько препаратов на основе эфирных масел. Их применяют для борьбы с некоторыми видами вредителей закрытого грунта и запасов [8, 9].

Цель работы – оценка фумигантной токсичности 5-ти коммерческих эфирных масел для яиц и взрослых особей обыкновенного паутинового клеща.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

В эксперименте использовали самок и однодневные яйца лабораторной чувствительной к инсектоакарицидам культуры *Tetranychus urticae* Koch. Испытывали эфирное масло эвкалипта (*Eucalyptus* spp.), перечной мяты (*Mentha piperita* L.), розмарина обыкновенного (*Rosmarinus officinalis* L.), мускатного шалфея (*Salvia sclarea* L.), сандалового дерева (*Santalum* spp.) (фирма “Düllberg Konzentra”, Германия).

Для изучения фумигантной токсичности эфирных масел листья фасоли с однодневными яйцами или подсаженными самками *T. urticae*, уложенные в чашки Петри на ватные матрасики, смоченные водой, помещали в эксикаторы, объемом 1.5 л, с парами эфирных масел. В качестве диспенсеров для эфирных масел использовали бумажные фильтры низкой плотности “белая лента” диаметром 12.5 см. Фильтры закрепляли в верхней части крышки эксикаторов на расстоянии 9 см от дна чашки Петри. На опытные диспенсеры наносили по 0.1 мл спиртовых растворов масел различной концентрации, на кон-

трольные – по 0.1 мл спирта. Фильтры перед помещением в эксикаторы в течение 30 с выдерживали на открытом воздухе. Опыты проводили при температуре 27°C. За отрождением яиц следили в течение 5–7 сут, смертность взрослых клещей регистрировали через 24 ч. Для каждой концентрации эфирных масел опыты выполняли в четырехкратной повторности на 25–30 экз. самок клещей. Данные о смертности вредителя обрабатывали статистическими методами с поправкой на гибель особей в контроле.

Токсикологические характеристики эфирных масел для самок клещей рассчитывали методом пробит-анализа Финни–Миллера–Тейнтера [10]. Полученные данные обрабатывали статистическими методами. Во всех случаях был принят 5%-ный уровень значимости [11].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Летучие компоненты эфирных масел эвкалипта, перечной мяты, розмарина обыкновенного, мускатного шалфея и сандалового дерева оказывали на взрослых особей *T. urticae* разное токсическое действие. Через 1 сут после обработки паутиных клещей парами эфирных масел эвкалипта, розмарина обыкновенного, мускатного шалфея при концентрации 27 мкг/см³ воздуха наблюдали 100%-ную гибель взрослых особей вредителя. В этих же условиях погибали все односуточные яйца паутиных клещей. В то же время для достижения 100%-ной смертности вредителя и односуточных яиц потребовалась существенно более низкая концентрация (13.5 мкг/см³ воздуха) паров эфирного масла *Mentha piperita*. Значительно менее токсичными для *T. urticae* оказались пары масла сандалового дерева. При концентрации паров 27 мкг/см³ воздуха смертность вредителей не превышала 20%.

Токсическое действие эфирных масел на *T. urticae* зависело от продолжительности контакта особей с парами этих масел (табл. 1). При концентрации масел 27 мкг/см³ воздуха среднелетальное время (CB_{50}), за которое погибало 50% самок клещей, составляло 185 мин для масла *Salvia sclarea* и 175 мин для масла *Eucalyptus* spp. Пары эфирного масла *Rosmarinus officinalis* достоверно быстрее вызывали токсический эффект, CB_{50} равнялось 125 мин. По скорости токсического действия на клещей пары *Mentha piperita* превосходили остальные тестируемые эфирные масла. При концентрации паров этого масла 7.0 мкг/см³ воздуха, CB_{50} составляло 120 мин. Пробит-кривая эфирного масла перечной мяты имела суще-

Таблица 1. Среднелетальное время (CB_{50}) действия эфирных масел на самок *T. urticae*

Эфирное масло	<i>n</i>	<i>b</i>	CB_{50} , мин
<i>Eucalyptus</i> spp. *	319	2.6 ± 0.33	175 (148–200)
<i>Mentha piperita</i> **	298	4.36 ± 0.37	120 (108–132)
<i>Rosmarinus officinalis</i> *	288	2.87 ± 0.34	125 (121–132)
<i>Salvia sclarea</i> spp. *	281	3.06 ± 0.39	185 (160–218)

Примечания. 1. Концентрация паров эфирных масел: *27 мкг/см³, **7.0 мкг/см³ воздуха. 2. *n* – общее число клещей, использованных в опытах, *b* – коэффициент регрессии и стандартное отклонение, в скобках указаны доверительные интервалы при $P = 0.05$. То же в табл. 2.

Таблица 2. Фумигантная токсичность эфирных масел для самок *T. urticae*

Эфирное масло	<i>n</i>	<i>b</i>	CK_{50} , мкг/см ³
<i>Eucalyptus</i> spp.	338	7.5 ± 0.9	17.2 (14.0–20.0)
<i>Mentha piperita</i> **	244	4.1 ± 0.7	5.1 (4.5–5.8)
<i>Rosmarinus officinalis</i> *	271	8.6 ± 1.2	16.4 (14.3–18.6)
<i>Salvia sclarea</i> spp. *	312	8.7 ± 0.9	16.7 (15–17)

Примечание. Время экспозиции: *24 ч, **5 ч.

ственно более высокую величину угла наклона *b* по сравнению с другими фумигантами. Это свидетельствовало об однородной реакции особей исследованной популяции на действие паров *Mentha piperita*. Такой быстрый летальный эффект на вредителей характерен для ядов, обладающих нейротоксическим механизмом действия.

Среднелетальные концентрации (CK_{50}) паров летучих веществ эфирных масел представлены в табл. 2. Величины CK_{50} эфирных масел *Eucalyptus*, *Rosmarinus officinalis* и *Salvia sclarea* не существенно отличались и находились в пределе от 16.4 до 17.2 мкг/см³ воздуха при экспозиции клещей в течение 24 ч. В работе [12] изучали токсичность для самок *T. urticae* эфирных масел, поставляемых на мировой рынок компанией “Berje” Inc. (Нью-Джерси, США). Полученная нами величина CK_{50} эвкалипта не существенно отличалась от величины этого показателя, ранее полученного для эфирного масла лимонного эвкалипта (*Eucalyptus citriodora*), выпускаемого американской компанией. В то же время выявлены различия в токсичности эфирных масел разных видов шалфея для самок *T. urticae*. Для взрослых особей обыкновенного паутиного клеща летучие компоненты эфирного масла *Salvia sclarea* ($CK_{50} = 16.7$ мкг/см³) были в 3 раза более токсичными, чем пары эфирного масла *Salvia officinalis* ($CK_{50} = 63.7$ мкг/см³) [12]. При фумигации в течение 5 ч эфирным маслом

Mentha piperita самок паутиных клещей получили величину CK_{50} , равную 5.1 мкг/см³. Величина CK_{50} перечной мяты оказалась в 4.5 раза меньше, чем величина CK_{50} , определенная корейскими исследователями при суточной экспозиции клещей в парах масла этого вида мяты. Согласно данным этих же авторов, менее токсичным для паутиных клещей было эфирное масло *Mentha spicata* ($CK_{50} = 38.8$ мкг/см³), главной составляющей которого в отличие от *Mentha piperita* является не ментол, а карвон. Обращает на себя внимание тот факт, что летучие компоненты эфирных масел *Mentha piperita* и *Mentha pulegium* проявляли большую токсичность по отношению к другим тепличным вредителям (белокрылкам и трипсам). Для *Thrips palmi*, например, CK_{50} для этих видов мяты не превышали величины 2.63 мкг/см³ воздуха [13].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, изученные эфирные масла, за исключением масла *Santalum* spp., обладали фумигантными свойствами по отношению к обыкновенному паутиному клещу. Коммерческие эфирные масла, которые использовали в работе, характеризовались достаточно высокой фумигантной токсичностью. При 24-часовой экспозиции концентрация летучих паров эфирных масел 27 мкг/см³ обеспечивала 100%-ную гибель яиц и взрослых особей паутиных клещей. По токсичности для *T. urticae* эфирные масла *Eucalyptus* spp. и *Salvia sclarea* spp. не уступали эфирным маслам, которые выпускает фирма “Berje” (США) [12]. Более того, эфирное масло *Mentha piperita* по своему токсическому действию на вредителей существенно (в 4.5 раза) превосходило эфирное масло этого вида мяты, выпускаемого американской фирмой. Среди всех протестированных эфирных масел благодаря своей высокой биологической активности в отношении клещей эфирное масло *Mentha piperita* было наиболее перспективным акарицидом для разработки экологически безопасных средств контроля *T. urticae* в закрытом грунте.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Государственный реестр фитосанитарных продуктов и удобрений Республики Молдова. 2019. (Электр. документ). // <http://www.pesticide.md/reg-istrul-de-stat>
2. Мунтян Е.М., Язловецкий И.Г. Токсичность некоторых инсектоакарицидов и мониторинг резистентности к ним тепличных популяций обыкновенного паутиного клеща *Tetranychus urticae* Koch.

- (Acari: Tetranychidae) // Международ. научн. конф. “Фитосанитарная безопасность агроэкосистем”. 7–9 июля, г. Новосибирск. 2010. С. 177–180.
3. Мунтян Е.М., Батко М.Г., Язловецкий И.Г. Чувствительность к абамектину тепличных популяций обыкновенного паутинового клеща *Tetranychus urticae* Koch. (Acari: Tetranychidae) // Агрохимия. 2011. № 7. С. 58–60.
 4. Bakkali F., Averbek S., Averbek D., Idaomar M. Biological effect of essential oils – a review // Food Chem. Toxicol. 2008. V. 46. № 2. P. 446–475.
 5. Han J., Kim S.-I., Choi B.-R., Lee S.-G., Ahn Y.-J. Fumigant toxicity of lemon eucalyptus oil constituents to acaricide-susceptible and acaricide-resistant *Tetranychus urticae* // Pest Manag. Sci. 2011. V. 67. P. 1583–1588.
 6. Gholamzadeh-Chitgar M., Khosravi R., JalaliSendi J., Ghadamyari M. Sublethal effects of *Thymus vulgaris* essential oil on life-table parameters of two-spotted spider mite, *Tetranychus urticae* Koch. (Acari: Tetranychidae) // Archiv. Phytopathol. Plant Protect. 2013. V. 46. P. 781–788.
 7. Esmaeily M., Bandani A., Zibae I., Sharifian I., Zare S. Sublethal effects of *Artemisia annua* L. and *Rosmarinus officinalis* L. essential oils on life table parameters of *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae) // Persian J. Acarol. 2017. V. 6. № 1. P. 39–52.
 8. Isman M.B. Botanical insecticides, deterrents, and repellents in modern agriculture and increasingly regulated world. // Ann. Rev. Entomol. 2006. V. 51. P. 45–56.
 9. Regnault-Roger C., Vincent C., Arnasson J.T. Essential oils in insect control: low-risk products in a highstakes world // Ann. Rev. Entomol. 2012. V. 57. P. 405–424.
 10. Гап К.А. Методы испытания токсичности и эффективности инсектицидов. М., 1963. 288 с.
 11. Лакун Г.Ф. Биометрия. М.: Высш. шк., 1980. 292 с.
 12. Han J., Choi B.-R., Lee S.-G., Kim S.I., Ahn Y.-J. Toxicity of plant essential oils to acaricide-susceptible and resistant *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae) and *Neoseiulus californicus* (Acari: Phytoseiidae) // J. Econ. Entomol. 2010. V. 103. № 4. P. 1293–1298.
 13. Yi C.-G., Choi B.-R., Park H.-M., Park C.-G., Ahn Y.-J. Fumigant toxicity of plant essential oils to *Thrips palmi* (Thysanoptera: Thripidae) and *Orius strigicollis* (Heteroptera: Anthocoridae) // J. Econ. Entomol. 2006. V. 99. № 5. P. 1733–1738.

Fumigant Toxicity of Plant Essential Oils against *Tetranychus urticae* Koch. (Acari: Tetranychidae)

E. M. Muntyan^{a, #} and M. G. Batko^a

^a Institute of Genetics, Physiology and Plant Protection
Peduriy str. 20, Kishinev MD 2002, Republic of Moldova

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

The fumigant effect of 5 commercial essential oils on the common spider mite *Tetranychus urticae* Koch. was studied. Essential oils of *Eucalyptus* spp., *Mentha piperita*, *Rosmarinus officinalis*, *Salvia sclarea* at a concentration of 27 µg/cm³ of air after 24 hours caused 100% death of adult individuals and single-day eggs of the pest. Mortality of mites from *Santalum* spp. it did not exceed 20%. The analysis of the indicators of average lethal time (ALT_{50}) and average lethal concentrations (ALK_{50}) essential oils showed that the most toxic to the pest was peppermint oil ($ALT_{50} = 120$ min, $ALK_{50} = 5.1$ µg/cm³ at 5-hour exposure). It is concluded that the essential oil of *M. piperita* is the most promising natural acaricide for the development of environmentally safe means of controlling *T. urticae* in closed ground.

Key words: fumigant toxicity, essential oils, *Tetranychus urticae* Koch.

УДК 631.42:632.95

РАЗРАБОТКА СПОСОБОВ НЕЙТРАЛИЗАЦИИ ОСТАТОЧНЫХ КОЛИЧЕСТВ ХЛОРСУЛЬФУРОНА В ПОЧВАХ

© 2021 г. В. В. Тараненко¹, В. С. Белоусов¹, Л. В. Дядюченко¹, *

¹Федеральный научный центр биологической защиты растений
350039 Краснодар-39, Россия

*E-mail: ludm.dyadiuchenko@yandex.ru

Поступила в редакцию 20.10.2020 г.

После доработки 19.11.2020 г.

Принята к публикации 11.02.2021 г.

Оценили негативное воздействие хлорсульфурона на почвы и нейтрализацию остаточных количеств гербицида биологически активными полимерами. Установлено, что хлорсульфурон (ДРХ 4189) на выщелоченных черноземах снижает дыхание почвы на 30–60%, угнетает активность целлюлозоразрушающей микрофлоры. Известкование почв различных генетических типов усиливало фитотоксичность ДРХ 4189 до 25%. Показано, что для регулирования роста растений на гербицидном фоне эффективны катионные полиэлектролиты: алкиламмониевые соли с *n*-алкильными заместителями длиной 11–12 атомов углерода.

Ключевые слова: хлорсульфурон, типы почв, фитотоксичность, биологически активные полимеры.

DOI: 10.31857/S0002188121050112

ВВЕДЕНИЕ

Интенсивная и длительная эксплуатация почвенного покрова в качестве неизменного природного технологического ресурса привело к нарушению экологического равновесия и нестабильности биологических систем, что способствует возникновению и развитию процессов деградации наиболее ценного элемента биосферы – почвенного покрова, изначально не возобновляемого и ограниченного качественно и количественно [1]. Постоянно возрастающее применение гербицидов снижает протекторную роль почв – процессы самоочищения и их нейтрализация резко снижаются. Общее направление возрастающего производства пестицидов, переход от стабильных хлорорганических химических соединений к менее устойчивым карбаматам, органофосфатам, сульфонилмочевинам повлекло возникновение проблемы отрицательного последствия остаточных количеств вследствие их высокой фитотоксичности. Биологическая активность гербицидов класса сульфонилмочевин проявляется при внесении дозировок 5–20 г/га [2], а его пространственное распределение при внесении в почву соответствует кривой распределения Гаусса [3]. Здоровая почва имеет более высокую степень защиты от неблагоприятных условий, чем загрязненная.

Для разработки безопасных агротехнологий совершенствуется экспертная оценка почв и создаются ассоциации по вопросам улучшения почвенного покрова. Мировая практика земледелия установила, что применение адсорбентов различной природы – достаточно надежный и универсальный метод снижения фитотоксичности остаточных количеств пестицидов в почве. Служба охраны почв США уже несколько десятилетий широко использует активированный уголь марки гройсеф (Grosefe), который с добавкой специальных веществ дезактивирует остаточные количества не только путем физической сорбции, но и хемосорбции [4–6]. Подобная практика оздоровления почв в РФ крайне незначительна, несмотря на то что остаточные количества пестицидов в почве имеют положительную корреляцию с распространением онкологических заболеваний [7].

В последние годы южные степные пространства под влиянием климатических флуктуаций становятся экологически нестабильным пространством, что обостряет возникающие деградационные процессы и делают особо актуальной проблему оздоровления почв, как основного фактора их продуктивности. Цель работы – поиск способов снижения фитотоксичности остаточных количеств гербицидов группы сульфонилмо-

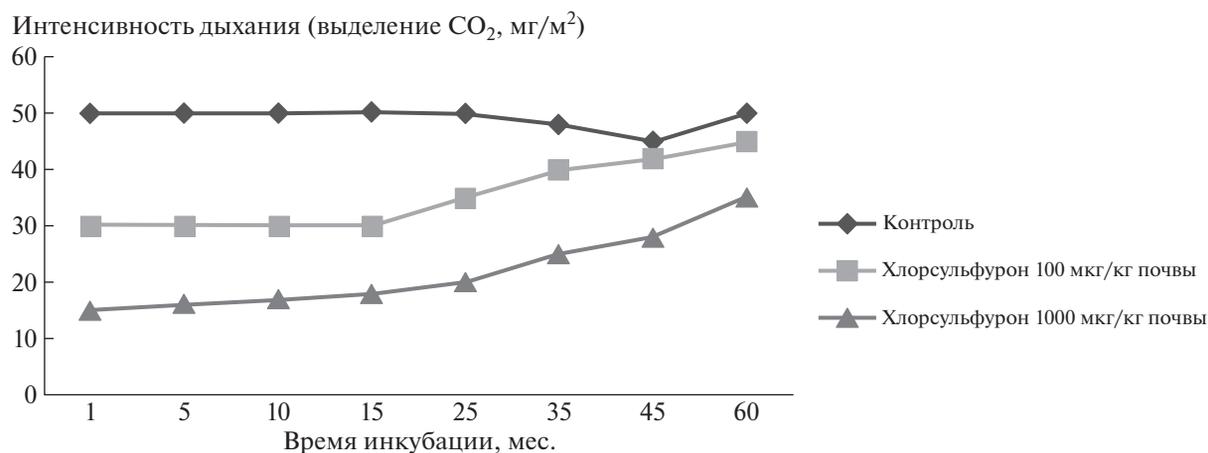


Рис. 1. Влияние хлорсульфурана на интенсивность дыхания выщелоченного чернозема.

чевин для сохранения самоочищающейся способности почв.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследование проводили на почвах сельхозугодий Предкавказской равнины и предгорий Кавказа, почвенный покров которых имеет в своей структуре типы почв, не имеющие аналогов в мировом почвенном покрове: выщелоченные сверхмощные черноземы, перегнойно-карбонатные тяжелосуглинистые, бурые остаточнок-карбонатные тяжелосуглинистые, бурые ненасыщенные тяжелосуглинистые почвы, желтоземы слабоподзолонные легкоглинистые.

Образцы почв отбирали из горизонта А целинных участков каждого изученного типа почв, доводили до воздушно-сухого состояния, измельчали, просеивались через сито 2 мм. Опыт проводили в вегетационных сосудах емкостью 0.5 л, повторность пятикратная, вегетационный период составлял 21 сут при влажности почвы 50–60% ППВ. Фитотоксический фон моделировали путем обработки почвы в вегетационном сосуде водным раствором хлорсульфурана (ДРХ 4189). опыты по определению дыхания почвы проводили по общепризнанным методикам [8].

Методические подходы определения адсорбции как разницы между исходной концентрацией ксенобиотика и равновесной изложены ранее [9, 10]. В качестве сорбентов использовали катионные полиэлектролиты: поли-N,N-диметил-N,N-дидодециламмонийхлорид (ПДМДДАХ) и его сополимер с N,N-диметил-N,N-дидодециламмонийгидрофосфатом (ПДМДДАГФ). Опыт проводили с черноземом выщелоченным тяжелосуглинистым и черноземом карбонатным тяжелосуглинистым.

Последовательность операций в опытах была следующей: 1 – обработка подготовленной почвы в вегетационном сосуде гербицидом в дозах 100, 500 и 1000 мг/кг почвы, 2 – через 1 сут обработка почвы сорбентом в дозах 1.0 и 10.0 кг/га, 3 – через 1 сут высеv тест-культуры (кукуруза и горох), 4 – вегетация растений при влажности 50–60% ППВ и 5 – через 21 сут учет надземной зеленой массы. Гидролитическую кислотность почв нейтрализовали внесением извести-пушенки в дозе 0.75 Н_г.

Статистическую обработку экспериментальных данных проводили с использованием (показателя наименьшей существенной разницы (*HCP*₀₅) [11].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Однократное применение хлорсульфурана (ДРХ 4189) даже в незначительных дозах оказывало существенное влияние на микробную массу выщелоченного чернозема, составляющую по данным многих исследований 2.5–5.0 т/га. В первую неделю после попадания гербицида в почву ее дыхание (выделение CO₂) в зависимости от дозы гербицида снижалось на 30–60% (рис. 1) и только через 2 мес. восстанавливалось до 70–90% первоначального режима, не преодолев полностью стрессовую ситуацию.

Влияние хлорсульфурана на активность целлюлозоразрушающей микрофлоры было менее значительным, но продолжительным. Увеличение дозировки хлорсульфурана снижало активность целлюлозоразрушающей микрофлоры, увеличивая количество неразложившейся клетчатки на 15–25% по отношению к контролю в течение 2-х мес., но по истечении 4-х мес. инкубации количество неразложившейся клетчатки пре-

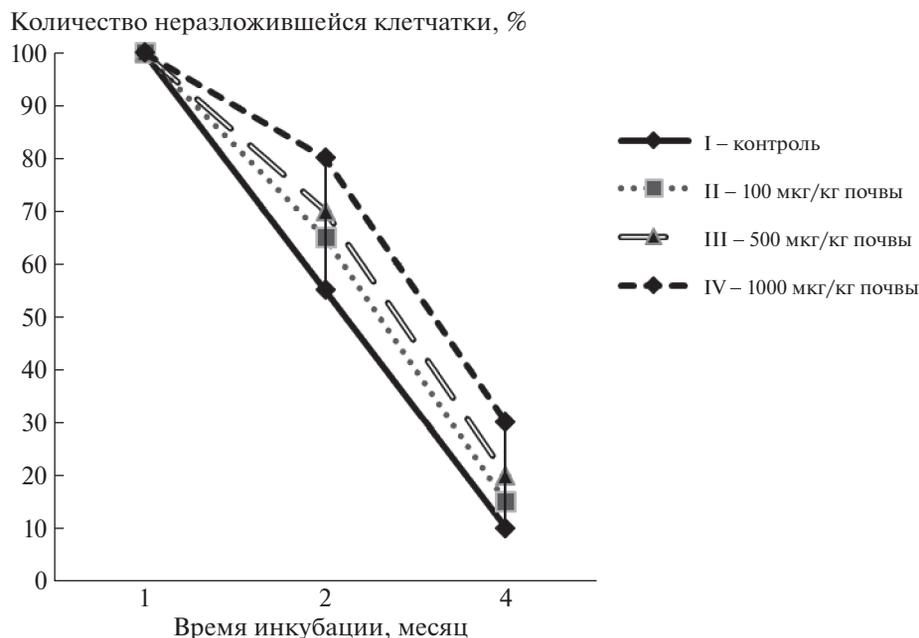


Рис. 2. Влияние хлорсульфурана на активность целлюлозоразрушающей микрофлоры в выщелоченном черноземе, % неразложившейся клетчатки.

вышло контроль на 10–15% при дозировке гербицида 1000 мкг/га (рис. 2).

При изучении влияния известкования на фитотоксичность остаточных количеств хлорсульфурана была определена гидролитическая кислотность испытанных почв (табл. 1). Показано, что снижение кислотности во всех типах почв, исследованных в опыте, увеличивало фитотоксичность хлорсульфурана на 20–30%.

Проведение испытаний способа регулирования роста тест-растений на фоне остаточных количеств гербицидов с помощью катионных полиэлектролитов ПДМДДАХ и его сополимера с ДМДААГФ было основано на идее разработки детоксикантов, характеризующихся водорастворимостью, достаточной для продвижения по почвенному профилю, и наличием полярных (гидрофильных) и неполярных (гидрофобных) функциональных групп, способных к ионному обмену.

Эффективность детоксикации определяли отношением зеленой массы растений в варианте с детоксикантом к массе таковой в варианте без применения детоксиканта (фон), выраженным в %. Проведенные исследования (табл. 2) показали, что испытанные катионные полиэлектролиты взаимодействовали как с полифункциональными компонентами почвенного комплекса, так и с молекулами гербицидов, представляющими собой преимущественно нейтральные молекулы или анионы.

Показано, что алкиламмониевые соли с *n*-алкильными заместителями длиной 11–12 атомов углерода проявляли высокую способность к инактивации остаточных гербицидов. Увеличение дозировки полиэлектролитов до 10 кг/га (расход рабочей жидкости 300 л/га) усиливал эффект детоксикации. Применение полиэлектролитов при ожидаемом уровне потерь 50–75% на фоне остаточных количеств гербицида удваивало растительную массу. Развитие этих исследований позволило разработать рекомендации по их применению [12].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Использование гербицидов в сельскохозяйственном производстве оказывало стрессовое влияние на почвы, которое проявлялось в снижении дыхания почвы на 30–70% и угнетении активности целлюлозоразрушающей микрофлоры на 10–15% в течение нескольких месяцев после их применения. Снижение кислотности почв известкованием повышало фитотоксичность хлорсульфурана на 20–30%. Преодоление негативного последствия гербицида возможно при применении катионных полиэлектролитов. Высокой эффективностью в инактивации остатков хлорсульфурана обладали алкиламмониевые соли с *n*-алкильными заместителями длиной 11–12 атомов углерода.

Таблица 1. Влияние известкования на активность гербицида ДРХ 4189 (доза 5 г/га)

Тип почвы	Культура	Доза извести, ц/га	Надземная масса, г/сосуд	<i>HCP</i> ₀₅
Чернозем выщелоченный	Кукуруза	0	7.67	0.63
		9.2	6.40	
	Горох	0	2.12	0.69
		9.2	4.43	
Перегнойно-карбонатные тяжелосуглинистые	Кукуруза	0	6.94	0.85
		2.3	5.85	
	Горох	0	5.73	0.99
		2.3	4.58	
Бурые остаточно-карбонатные тяжелосуглинистые	Кукуруза	0	4.85	0.95
		6.6	3.88	
	Горох	0	2.82	0.64
		6.2	1.73	
Бурые ненасыщенные тяжелосуглинистые	Кукуруза	0	5.12	0.64
		6.2	3.72	
	Горох	0	2.53	0.60
		6.2	1.63	
Желтоземы слабоподзоленные легкоглинистые	Горох	0	2.79	0.69
		6.6	1.92	

Таблица 2. Эффективность детоксикации почв от остаточных количеств хлорсульфурона с помощью катионных полиэлектролитов

Тип почв	Культура	Вариант	Эффективность детоксикации, %
Чернозем выщелоченный тяжелосуглинистый	Кукуруза	ДРХ 4189 5.0 г/га (фон), 100%	—
		Фон + П ₂ 1.0 кг/га	125*
		Фон + П ₂ 10.0 кг/га	150*
		Фон + П ₁ 1.0 кг/га	133*
		Фон + П ₁ 10.0 кг/га	164*
	Горох	ДРХ 4189 5.0 г/га (фон), 100%	—
	Фон + П ₂ 1.0 кг/га	181*	
	Фон + П ₂ 10.0 кг/га	309*	
	Фон + П ₁ 1.0 кг/га	175*	
	Фон + П ₁ 10.0 кг/га	377*	
Чернозем карбонатный тяжелосуглинистый	Кукуруза	ДРХ 4189 5.0 г/га (фон), 100%	—
		Фон + П ₂ 1.0 кг/га	154*
		Фон + П ₂ 10.0 кг/га	291*
		Фон + П ₁ 1.0 кг/га	147*
		Фон + П ₁ 10.0 кг/га	220*
	Горох	ДРХ 4189 5.0 г/га (фон), 100%	—
	Фон + П ₂ 1.0 кг/га	181*	
	Фон + П ₂ 10.0 кг/га	369*	
	Фон + П ₁ 1.0 кг/га	175*	
	Фон + П ₁ 10.0 кг/га	337*	

Примечание. П₁ – ПДМДААХ, П₂ – сополимер ПДМДААХ с ДМДААГФ (70 : 30, мольные %).*Различия достоверны при $p = 0.95$.

Загрязняющие вещества почвы не консервативны. Возможны и необходимы приемы по их трансформации, разложению и сорбционному самоочищению.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Агрохимическое состояние и перспективы использования земель России, выбывших из активного сельскохозяйственного оборота // Сб. мат-лов Всерос. научн. конф. М., 2008. 404 с.
2. Поддубкина М.М. Последствие хлорсульфуона для культур севооборота // Изв. ТСХА. 2007. № 3. С. 29–37.
3. Горбатов В.С., Колупанова В.Н., Спиридонов Ю.Я., Шестаков В.Г. Пространственная вариабельность остаточных количеств хлорсульфуона в дерново-подзолистой почве // Почвоведение. 1983. № 6. С. 112–115.
4. Kennedy J.M., Jeffery L.S. Use of activated charcoal to reduce injury to summer squash by ethalfluralin or pendimethalin // Tennessee Farm and Home Sci. 1983. № 125. P. 26–29.
5. Oyg A.G. Effect of activated carbon on phytotoxicity of terlacil to several crops // Weed Sci. 1982. V 30. № 6. P. 683–687.
6. Romanowaki R.R. Activated carbon protects direct-seeded tomateta from partially selective herbicides // J. Amer. Soc. Hortic. Sci. 1982. V 107. № 1. P. 27–30.
7. Ларионов К.В. Распространение пестицидов в экосистеме Краснодарского края, их минерализация и воздействие на окружающую среду: Автореф. дис. ... канд. хим. наук. Краснодар, 2008. 22 с.
8. Теннер Е.З., Школьникова В.К., Переверзева Т.И. Практикум по микробиологии. М., 2004. 256 с.
9. Белоусов В.С. Композиционные сорбционные инактиваторы остатков почвенных гербицидов // Агрохимия. 2005. № 7. С. 43–50.
10. Белоусов В.С. Циолитсодержащие породы Краснодарского края в качестве инактиваторов тяжелых металлов в почве // Агрохимия. 2006. № 4. С. 78–81.
11. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта с основами статистической обработки результатов исследований. М.: Книга по требованию, 2012. 352 с.
12. Белоусов В.С., Тараненко В.В., Володин А.Б., Капустин С.И., Пашков Ю.И. Применение сорбционных композиций для детоксикации почв, загрязненных остатками пестицидов: Рекоменд. Ставрополь: Северо-Кавказский федеральный научный аграрный центр, 2019. 12 с.

Development of Methods for Neutralizing Residual Amounts of Chlorsulfuron in Soils

V. V. Taranenko^a, V. S. Belousov^a, and L. V. Dyadyuchenko^{a, #}

^a Federal Research Center of Biological Plant Protection
Krasnodar-39 350039, Russia

[#] E-mail: ludm.dyadyuchenko@yandex.ru

The aim of the study was to assess the negative impact of chlorosulfuron on the soil and neutralize the residual amounts of herbicide with biologically active polymers. It was found that chlorosulfuron on leached chernozems reduces soil respiration by 30–60%, inhibits the activity of cellulose-destroying microflora. Liming of soils of various genetic types increases the phytotoxicity of chlorosulfuron up to 25%. Cationic polyelectrolites are effective in regulating plant growth on a herbicide background: alkylammonium salts with *n*-alkyl substituents of 11–12 carbon atoms long.

Key words: chlorosulfuron, soil types, phytotoxicity, biologically active polymers.

**А. Х. Шеуджен, А. Н. Еремеева. У истоков агрономической химии:
Йоган Готтшалк Валлериус.**

Майкоп: ООО “Полиграф-ЮГ”, 2020. 66 с.

DOI: 10.31857/S0002188121050057

Представляем вниманию читателей новый биобиблиографический очерк о выдающемся шведском естествоиспытателе, химике, минералогe, фармацевте и докторе медицины Й.Г. Валлериусе, подготовленный сотрудниками Кубанского государственного аграрного университета им. И.Т. Трубилина и Южного филиала Российского НИИ культурного и природного наследия им. Д.С. Лихачева доктором биологических наук, академиком РАН А.Х. Шеудженом и доктором исторических наук А.Н. Еремеевой.

Йоган Готтшалк Валлериус (Johan Gottschalk Wallerius) родился 11 июля 1709 г. в центральной Швеции в 140 км от Стокгольма (пос. Стюра-Мелёса в провинции Нерке). После домашнего образования и школы в 1725 г. поступил в Уппсальский университет, где изучал математику, физику и медицину. В 1731 г. получил диплом магистра. Продолжил обучение в Лундском университете, где получив степень доктора медицины в 1735 г., стал адъюнкт-профессором медицины в Уппсальском университете в 1741 г. и первым руководителем новой кафедры химии, медицины и фармацевтики в 1750 г. Преподавал химию 34 года.

Й.Г. Валериус дважды занимал пост ректора Уппсальского университета (Uppsala universitet) — старейшего университета Швеции и всей Скандинавии. Основанная Валлериусом кафедра химии, металлургии и фармацевтики стала своеобразной “меккой” для желающих получить высококачественное химическое образование. Сюда приезжали студенты из многих стран мира, в том числе из России. По инициативе Петра I, на обучение к Валлериусу были направлены два студента — будущий профессор земледелия Московского университета М.И. Афонин и будущий знаменитый химик, ботаник, металлург, член Петербургской и ряда иностранных академий наук А.М. Карамышев. Характеризуя полученные ими в университете знания и навыки, их учитель писал: “Благороднейшие, подающие лучшие надежды юноши Матвей Афонин и Александр Карамышев

слушали мои private лекции по пробирному делу, металлургии и химии, и настоящим я желал и почитал своим долгом засвидетельствовать в их похвалу, что в будущем они смогут применить (полученные знания) с величайшей пользой в общественной жизни. — 18.07.1766 г. — Иоганн Готтшалк Валерий”. Комментируя столь многозначительный текст, авторы рецензируемой книги восклицают: “Так лучи знаний шведского ученого Й.Г. Валлериуса проникли непосредственно в Россию!”.

Начиная с 1750 г. Й.Г. Валлериус состоял членом Королевской шведской академии наук, а с 1783 г. и до последних дней жизни был ее президентом. Отечественные историки Ю.Х. Копелевич и Е.П. Ожигова называли этот период “блестящим периодом развития Шведской академии”. Ее иностранными членами стали ведущие ученые ряда европейских стран, в т.ч. россияне — М.В. Ломоносов, Л. Эйлер, П.С. Паллас, Е.Р. Дашкова и др.

В 1767 г. Й.Г. Валлериус вышел на пенсию по состоянию здоровья. После своей отставки еще целых 18 лет Валлериус трудился на собственной ферме Хагельстене, расположенной между Уппсалой и Стокгольмом. Площадь имения составляла около 400 га. Здесь ученый занялся вопросами питания растений и применения удобрений. Именно на этой ферме теоретические выкладки ученого проходили практические испытания; результаты опытов находили отражение в многочисленных научных статьях. Частым гостем его был Карл Линней, широко известный шведский естествоиспытатель, ботаник, доктор медицины. Урожай на ферме были стабильно высокими даже в самые неблагоприятные в климатическом отношении годы. Результаты наблюдений в Хагельстене за 30 лет (1747–1777), оформленные в виде таблиц, приведены в книге К.Э. Бергстранда.

К рекомендациям по применению достижений химии в сельском хозяйстве Валлериус относился с осторожностью, чтобы не нанести непоправимый экологический урон окружающей среде. Его

лозунгом было: “Всегда консультироваться с природой!”.

С 1763 г. Йоган Готтшалк Валлериус был членом Общества наук в Уппсале; с 1776 г. — почетным членом Императорской академии наук и художеств в Санкт-Петербурге. В 1772 г. Й.Г. Валлериус одним из первых был награжден орденом Вазы (Васы). Этот орден был учрежден 29 мая 1772 г. королем Густавом III по случаю его коронации и увековечивал родоначальника шведской королевской династии Густава Васа. Король так определил цель создания этого ордена: “Будучи уверен, что нет большего поощрения и награды душам благородно мыслящим, как слава и общая признательность к изящным их достоинствам, мы за благо рассудили при восшествии нашем на престол учредить орден, назначающийся единственно особам, которые опытом знания свои обратили к пользе отечества, приведя к некоторому совершенству земледелие, рудники, искусства и торговлю. Мы желаем именовать орден сей Ваза, чтобы сим воздать честь великим государям нашим предкам, так и собственно тому, что сия фамилия в гербе своем носит сноп — яснейший знак земледелия, которое мы особенно поощрить и наградить установлением сего ордена желаем, яко источник всех других художеств”. Примечательно, что одними из первых в 1772 г. орден получили художник Густаф Лундберг и химик Йоган Готтшалк Валлериус.

Как отмечают авторы рецензируемой монографии, Й.Г. Валлериус еще в 1732 г. заинтересовался минералогией и горным делом. Он изучил шахты и металлургию горной Швеции, начал собирать коллекцию минералов. В городах Лунд и Копенгаген изучал университетские и Королевские минералогические коллекции. Этот опыт пригодился ему в преподавании химии, горной науки и фармацевтики. Й.Г. Валлериус получил известность не только новыми научными открытиями, но и благодаря применению оригинальных способов исследований в минералогии, прикладной химии и в целом в сельском хозяйстве. Ввел систему химической классификации минералов. Его основные труды были по общей химии, агрономии, воде, металлургии и экономике. В рецензируемой книге приводится практически полный список публикаций Валлериуса, — 45 монографий, книг, брошюр, научных и методических пособий. Одно из основных произведений ученого — капитальный труд: Wallerius J.G. Mineralogia, eller mineral-riket, indelt och beskrifvit. Stockholm: Salvii, 1747. 479 s. Труд был переведен с немецкого на русский язык “Минералогия или описание всякого рода руд и ископаемых из зем-

ли вещей” действительным статским советником, Берг-коллегии президентом и Монетной канцелярии главным судьей Иваном Шлаттером (СПб.: ИАН, 1763. 699 с.).

Не умаляя вклад Й.Г. Валлериуса в развитие минералогии, гидрологии и общей химии, пишут авторы рецензируемой монографии, его следует рассматривать в первую очередь как крупного ученого, стоявшего у истоков становления агрономической химии как самостоятельной науки. Труды по агрохимии и в особенности первое научное руководство “Химические основы земледелия” (1761) позволяют рассматривать его как одного из основоположников этой дисциплины.

Труд переиздавался на французском, испанском, английском, итальянском и дважды на немецком языках. “К сожалению, — пишут А.Х. Шеуджен и А.Н. Еремеева, — на русский язык он не был переведен, и не каждый заинтересованный российский читатель имел возможность с ним ознакомиться. А ведь книга почти целый век со дня выхода в свет служила кладезем знаний для зарождающейся в недрах естествознания новой науки — агрономической химии”. В предисловии Й.Г. Валлериус писал, что “сельское хозяйство должно рассматриваться как мать других искусств”. Подчеркивая определяющую роль этой отрасли в народном хозяйстве, ученый указывал на зависимость его эффективности от знаний и опыта. Труд был разбит автором на 18 глав: I. Об основных частях растений; II. Об основаниях роста вообще; III. О внутренней силе размножения семян; IV. О теплоте как средстве, способствующем произрастанию (растений); V. О воздухе как средстве, способствующем произрастанию; VI. О воде как средстве, способствующем произрастанию; VII. О почве как средстве, способствующем произрастанию; VIII. О перегнойной земле как средстве, способствующем произрастанию; IX. О глине как средстве, способствующем произрастанию; X. О меловой и известковой почве как средстве, способствующем произрастанию; XI. О мергеле как средстве, способствующем произрастанию; XII. О песчаной и щебноватой почве как средстве, способствующем произрастанию; XIII. О солях как средстве, способствующем произрастанию; XIV. Об искусственном усилении плодородия семян; XV. Об удобрении почв; XVI. О смешивании почв; XVII. О пахании, посевах и обработке почв; XVIII. О некоторых отвратимых (т.е. возможных для исправления. — Авт.) недостатках полей.

Как видно из приведенной выше рубрикации, пишут А.Х. Шеуджен и А.Н. Еремеева, Й.Г. Валлериус в своей книге охватил многие положения

современной прикладной агрохимии, обобщил практически все имевшиеся к тому времени сведения по технологии применения удобрений. Значительное место он уделит экологическим факторам жизни растений – тепловому, водному и питательному режимам. Важную роль отводил и воздушному питанию растений, считая атмосферный и почвенный воздух одним из “основных веществ”. Й.Г. Валлериус полагал, что “растения растут тем лучше, чем свободнее к ним доступ воздуха, чем его больше притекает ко всем органам растения, в том числе к корням, чем более соответствует воздух природе данного растения”, – как в отношении количества, так и его свойств. Чтобы последнее указание было вполне понятно, следует отметить, что Й.Г. Валлериус признает состав воздуха в различных местностях различным – в зависимости от климата, высоты над уровнем моря, удаленности от моря и других водных объектов, лесов, структуру земельных угодий и свойства почвы. Согласно воззрениям ученого, “атмосферный воздух отдает растениям находящиеся в нем выдыхаемые, испаряемые и попавшие в него вместе с дымом питательные частицы – водяные, возгораемые, соляные, тонкомаслянистые”. Последние (маслянистые) придают необыкновенно плодородную силу “воздушным водам” (т.е. атмосферным осадкам. – Авт.). Именно им Й.Г. Валлериус склонен приписывать большое содержание “жира” в ели, сосны и других деревьях, растущих на тощих (т.е. бедных элементами питания – Авт.) песчаных почвах. “Откуда же иначе они должны получать свое богатство жиром?” – спрашивает он. Соляные вещества могут быть поглощены растениями из атмосферного воздуха. Доказательство их потребления растением Й.Г. Валлериус усматривал из нахождения в виннокаменной соли – поташе, полученной при прокаливании в воздухе винного камня, т.е. гидротартрата калия ($\text{KHC}_4\text{H}_4\text{O}_6$) и из купоросовидной кислоты, выделенной из дуба и других деревьев.

С большим уважением Й.Г. Валлериус относился к Яну Батисту ван Гельмонту (1579–1644). Опыты голландского ученого, ставшие основой теории водного питания растений, его шведский последователь считал “превосходными”. Тем не менее, как отмечал А.А. Ярилов, Й.Г. Валлериуса несправедливо причислять к безусловным последователям Яна Батиста ван Гельмонта. Он неоднократно в своем трактате отмечал важную роль в питании растений атмосферного и почвенного воздуха. Не ограничиваясь привлечением в качестве источников питания растений, воды и воздуха, Й.Г. Валлериус шел еще дальше. “Если я гово-

рю, – читаем в трактате, – что растения растут, питаются водой и воздухом, то это еще не значит, что я отрицаю значение удобрений, благодаря которым растения получают возможность расти... Опыт свидетельствует, что в одной почве растения растут лучше, в другой – медленнее, слабее, а это значит, что кое чем и даже очень многим почва способствует все-таки их произрастанию”. Под этим же углом зрения рассматриваются Й.Г. Валлериусом и отдельные типы почв: 1) перегнойные, 2) глинистые, 3) меловые и известковые, 4) мергелистые, 5) песчаные, 6) дресвяные (“дресва” – крупнообломочный грунт с частицами 2–5 мм. – Авт.). Вполне понятно, что для сегодняшнего читателя сочинение Й.Г. Валлериуса представляет лишь исторический интерес. Здесь встречается много неточных определений, ошибочных рассуждений.

Что же касается почвы, писал наш соотечественник Дмитрий Гермогенович Виленский (1892–1960), по мнению Й.Г. Валлериуса, “гораздо ближе суждение английского философа Франсиса Бэкона (1561–1626), утверждавшего, что земля служит лишь опорой и защитой растений от жары и холода”. В данном случае дается упрощенная трактовка рассуждений ученого о значении почвы в жизни растений. На наш взгляд это связано с издержками перевода книги. Его биограф К.Е. Бергstrand отмечал: “На самом деле почва рассматривалась Й.Г. Валлериусом не только как жилище для растений, но и как поставщик пищи, которая необходима для их роста и развития”.

Й.Г. Валлериус, пишут авторы книги, производя химический анализ растений с целью найти вещества, которыми они питаются и защищая положение, что “пища не может состоять из однородных веществ, а должна состоять только из веществ однородных (*Nutritio non fieri potest a rebus heterogeneis, sed homogenis*), делает вывод о том, что гумус, будучи однородным, является источником питания растений (*nutritive*). Рассматривая гумус как источник пищи для растений, Й. Г. Валлериус стал провозвестником теории гумусного питания растений, высказанного в зачаточной форме еще в 1740 г. Иоганном Адамом Кюльбелем, который считал, что перегнойные вещества (*magma unduinum*, т.е. мазеообразная масса) составляют “принцип роста растений” и главный фактор плодородия почв. Й.Г. Валлериус первый определил и само понятие “гумус” как название для разложившегося органического вещества. Он писал: “Гумус есть земля... рыхлая, окрашенная в большинстве случаев в черный цвет; по мере впитывания воды сильно разбухает

(расширяется) и делается губкообразным, при высыхании же становится пылеобразным... О происхождении гумуса ученый говорит кратко: “гумус происходит путем разрушения растительности”.

Как отмечают авторы рецензируемой книги, Й.Г. Валлериус сделал попытку разработать теорию питания растений, основываясь на результатах химического анализа самих растений и почвы, а также данных полевых экспериментов. Именно этот путь ученый считал единственно правильным направлением в агрономической химии и земледелии. Значительное место в его книге занимает учение об удобрении. Он писал: “Удобрения – это все те вещества, которые могут вноситься в почву с помощью инструментов и способствуют росту растений...”. “До сих пор, – писал Й.Г. Валлериус, – у нас был разговор о том, что вносит от себя природа для содействия росту растений. Посмотрим теперь, что может для той же цели сделать искусство...”. “Наилучшим удобрением, – писал он, – будут животные туки”. Навоз ученый определял как измельченную растительную материю, перемешанную со слюной, соками желудка, кишок и желчи животных. Сидераты считал менее эффективным удобрением, чем навоз.

Рассматривая вопросы обработки почвы, Й.Г. Валлериус отмечал: “Почвы необходимо вспахать и удобрять в соответствии с ее химическими и физическими свойствами до такой степени, чтобы она могла впитывать достаточное количество пищи (элементов питания – Авт.), воды и их удерживать”.

Приведенные выше фрагменты трактата Й.Г. Валлериуса “Химические основы земледелия” (1761), как пишут авторы рецензируемой книги, далеко не исчерпывают изложение всех взглядов ученого на проблемы агрономической химии. Но, думается, их все же достаточно для того, чтобы убедиться, как действительно близка по духу и по плану его “агрикультурхимия” к нынешним изложениям этой науки, и как в то же самое время, далеко от современности лежащее, в ее основе было научное мирозерцание шведского ученого. Й.Г. Валлериус настолько бережно относился к работам своих предшественников, что отвел значительное место истории хими-

ческой науки в своем трактате. Прискорбно, что подобный интерес чужд многим современным агрохимикам, что подтверждается полным забвением ими Й.Г. Валлериуса, его трудов и немалых заслуг перед мировым научным сообществом. Современники и последователи, оценивая заслуги ученого, отмечали его вклад в создание “искусственных” удобрений, теории питания растений и установление “правил научного земледелия”. Именно он первым сформировал химические основы земледелия, основанного на растительной и почвенной диагностике, и издал первое научное руководство по агрохимии. Труд Й.Г. Валлериуса стал поистине фундаментом, на котором базировалась агрохимия в XVIII столетии. Здесь агрохимические вопросы были проработаны настолько полно, насколько это было возможно, пока не были сделаны фундаментальные открытия в области химии, почвоведения, микробиологии и физиологии растений, не были даже сформулированы основные законы земледелия. Тем не менее, Йоган Готтшальк Валлериус стал родоначальником агрономической химии, и игнорировать его вклад в эту область знаний совершенно недопустимо.

Наш знаменитый соотечественник Арсений Арсеньевич Ярилов, один из первых профессоров-почвоведов сельскохозяйственного факультета Кубанского политехнического института (на базе этого факультета образовался Кубанский сельскохозяйственный институт, ныне – Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина), еще в 1909 г. писал: “Позднейшим поколениям нелегко было правильно оценить заслуги шведского ученого без учета эпохи, в какую жил и трудился Й.Г. Валлериус. Это был период предрассветных сумерек, эпоха затишья между Георгом Эрнстом Шталем (1659–1734) и Антуаном Лораном Лавуазье (1743–1794), между Мальпиги Марчелло (1628–1694) и Ян Ингенхаузом (1730–1799)... Грядущий день уже загорался на близком горизонте, но длинная тень от тысячелетней белой ночи покрывала всю территорию науки... В этом смысле работа Й.Г. Валлериуса “Химические основы земледелия” (1761) была заключительным аккордом прошлой и предрассветным кличем нарождающейся эпохи”.

О.А. Гуторова