

ISSN 0002-1881

Номер 1

Январь 2024



# АГРОХИМИЯ

[www.sciencejournals.ru](http://www.sciencejournals.ru)



# СОДЕРЖАНИЕ

---

## Номер 1, 2024

---

Журналу “Агрохимия” – 60 лет

*А. П. Глинушкин, В. Н. Кудяров*

3

### ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ СТАТЬИ

#### Плодородие почв

Влияние сидерального удобрения на содержание гумуса в почве

*А. Г. Дзюин*

12

#### Удобрения

Урожайность культур и продуктивность зерносвекловичного севооборота как результат 85-летнего применения удобрений в условиях ЦЧР

*О. А. Минакова, Л. В. Александрова, Т. Н. Подвигина, В. М. Вилков*

17

#### Пестициды

Эффективность родентицидов на основе бромадиолона против обыкновенной полевки *Microtus arvalis* Pall. в лабораторных условиях

*Н. В. Бабич*

26

Привлечение трипсов солевыми формами алкил никотинатов и изоникотинатов

*А. Ю. Лобур, Н. Г. Тодоров, М. И. Ушкова*

33

#### Агроэкология

Макроэлементы и их соотношения в разных видах растений, произрастающих на приозерных солончаках Западного Забайкалья

*М. Г. Меркушева, Л. Н. Болонева, И. Н. Лаврентьева, С. Б. Сосорова*

39

Микоценозы картофеля на полях Новозыбковского района Брянской области с разным уровнем радиоактивного загрязнения и хозяйственного использования

*С. Н. Михалева, Л. Н. Ульяненко, Н. И. Будынков, А. П. Глинушкин*

50

Йод в почвах бассейна внутреннего стока кулундинской равнины

*Г. А. Конарбаева, Б. А. Смоленцев, Н. В. Елизаров, В. В. Попов, В. В. Демин*

61

Влияние минимизации способов почвообработки и прямого посева на биогенность почвы и развитие азотобактера в почвенно-климатических условиях юго-востока ЦЧР

*В. М. Гармашов, Л. В. Гармашова*

70

Влияние эндофитных штаммов *Bacillus subtilis* на микоризацию корней пшеницы при солевом стрессе

*З. М. Кураמיшина, Р. М. Хайруллин, А. А. Ямалеева*

76

Изучение феромонов основных насекомых-вредителей отряда чешуекрылых (Lepidoptera)

*Т. Джумакулов, Ж. Э. Турдибаев, Л. Т. Юлдашев, М. Ш. Мосидиков, О. Х. Холбеков, Г. С. Шакирзянова, Э. Ш. Торениязов, Р. Э. Юсупов*

82

Сорбционные свойства силикатных материалов из соломы риса и вермикулитов

*А. Е. Панасенко, С. А. Терминов, Н. П. Шапкин, А. Н. Холомейдик*

94

---

# Contents

---

**No. 1, 2024**

---

Agrochemistry Magazine Is 60 Years Old

*A. P. Glinushkin, V. N. Kudiyarov*

3

## EXPERIMENTAL ARTICLES

### Soil Fertility

Effect of Sideral Fertilizer on the Content of Humus in the Soil

*A. G. Dzyuin*

12

### Fertilizers

Crop Capacity and Grain-Beet crop Rotation Productivity as a Result of 85-year Application of Fertilizers under Conditions of the Central-Black Earth Region

*O. A. Minakova, L. V. Alexandrova, T. N. Podvigina, V. M. Vilkov*

17

### Pesticides

Effectiveness of Rodenticides based on Bromadiolone against the Common Vole *Microtus arvalis* Pall. in Laboratory Conditions

*N. V. Babich*

26

Attraction of Thrips by Salt Forms of Alkyl Nicotines and Isonicotines

*A. Yu. Lobur, N. G. Todorov, M. I. Ushkova*

33

### Agroecology

Macronutrients and Their Ratios in Different Plant Species Growing in Solonchaks of Western Transbaikalia

*M. G. Merkusheva, L. N. Boloneva, I. N. Lavrentieva, S. B. Sosorova*

39

Potato Mycocenoses in the Fields of the Novozybkovsky District of the Bryansk Region with Different Levels of Radioactive Contamination and Economic Use

*S. N. Mikhaleva, L. N. Ulianenko, N. I. Budynkov, A. P. Glinushkin*

50

Iodine in the Soils of the Basin of the Inner Runoff of the Kulunda Plain

*G. A. Konarbaeva, B. A. Smolentsev, N. V. Elizarov, V. V. Popov, V. V. Demin*

61

Influence of Minimization of Tillage Methods and Direct Seeding on Soil Biogenicity and Development of Nitrogen Bacterium in Soil and Climatic Conditions of the South-East of the Central Chernozem Region

*V. M. Garmashov, L. V. Garmashova*

70

Effect of Endophytic Strains of *Bacillus subtilis* on Mycorrhization of Wheat Roots under Salt Stress

*Z. M. Kuramshina, R. M. Khairullin, A. A. Yamaleeva*

76

Study of Pheromones of the Main Insect Pests of the Lepidoptera Order (Lepidoptera)

*T. Dzhamakulov, J. E. Turdibaev, L. T. Yuldashev, M. S. Mosidikov,  
O. H. Holbekov, G. S. Shakirzyanova, E. S. Toreniyazov, R. E. Yusupov*

82

Sorption Properties of Silicate Materials from Straw Rice and Vermiculites

*A. E. Panasenko, S. A. Terminov, N. P. Shapkin, A. N. Holomeidik*

94

---

УДК 63:54

## ЖУРНАЛУ “АГРОХИМИЯ” – 60 ЛЕТ

© 2024 г. А. П. Глинушкин<sup>1</sup>, В. Н. Кудеяров<sup>2, 3,\*</sup>

<sup>1</sup>Государственный университет просвещения

141014 Мытищи, Московская обл., ул. Веры Волошиной, 24, Россия

<sup>2</sup>Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН

142290 Пущино, Московская обл., Институтская ул., 2, Россия

<sup>3</sup>Всероссийский научно-исследовательский институт фитопатологии РАН

143050 Московская обл., Одинцовский р-н, р.п. Большие Вяземы, ул. Институт, влад. 5, Россия

\*E-mail: vnikolaevich2001@mail.ru

В статье изложена история журнала “Агрохимия” за период 1964–2023 гг. Журнал “Агрохимия” был основан в 1964 г. по инициативе академика АН СССР С.И. Вольфовича, члена-корреспондента АН СССР А.В. Соколова, профессоров М.В. Катыльмова, Ф.В. Турчина и др. Журнал стал первым периодическим академическим изданием по фундаментальным проблемам агрохимии и смежным дисциплинам в нашей стране. За период существования в журнале опубликовано более 10 тысяч статей. Опубликованные статьи сгруппированы в следующие основные рубрики: “Удобрения” (производство, применение, эффективность, превращения в почве); “Плодородие почв” (изменение под действие различных факторов); “Методы исследований”; “Агроэкология” (сочетание применения удобрений, пестицидов, систем обработки почв, севооборотов, экологические условия); “Химическая защита растений” – позже разделилась на “Пестициды” и “Экотоксикологию”; “Питание растений” (физиолого-агрохимические исследования, роль удобрений в физиологических процессах растений, биохимия растений и качество продукции); “Регуляторы роста растений”; “Агрохимслужба”; “Мелиорация почв”; “Почвенная биология и биохимия” и др. В 2021 г. Президиум РАН утвердил Федеральное государственное бюджетное научное учреждение “Всероссийский научно-исследовательский институт фитопатологии” (ФГБНУ ВНИИФ) в качестве соучредителя журнала “Агрохимия”.

*Ключевые слова:* журнал “Агрохимия”.

**DOI:** 10.31857/S0002188124010016

Журнал “Агрохимия” был основан в 1964 г. и стал первым периодическим академическим изданием по фундаментальным проблемам агрохимии и смежным дисциплинам в нашей стране.

Выходившие в довоенные годы журналы “Удобрение и урожай” и “Химизация социалистического земледелия” имели преимущественно научно-производственное направление. Журнал “Удобрение и урожай” издавали в 1929–1931 гг. и его возглавлял Э.В. Брицке – крупнейший специалист в области технологии минеральных удобрений, близко работавший с Д.Н. Прянишниковым. В работе редколлегии этого журнала принимали участие Д.Н. Прянишников, А.Н. Лебедев, С.И. Вольфович и другие известные ученые.

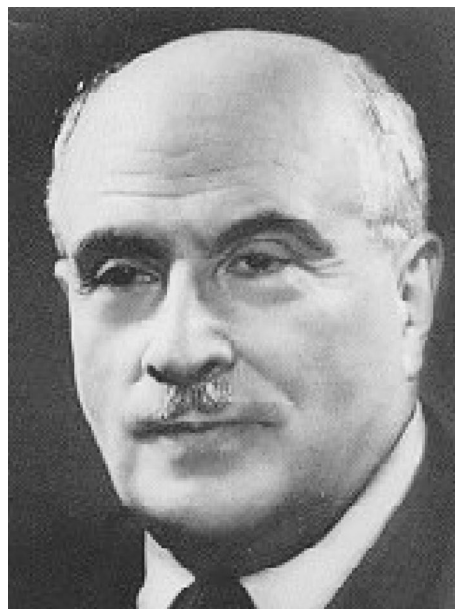
После закрытия журнала “Удобрение и урожай” в 1932–1941 гг. издавали журнал “Химизация социалистического земледелия”, главным редактором которого был крупный агрохимик – К. Кедров-Зихман, а в состав редколлегии входили

К.К. Гедройц, А.Н. Лебедев и другие. Однако журнал “Химизация социалистического земледелия”, по словам Д.Н. Прянишникова, не отвечал “современным требованиям научной общности”, и Дмитрий Николаевич еще в 1936 г. представил ходатайство перед Президиумом Всесоюзной академии сельскохозяйственных наук (ВАСХНИЛ) об учреждении журнала “Агрохимия” [1] (рис. 1).

Известно, что журнал “Агрохимия” не был создан при жизни Д.Н. Прянишникова. В послевоенные годы в результате субъективистского, монопольного взгляда на биологические науки академика Т.Д. Лысенко и его соратников чинились препятствия распространению передовых знаний не только в области биологии, но и химизации сельского хозяйства. Создание периодического научного издания по агрохимии стало возможным после преодоления “лысенковщины”. Ставилась цель создания журнала именно в структуре Академии наук СССР. Нахождение журнала “Агрохимия” в АН СССР



**Рис. 1.** Академик Прянишников Дмитрий Николаевич (1865–1948).



**Рис. 2.** Академик Вольфович Семен Исаакович (1896–1980).

обеспечивало его высокий уровень и организационную устойчивость на многие годы, что и было подтверждено жизнью. Естественно, инициатором создания такого журнала должен был быть авторитетный член АН СССР, хорошо знакомый с проблемами агрохимии и удобрений. Таким человеком оказался академик АН СССР Семен Исаакович Вольфович – выдающийся советский ученый, химик-неорганик, один из крупнейших отечественных химиков-технологов (рис. 2).

С.И. Вольфович известен значительным вкладом в развитие химии и технологии фосфора, комплексной переработки отечественных руд для производства минеральных удобрений. В Научном институте удобрений и инсектофунгицидов (НИУИФ) в 1930–1940х гг. Семен Исаакович работал одновременно с Д.Н. Прянишниковым.

Научно-организационную работу по становлению журнала “Агрохимия” проводили профессора Андрей Васильевич Соколов и Федор Васильевич Турчин – сотрудники НИУИФ. В результате была осуществлена идея Д.Н. Прянишникова о создании академического журнала “Агрохимия”.

С выходом журнала “Агрохимия” начался новый этап в развитии агрохимических исследований. Это действительно был сильный толчок в распространении результатов научных исследований фундаментальных проблем агрохимии среди научной общественности. Время создания журнала совпало с развертыванием государственной кампании тогдашнего советского руководства по химизации сельскохозяйственного производства. Это была

крупнейшая после освоения целинных земель кампания по переводу сельского хозяйства с экстенсивного пути развития на интенсивный. В 1964 г. была начата организация Агрохимической службы СССР, сыгравшей большую положительную роль в развитии химизации сельскохозяйственного производства. Несомненно, поднятая волна широкомасштабной химизации помогла открытию и журнала “Химия в сельском хозяйстве”.

Первым главным редактором журнала “Агрохимия” был назначен член-корреспондент АН СССР Юрий Владимирович Ракитин – крупный физиолог и биохимик, специалист в области физиологически активных соединений, близко воспринимавший и проблемы агрохимии (рис. 3).

Заместителем главного редактора был назначен Андрей Васильевич Соколов – ученый с глубочайшим пониманием фундаментальных проблем агрохимии, прямой ученик Д.Н. Прянишникова, принципиальный и последовательный продолжатель его школы (рис. 4).

А.В. Соколов к моменту открытия журнала еще не был членом АН СССР и не мог быть назначен на должность главного редактора, но был фактическим главным редактором журнала.

Вторым заместителем главного редактора был профессор Лев Леонидович Балашов, имевший опыт редакторской работы еще в журнале “Удобрение и урожай”, много сделавший для становления журнала “Агрохимия”.



**Рис. 3.** Член-корреспондент АН СССР Юрий Владимирович Ракитин (1911–1979).



**Рис. 4.** Член-корреспондент АН СССР Андрей Васильевич Соколов (1898–1980).

В состав первой редколлегии журнала вошли видные ученые, специалисты не только агрохимии, но и смежных областей знаний: Н.С. Авдонин (академик ВАСХНИЛ), А.М. Артюшин, Л.Л. Балашов, И.Г. Важенин, С.И. Вольфович (академик АН СССР), Г.С. Давтян, М.В. Каталымов (академик ВАСХНИЛ), Д.А. Кореньков (академик ВАСХНИЛ), Л.И. Королев, А.Л. Курсанов (академик АН СССР), П.Г. Найдин, Я.В. Пейве (академик АН СССР), А.В. Петербургский, И.И. Синягин (академик ВАСХНИЛ), А.В. Соколов (член-корреспондент АН СССР), Ф.В. Турчин, Ф.Ф. Юхимчук.

После смерти Ю.В. Ракитина исполняющим обязанности главного редактора становится А.В. Соколов, уже избранный к тому времени членом-корреспондентом АН СССР. Однако Андрей Васильевич оставался в роли главного редактора весьма непродолжительное время (1980–сентябрь 1981). После его смерти в 1981 г. главным редактором журнала был назначен член-корреспондент АН СССР Николай Николаевич Мельников (рис. 5).

Н.Н. Мельников был крупным химиком-органиком, создателем отечественной школы в области химии пестицидов и одним из основателей промышленного производства пестицидов в СССР, он работал во ВНИИ химических средств защиты растений. С приходом Н.Н. Мельникова журнал стал значительно больше публиковать работ по химическим средствам защиты растений. Редколлегия журнала пополнилась учеными-специалистами в области химической защиты растений (М.И. Кабачник, Ю.Н. Фадеев, Д.И. Чкаников, М.С. Соколов, К.В. Новожилов, Г.С. Груздев).

Заместителем главного редактора в эти годы был профессор Феликс Викентеевич Янишевский – работник НИУИФ, один из ведущих ученых в области агрохимии удобрений, последователь школы Д.Н. Прянишникова. На долю Н.Н. Мельникова и Ф.В. Янишевского выпала трудная роль сохранить журнал в дееспособном состоянии во время острого экономического кризиса страны в 1990-х гг. В разные годы в состав редколлегии журнала “Агрохимия” входили известные ученые, внесшие значительный вклад в популяризацию и авторитет журнала. Среди членов редколлегии были специалисты не только в области агрохимии, но и в смежных направлениях науки – неорганической и органической химии, биохимии, микробиологии, физиологии растений, экологии и других. Н.Н. Мельников оставался на посту главного редактора до 2000 г.

В 2000 г. эстафету главного редактора журнала принял профессор Валерий Николаевич Кудяров (впоследствии член-корреспондент РАН) – представитель Прянишковской школы агрохимиков, а также под влиянием идей член-корреспондента АН СССР Виктора Абрамовича Ковды воспринявший биогеохимический подход к изучению проблемы удобрения, как одного из главных антропогенных факторов воздействия на состояние биосферы.

Заместителями главного редактора были утверждены: д.б.н. Александр Соломонович Фрид – агрохимическое направление, включающее в себя такие рубрики, как удобрения, плодородие почв, физико-химию почв, биологию почв, питание растений, радиоэкологию, тяжелые металлы; академик ВАСХНИЛ Михаил Сергеевич



**Рис. 5.** Член-корреспондент АН СССР Николай Николаевич Мельников (1908–2000).

Соколов – химические средства защиты растений, биогеохимические аспекты применения пестицидов, экотоксикология, здоровье почв.

После Н.Н. Мельникова было сохранено основное направление журнала – публикация работ по фундаментальным проблемам агрохимии в более широком ее толковании, включавшим и проблемы химических средств защиты растений. Журнал привлекал работы, выполненные также и в смежных областях: физиолого-биохимические и микробиологические исследования действия удобрений, химия и плодородие почв, “здоровье” почв. Большое внимание уделялось экологическим проблемам химизации земледелия. Список всех членов редколлегии журнала “Агрохимия” за период с 1964 г. по настоящее время приведен в табл. 1.

Наиболее длительное время пребывания (40 лет) в составе редколлегии принадлежит академику ВАСХНИЛ Михаилу Сергеевичу Соколову, много сделавшему для развития журнала.

На страницах журнала публиковали работы выдающиеся ученые, прямые продолжатели школы Д.Н. Прянишникова: А.В. Соколов, Ф.В. Турчин, М.В. Катыльмов, А.В. Петербургский, Н.С. Авдонин, Я.В. Пейве, В.М. Ключковский, П.М. Смирнов, Н.П. Карпинский, П.Г. Найдин, В.Н. Прокошев, Д.А. Кореньков, П.А. Баранов, И.И. Синягин, В.В. Церлинг, К.П. Магницкий и многие другие.

Эти работы стали основополагающими в развитии новых направлений исследований: например, работы Ф.В. Турчина, П.М. Смирнова, Н.И. Борисовой, Е.А. Андреевой, Д.А. Коренькова и других исследователей по изучению трансформации

азотных удобрений в почвах, выполненные с применением меченого азота  $^{15}\text{N}$ , стали классическими. Следует упомянуть многочисленные публикации А.В. Петербургского по различным проблемам агрохимии, Н.С. Авдонина – по известкованию почв, Я.В. Пейве – по проблемам микроэлементов и микроудобрений, П.Г. Найдина – по географическим закономерностям эффективности минеральных удобрений в СССР. В многочисленных публикациях Ф.В. Янишевского (более 60-ти работ) впервые были приведены данные применения новых сложных удобрений на основе полифосфорной кислоты, действия их на структуру и качество урожая.

Первые публикации в журнале по исследованию гербицидов были сделаны В.Ф. Ладониным (1967), Л.И. Королевым (1969), Ю.Я. Спиридоновым (1970).

По данным e-LIBRARY [3], в выпусках 1964–2022 гг. опубликовано 4032 статьи с числом авторов 1310. На самом деле архивные материалы свидетельствуют о гораздо большем количестве опубликованных статей. Проведенный нами анализ практически всех выпусков журнала “Агрохимия” за 1964–2023 гг. показал, что было опубликовано 10709 статей, причем в это число не вошли такие рубрики, как критика и библиография, хроника, персоналии и некоторые другие (табл. 2).

Опубликованные статьи можно сгруппировать в следующие основные рубрики:

- “Удобрения” (производство, применение, эффективность, превращения в почве);
- “Плодородие почв” (его изменение под действием различных факторов);
- “Агроэкология” (сочетание применения удобрений, пестицидов, систем обработки почв, севооборотов, экологические условия);
- “Химическая защита растений” (позже разделилась на рубрики “Пестициды” и “Экотоксикология”);
- “Питание растений” (физиолого-агрохимические исследования, роль удобрений в физиологических процессах растений, биохимия растений и качество продукции);
- “Регуляторы роста растений”, “Агрохимслужба”, “Мелиорация почв”, “Почвенная биология и биохимия”;
- “Геосеть” и другие.

Состав рубрик менялся со временем, но постоянными оставались “Удобрения”, “Плодородие почв”, “Питание растений”, “Регуляторы роста растений”, “Пестициды”, “Агроэкология”, “Экотоксикология”, “Методы исследований”, “Обзоры”.

Самой представительной являлась и является в настоящее время рубрика “Удобрения”. В советский период за 2 десятилетия (1964–1983 гг.) доля

**Таблица 1.** Члены редколлегии журнала “Агрохимия” с 1964 г. по настоящее время

| ФИО, годы                                           | ФИО, годы                               |
|-----------------------------------------------------|-----------------------------------------|
| Авдонин Н.С. 1964–1978                              | Лукин С.В. 2022–н.в.                    |
| Андреева Е.А. 1982–2000                             | Лукин С.М. 2022–н.в.                    |
| Артюшин А.М. 1964–1988                              | Мельников Н.Н., гл. редактор, 1980–1999 |
| Балашов Л.Л. 1964–1976                              | Минеев В.Г. 1989–2015                   |
| Баскаков Ю.А. 1982–1996                             | Минкина Т.М. 2022–н.в.                  |
| Белошапкина О.О. 2022–н.в.                          | Муравин Э.А. 1997–2015                  |
| Богдан Е.В. 1964–1978                               | Найдин П.Г. 1964–1968                   |
| Булгакова Н.Н. 2002–2022                            | Налиухин А.Н. 2022–н.в.                 |
| Важенин И.Г. 1964–1981                              | Новожилов К.В. 1988–2000                |
| Володарский Н.И. 1980–1981                          | Панников В.Д. 1980–1991                 |
| Вольфкович С.И. 1964–1980                           | Пасынков А.В. 2022–н.в.                 |
| Гамзиков Г.П. 2001–н.в.                             | Пейве Я.В. 1964–1975                    |
| Глинушкин А.П. 2019–н.в.,<br>гл. редактор 2022–н.в. | Персикова Т.М. 2022–н.в.                |
| Головлева Л.А. 1989–2000                            | Петербургский А.В. 1964–1988            |
| Горшкова М.А. 2010–2022                             | Постников А.В. 1980–1999                |
| Груздев Г.С. 1988–1991                              | Прокошев В.В. 1989–2010                 |
| Гудков С.В. 2022–н.в.                               | Ракитин Ю.В., гл. редактор 1964–1979    |
| Давтян Г.С. 1964–1979                               | Романенков В.А. 2016–н.в.               |
| Демин В.А. 1997–2022                                | Савзарг В.Э. 1988–2000                  |
| Дмитренко П.А. 1980–1996                            | Семенов В.М. 2001–н.в.                  |
| Дорошкина Л.А. 2022–н.в.                            | Сидоренко О.Д. 2008–2022                |
| Ефимов В.Н. 1989–2004                               | Синягин И.И. 1964–1978                  |
| Журбицкий З.И. 1964–1978                            | Смирнов П.М. 1980–1984                  |
| Завалин А.А. 2009–н.в.                              | Соколов А.В. 1964–1980                  |
| Захаренко В.А. 1997–н.в.                            | Соколов М.С. 1980–2019                  |
| Кабачник М.И. 1982–1996                             | Соколов О.А. 1997–2003                  |
| Каталымов М.В. 1964–1969                            | Спиридонов Ю.Я. 2001–2021               |
| Кефели В.И. 1993–1998                               | Сычев В.Г. 2015–2022                    |
| Кидин В.В. 2005–2022                                | Турчин Ф.В. 1964–1966                   |
| Когут Б.М. 2022–н.в.                                | Убугунов Л.Л. 2014–н.в.                 |
| Козлов В.А. 1997–2022                               | Фадеев Ю.Н. 1982–1987                   |
| Кореньков Д.А. 1966–1995                            | Фесенко С.В. 2022–н.в.                  |
| Королев Л.И. 1964–1973                              | Фрид А.С. 2002–н.в.                     |
| Кудяров В.Н. 1989–н.в., гл. редактор 2000–2022      | Черников В.А. 2001–н.в.                 |
| Кулаковская Т.Н. 1980–1985                          | Чкаников Д.И. 1982–1995                 |
| Курсанов А.Л. 1964–1988                             | Шафран С.А. 2001–н.в.                   |
| Кучин А.В. 2022–н.в.                                | Шеуджен А.Х. 2019–н.в.                  |
| Ладонин В.Ф. 2001–2006                              | Юхимчук Ф.Ф. 1964–1978                  |
| Львов Н.П. 2001–2002                                | Ягодин Б.А. 1989–2001                   |
|                                                     | Янишевский Ф.В. 1980–2000               |

Примечание. н.в. – настоящее время.

статей этой рубрики составляла в среднем 36–34%, в целом за 60 лет – 29%. Но более важным является тот факт, что количество статей в рубрике “Удобрения” уменьшилось с 820–912 в 1964–1983 гг. до 210–277 в 2004–2023 гг. Это связано с тем, что в 1990-х гг. НИУИФ был упразднен, что нанесло непоправимый ущерб исследованиям и разработкам новых минеральных удобрений. Кроме того, катастрофически уменьшилась сеть многолетних и краткосрочных полевых экспериментов в научно-исследовательских организациях и в системе агрохимической службы, что вызвало значительное

уменьшение общего числа статей в журнале за последние 30 лет.

В рубрике “Плодородие почв” доля статей от их общего числа менялась не столь значительно, в пределах 17–22% за время издания журнала. Абсолютное же количество статей этой рубрики составляло за 3 первых десятилетия в среднем 443–534, а в последующих десятилетиях сократилось до 240–220 статей.

Доля статей по теме “Химзащита” составляла в первые 20 лет ≈5%, затем в 1980-е годы увеличилась до 19%. В начале 1990-х гг. вместо



**Таблица 2.** Основные рубрики и число статей в журнале “Агрохимия” за 1964–2023 гг.

| Рубрика                                      |        | 1964–1973 | 1974–1983 | 1984–1993 | 1994–2003 | 2004–2013 | 2014–2023 | 1964–2023 |
|----------------------------------------------|--------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Удобрения                                    | Статьи | 820       | 912       | 560       | 340       | 210       | 277       | 3119      |
|                                              | %*     | 36.1      | 34.1      | 28.3      | 29.1      | 15.8      | 21.1      | 29.1      |
| Плодородие почв                              | Статьи | 443       | 534       | 434       | 239       | 240       | 220       | 2110      |
|                                              | %      | 19.5      | 20        | 22        | 20.4      | 18.1      | 16.7      | 19.7      |
| Методы исследований                          | Статьи | 436       | 552       | 262       | 57        | 30        | 44        | 1381      |
|                                              | %      | 19.2      | 20.7      | 13.2      | 4.9       | 2.3       | 3.3       | 12.9      |
| Баланс, агроэкология                         | Статьи | 75        | 155       | 103       | 98        | 280       | 278       | 989       |
|                                              | %      | 3.3       | 5.8       | 5.2       | 8.4       | 21.1      | 20.9      | 9.2       |
| Питание растений, биохимия и качество урожая | Статьи | 284       | 299       | 166       | 133       | 60        | 31        | 973       |
|                                              | %      | 12.5      | 11.2      | 8.4       | 13.4      | 4.5       | 2.8       | 9.1       |
| Химзащита                                    | Статьи | 129       | 139       | 375       | х         | х         | 10        | 653       |
|                                              | %      | 5.7       | 5.2       | 19.0      | х         | х         | 0.8       | 6.1       |
| Пестициды                                    | Статьи | х         | х         | х         | 135       | 90        | 135       | 360       |
|                                              | %      | х         | х         | х         | 11.5      | 6.8       | 10.2      | 3.4       |
| Экотоксикология                              | Статьи | х         | х         | х         | 103       | 220       | 161       | 484       |
|                                              | %      | х         | х         | х         | 8.8       | 16.6      | 12.1      | 4.5       |
| Биология и биохимия почв                     | Статьи | 70        | 76        | 71        | х         | х         | х         | 217       |
|                                              | %      | 3         | 2.8       | 3.6       | х         | х         | х         | 2.1       |
| Регуляторы роста                             | Статьи | х         | х         | х         | 35        | 120       | 76        | 233       |
|                                              | %      | х         | х         | х         | 3.0       | 9.0       | 5.9       | 2.2       |
| Обзоры                                       | Статьи | х         | х         | х         | х         | 73        | 71        | 144       |
|                                              | %      | х         | х         | х         | х         | 5.5       | 5.3       | 1.3       |
| Геосеть                                      | Статьи | 13        | 5         | 5         | х         | 2         | 21        | 46        |
|                                              | %      | 0.6       | 0.2       | 0.2       | х         | 0.1       | 1.6       | 0.4       |
| Всего                                        | Статьи | 2270      | 2672      | 1976      | 1140      | 1325      | 1326      | 10709     |
|                                              | %      | 100       | 100       | 100       | 100       | 100       | 100       | 100       |

\* % от количества статей по сумме рубрик; знак «х» означает, что статей данной рубрики не найдено.

рубрики “Химзащита” появились 2 рубрики: “Пестициды” и “Экотоксикология”, публикации в которых в сумме составили в последние 2 десятилетия (2004–2013 гг. и 2014–2023 гг.) более чем по 300 статей, или более 20% от общего их количества.

За 1964–2020 гг. в списке научных организаций и высших учебных заведений, представивших статьи для опубликования в журнале, по данным e-LIBRARY.RU присутствовало 435. К сожалению, в список e-LIBRARY.RU не попали публикации НИУИФ (одного из сооснователей журнала) и его опытных полей (Долгопрудная агрохимическая опытная станция им. Д.Н. Прянишникова, Люберецкое опытное поле, Раменская агрохимическая

опытная станция, Граковское опытное поле), сотрудники которых были одними из первых авторов в журнале “Агрохимия”. Общее число статей НИУИФ и его опытных полей, по нашей оценке, составляет ≈200.

В этом числе 86 организаций, представивших 10 и более статей. Наибольшее количество статей было опубликовано авторами из ВНИИ агрохимии им. Д.Н. Прянишникова. В первую десятку организаций по числу публикаций (1964–2021 гг.) входят:

- Всероссийский научно-исследовательский институт агрохимии им. Д.Н. Прянишникова – 329;

- ФИЦ “Пушкинский научный центр биологических исследований РАН” – 292;
- Институт почвоведения и агрохимии СО РАН – 185;
- Всероссийский научно-исследовательский институт фитопатологии – 147;
- Российский государственный аграрный университет – Московская сельскохозяйственная академия им. К.А. Тимирязева – 145;
- Почвенный институт им. В.В. Докучаева – 138;
- Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова – 133;

- Уфимский федеральный исследовательский центр – 132;
- Агрофизический научно-исследовательский институт – 125;
- Институт общей и экспериментальной биологии СО РАН – 103.

На сайте e-LIBRARY.RU приведен список публиковавшихся в журнале авторов. Абсолютным рекордсменом по числу публикаций в журнале “Агрохимия” является академик Ю.Я. Спиридонов – 94 статьи (табл. 3).

**Таблица 3.** Авторы журнала «Агрохимия», опубликовавшие 10 и более статей за период 1964–2023 гг.\*

| ФИО автора                     | Количество статей | ФИО автора                        | Количество статей |
|--------------------------------|-------------------|-----------------------------------|-------------------|
| Спиридонов Юрий Яковлевич      | 94                | Меркушева Мария Григорьевна       | 21                |
| Литвинович Андрей Витальевич   | 60                | Кожевникова Нина Михайловна       | 20                |
| Завалин Алексей Анатольевич    | 55                | Окорков Владимир Васильевич       | 19                |
| Фрид Александр Соломонович     | 53                | Пигарева Нина Николаевна          | 19                |
| Павлова Ольга Юрьевна          | 52                | Шарков Иван Николаевич            | 18                |
| Кудяров Валерий Николаевич     | 51                | Амирханов Дамир Вильданович       | 17                |
| Никитишен Владимир Иванович    | 50                | Багринцева Валентина Николаевна   | 17                |
| Семенов Вячеслав Михайлович    | 47                | Долженко Виктор Иванович          | 17                |
| Соколов Михаил Сергеевич       | 46                | Куликова Алевтина Христофоровна   | 17                |
| Лаврищев Антон Викторович      | 40                | Санжарова Наталья Ивановна        | 17                |
| Шафран Станислав Аронович      | 40                | Вендило Наталия Владимировна      | 16                |
| Якименко Владимир Николаевич   | 35                | Глинушкин Алексей Павлович        | 16                |
| Соколов Олег Алексеевич        | 34                | Гребенников Александр Михайлович  | 16                |
| Галиулин Рауф Валиевич         | 33                | Иванов Андрей Леонидович          | 16                |
| Лапа Виталий Витальевич        | 33                | Лебедева Катерина Владимировна    | 16                |
| Ивойлов Александр Васильевич   | 32                | Борисов Валерий Александрович     | 15                |
| Минеев Василий Григорьевич     | 32                | Борисочкина Татьяна Ивановна      | 15                |
| Галиулина Роза Адхамовна       | 30                | Киреева Наиля Ахняфовна           | 15                |
| Кудярова Агния Юльевна         | 29                | Лукаткин Александр Степанович     | 15                |
| Конарбаева Галина Акмулдиновна | 28                | Надежкина Елена Валентиновна      | 15                |
| Шабает Валерий Павлович        | 28                | Пасынков Александр Васильевич     | 15                |
| Назарюк Владимир Митрофанович  | 27                | Рославцева Светлана Александровна | 15                |
| Убугунов Леонид Лазаревич      | 27                | Торопова Елена Юрьевна            | 15                |
| Шильников Игорь Александрович  | 27                | Успенская Ольга Николаевна        | 15                |
| Ниловская Нина Тихоновна       | 26                | Чевердин Юрий Иванович            | 15                |
| Чимитдоржиева Галина Доржиевна | 26                | Чкаников Николай Дмитриевич       | 15                |
| Витковская Светлана Евгеньевна | 25                | Шакирова Фарида Миннихановна      | 15                |
| Водяницкий Юрий Никифорович    | 25                | Александрова Людмила Валерьевна   | 14                |
| Кирпичников Николай Алексеевич | 25                | Анисимов Вячеслав Сергеевич       | 14                |
| Колесников Сергей Ильич        | 25                | Волинкин Валерий Иванович         | 14                |
| Волинкина Ольга Васильевна     | 24                | Дричко Владимир Федорович         | 14                |
| Иванов Алексей Иванович        | 24                | Костюк Валентин Иванович          | 14                |

Таблица 3. Окончание

| ФИО автора                      | Количество статей | ФИО автора                      | Количество статей |
|---------------------------------|-------------------|---------------------------------|-------------------|
| Ладонин Вадим Феопентович       | 24                | Никитина Любовь Васильевна      | 14                |
| Шестаков Владимир Григорьевич   | 24                | Плетнев Владимир Адольфович     | 14                |
| Башкин Владимир Николаевич      | 23                | Помазкина Любовь Владимировна   | 14                |
| Гамзиков Геннадий Павлович      | 23                | Торшин Сергей Порфирьевич       | 14                |
| Державин Леонид Михайлович      | 23                | Трапезников Валентин Кузьмич    | 14                |
| Казеев Камиль Шагидуллович      | 23                | Цыбенков Юрий Бадмажапович      | 14                |
| Захаренко Владимир Андреевич    | 22                | Широких Ирина Геннадьевна       | 14                |
| Кашин Владимир Капсимович       | 22                | Абубикеров Владимир Алексеевич  | 13                |
| Халиков Салават Самадович       | 22                | Анисимова Лидия Николаевна      | 13                |
| Буре Владимир Мансурович        | 21                | Васючков Игорь Юрьевич          | 13                |
| Власенко Наталия Григорьевна    | 21                | Иванов Игорь Игоревич           | 13                |
| Кудоярова Гюзель Радомесовна    | 21                | Илларионов Александр Иванович   | 13                |
| Мерзлая Генриэта Егоровна       | 21                | Кузьменко Наталья Николаевна    | 13                |
| Пинский Давид Лазаревич         | 13                | Ломако Евгений Иванович         | 13                |
| Сухопарова Вера Петровна        | 13                | Новожилов Капитон Васильевич    | 13                |
| Дядюченко Людмила Всеволодовна  | 12                | Новоселов Сергей Иванович       | 11                |
| Жемчужин Сергей Георгиевич      | 12                | Рябчинская Татьяна Алексеевна   | 11                |
| Жуков Юрий Петрович             | 12                | Соловиченко Владимир Дмитриевич | 11                |
| Завьялова Нина Егоровна         | 12                | Чуб Майя Павловна               | 11                |
| Ковлева Александра Олеговна     | 12                | Абашеева Надежда Ефимовна       | 10                |
| Кузнецова Татьяна Васильевна    | 12                | Агафонов Евгений Васильевич     | 10                |
| Огородникова Светлана Юрьевна   | 12                | Алексеев Юрий Васильевич        | 10                |
| Пронько Виктор Васильевич       | 12                | Ананьева Надежда Дмитриевна     | 10                |
| Самойлов Лев Николаевич         | 12                | Васбиева Марина Тагирьяновна    | 10                |
| Самсонова Наталия Евгеньевна    | 12                | Вильдфлуш Игорь Робертович      | 10                |
| Соколова Марина Гавриловна      | 12                | Дубовик Дмитрий Вячеславович    | 10                |
| Соколянская Марина Павловна     | 12                | Елькина Галина Яковлевна        | 10                |
| Титова Вера Ивановна            | 12                | Золотарева Берта Николаевна     | 10                |
| Афанасьев Рафаил Александрович  | 11                | Ивахненко Надежда Николаевна    | 10                |
| Белоус Николай Максимович       | 11                | Максимов Игорь Владимирович     | 10                |
| Босак Виктор Николаевич         | 11                | Масленникова Дилара Ринатовна   | 10                |
| Бочарникова Елена Афанасьевна   | 11                | Минкина Татьяна Михайловна      | 10                |
| Калимуллина Флюра Рахматулаевна | 11                | Овчинникова Мария Федоровна     | 10                |
| Лебедева Тамара Борисовна       | 11                | Переломов Леонид Викторович     | 10                |
| Маслова Ирина Яковлевна         | 11                | Прошкин Виктор Александрович    | 10                |
| Надежкин Сергей Михайлович      | 11                | Пугаев Сергей Васильевич        | 10                |
| Николенко Алексей Геннадьевич   | 11                | Шмырева Нина Яковлевна          | 10                |

\* Данные e-LABRARY [2].

Следует особо отметить один очень важный эпизод в деятельности журнала в связи расформированием издательства “Наука” и передачей издательских функций ООО “Академкнига”. Данная реформа имела целью оптимизацию затрат на издание академических журналов. Выход из данного положения нашелся в возможности профильным

академическим институтам брать на себя оказание помощи журналам через так называемую форму соучредительства. Соучредительство дает легальную возможность институтам оказывать финансовую и иную другую поддержку в издании журнала.

В 2021 г. Президиум РАН по представлению Научно-издательского совета РАН, поддержанным

Отделением биологических наук РАН, утвердил Федеральное государственное бюджетное научное учреждение “Всероссийский научно-исследовательский институт фитопатологии” (ФГБНУ ВНИИФ) в качестве соучредителя журнала “Агрохимия” и заключил договор между ФГБНУ ВНИИФ и РАН, согласно которому ВНИИФ и РАН согласуют между собой издательские, производственные, финансовые и иные отношения, направленные на осуществление совместной деятельности по изданию журнала.

Главным редактором журнала “Агрохимия” в апреле 2022 г. был утвержден академик РАН Глинушкин Алексей Павлович – специалист в области защиты растений, здоровья почв и реабилитации урбанизированных и природных ландшафтов.

Излагая историю журнала “Агрохимия”, нельзя не сказать о работе сотрудников редакции и в первую очередь о заведующих редакцией, которые выполняют каждодневную кропотливую работу по подготовке статей для публикации. Первой заведующей редакцией была Татьяна Яковлевна Михельсон, имевшая большой опыт работы в академических журналах. На первых порах организации журнала она сумела

организовать авторский коллектив, создать редакционный портфель, наладить выпуск журнала.

Следует особо подчеркнуть роль заведующей редакцией Тамары Анатольевны Боровик, которая пришла в редакцию еще в декабре 1963 г. и проработала в ней более 40 лет. Тамара Анатольевна была высококвалифицированным специалистом, прекрасно ориентировалась в основных научных направлениях журнала. В трудный период, связанный с общим кризисом страны, журнал регулярно выходил 12 раз в год, и в этом была заслуга Тамары Анатольевны, бравшей на себя основную работу по подготовке журнала.

С 2006 г. заведующей редакцией журнала является кандидат биологических наук Алла Александровна Сарычева, которая пришла в редакцию еще в 2000 г.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дмитрий Николаевич Прянишников. Жизнь и деятельность. М.: Наука, 1972. С. 189–191.
2. [https://elibrary.ru/title\\_about\\_new.asp?id=7657](https://elibrary.ru/title_about_new.asp?id=7657)
3. 50 лет журналу “Агрохимия” // Агрохимия. 2014. № 6. С. 5–7.

## Agrochemistry Magazine Is 60 Years Old

A. P. Glinushkin<sup>a</sup>, V. N. Kudayarov<sup>b, c, #</sup>

<sup>a</sup>State University of Education,

ul. Vera Voloshina 24, Moscow region, Mytishchi 141014, Russia

<sup>b</sup>Institute of Physic-Chemical and Biological Problems of Soil Science of the RAS,  
Institutskaya ul. 2, Moscow region, Pushchino 142290, Russia

<sup>c</sup>The All-Russian Research Institute of Phytopathology of the RAS,  
ul. Institute, bld. 5, Moscow region, Odintsovo district, r.p. Bolshye Vyazemy 143050, Russia

<sup>#</sup>E-mail: vnikolaevich2001@mail.ru

The article describes the history of the journal “Agrochemistry” for the period 1964–2023. The journal “Agrochemistry” was founded in 1964 on the initiative of Academician of the Academy of Sciences of the USSR S.I. Volkovich, corresponding member of the Academy of Sciences of the USSR A.V. Sokolov, professors M.V. Katalymov, F.V. Turchin, etc. The journal became the first periodical academic publication on fundamental problems of agrochemistry and related disciplines in our country. Over the period of its existence, the journal has published more than 10 thousand articles. The published articles are grouped into the following main headings: “Fertilizers” (production, application, efficiency, transformations in the soil); “Soil fertility” (change under the influence of various factors); “Research methods”; “Agroecology” (combination of fertilizers, pesticides, soil treatment systems, crop rotation, environmental conditions); “Chemical plant protection” – later divided into “Pesticides” and “Ecotoxicology”; “Plant nutrition” (physiological-agrochemical research, the role of fertilizers in plant physiological processes, plant biochemistry and product quality); “Plant growth regulators”, “Agrochemical Service”; “Soil reclamation”; “Soil biology and biochemistry”, etc. In 2021 The Presidium of the Russian Academy of Sciences approved the Federal State Budgetary Scientific Institution “All-Russian Research Institute of Phytopathology” (FGBNU VNIIF) as a co-founder of the journal “Agrochemistry”.

**Keywords:** agrochemistry magazine.

УДК 631.582.874.56

## ВЛИЯНИЕ СИДЕРАЛЬНОГО УДОБРЕНИЯ НА СОДЕРЖАНИЕ ГУМУСА В ПОЧВЕ

© 2024 г. А. Г. Дзюин\*

*Удмуртский федеральный исследовательский центр Уральского отделения РАН  
427007 Ижевск, Завьяловский р-н, с. Первомайский, ул. Ленина, 1, Россия**\*E-mail: sanya.dzyuin@yandex.ru*

В длительном опыте, который заложен в 1971 г. в 2-х закладках с интервалом в один год, изучили влияние сидерального удобрения на содержание гумуса в почве в течение 6-ти ротаций 8-польного севооборота. Почва – дерново-среднеподзолистая среднесуглинистая на покровном краснобуром тяжелом суглинке с агрохимическими показателями пахотного слоя до закладки опыта:  $pH_{KCl}$  5.0,  $H_g$  – 2.7,  $S$  – 14.8 ммоль /100 г,  $V$  – 85.2%, содержание  $P_2O_5$  – 52,  $K_2O$  – 98 мг/кг почвы. В 6-й ротации вместо навоза в качестве органического удобрения использовали сидеральное удобрение – горохоовсяную смесь (18 т/га). В опыте изучали уровни применения минеральных удобрений на разных фонах с использованием извести (по 1 + 2 г.к. в 1- и 2-й ротациях севооборота), навоза (40 т/га в 1-й и по 60 т/га во 2–5-й ротациях), сидерата (в 6-й ротации) и без них. Варианты с удобрениями: 1 – без удобрений, 5 – N10P10K10, 6 – N20P20K20, 7 – N30P30K30, 8 – N40P40K40, 9 – N50P50K50, 10 – N60P60K60. За 4 ротации севооборота (32 года) без внесения фоновых удобрений содержание гумуса снизилось с 2.5 до 1.96–1.92% (на 0.54 и 0.58 абс. %), на фоне навоза – до 2.38%, извести + навоза – до 2.30%. В 5-й ротации на фонах с внесением навоза его содержание в среднем в 7-ми вариантах возросло до 2.62 и 2.70%, что было больше исходного (2.50%) на 0.12 и 0.20 абс. %. В 6-й ротации использование горохоовсяной смеси в качестве сидерата привело к снижению достигнутого путем периодического использования навоза (один раз в каждую ротацию) и соломы озимой ржи (по 2 раза в 3–6-й ротациях) уровня содержания гумуса на 0.28–0.30 абс. %.

*Ключевые слова:* севооборот, система удобрения, сидерат, органическое вещество, гумус.

**DOI:** 10.31857/S0002188124010029

### ВВЕДЕНИЕ

В Северо-Восточном регионе Европейской части Нечерноземной зоны в основном залегают дерново-подзолистые почвы с низким плодородием. В Удмуртской республике, например, пахотные почвы представлены ими в количестве 79.3% [1]. Урожайность возделываемых культур напрямую зависит от применения минеральных и органических удобрений. Однако в большинстве хозяйственных образований специалисты применяют недостаточное количество удобрений из-за их дороговизны. В результате этого плодородие почвы уменьшается, содержание питательных веществ с каждым годом сокращается [2]. Без целенаправленной систематической работы становится невозможным достичь желаемых результатов по поддержанию и наращиванию эффективного плодородия.

Наиболее действенным средством повышения урожайности сельскохозяйственных культур при

соблюдении агротехнических требований является применение комплекса известковых, органических и минеральных удобрений, что делает актуальным вопрос изучения их эффективности в севооборотах [3–5].

В Пермском ГСХОС в результате длительного применения (более 30 лет) навоза и минеральных удобрений продуктивность 8-польного севооборота от ротации к ротации возрастала [6, 7]. При внесении навоза и минеральных удобрений на фоне извести среднегодовая продуктивность культур по сравнению с контролем возросла почти в 2 раза и составила 3.15 т к.е./га. Навозно-минеральная система удобрения превзошла минеральную систему по продуктивности в 1-й ротации на 0.3–0.4, во 2-й ротации – на 0.5–0.7 т к.е./га [8].

В многолетнем опыте, проведенном на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве [9], систематическое применение минеральных удобрений (N80P80K80) без извести привело к подкислению почвы. За 20 лет показатель  $pH_{KCl}$  снизился на

1.1 ед. в сравнении с исходным содержанием. В то же время не обнаружено существенного влияния на содержание подвижных форм элементов питания — фосфора и калия в сравнении с вариантом совместного применения минеральных удобрений и извести. В варианте без удобрений содержание гумуса снизилось на 0.16%, при использовании органо-минеральной системы увеличилось на 0.52%, при органической системе удобрения его содержание осталось на исходном уровне. Продуктивность севооборота в варианте без удобрений составила всего 1.66 т з.е./га, при использовании органической системы удобрений — 2.57, минеральной — 3.29 и органо-минеральной — 3.67 т з.е./га. В опыте ЦОС ВИУА использование органо-минеральной системы удобрения (навоз 12.5 т/га севооборотной площади и N127P75K176) обеспечило получение 5.0 т з.е./га [10].

Дерново-подзолистые почвы в республике без применения удобрений обеспечивают урожайность зерновых культур порядка 0.6–0.7 т/га. Основным условием получения высоких урожаев является повышение плодородия почв за счет снижения кислотности, увеличения содержания в них гумуса и подвижных форм питательных веществ — азота, фосфора и калия. Дерново-подзолистые суглинистые почвы республики содержат в пахотном слое 2–3% гумуса, причем оптимальным является показатель 2.5–3.0% [1]. В условиях биологизации земледелия важнейшим источником постоянно возобновляемых органогенных ресурсов являются сидераты. Они выполняют многофункциональные задачи в современном земледелии [11]. Если при достаточно оптимальном уровне содержания гумуса почвенные процессы сдвигались в сторону минерализации, то совместное применение минеральных и органических удобрений в виде сидерата и соломы в зерновом севообороте замедляло процессы минерализации [12]. Цель работы — изучение влияния систем удобрения при длительном их применении в севообороте на содержание гумуса в почве.

## МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

В Удмуртском НИИСХ с 1971 г. в составе Геосети опытов (головное научное учреждение — ВНИИА) ведутся исследования в длительном стационарном опыте, включенном в реестр аттестатов с удобрениями и другими агрохимическими средствами РАСХН. Почва — дерново-среднеподзолистая среднесуглинистая на покровном красно-буром тяжелом суглинке. Агрохимические показатели пахотного слоя до закладки опыта:  $pH_{KCl}$  5.0,  $H_r$  — 2.7,  $S$  — 14.8 ммоль/100 г,  $V$  — 85.2%, содержание  $P_2O_5$  — 52,  $K_2O$  — 98 мг/кг почвы. Севооборот — парозернотравяной, 8-польный с чередованием культур: пар черный (в 6-й ротации — сидеральный)—озимая

рожь—кукуруза—яровая пшеница—клевер 1-го года пользования (г.п.)—клевер 2-го г.п.—озимая рожь—ячмень. Опыт заложен в 2-х повторностях с интервалом один год во времени. Схема опыта включает фактор *A* — фоны (табл. 1) и фактор *B* — варианты применения минеральных удобрений, в 5- и 6-й ротациях: 1 — без удобрений, 5 — N10P10K10, 6 — N20P20K20, 7 — N30P30K30, 8 — N40P40K40, 9 — N50P50K50, 10 — N60P60K60.

Минеральные удобрения вносили ежегодно под предпосевную обработку почвы. На озимой ржи во всех вариантах весной добавочно применяли азотные удобрения в дозе N20 в качестве подкормки. На клевере 1- и 2-го г.п. удобрения не применяли. В севообороте использовали солому озимой ржи (1- и 5-й культурой севооборота) в качестве органических удобрений. Повторность опыта — четырехкратная. Ежегодно после уборки культур отбирали почвенные образцы в слое 0–20 см. В них определяли:  $pH_{KCl}$  — потенциометрическим методом (ГОСТ 26483-85),  $H_r$  — по Каппену (ГОСТ 26212-91), сумму поглощенных оснований — по Каппену—Гильковицу (ГОСТ 27821-88), степень насыщенности основаниями — расчетным способом, содержание подвижного фосфора и обменного калия — по Кирсанову (ГОСТ 26207-91). Метеоусловия приведены по данным агрометеостанции “Ижевск”, которая ведет работу на территории опытного поля Удмуртского НИИСХ.

В период весенней вегетации растений — в мае 2004, 2007 и 2008 гг. были вполне удовлетворительные условия увлажнения (ГТК — 0.50, 0.40, 0.41 соответственно). Однако в 2005, 2010, 2011 гг. май был засушливым (ГТК — 0.14, 0.14, 0.20). Засушливые условия были также в июне 2006, 2008, 2009 и 2010 гг. (ГТК — 0.09, 0.09, 0.03, 0.15), в июле 2009 и 2010 гг. (ГТК — 0.27 и 0.13). Участвовавшая засуха в июне и июле задерживала рост и развитие растений.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Важным показателем плодородия почвы является содержание и запасы гумуса, которые определяют все ее ценные агрономические свойства. Дерново-подзолистые суглинистые почвы республики, согласно моделям плодородия, должны содержать оптимальное количество гумуса в пахотном слое 2.5–3.0%. Средневзвешенное его содержание составляет всего 2.2% [1]. Общее содержание гумуса, его качественный состав зависят не только от природных факторов — климата, типа почвы, осадков, температурных условий, но и от величины поступления массы органического вещества в почву, а также применения систем удобрения. Расчеты, проведенные нами, используя данные урожайности культур в опыте и коэффициенты, выведенные по данным исследований

Таблица 1. Градации фактора А (фоновые блоки)

| Номер фона | Фон                                   | Характеристика фона                                                                                                                       |
|------------|---------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1          | Нав <sup>1</sup>                      | Навоз (символ – Нав) внесли в 1-й ротации севооборота (40 т/га)                                                                           |
| 2          | Изв <sup>2</sup>                      | Известь (символ – Изв) внесли по 1 + 2 г.к. в 1- и 2-й ротациях севооборота                                                               |
| 3          | Нав <sup>5</sup> Сид                  | Навоз 40 т/га в 1-й ротации и по 60 т/га во 2–5-й ротациях. В 6-й ротации в пар внесли сидерат (символ – Сид) горохоовсяной смеси 18 т/га |
| 4          | Изв <sup>2</sup> Нав <sup>5</sup> Сид | Известь внесли так же, как и на фоне 2. Навоз и сидерат применяли как на фоне 3.                                                          |

Примечание. Символы те же в табл. 2–4.

Таблица 2. Изменение фактического содержания гумуса в почве в период прохождения 5-й ротации севооборота в зависимости от систем применения удобрения (среднее 2-х закладок опыта), %

| Вариант | Без удобрений – Нав <sup>1</sup> |      |       | Известь – Изв <sup>2</sup> |      |       | Навоз – Нав <sup>5</sup> |      |      | Известь + навоз – Изв <sup>2</sup> Нав <sup>5</sup> |      |      |
|---------|----------------------------------|------|-------|----------------------------|------|-------|--------------------------|------|------|-----------------------------------------------------|------|------|
|         | 1                                | 2    | ±     | 1                          | 2    | ±     | 1                        | 2    | ±    | 1                                                   | 2    | ±    |
| 1       | 1.92                             | 2.18 | 0.26  | 1.95                       | 2.15 | 0.20  | 2.34                     | 2.40 | 0.06 | 2.23                                                | 2.37 | 0.14 |
| 5       | 2.07                             | 2.03 | –0.04 | 1.94                       | 2.00 | 0.06  | 2.32                     | 2.88 | 0.56 | 2.48                                                | 2.54 | 0.06 |
| 6       | 1.86                             | 2.16 | 0.30  | 1.90                       | 2.23 | 0.33  | 2.48                     | 2.64 | 0.16 | 2.36                                                | 2.64 | 0.28 |
| 7       | 2.11                             | 2.22 | 0.11  | 1.93                       | 2.13 | 0.20  | 2.29                     | 2.62 | 0.33 | 2.45                                                | 2.84 | 0.39 |
| 8       | 2.07                             | 2.18 | 0.11  | 2.21                       | 2.22 | 0.01  | 2.26                     | 2.74 | 0.48 | 2.40                                                | 3.02 | 0.62 |
| 9       | 1.99                             | 2.19 | 0.20  | 2.22                       | 2.14 | –0.08 | 2.37                     | 2.52 | 0.15 | 2.40                                                | 2.75 | 0.35 |
| 10      | 1.99                             | 2.01 | 0.02  | 2.24                       | 2.04 | –0.20 | 2.34                     | 2.53 | 0.19 | 2.34                                                | 2.77 | 0.43 |
| Ср.     | 2.00                             | 2.14 | 0.14  | 2.06                       | 2.13 | 0.07  | 2.34                     | 2.62 | 0.19 | 2.38                                                | 2.70 | 0.32 |

Примечания. В графе 1 – в начале ротации, 2 – в конце ротации. То же в табл. 3. НСР<sub>05</sub> фонов: 1–0.10, 2–0.27; НСР<sub>05</sub> вариантов: 1–0.09, 2–0.20.

Ф.И. Левина [3], для вычисления количества сухого вещества пожнивных и корневых остатков, показали, что за 3 последние ротации севооборота поступило в почву сухого вещества культур севооборота: на фоне Нав<sup>1</sup>–115, Изв<sup>2</sup>–120, Нав<sup>5</sup>–122, Изв<sup>2</sup>Нав<sup>5</sup>–127 т/га (табл. 1).

Длительные наблюдения в ходе эксперимента свидетельствовали о значительном снижении содержания гумуса в почве, несмотря на существенное обогащение почвы органическим веществом. К концу 4-й ротации севооборота на фоне без внесения удобрений и на известкованном фоне его содержание снизилось до 1.96–1.92% от исходного 2.5%, т.е. за 32 года со времени закладки опыта – на 0.54 и 0.58% соответственно. Только за 4-ю ротацию содержание гумуса уменьшилось на 0.20 и 0.12 абс. %. Не обеспечивало поддержание запасов гумуса на исходном уровне и применение навоза, его среднее содержание на его фоне составило 2.38%, и на фоне известь + навоз – 2.30%.

В 5-й ротации севооборота системы удобрения оказали положительное влияние на содержание гумуса в почве. Без внесения навоза содержание гумуса увеличилось в среднем в 7-ми вариантах на 0.14 абс. %

по сравнению с его показателями в конце 4-й ротации севооборота (табл. 2).

На известкованном фоне Изв<sup>2</sup> с полным внесением минеральных удобрений (НРК) отмечена лишь тенденция к повышению содержания гумуса (+0.07%). На этих фонах солома озимой ржи не стимулировала образование гумуса. Для сравнения в опыте был оставлен фон “известь + навоз”, где в течение 2-х последних ротаций навоз не вносили (до этого его применяли в каждой ротации). На этом фоне содержание гумуса в 5-й ротации мало изменилось (в среднем – 2.43%) по сравнению с 4-й ротацией (2.38%). На тех фонах, на которых применяли навоз (Нав<sup>5</sup> и Изв<sup>2</sup>Нав<sup>5</sup>), содержание гумуса увеличилось в среднем в 7-ми вариантах до 2.62 и 2.70% соответственно, что было больше исходного содержания на 0.12 и 0.20%.

В 6-й ротации севооборота системы удобрения оказали отрицательное воздействие на содержание гумуса в почве. Без внесения навоза его содержание уменьшилось в среднем на 0.16 абс. % от средней величины в 5-й ротации севооборота (табл. 3).

На известкованном фоне с внесением минеральных удобрений (Изв<sup>2</sup>) отмечена лишь тенденция

**Таблица 3.** Изменение фактического содержания гумуса в почве в период прохождения 6-й ротации севооборота в зависимости от систем применения удобрения (среднее 2-х закладок опыта),%

| Вариант | Без удобрений – Нав <sup>1</sup> |      |       | Известь – Изв <sup>2</sup> |      |       | Навоз – Нав <sup>5</sup> Сид |      |       | Известь +<br>+ навоз – Изв <sup>2</sup> Нав <sup>5</sup> Сид |      |       |
|---------|----------------------------------|------|-------|----------------------------|------|-------|------------------------------|------|-------|--------------------------------------------------------------|------|-------|
|         | 1                                | 2    | ±     | 1                          | 2    | ±     | 1                            | 2    | ±     | 1                                                            | 2    | ±     |
| 1       | 2.18                             | 1.77 | –0.41 | 2.15                       | 2.00 | –0.15 | 2.40                         | 2.12 | –0.28 | 2.37                                                         | 2.20 | –0.17 |
| 5       | 2.03                             | 1.98 | –0.05 | 2.00                       | 2.27 | 0.27  | 2.88                         | 2.20 | –0.68 | 2.54                                                         | 2.27 | –0.27 |
| 6       | 2.16                             | 2.03 | –0.13 | 2.23                       | 2.34 | 0.11  | 2.64                         | 2.39 | –0.25 | 2.64                                                         | 2.74 | 0.10  |
| 7       | 2.22                             | 2.03 | –0.19 | 2.13                       | 2.53 | 0.40  | 2.62                         | 2.34 | –0.28 | 2.84                                                         | 2.50 | –0.34 |
| 8       | 2.18                             | 1.98 | –0.20 | 2.22                       | 2.17 | –0.05 | 2.74                         | 2.44 | –0.30 | 3.02                                                         | 2.48 | –0.54 |
| 9       | 2.19                             | 2.08 | –0.11 | 2.14                       | 2.00 | –0.14 | 2.52                         | 2.38 | –0.14 | 2.75                                                         | 2.38 | –0.37 |
| 10      | 2.01                             | 2.00 | –0.01 | 2.04                       | 2.06 | 0.02  | 2.53                         | 2.48 | –0.05 | 2.77                                                         | 2.20 | –0.57 |
| Среднее | 2.14                             | 1.98 | –0.16 | 2.13                       | 2.20 | 0.07  | 2.62                         | 2.34 | –0.28 | 2.70                                                         | 2.40 | –0.30 |

Примечание.  $HCP_{05}$  фонов: 1–0.27, 2–0.24.  $HCP_{05}$  вариантов: 1–0.20, 2–0.17.

**Таблица 4.** Влияние фонов и минеральных удобрений на содержание гумуса в почве в 6-й ротации севооборота (среднее 2-х закладок опыта),%

| Вариант  | Нав <sup>1</sup> |      | Изв <sup>2</sup> |      | Нав <sup>5</sup> Сид |      | Изв <sup>2</sup> Нав <sup>5</sup> Сид |      |
|----------|------------------|------|------------------|------|----------------------|------|---------------------------------------|------|
|          | 1                | 2    | 1                | 2    | 1                    | 2    | 1                                     | 2    |
| 1        | 1,77             | –    | 2,00             | –    | 2,12                 | –    | 2,20                                  | –    |
| 5        | 1,98             | 0,21 | 2,27             | 0,27 | 2,20                 | 0,08 | 2,27                                  | 0,07 |
| 6        | 2,03             | 0,26 | 2,34             | 0,34 | 2,39                 | 0,27 | 2,74                                  | 0,54 |
| 7        | 2,03             | 0,26 | 2,53             | 0,53 | 2,34                 | 0,22 | 2,50                                  | 0,30 |
| 8        | 1,98             | 0,21 | 2,17             | 0,17 | 2,44                 | 0,32 | 2,48                                  | 0,28 |
| 9        | 2,08             | 0,31 | 2,00             | 0    | 2,38                 | 0,26 | 2,38                                  | 0,18 |
| 10       | 2,00             | 0,23 | 2,06             | 0,06 | 2,48                 | 0,36 | 2,20                                  | 0    |
| Сред.    | 1,98             | –    | 2,20             | –    | 2,34                 | –    | 2,40                                  | –    |
| Прибавка | –                |      | 0,22             |      | 0,36                 |      | 0,42                                  |      |

Примечания. В графе 1 – содержание гумуса, 2 – прибавка к контролю.  $HCP_{05}$  фонов – 0.24,  $HCP_{05}$  вариантов – 0.17.

к увеличению его содержания (+0.07%). На этих фонах солома озимой ржи без внесения других органических удобрений, так же как и в 5-й ротации севооборота, не стимулировала образование гумуса. Для нормального процесса гумификации следует увеличить дозу или периодичность внесения в почву органических удобрений. На фонах с применением горохоовсяного сидерата (Нав<sup>5</sup>Сид, Изв<sup>2</sup>Нав<sup>5</sup>Сид) в течение ротации шла активная минерализация органического вещества, для которых определение биологической активности почвы методом аппликаций показало увеличение разложения хлопчатобумажной ткани с 16.8 до 25.8% при  $HCP_{05} = 6.2\%$ . Это привело к снижению содержания гумуса на 0.28 и 0.30 абс. % по сравнению с 5-й ротацией.

Минеральные удобрения на фоне общего снижения содержания гумуса в 6-й ротации повышали его количество по отношению к варианту без удобрений. На унавоженных фонах с применением сидерата (Нав<sup>5</sup>Сид и Изв<sup>2</sup>Нав<sup>5</sup>Сид) и соломы озимой ржи

наблюдали наибольшее достоверное увеличение содержания гумуса в почве. По сравнению с безнавозным фоном Нав<sup>1</sup>, но с использованием соломы, оно возросло на 0.36 и 0.42% при  $HCP_{05}$  для фоновравном 0.24% (табл. 4).

## ВЫВОДЫ

1. Систематическое использование навоза (в каждой ротации по 60 т/га) и соломы озимой ржи (по 2 раза за последние 4 ротации севооборота) обеспечило достижение с небольшим превышением (на 0.12–0.20%) уровня исходного содержания гумуса в почве (2.5%).

2. Использование сидерата горохоовсяной смеси усилило минерализацию органического вещества в почве, вследствие чего содержание гумуса снизилось до 2.34–2.40%, что было меньше исходного его содержания на 0.10–0.16 абс. %.



## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ковриго В.П. Почвы Удмуртской Республики: монография. Ижевск: РИО Ижевская ГСХА, 2004. 490 с.
2. Сычев В.Г., Шафран С.А. Агрохимические свойства почв и эффективность минеральных удобрений. М.: ВНИИА, 2013. 296 с.
3. Иванова Р.С. Сравнительная эффективность различных систем удобрения в севооборотах на дерново-подзолистой сулинистой почве // Агрохимия. 1988. № 11. С. 33–36.
4. Никитишен В.И., Неретин Г.И., Никитишена А.И. Эффективность удобрений и баланс питательных веществ в полевых севооборотах на серой лесной почве // Агрохимия. 1981. № 3. С. 23–33.
5. Холзаков В.М. Повышение продуктивности дерново-подзолистых почв в Среднем Предуралье. Автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук. Тюмень, 2004. 32 с.
6. Попова С.И., Прокошев В.Н. Влияние длительного применения удобрений на продуктивность и свойства дерново-подзолистых почв // Итоги работы Геосети опытов с удобрениями и пути повышения эффективности применения удобрений в Нечерноземной зоне: Тез. докл. рег. совещ. М., 1977. С. 10–11.
7. Попова С.И., Зиганьшина Ф.М., Тараканова Н.Я. Действие удобрений при длительном их применении на урожай полевых культур и агрохимические свойства дерново-подзолистой почвы // Влияние длительного применения удобрений на плодородие почвы и продуктивность севооборотов: науч. тр. ВАСХНИЛ. М.: Колос, 1980. С. 140–159.
8. Тараканова Н.Я. Влияние удобрений при длительном их применении на агрохимические свойства дерново-подзолистой почвы и урожай полевых культур // Вопросы химизации земледелия: Сб. научн. тр. Перм. ГСХА. Т. 3. Пермь: Перм. кн. изд-во, 1974. С. 16–33.
9. Башков А.С. Агрохимические основы повышения эффективности систем удобрений полевых культур на дерново-подзолистых почвах Среднего Предуралья. Автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук. Пермь, 2000. 66 с.
10. Милащенко Н.З. Плодородие почв, удобрения и производство зерна // Вестн. РАСХН. 2001. № 2. С. 14–18.
11. Сычев В.Г., Минеев В.Г., Романенков В.А. Бюл. Географ. сети опытов с удобрениями. Вып. 1. М.: ВНИИА, 2006. 48 с.
12. Новиков М.И., Тамонов А.М., Фролова Л.Д., Ермакова Л.И. Сидераты в земледелии Нечерноземной зоны // Агрохим. вестн. 2013. № 4. С. 20–26.
13. Матюк Н.С., Селицкая О.В., Солдатова С.С. Роль сидератов и соломы в стабилизации процессов трансформации органического вещества в дерново-подзолистой почве // Изв. ТСХА. 2013. Вып. 3. С. 63–74.
14. Левин Ф.И. Окультурирование подзолистых почв. М.: Колос, 1972. 264 с.

## Effect of Sideral Fertilizer on the Content of Humus in the Soil

A. G. Dzyuin\*

Udmurt Federal Research Center of the Ural Branch of the RAS,  
ul. Lenina 1, Zavyalovsky district, d. Pervomaisky, Izhevsk 427007, Russia

\*E-mail: sanya.dzyuin@yandex.ru

In a long-term experiment, which was laid down in 1971, in 2 bookmarks with an interval of one year, the effect of sideral fertilizer on the humus content in the soil during 6 rotations of an 8-field crop rotation was studied. The soil is sod-medium-podzolic medium loam on a cover red-brown heavy loam with agrochemical indicators of the arable layer before the experiment was laid:  $\text{pH}_{\text{KCl}}$  5.0,  $A_h$  – 2.7,  $S$  – 14.8 mmol/100 g,  $V$  – 85.2%, the content of  $\text{P}_2\text{O}_5$  – 52,  $\text{K}_2\text{O}$  – 98 mg/kg of soil. In the 6th rotation, instead of manure, a sideral fertilizer – a pea–oat mixture (18 t/ha) was used as an organic fertilizer. In the experiment, the levels of application of mineral fertilizers on different backgrounds were studied using lime (1 + 2 h.a. in the 1st and 2nd rotations of crop rotation), manure (40 t/ha in the 1st and 60 t/ha in the 2nd and 5th rotations), siderate (in the 6th rotations) and without them. Options with fertilizers: 1 – without fertilizers, 5 –  $\text{N10P10K10}$ , 6 –  $\text{N20P20K20}$ , 7 –  $\text{N30P30K30}$ , 8 –  $\text{N40P40K40}$ , 9 –  $\text{N50P50K50}$ , 10 –  $\text{N60P60K60}$ . For 4 rotations of crop rotation (32 years) without applying background fertilizers, the humus content decreased from 2.5 to 1.96–1.92% (by 0.54 and 0.58 abs.%), against the background of manure – up to 2.38%, lime + manure – up to 2.30%. In the 5th rotation on the backgrounds with the introduction of manure, its content on average in 7 variants increased to 2.62 and 2.70%, which was higher than the initial (2.50%) by 0.12 and 0.20 abs.%. In the 6th rotation, the use of pea–oat mixture as a siderate led to a decrease in the level of humus content by 0.28–0.30 abs.% is reduced by periodic use of manure (once in each rotation) and winter rye straw (2 times in 3–6 rotations).

**Keywords:** crop rotation, fertilizer system, siderate, organic matter, humus.

УДК 631.559:631.582:631.8:633.412(470.32)

## УРОЖАЙНОСТЬ КУЛЬТУР И ПРОДУКТИВНОСТЬ ЗЕРНОСВЕКЛОВИЧНОГО СЕВООБОРОТА КАК РЕЗУЛЬТАТ 85-ЛЕТНЕГО ПРИМЕНЕНИЯ УДОБРЕНИЙ В УСЛОВИЯХ ЦЧР

© 2024 г. О. А. Минакова<sup>1,\*</sup>, Л. В. Александрова<sup>1</sup>, Т. Н. Подвигина<sup>1</sup>, В. М. Вилков<sup>1</sup><sup>1</sup>Всероссийский научно-исследовательский институт сахарной свеклы и сахара им. А.Л. Мазлумова  
396030 Воронежская обл., Рамонский р-н, пос. ВНИИСС, 86, Россия

\*E-mail: olalmin@mail.ru

Удобрения, внесенные в течение 85 лет в зерносвекловичном севообороте, обеспечивали наиболее значительное (на 12.0–71.0% к контролю) увеличение урожайности ячменя и однолетних трав, использующих только последствие удобрений, при прямом действии – сахарной свеклы в паровом звене (на 20.9–39.9%). Отмечено существенное увеличение продуктивности 1 га пашни (на 16.3–35.7% относительно варианта без удобрений). Доказано, что увеличение насыщенности удобрениями 1 га севооборотной площади на 1 кг NPK в наибольшей степени повышало урожайность сахарной свеклы, в наименьшей – овса и озимой пшеницы в клеверном звене. Наибольшую производительность 1 га пашни обеспечивала система, включающая двукратное внесение в севообороте N135P135K135 под сахарную свеклу в сочетании с навозом 25 т/га в пару (насыщенность удобрениями – N30P30K30 + навоз 2.8 т/га).

**Ключевые слова:** севооборот, зерновые культуры, сахарная свекла, удобрения, продуктивность, окупаемость.

**DOI:** 10.31857/S0002188124010032

### ВВЕДЕНИЕ

В современной земледелии удобрения – важнейшее средство активного целенаправленного регулирования питания растений, круговорота и баланса биогенных веществ, последовательного повышения плодородия и «здоровья» почв, а на этой основе – увеличения продуктивности агроценозов и поддержания экологического равновесия в природе [1, 2].

Изучение эффективности удобрений на разных культурах проводят в стационарных опытах Гео-сети. Повышение и эффективное использование достигнутого потенциала почвенного плодородия при длительном их внесении доказано в многочисленных исследованиях [1, 3–5].

Результирующим показателем эффективности любого агротехнологического приема и в целом сельскохозяйственного производства служит урожайность культуры [6], высокие показатели которой свидетельствуют о максимальной реализации его генетического потенциала [7]. В Центрально-Черноземной зоне, несмотря на сравнительно высокий уровень естественного плодородия почвенного покрова, органические и минеральные удобрения обеспечивают существенную прибавку урожаев основных сельскохозяйственных

культур, снижение затрат на применение удобрений и повышение их окупаемости урожаем и рост устойчивости агропроизводства [5, 8].

Длительное систематическое применение удобрений, способствуя повышению плодородия, обеспечивает рост продуктивности зернотравяно-пропашного севооборота [3, 4, 9], урожайности как пропашных, так и зерновых культур [10–13]. Например, в исследовании [13] продуктивность 1 га удобренной пашни возрастала до 68.4–82% относительно не удобренной. По результатам многих исследований отмечено значительное влияние последствия удобрений на урожайность зерновых культур, возделываемых в одном севообороте с пропашными [13–15].

Расчет таких показателей как оплата 1 кг д.в. удобрений, сравнительная эффективность систем удобрения в прямом действии и последствии, продуктивность севооборота являются наиболее распространенными способами оценки продуктивности культур и абсолютной эффективности удобрений [5]. Также применение удобрений обеспечивает улучшение химического состава зерна, показателя стекловидности и содержания сырой клейковины, повышение содержания протеина, золы, что свидетельствует об улучшении его качества [12, 14].

Цель работы — оценка показателей урожайности культур зернопаропропашного севооборота и продуктивности пашни при систематическом применении удобрений в условиях ЦЧР.

### МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследование проводили в 2018–2022 гг. в стационарном опыте по внесению удобрений (закладка — в 1936 г.) (пос. Рамонь, Воронежская обл.). Объектом исследования являлась почва стационарного опыта — чернозем выщелоченный малогумусный среднесиловый тяжелосуглинистый, а также основная и побочная продукция сахарной свеклы (листья и корнеплоды), озимой пшеницы, овса и ячменя (зерно и солома), зеленая масса травосмеси горох + овес и клевера. Удобрения применяли в 9-польном зернопаропропашном севообороте со следующим чередованием культур: черный пар — озимая пшеница — сахарная свекла — ячмень с подсевом клевера — клевер одного года использования — озимая пшеница — сахарная свекла — однолетние травы (травосмесь горох+овес)—овес. Схема опыта (насыщенность удобрениями 1 га пашни): 1 — контроль — N0P0K0 (без удобрений), 2 — N10P10K10 + навоз 2.8 т/га, 3 — N20P20K20 + навоз 2.8 т/га, 4 — N30P30K30 + навоз 2.8 т/га, 5 — N26.7P26.7K26.7 + навоз 5.6 т/га, 6 — N42.2P42.2K42.2. В качестве минеральных удобрений использовали нитроаммофоску с содержанием NPK = 16 : 16 : 16, которую вносили только под сахарную свеклу осенью перед основной обработкой почвы (отвальной вспашкой), навоз — один раз за ротацию в пару, прямое действие навоза испытывала озимая пшеница в паровом звене. Остальные культуры испытывали последствие удобрений, ячмень и травосмесь горох + овес — первый год

последствия, клевер и овес — второй год, прибавки урожайности озимой пшеницы в звене с клевером обеспечивались только общим повышением плодородия почвы севооборота.

Повторность опыта трехкратная, размещение вариантов — систематическое. Площадь опытной делянки и учетной составляла соответственно 133.7 м<sup>2</sup> и 16.2 м<sup>2</sup> (зерновые и травы), 10.8 м<sup>2</sup> — сахарная свекла. Возделывали районированные гибриды сахарной свеклы отечественной селекции (РМС 120, РМС 121, РМС 127), сорта зерновых культур отечественной и белорусской селекции: озимой пшеницы — Безенчукская 380, Скипетр, ячменя — Атаман, Таловский 9, овса — Лев, Золотой дождь, клевера — Трубетчинский местный и Дымковский, горох в травосмеси сортов АЗМК 99, Риф 12, Топаз.

Количество осадков за теплый период 2018–2022 гг. в Рамонском р-не Воронежской обл. составило в среднем 270.7 мм, по годам в значительной степени различалось, разница составила до 144%. Самое большое увлажнение отмечали в 2022 г. (456.8 мм), минимальное — в 2020 г. (182.3 мм) (рис. 1).

В течение 4-х лет из 5-ти количество осадков не достигало средней многолетней нормы (382.1 мм), это позволило отнести эти годы к засушливым, что подтверждал и гидротермический коэффициент Селянинова, равный 0.6–1.0 при норме 1.27. Засушливые условия теплых периодов отрицательно повлияли на развитие и итоговую урожайность сельскохозяйственных культур, возделываемых в опыте.

### РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Установлено, что урожайность корнеплодов сахарной свеклы в паровом звене в вариантах

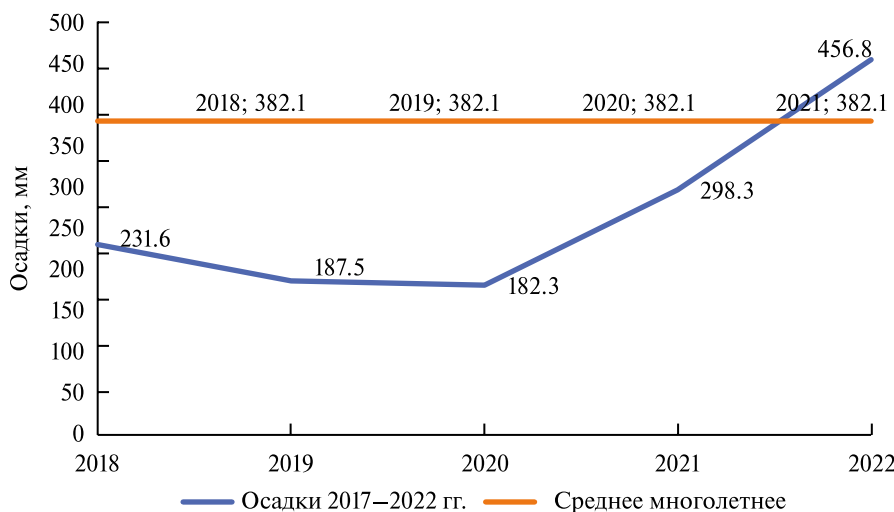


Рис. 1. Уровень увлажнения в 2018–2022 гг., мм.

**Таблица 1.** Урожайность основной продукции культур зерносвекловичного севооборота в 10-й ротации (2018–2022 гг.), т/га

| Сахарная свекла (пар)            | Сахарная свекла (клевер) | Озимая пшеница (пар) | Озимая пшеница (клевер) | Ячмень | Овес | Клевер        | Травосмесь овес + + горох |
|----------------------------------|--------------------------|----------------------|-------------------------|--------|------|---------------|---------------------------|
| корнеплоды                       |                          | зерно                |                         |        |      | зеленая масса |                           |
| Без удобрений                    |                          |                      |                         |        |      |               |                           |
| 32.6                             | 34.6                     | 2.89                 | 2.71                    | 2.08   | 2.10 | 25.1          | 14.5                      |
| N10P10K10 + навоз 2.8 т/га       |                          |                      |                         |        |      |               |                           |
| 39.4                             | 40.6                     | 3.37                 | 2.96                    | 2.33   | 2.33 | 27.9          | 17.4                      |
| N20P20K20 + навоз 2.8 т/га       |                          |                      |                         |        |      |               |                           |
| 43.9                             | 43.2                     | 3.81                 | 3.36                    | 3.06   | 2.70 | 30.1          | 21.8                      |
| N30P30K30 + навоз 2.8 т/га       |                          |                      |                         |        |      |               |                           |
| 45.6                             | 42.2                     | 4.29                 | 3.48                    | 3.33   | 2.84 | 31.1          | 24.8                      |
| N26.7P26.7K26.7 + навоз 5.6 т/га |                          |                      |                         |        |      |               |                           |
| 43.1                             | 44.4                     | 3.77                 | 3.56                    | 2.75   | 2.77 | 29.6          | 21.8                      |
| N42.2P42.2K42.2                  |                          |                      |                         |        |      |               |                           |
| 44.3                             | 42.5                     | 4.51                 | 3.24                    | 3.17   | 2.98 | 26.1          | 19.6                      |
| HCP <sub>05</sub>                |                          |                      |                         |        |      |               |                           |
| 2.0                              | 1.9                      | 0.17                 | 0.15                    | 0.15   | 0.12 | 1.5           | 1.1                       |

с удобрениями была больше, чем в контроле на 20.9–39.9%, в звене с клевером – на 22.2–28.3%. Данное превышение свидетельствовало о большем эффекте удобрения в паровом звене, что было связано как с применением навоза КРС, так и возделыванием клевера, что увеличивало урожайность как в контроле, так и в вариантах с НРК (табл. 1).

Различия данного показателя в одних и тех же вариантах разных звеньев практически не отмечены, кроме варианта N30P30K30 + навоз 2.8 т/га в паровом звене, где было выявлено повышение на 8.10% и контроля в клеверном звене – на 6.13%. В обоих звеньях повышение удобрения от 0 до N10P10K10 + навоз 2.8 т/га больше всего увеличивало урожайность на 6.8 и 6.0 т/га соответственно, а для N20P20K20 + навоз 2.8 т/га – в меньшей степени (на 4.5 и 2.6 т/га), дальнейшее увеличение применения удобрений достоверно не изменяло ее.

Урожайность озимой пшеницы в вариантах с последствием удобрений в паровом звене была на 29.0–39.2% больше, чем в клеверном звене, отмечали тенденцию к увеличению разницы при повышении уровня удобрения. Прямое действие навоза в паровом звене проявилось в повышении урожайности озимой пшеницы на 16.6–56.1% относительно контроля, но наибольшей она была в варианте N42.2P42.2K42.2, где проявлялось только последствие, в вариантах с навозом наибольшую урожайность отмечали в варианте N30P30K30 + навоз 2.8 т/га.

Последствие удобрений в паровом звене в наибольшей степени отразилось на урожайности зерна

ячменя, обеспечив его прирост относительно контроля на 12.0–60.1%, в клеверном – зеленой массы однолетних трав на 20.0–71.0%. Система N30P30K30 + + навоз 2.8 т/га обеспечивала наивысшие показатели. Последствие минеральных удобрений на 2-й год повышало урожайность зеленой массы клевера на 4.0–23.9%, зерна овса – на 10.9–41.9%. Системы N20P20K20 + навоз 2.8 т/га и N30P30K30 + навоз 2.8 т/га обеспечивали наибольшую урожайность клевера, овса – система N42.2P42.2K42.2. Общее повышение плодородия почвы стационарного опыта содействовало увеличению урожайности озимой пшеницы в звене с клевером на 9.2–31.4%, наибольшее влияние оказала система N42.2P42.2K42.2.

Урожайность листьев сахарной свеклы при прямом действии удобрений в вариантах N20P20K20 + + навоз 2.8 т/га и N26.7P26.7K26.7 + навоз 5.6 т/га парового звена увеличивалась на 1.3–3.0 т/га относительно клеверного звена, в варианте N30P30K30 + + навоз 2.8 т/га – на 0.80 т/га в клеверном звене относительно парового (табл. 2).

Наибольшую урожайность в обоих звеньях отмечали в варианте N42.2P42.2K42.2 в клеверном звене. В неудобренном варианте показатель был на 1.2 т/га больше вследствие азотфиксации клевера и дополнительного азотного питания. Поэтому рост продуктивности относительно контроля в паровом звене был выражен в большей степени и составил 46.1–78.9%, в клеверном – в меньшей или 13.8–62.1%. Данный процесс отчетливо прослежен и при оценке урожайности соломы озимой пшеницы: в паровом звене увеличение этого

Таблица 2. Урожайность побочной продукции культур в севообороте (2018–2022 гг.), т/га

| Сахарная свекла<br>(пар) | Сахарная свекла<br>(клевер) | Озимая<br>пшеница (пар)          | Озимая<br>пшеница<br>(клевер) | Ячмень | Овес |
|--------------------------|-----------------------------|----------------------------------|-------------------------------|--------|------|
| Без удобрений            |                             |                                  |                               |        |      |
| 10.4                     | 11.6                        | 2.13                             | 3.41                          | 2.15   | 1.54 |
| 15.2                     | 15.4                        | N10P10K10 + навоз 2.8 т/га       |                               | 2.53   | 1.89 |
|                          |                             | 2.03                             | 3.91                          |        |      |
| 16.2                     | 13.2                        | N20P20K20 + навоз 2.8 т/га       |                               | 3.55   | 1.69 |
|                          |                             | 2.32                             | 3.51                          |        |      |
| 16.7                     | 17.5                        | N30P30K30 + навоз 2.8 т/га       |                               | 3.50   | 2.39 |
|                          |                             | 3.53                             | 4.37                          |        |      |
| 16.8                     | 15.5                        | N26.7P26.7K26.7 + навоз 5.6 т/га |                               | 2.88   | 2.27 |
|                          |                             | 2.81                             | 4.61                          |        |      |
| 18.6                     | 18.8                        | N42.2P42.2K42.2                  |                               | 3.35   | 2.62 |
|                          |                             | 3.51                             | 3.67                          |        |      |
| HCP <sub>05</sub>        |                             |                                  |                               |        |      |
| 0.8                      | 0.8                         | 0.14                             | 0.19                          | 0.13   | 0.10 |

показателя составило 8.92–65.7%, в клеверном – 11.7–28.1%, в целом в вариантах в клеверном звене ее было собрано на 0.16–1.88 т/га больше. Система N30P30K30 + навоз 2.8 т/га обеспечивала наибольшую урожайность соломы озимой пшеницы в обеих звеньях, N42.2P42.2K42.2 – также и в паровом, N26.7P26.7K26.7 + навоз 5.6 т/га – в клеверном.

Последействие удобрений в паровом звене повышало урожайность соломы ячменя на 17.8–62.8% относительно контроля, урожайность соломы овса (3-й культуры после удобренной сахарной свеклы в клеверном звене) увеличивалась на 9.74–70.1%;

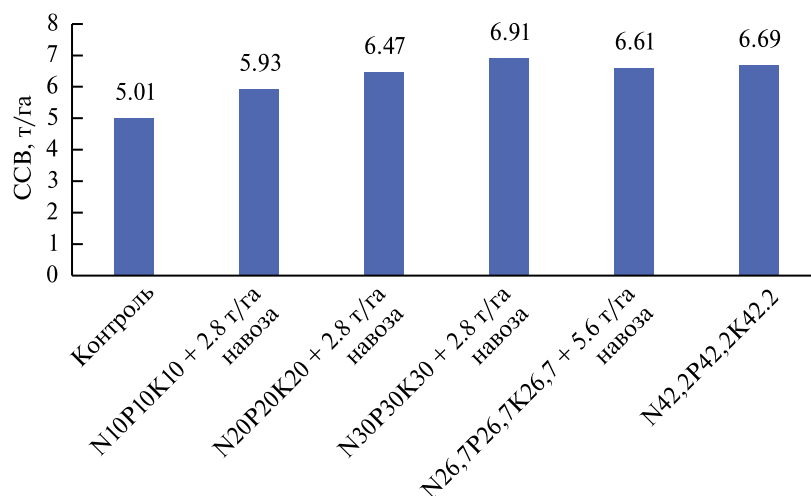
системы N20P20K20 + навоз 2.8 т/га и N30P30K30 + навоз 2.8 т/га максимально повышали этот показатель для ячменя, N42.2P42.2K42.2 – для овса.

Общая оценка действия удобрений на продуктивность побочной продукции выявила, что в наибольшей степени они влияли на сахарную свеклу в паровом звене и овес, в меньшей степени – на озимую пшеницу в клеверном звене, прямое действие N42.2P42.2K42.2 максимально влияло на этот показатель.

В сахарной свекле, выращенной в паровом звене, сухого вещества содержалось на 1.0–4.3 абс. % больше, чем в клеверном, в листьях – на 1.5–4.7 абс. %,

Таблица 3. Содержание сухого вещества в продукции севооборота, %

| Сахарная свекла   |        |        |                                  | Однолетние травы | Клевер |
|-------------------|--------|--------|----------------------------------|------------------|--------|
| корнеплоды        |        | листья |                                  |                  |        |
| пар               | клевер | пар    | клевер                           |                  |        |
| Без удобрений     |        |        |                                  |                  |        |
| 22.9              | 21.9   | 19.3   | 17.7                             | 27.2             | 28.7   |
| 25.1              | 21.1   | 19.5   | N10P10K10 + навоз 2.8 т/га       |                  | 28.6   |
|                   |        |        | 18.0                             | 28.3             |        |
| 24.7              | 22.3   | 19.3   | N20P20K20 + навоз 2.8 т/га       |                  | 27.9   |
|                   |        |        | 16.1                             | 27.6             |        |
| 24.7              | 20.6   | 19.7   | N30P30K30 + навоз 2.8 т/га       |                  | 27.3   |
|                   |        |        | 15.0                             | 26.3             |        |
| 24.3              | 21.1   | 19.8   | N26.7P26.7K26.7 + навоз 5.6 т/га |                  | 27.5   |
|                   |        |        | 17.8                             | 27.3             |        |
| 24.6              | 20.3   | 19.0   | N42.2P42.2K42.2                  |                  | 27.2   |
|                   |        |        | 18.6                             | 26.6             |        |
| HCP <sub>05</sub> |        |        |                                  |                  |        |
| 1.1               | 1.0    | —      | 0.3                              | —                | 1.3    |



**Рис. 2.** Сбор сухого вещества (CCB) основной и побочной продукции севооборота, т/га.

с ростом доз удобрений различия в основном увеличивались. Если в корнеплодах наиболее высокие показатели отмечены при низких дозах удобрения, то в листьях — при высоких (табл. 3).

Удобрения в значительной мере изменяли содержание сухого вещества в основной и побочной продукции севооборота. В корнеплодах сахарной свеклы, выращенной в паровом звене, оно снижалось на 1.4–1.8% (кроме варианта N10P10K10 + навоз 2.8 т/га), листьях — на 1.6–2.7% только в вариантах N20P20K20 + навоз 2.8 т/га и N30P30K30 + навоз 2.8 т/га, в звене с клевером — на 0.8–1.6% (кроме варианта N20P20K20 + навоз 2.8 т/га), в клевере — на 0.8–1.5% (кроме варианта

N10P10K10 + навоз 2.8 т/га). В сухом веществе однолетних трав и листьев сахарной свеклы в паровом звене изменений показателя не отмечено.

Максимальная продуктивность 1 га пашни в 10-й ротации составила в варианте N30P30K30 + навоз 2.8 т/га — 5.66 т/га, минимальная была в варианте N10P10K10 + навоз 2.8 т/га — 4,85 т/га, относительно контроля повышение составило 16.3–35.7% (рис. 2).

Наибольший прирост показателя (на 16.3%) был отмечен при увеличении дозы от N0P0K0 до N10P10K10 + навоз 2.8 т/га, до N20P20K20 + навоз 2.8 т/га — на 12.2%, до N30P30K30 + навоз 2.8 т/га — на 4.04%, а более высокие дозы немного снижали ее, что свидетельствовало об их меньшей эффективности.

**Таблица 4.** Сбор сухого вещества основной продукции севооборота, т/га

| Сахарная свекла (пар)            | Сахарная свекла (клевер) | Озимая пшеница (пар) | Озимая пшеница (клевер) | Ячмень | Овес | Травосмесь горох + овес | Клевер | Сумма |
|----------------------------------|--------------------------|----------------------|-------------------------|--------|------|-------------------------|--------|-------|
| Контроль                         |                          |                      |                         |        |      |                         |        |       |
| 7.5                              | 7.58                     | 2.49                 | 2.33                    | 1.79   | 1.81 | 2.03                    | 7.20   | 32.7  |
| N10P10K10 + навоз 2.8 т/га       |                          |                      |                         |        |      |                         |        |       |
| 9.9                              | 8.57                     | 2.90                 | 2.55                    | 2.00   | 2.00 | 2.44                    | 7.98   | 38.3  |
| N20P20K20 + навоз 2.8 т/га       |                          |                      |                         |        |      |                         |        |       |
| 10.8                             | 9.63                     | 3.28                 | 2.89                    | 2.63   | 2.32 | 3.05                    | 8.40   | 43.0  |
| N30P30K30 + навоз 2.8 т/га       |                          |                      |                         |        |      |                         |        |       |
| 11.3                             | 8.69                     | 3.69                 | 2.99                    | 2.86   | 2.44 | 3.47                    | 8.49   | 43.9  |
| N26.7P26.7K26.7 + навоз 5.6 т/га |                          |                      |                         |        |      |                         |        |       |
| 10.5                             | 9.37                     | 3.24                 | 3.06                    | 2.36   | 2.38 | 3.05                    | 8.14   | 42.1  |
| N42.2P42.2K42.2                  |                          |                      |                         |        |      |                         |        |       |
| 10.9                             | 8.63                     | 3.88                 | 2.79                    | 2.73   | 2.56 | 2.74                    | 7.10   | 41.3  |
| HCP <sub>05</sub>                |                          |                      |                         |        |      |                         |        | 1.8   |

Таблица 5. Сбор сухого вещества побочной продукции, т/га

| Сахарная свекла (пар)            | Сахарная свекла (клевер) | Озимая пшеница (пар) | Озимая пшеница (клевер) | Ячмень | Овес | Сумма |
|----------------------------------|--------------------------|----------------------|-------------------------|--------|------|-------|
| листья                           |                          | солома               |                         |        |      |       |
| Контроль                         |                          |                      |                         |        |      |       |
| 2.01                             | 2.05                     | 1.92                 | 3.07                    | 1.94   | 1.39 | 12.4  |
| N10P10K10 + навоз 2.8 т/га       |                          |                      |                         |        |      |       |
| 2.96                             | 2.77                     | 1.83                 | 3.52                    | 2.28   | 1.70 | 15.1  |
| N20P20K20 + навоз 2.8 т/га       |                          |                      |                         |        |      |       |
| 3.13                             | 2.12                     | 2.09                 | 3.16                    | 3.20   | 1.52 | 15.2  |
| N30P30K30 + навоз 2.8 т/га       |                          |                      |                         |        |      |       |
| 3.29                             | 2.62                     | 3.18                 | 3.93                    | 3.15   | 2.15 | 18.3  |
| N26.7P26.7K26.7 + навоз 5.6 т/га |                          |                      |                         |        |      |       |
| 3.33                             | 2.76                     | 2.53                 | 4.15                    | 2.59   | 2.04 | 17.4  |
| N42.2P42.2K42.2                  |                          |                      |                         |        |      |       |
| 3.53                             | 3.50                     | 3.16                 | 3.30                    | 3.02   | 2.36 | 18.9  |

Прямое действие удобрений повышало сбор сухого вещества (**ССВ**) корнеплодами сахарной свеклы в паровом звене на 32.6–46.1% (табл. 4), сахарной свеклы в клеверном звене – на 13.1–23.6%. Последствие удобрений в 1-й год увеличивало урожайность ячменя на 59.8, однолетних трав – на 20.2–70.9%, во 2-й год – клевера на 10.8–17.9 и овса – на 10.5–41.4%, прямое действие навоза – на 16.5–48.2, общее повышение плодородия – озимой пшеницы в клеверном звене – на 9.44–31.3%. Наибольшее повышение было отмечено в варианте N30P30K30 + навоз 2.8 т/га, зерновые, кроме озимой пшеницы в клеверном звене, имели высокий показатель в варианте N42.2P42.2K42.2 (табл. 4).

Общий сбор сухого вещества основной продукции повышался относительно контроля на 17.1–34.3%, минимум был отмечен в варианте N10P10K10 + навоз 2.8 т/га, максимум – в варианте N30P30K30 + навоз 2.8 т/га.

Сбор сухого вещества побочной продукцией был в несколько раз меньше, чем основной. Самое тесное соотношение, свидетельствующее о преобладании основной продукции, было отмечено в варианте N20P20K20 + навоз 2.8 т/га, широкое – в варианте N42.2P42.2K42.2. Прирост суммы **ССВ** относительно контроля составил 21.8–52.4%, при этом в паровом звене: сахарной свеклы – на 47.3–75.6, озимой пшеницы – на 8.85–65.6, ячменя – на 17.5–64.9%, в клеверном звене: сахарной свеклы – на 3.41–70.7, озимой пшеницы – на 14.7–35.2, овса – 22.3–69.8% (табл. 5).

Максимальный сбор сухого вещества с 1 га севооборотной площади обеспечивался применением

системы N30P30K30 + навоз 2.8 т/га (6.91 т/га), минимальный – системы N10P10K10 + навоз 2.8 т/га (5.93 т/га), повышение относительно контроля составило 20.4–37.9%. Последовательное увеличение удобрённости в наибольшей степени повышало **ССВ** в варианте N10P10K10 + навоз 2.8 т/га на 8.99 и 6.87% соответственно относительно меньших доз, доза N26.7P26.7K26.7 + навоз 5.6 т/га снижала **ССВ** на 4.34%, доза N42.2P42.2K42.2 – незначительно увеличивала.

Окупаемость 1 кг **НРК** урожаем сахарной свеклы в паровом звене была несколько больше на 13.9–70.8%, чем в клеверном, с ростом доз удобрений различия увеличивались, что свидетельствовало о более выраженном эффекте удобрений в паровом звене, за исключением варианта N26.7P26.7K26.7 в клеверном звене, где вследствие отсутствия навоза оплата 1 кг **НРК** была больше, чем в паровом (на 54.0%) (табл. 6).

Оценка оплаты 1 кг **НРК** урожаем, выраженная в кг з.е., выявила, что наиболее эффективным было последствие удобрений на 2-й год, что связано с минимальным поступлением **НРК** удобрений (для клевера – 22.4–38.5, овса – 16.1–23.0 кг з.е.), несколько меньше – для однолетних трав (7.14–22.4 кг з.е.) при последствии в 1-й год, менее эффективным – для ячменя и озимой пшеницы в паровом звене (2.68–10.5 кг з.е.) (рис. 3).

Первый год действия удобрений на сахарной свекле обеспечивал средние величины показателя (3.61–13.1 кг з.е.), при этом в паровом звене он был на 13.9–70.8% больше, чем в клеверном звене (кроме варианта N26.7P26.7K26.7 + навоз 5.6 т/га). Возрастающая насыщенность удобрениями

Таблица 6. Оплата 1 кг NPK урожаем, кг з.е.

| Прямое действие                  |                          |                            | Последействие |                         |            |      |
|----------------------------------|--------------------------|----------------------------|---------------|-------------------------|------------|------|
|                                  |                          |                            | в 1-й год     |                         | во 2-й год |      |
| Сахарная свекла (пар)            | Сахарная свекла (клевер) | Озимая пшеница (пар)-навоз | Ячмень        | Травосмесь горох + овес | Клевер     | Овес |
| N10P10K10 + 2.8 т/га навоза      |                          |                            |               |                         |            |      |
| 13.1                             | 11.5                     | 3.84                       | 3.78          | 18.2                    | 38.5       | 17.1 |
| N20P20K20 + навоз 2.8 т/га       |                          |                            |               |                         |            |      |
| 10.9                             | 8.29                     | 7.36                       | 10.2          | 22.4                    | 33.5       | 23.0 |
| N30P30K30 + навоз 2.8 т/га       |                          |                            |               |                         |            |      |
| 8.35                             | 4.89                     | 11.2                       | 10.5          | 20.1                    | 26.2       | 19.0 |
| N26.7P26.7K26.7 + навоз 5.6 т/га |                          |                            |               |                         |            |      |
| 4.59                             | 7.07                     | 2.68                       | 4.11          | 16.6                    | 22.4       | 19.4 |
| N42.2P42.2K42.2                  |                          |                            |               |                         |            |      |
| 5.33                             | 3.61                     | —                          | 11.4          | 7.14                    | 31.1       | 16.1 |

способствовала уменьшению этого показателя для всех культур.

Максимальный показатель продуктивности 1 га пашни в 10-й ротации обеспечивался дозой N30P30K30 + навоз 2.8 т/га – 5.66 т/га, минимальный – дозой N10P10K10 + навоз 2.8 т/га – 4.85 т/га, относительно контроля повышение составило 16.3–35.7%. Наибольший рост показателя на 16.3% был отмечен при увеличении дозы от N0P0K0 до N10P10K10 + навоз 2.8 т/га, до N20P20K20 + навоз 2.8 т/га – на 12.2%, до N30P30K30 + навоз 2.8 т/га – на 4.04%, а более высокие дозы немного снижали его.

Оплата 1 кг NPK продукцией севооборота, выраженная в з.е., была максимальной в варианте N20P20K20 + навоз 2.8 т/га (13.0 з.е.), минимальной – N26.7P26.7K26.7 + навоз 5.6 т/га (8.13 з.е.), разница в вариантах составляла 11.1–59.9%. Усиление удобрённости от N10P10K10 + навоз 2.8 т/га до N20P20K20 + навоз 2.8 т/га способствовало повышению показателя, дальнейшее насыщение удобрениями снижало его с некоторым повышением в варианте N42.2P42.2K42.2.

По результатам математического анализа, связи величин урожайности культур севооборота с уровнем удобренности 1 га пашни выявили, что

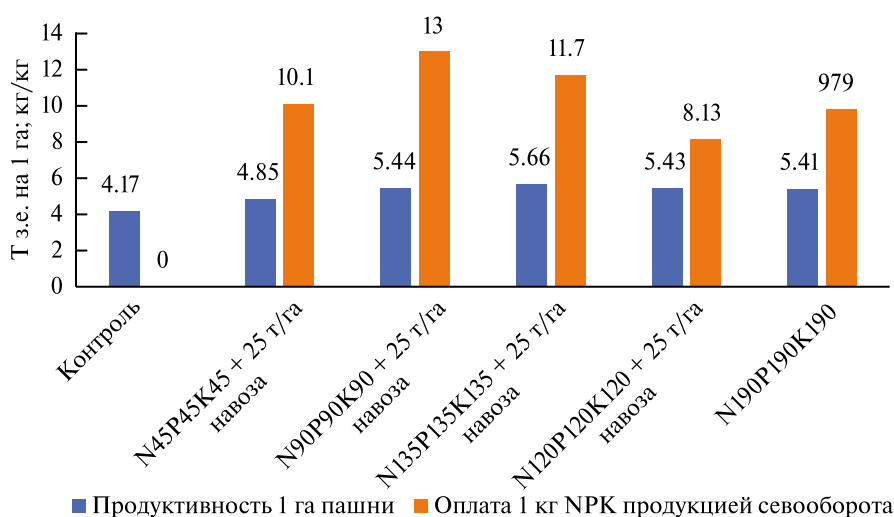


Рис. 3. Продуктивность 1 га пашни севооборота и оплата 1 кг NPK.



**Таблица 7.** Уравнения линейной регрессии зависимости величин урожайности от уровня удобренности пашни

| Культура              | Уравнение           | $R^2$ | Культура                 | Уравнение           | $R^2$ |
|-----------------------|---------------------|-------|--------------------------|---------------------|-------|
| Сахарная свекла (пар) | $Y = 0.080x + 33.9$ | 0.836 | Сахарная свекла (клевер) | $Y = 0.059x + 33.6$ | 0.889 |
| Озимая пшеница (пар)  | $Y = 0.009x + 2.94$ | 0.637 | Озимая пшеница (клевер)  | $Y = 0.005x + 2.69$ | 0.890 |
| Ячмень                | $Y = 0.007x + 2.12$ | 0.616 | Овес                     | $Y = 0.005x + 2.09$ | 0.836 |
| Клевер                | $Y = 0.027x + 25.7$ | 0.405 | Однолетние травы         | $Y = 0.055x + 14.7$ | 0.701 |

наибольшая зависимость между этими показателями была отмечена для сахарной свеклы в обоих звеньях, овса и озимой пшеницы в клеверном звене ( $R^2 = 0.836–0.889$ ) (табл. 7).

Наибольшее влияние насыщение удобрениями оказало на урожайность сахарной свеклы в паровом звене, наименьшее – озимой пшеницы и овса в клеверном звене.

### ВЫВОДЫ

Примененные в течение 85 лет в севообороте удобрения в большей степени увеличивали урожайность культур при последствии в 1-й год (ячменя и однолетних трав) – на 12.0–71.0%. Их прямое действие на сахарной свекле было несколько слабее (увеличение на 20.9–39.9%), наиболее слабое – во 2-й год последствия (на зеленой массе клевера – на 4.0–23.9%). Прямое действие удобрений на урожайность сахарной свеклы в большей степени отмечалось в паровом звене (+20.9–39.9% к контролю), в звене с клевером – в меньшей степени (+22.2–28.3%).

Действие удобрений на продуктивность побочной продукции в наибольшей степени проявилось на сахарной свекле и овсе в паровом звене, в меньшей степени – на озимой пшенице в клеверном звене, прямое действие дозы N42.2P42.2K42.2 в наибольшей степени влияло на этот показатель.

Максимальное изменение содержания сухого вещества было отмечено в листьях и корнеплодах сахарной свеклы в паровом звене, где его накопление было более интенсивным, чем в клеверном звене.

Сбор сухого вещества основной продукции большинства культур, так же как и суммарный сбор (основная + побочная продукция) обеспечивался применением дозы N30P30K30 + навоз 2.8 т/га (на 34.3 и 37.9% соответственно). Увеличение сбора сухого вещества (ССВ) побочной продукции культур севооборота относительно контроля было примерно одинаковым, но несколько меньше у зерновых, использовавших последствие, и у озимой пшеницы в клеверном звене.

Максимальную продуктивность 1 га севооборотной площади обеспечила система N30P30K30 + навоз 2.8 т/га (+35.7% к контролю), но при этом

вследствие меньших затрат наиболее окупаемой была система N20P20K20 + навоз 2.8 т/га (13.0 кг з.е./кг д.в. NPK).

Математически доказано, что увеличение насыщенности 1 га севооборотной площади удобрениями оказывало наибольшее влияние на урожайность сахарной свеклы, наименьшее – овса и озимой пшеницы в клеверном звене.

В результате оценки основных показателей продуктивности зерносвекловичного севооборота (урожайности большинства культур, сбора сухого вещества основной и общей продукции, продуктивности 1 га пашни) установлено, что наибольшую производительность обеспечивала система N30P30K30 + навоз 2.8 т/га (применение 2 раза за ротацию N135P135K135 + навоз 25 т/га в пару). Система N20P20K20 + навоз 2.8 т/га (применение 2 раза за ротацию N90P90K90 + навоз 25 т/га в пару) обеспечила наибольшую окупаемость 1 кг NPK-удобрений. Оплата 1 кг NPK этой системы была максимальной для ячменя и однолетних трав в 1-й год последствия.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Чеботарев Н.Т., Броварова О.В. Мелиоранты и минеральные удобрения как факторы повышения продуктивности агроценозов Европейского Севера. Сыктывкар: Коми республ. Акад. гос. службы и управ-я, 2021. 96 с.
2. Лапа В.В. Удобрения как фактор повышения продуктивности земледелия и воспроизводства плодородия почв – состояние и перспективы // Почвовед. и агрохим. 2005. № 1(34). С. 38–42.
3. Воронкова Н.А., Балабанова Н.Ф. Влияние длительного применения удобрений в зернотравном севообороте на агрохимические свойства чернозема выщелоченного и урожайность сельскохозяйственных культур // Достиж. науки и техн. АПК. 2013. № 5. С. 30–32.
4. Saparov A.S., Ustemirova A.M., Aitbaev T.E., Saparov G.A., Buribaeva L.A. Impact of fertilizers on soil fertility in vegetable crop rotation // Почвовед. и агрохим. 2016. № 3. С. 53–61.
5. Лукин С.М., Мерзлая Г.Е. Сравнительная эффективность различных систем удобрения при дли-

- тельном их применении в севооборотах // Плодородие. 2016. № 5(92). С. 42–47.
6. Стулин А.Ф. Влияние длительного применения удобрений на урожайность и качество культур севооборота в условиях Центрального Черноземья / Итоги выпол. програм. фонд. научн. исслед-й гос. акад. на 2013–2020 гг. М.: ВНИИА, 2018. С. 271–277.
  7. Кошеляев В.В., Сальников В.И., Кошелева И.П. Агрохимическая активность сортов озимой пшеницы при различных уровнях минерального питания // Нива Поволжья. 2020. № 4(57). С. 25–29.
  8. Никитин В.В., Карабутов А.П., Мельников В.И., Вовк А.М. Эффективность удобрений в производственных условиях Центрального Черноземья // Инновации в АПК: пробл. и перспект. 2016. № 3(11). С. 85–95.
  9. Шеуджен А.Х., Онищенко Л.М., Суетов В.П., Дроздова В.В., Бондарева Т.Н., Лебедевский И.А., Жиленко С.В., Осипов М.А., Есипенко С.В., Будыкова И.А. Плодородие и продуктивность чернозема выщелоченного при длительном применении удобрений в севообороте // Мат-лы Всерос. совещ. научн. учреждений-участников Географ. сети опытов с удобр. М.: ВНИИА, 2016. С. 326–336.
  10. Елешев Р.Е., Рамазанова С.Б., Балгабаев А.М., Салыкова А.С. Продуктивность культур свекловичного севооборота при длительном и систематическом применении минеральных удобрений // Почвовед. и агрохим. 2015. № 2. С. 54–59.
  11. Парамонов А.В., Пасько С.В. Влияние систематического применения удобрений на плодородие почвы в длительном стационарном полевом опыте / Мат-лы Всерос. совещ. научн. учреждений-участников Географ. сети опытов с удобрениями. М.: ВНИИА, 2016. С. 204–209.
  12. Дзанагов С.Х., Лазаров Т.К., Калоев Б.С., Кубатиева З.А., Калагова Р.В. Влияние длительного применения удобрений на показатели роста, урожайность и качество зерна озимой пшеницы // Агрохимия. 2019. № 4. С. 31–38.
  13. Мазалов В.И., Небытов В.Г. Влияние длительного применения удобрений на плодородие выщелоченного чернозема и урожайность культур за две ротации севооборота // Зернобоб. и круп. культуры. 2020. № 4(36). С. 156–162.
  14. Ионина Н.В. Влияние длительного применения различных систем удобрения в севообороте на плодородие почвы и урожай сельскохозяйственных культур в северо-западной зоне Курганской области // Итоги выполнения Программы фонд. науч. исслед-й гос. академий на 2013–2020 гг. М.: ВНИИА, 2018. С. 95–106.
  15. Минакова О.А., Александрова Л.В., Подвигина Т.Н. Изменение физико-химических свойств чернозема выщелоченного и урожайности сахарной свеклы при длительном применении удобрений в ЦЧР // Агрохимия. 2021. № 2. С. 37–46.

## Crop Capacity and Grain-Beet crop Rotation Productivity as a Result of 85-year Application of Fertilizers under Conditions of the Central-Black Earth Region

O. A. Minakova<sup>a, #</sup>, L. V. Alexandrova<sup>a</sup>, T. N. Podvigina<sup>a</sup>, V. M. Vilkov<sup>a</sup>

<sup>a</sup> Mazlumov All-Russian Research Institute of Sugar Beet and Sugar, VNIIS village 86, Voronezh region, Ramonsky district 396030, Russia

<sup>#</sup>E-mail: olalmin@mail.ru

Fertilizers applied during 85 years in the grain–beet crop rotation provided the most significant (by 12.0–71.0% to control) an increase in the yield of barley and annual grasses using only the aftereffect of fertilizers, with direct action – sugar beet in the steam link (by 20.9–39.9%). There was a significant increase in the productivity of 1 ha of arable land (by 16.3–35.7% relative to the option without fertilizers). It is proved that an increase in the fertilizer saturation of 1 ha of crop rotation area per 1 kg of NPK increased the yield of sugar beet to the greatest extent, and oats and winter wheat in the clover link to the least. The highest productivity of 1 ha of arable land was provided by a system that included double application in the crop rotation of N135P135K135 for sugar beet in combination with manure of 25 t/ha in a pair (saturation with fertilizers – N30P30K30 + manure 2.8 t/ha).

**Keywords:** crop rotation, grain crops, sugar beet, fertilizers, productivity, payback.

УДК 632.693.2:632.958.31

## ЭФФЕКТИВНОСТЬ РОДЕНТИЦИДОВ НА ОСНОВЕ БРОМАДИОЛОНА ПРОТИВ ОБЫКНОВЕННОЙ ПОЛЕВКИ *Microtus arvalis* Pall. В ЛАБОРАТОРНЫХ УСЛОВИЯХ

© 2024 г. Н. В. Бабич<sup>1,2,\*</sup><sup>1</sup> Всероссийский научно-исследовательский институт защиты растений  
196608 Санкт-Петербург—Пушкин, ш. Подбельского, 3, Россия<sup>2</sup> ООО “Инновационный центр защиты растений”  
196608 Санкт-Петербург—Пушкин, а/я 5, Россия

\*E-mail: natbabich@gmail.com

Количество препаратов на основе антикоагулянта 2-го поколения бромациолона в составе каталога средств защиты растений от мышевидных грызунов в России растет, но сведения об эффективности этого действующего вещества против обыкновенной полевки *Microtus arvalis* Pall. весьма ограничены. В лабораторном исследовании бромациолона показана острая  $LD_{50} = 3.3 \pm 0.8$  мг/кг, повышенную устойчивость, равную  $LD_{50} 5.2$  мг/кг, выявили у особей, проходивших отбор по признаку резистентности к антикоагулянтам 1-го поколения на фоне рациона с высоким содержанием витамина К (зеленый корм). Относительную устойчивость в лаборатории грызуны преодолевали при 3-суточном потреблении приманки (0.05 г бромациолона/кг). В полевых условиях эффективность обработок может снижаться и вести к отбору резистентных особей. Родентицидные приманки на основе бромациолона подходят для контроля численности сообществ мышевидных грызунов при доминировании обыкновенной полевки и проведении обработок в начале роста численности популяции.

**Ключевые слова:** антикоагулянтные родентициды, бромациолон, обыкновенная полевка *Microtus arvalis*, лабораторное тестирование,  $LD_{50}$ , резистентность, защита растений от грызунов.

**DOI:** 10.31857/S0002188124010042

### ВВЕДЕНИЕ

В зависимости от численности и распространения мышевидных грызунов в России от этих вредителей обрабатывают от 1.5 до 4.5 млн га сельскохозяйственных угодий в год — наибольший объем обработок (в основном родентицидами антикоагулянтного действия) приходится на Южный федеральный округ. Если в начале 2000-х гг. в основном применяли антикоагулянты первого поколения (1.3-индандионы на основе д.в. этилфенацина и изопропилфенацина), то в 2010-х гг. стали больше вносить приманок с антикоагулянтами 2-го поколения (д.в. — бродифакум и бромациолон). С 2021 г. в список пестицидов, разрешенных для применения на территории РФ, входят антикоагулянтные препараты лишь на основе 4-оксикумаринов 2-го поколения с д.в. бродифакум и бромациолон. Повышение устойчивости мышевидных грызунов к антикоагулянтам 1-го поколения отмечали уже с 2004 г., когда на некоторых полях проводили до 5-ти повторных обработок [1]. В полевых опытах эффективность обработки родентицидами на основе бромациолона составляла против

обыкновенной полевки 80, против общественной — ≈60% [2]. В 2006 г. при плотности популяций грызунов >1000 жилых нор/га эффективность обработок родентицидами на основе бромациолона против сообщества мышевидных грызунов (доля обыкновенной полевки составляла ≈60%) составила лишь 40%. При плотности поселений до 64 жилых нор/га и доле обыкновенной полевки в сообществе грызунов 90–100% эффективность приманок с бромациолоном на опытных площадках менялась от 70 до 84% [3]. Обыкновенные полевки, доставленные в лабораторию ВИЗР из мест интенсивных обработок, показывали большую устойчивость к этилфенацину по сравнению с линиями полевки, не сталкивавшимися с антикоагулянтами [4]. В дальнейшем был показан рост устойчивости линий обыкновенной полевки и к бромациолону [5].

Все антикоагулянтные родентициды имеют сходный механизм действия, впервые установленный при изучении варфарина — антикоагулянта 1-го поколения из класса 4-оксикумаринов. Было показано, что резистентность к варфарину у крыс определяется в основном наследуемыми

мутациями гена *VKORC1*, отвечающего за встраивание молекулы антикоагулянта в комплекс *K*-эпокси-дредуктазы, обеспечивающего в ходе цикла витамина *K* выработку факторов свертываемости крови [6]. Из-за способности снижать свертываемость крови варфарин применяют в медицине для лечения и профилактики тромбозов. Медицинские исследования показали, что у пациентов, кроме особенности генотипа *VKORC1*, имеют значение разные аллели гена *CYP2C9* ферментов цитохрома *P450*, которые определяют разный уровень метаболизма варфарина в печени, с чем связана индивидуальная чувствительность к антикоагулянтам [7]. У полевок ведущим предполагается механизм резистентности, связанный именно с системой цитохрома *P450*, определяющий повышение метаболизма и выведения токсиканта. В частности, значение цитохромов было выявлено у рыжей полевки [8]. Повышение метаболизма, связанного с системой цитохрома *P450*, показали исследования приобретенной устойчивости к обработкам против серых полевок родентицидом на основе дифацинона (из группы 1,3-индандионов) [9]. В устойчивых к бромдиолону линиях серой крысы была показана большая экспрессия генов цитохрома *P450* по сравнению с чувствительными выборками, что дало основание предполагать комбинированное влияние мутаций *VKORC1* и уровня метаболизма антикоагулянтов на резистентность к бромдиолону, хотя ранее на варфарин-резистентных линиях значение цитохромов не подтверждали [10]. Пищеварительная и ферментативная системы полевок рассчитаны на зеленоядный тип питания, обеспечивающий высокое содержание в организме витамина *K1*. У водяной полевки *Arvicola terrestris* было выявлено сезонное повышение устойчивости к антикоагулянтам в связи с изменением количества витамина *K* в организме [11].

В литературе имеются сведения о действии бромдиолонa на ряд видов грызунов. Для чувствительных линий грызунов эффективная доза бромдиолонa (снижающая показатель свертываемости крови с 1 до 5 МНО (международное нормализованное отношение — стандартизированный показатель свертываемости крови, рассчитываемый на основании протромбинового времени)) составляет для самцов и самок (♂♂/♀♀) серой крысы 0.47/0.62, для домово

мышь — 1.96/1.68 мг/кг [12]. В лабораторных испытаниях в Финляндии при подаче приманки с бромдиолонem 8 из 10 особей водяной полевки *Arvicola terrestris* погибли от дозы  $0.9 \pm 0.5$  мг/кг, 6 из 10 — от дозы  $0.4 \pm 0.2$  мг/кг. Более устойчивой была пашенная полевка *Microtus agrestis*: в опытах с выбором и без выбора (choice — no choice) с однократной и двухкратной подачей приманки пережитые дозы по бромдиолону варьировали от  $2.7 \pm 0.6$  до  $12.4 \pm 1.5$  мг/кг [13]. Для водяной полевки *Arvicola terrestris shermani* с горных лугов Швейцарии при определении ЛД<sub>50</sub> в соответствии методикой ЕРРО [14] как при введении препарата перорально, так и при поступлении с приманкой, этот показатель составил 3 мг/кг [15]. По совокупности свойств более высокой токсичности в сравнении с антикоагулянтами 1-го поколения и относительно высокими дозами ЛД<sub>50</sub> для нецелевых видов бромдиолон стал основным препаратом для полевых обработок в Европе: считали, что подлежащие контролю грызуны не набирают доз, которые составят опасность вторичных отравлений. В опытах с серой крысой после потребления в течение 1-х сут приманки 0.05 г бромдиолонa/кг, концентрация д.в. в организме грызуна составляла 2.08 мг/кг, а через 3 сут — 0.6 мг/кг [16]. Тем не менее, были опубликованы свидетельства гибели лис и канюков после обработок против водяной полевки [17]. Массовая гибель нецелевых видов после авиационной обработки пастбищ приманками с бромдиолонem против полевки *Microtus brandti* произошла в 2001–2003 гг. в Монголии [18]. Важна высокая кумулятивность действия бромдиолонa. Хотя для собак и койотов острая ЛД<sub>50</sub> бромдиолонa равна 10 мг/кг, хроническая ЛД<sub>50</sub> после 5 сут воздействия существенно меньше — 0.5 мг/кг/сут, самая низкая смертельная доза для собак составляет 0.15 мг/кг/сут в течение 5 сут [19]. Набору летальной дозы хищником может способствовать повышенная резистентность целевых видов. Для серой крысы и домово

**Таблица 1.** Коэффициенты резистентности (*RF*) к бромдиолону для распространенных мутаций серой крысы и домово

| Мутации                                  | Серая крыса |      | Домовая мышь |      |
|------------------------------------------|-------------|------|--------------|------|
|                                          | ♂♂          | ♀♀   | ♂♂           | ♀♀   |
| Чувствительная линия — $ED_{50}$ (мг/кг) | 0.47        | 0.62 | 1.96         | 1.68 |
| <i>L120Q</i> — <i>RF</i>                 | 10          | 14   | —            | —    |
| <i>Y139F</i> — <i>RF</i>                 | 17          | 15   | —            | —    |
| <i>Y139C</i> — <i>RF</i>                 | 7           | 9    | 17           | 21   |

В лабораторных опытах с домовою мышью *Mus musculus* носители мутации *Y139C* перенесли опыт без выбора (по choice) с предложением в течение 21 сут приманки (0.05 г бромалидола/кг). Диапазон перенесенных доз бромалидола составил для самок домовою мыши 218–299 мг/кг, для самцов — 177–244 мг/кг. Из 19 особей, прошедших исследование ДНК, все мыши были носителями мутации *Y139C*, у 8-ми особей она сочеталась с мутацией *L128S*. Против носителей этих мутаций был эффективен бродифакум [21].

Для водяной полевки было подтверждено изменение в активности гена *VKORC1* в популяциях из провинций Франции, где эффективность обработок была снижена после 20 лет интенсивного применения бромалидола [22].

Многочисленное поступление бромалидола в организм хищника обеспечивает кумулятивное действие антикоагулянта. Кроме этого, важно, какой изомер бромалидола сохраняется в тушке грызуна. Промышленный концентрат бромалидола представляет из себя смесь *цис*- и *транс*-изомеров, причем доля последнего составляет до 70%. Было показано сохранение в течение 10–30 сут в печени водяной полевки остатков *транс*-изомера бромалидола, в то время как *цис*-изомер быстро выводился из организма. Вторичные отравления хищников были связаны именно с остатками *транс*- изомера бромалидола [23].

Планируя расширение ассортимента средств защиты растений от грызунов за счет родентицидов на основе бромалидола, цель работы — объективная оценка эффективности этого действующего вещества в первую очередь против наиболее массового вредителя растений — обыкновенной полевки *Microtus arvalis* Pall., а также возможность и условия отбора устойчивых к бромалидолу популяций грызунов.

## МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Обыкновенных полевок *Microtus arvalis* выводили из Краснодарского края. Отловы основательных линий, потомство которых тестировали для определения ЛД<sub>50</sub> по бромалидолу проведены на подъеме численности грызунов до проведения обработок. Основатели линий, потомство которых отбирали по устойчивости к антикоагулянтам и использовали в тестировании приманок, отловлены в остаточных поселениях полевок, переживших родентицидные обработки в поле. В разведении полевок использовали террариумы из стекла 50 × 30 × 25 см<sup>3</sup> с металлическими перфорированными крышками. Использовали подстилку из мелких березовых опилок, гнездовой материал — сено, режим освещения — естественный, температура — 10–20°C, относительная влажность — ≈70%. Стандартная диета при размножении животных состояла из травы, сена, свежих овощей, овса или

замоченной пшеницы. В возрасте 14–20 сут детеныши получали индивидуальную метку и их рассаживали по 5♂♂ и 5♀♀ особей в террариуме. В течение 2–3 нед животные адаптировались к своим группам и их затем отбирали в лабораторные опыты, которые проводили на базе вивария ВИЗР (Санкт-Петербург–Пушкин).

**Схемы опытов.** Поступление бромалидола в организм полевок обеспечивали пероральным введением концентрата в определенных дозах и кормовыми опытами с выбором (choice) в 2-х вариантах: а — групповое тестирование с альтернативным влажным кормом, б — индивидуальное тестирование с альтернативным влажным кормом. Подачу приманок в зависимости от целей опытов проводили с экспозицией в 1, 2 и 3 сут. Опыты с группами полевок по 5♂♂ и 5♀♀ на террариум проводили в больших террариумах объемом 50 × 30 × 25 см<sup>3</sup>. Опыты с индивидуальной рассадкой проводили в металлических перфорированных террариумах 34 × 22 × 14 см<sup>3</sup>. Приманку предлагали в присутствии сочных кормов. На время экспозиции родентицида зерновой корм убрали [24]. Проведены серии опытов в присутствии и в отсутствии источника витамина К (зеленых кормов).

**Расчет полученной дозы.** При введении *per os* каждого зверька взвешивали и в зависимости от массы рассчитывали индивидуальный объем препарата для введения по формуле

$$X(\text{мл}) = \frac{m(\text{г}) \times D(\text{мг/кг})}{a(\text{г/л}) \times 1000},$$

где  $X(\text{мл})$  — объем введенного препарата,  $m(\text{г})$  — масса полевки в г,  $D(\text{мг/кг})$  — доза по д.в., которую получит тестируемая особь,  $a(\text{г/л})$  — содержание д.в. в препарате.

Расчет дозы, полученной грызунами при поедании родентицидной приманки, проводили по формуле:

$$D(\text{мг/кг}) = (Z(\text{г}) \times a \times 1000) / m(\text{г}),$$

где  $D(\text{мг/кг})$  — средняя доза,  $Z(\text{г})$  — средняя масса съеденной приманки,  $a(\text{г/кг})$  — содержание д.в. в приманке,  $m(\text{г})$  — масса полевки.

При групповом тестировании определяли средние (для ♂♂ и ♀♀) дозы на основе средней массы тела самцов и самок, в индивидуальной рассадке дозу определяли для каждой особи.

При определении ЛД<sub>50</sub> бромалидола дозы родентицида вводили перорально. Тестировали небольшие группы полевок возрастающими дозами бромалидола. Так как явных отличий по полу выявлено не было, при анализе результатов данные самцов и самок были объединены.

**Пробит-анализ.** С чувствительными линиями обыкновенной полевки проводили тестирование

возрастающими дозами бромалиолонa. Для проведения пробит-анализа по экспериментальным данным составляли таблицу, содержащую летальные дозы (мг/кг), и доли летальных исходов (л.и.) (%) от числа грызунов, получивших эти дозы. Доли л.и. преобразовывали в пробиты по Блissу, летальные дозы – в десятичные логарифмы в соответствии с руководствами [14, 25]. Получали показатели ЛД<sub>50</sub>, ЛД<sub>16</sub> и ЛД<sub>84</sub>. Стандартную ошибку ЛД<sub>50</sub> определяли по формуле:  $S_{ЛД50} = (ЛД_{84} - ЛД_{16}) / (\sqrt{2N})$ , где  $N$  – количество животных в группах, использованных для испытания доз, которые находятся в пределах величин пробитов от 3.5 до 6.5.

### РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

*Определение ЛД<sub>50</sub> чувствительной линии обыкновенной полевки Microtus arvalis.* Основатели линии были отловлены в Краснодарском крае в начале подъема численности до проведения обработок и не проходили отбор на устойчивость к антикоагулянтным родентицидам. По результатам введения рассчитанных доз препарата, составили таблицу, объединив данные для ♂♂ и ♀♀ особей обыкновенной полевки, т.к. изменения чувствительности полов были мало различимы (табл. 2). Расчетная величина ЛД<sub>50</sub> для обыкновенной полевки *Microtus arvalis* составила  $3.3 \pm 0.85$  мг/кг.

*Лабораторное тестирование приманок с д.в. бромалиолонa.* Основатели линий полевок, которых использовали для тестирования приманок, были

**Таблица 2.** Результаты перорального введения концентрата бромалиолонa обыкновенной полевке *Microtus arvalis*

| Группа | Доза (D мг/кг) | Летальный исход L (n) | Тестировано T(n) | Летальные исходы L (%) | Lg D | Пробит |
|--------|----------------|-----------------------|------------------|------------------------|------|--------|
| 1      | 1.5            | 1                     | 10               | 10                     | 0.18 | 3.72   |
| 2      | 2.3            | 2                     | 5                | 40                     | 0.36 | 4.75   |
| 3      | 3              | 16                    | 30               | 53                     | 0.48 | 5.08   |
| 4      | 10             | 7                     | 10               | 70                     | 1    | 5.52   |
| 5      | 15             | 6                     | 6                | 100                    | 1.18 | 7.33   |

отловлены в Краснодарском крае в остаточных поселениях полевок, переживших родентицидные обработки в поле. В лаборатории полевок проходили отбор на устойчивость к этилфенацину. В опытах с индивидуальной и групповой рассадкой проверяли возможность получения приемлемой эффективности при разных сроках экспозиции приманки (0.05 г бромалиолонa/кг) (табл. 3).

При однократной подаче гранул (0.05 г бромалиолонa/кг), при средней поедаемости 0.5–0.7 г/особь препарат был не эффективен, при поедаемости 0.7–0.9 г/особь (в расчете на среднюю массу полевки 20 г) эффективность

**Таблица 3.** Тестирование гранул (0.05 г бромалиолонa/кг) на обыкновенной полевке *Microtus arvalis*

| Вариант            | Пол | Средняя масса полевки (г) $\pm SE$ | Съедено (в пересчете на массу 20 г) $\pm SE$ | Средняя доза (D, мг/кг) $\pm SE$ | Смертность L/T* | Сроки летальных исходов, сут | Эффективность, % |
|--------------------|-----|------------------------------------|----------------------------------------------|----------------------------------|-----------------|------------------------------|------------------|
| Одиночная рассадка |     |                                    |                                              |                                  |                 |                              |                  |
| 1 сут              | ♂♂  | $32.8 \pm 2.6$                     | $0.6 \pm 0.6$                                | $1.5 \pm 0.2$<br>(1.0–1.9)       | 0/5             | –                            | 0                |
|                    | ♀♀  | $18.4 \pm 0.7$                     | $0.7 \pm 0.09$                               | $1.8 \pm 0.2$<br>(1.1–2.2)       | 0/5             | –                            | 0                |
| Групповая рассадка |     |                                    |                                              |                                  |                 |                              |                  |
| 1 сут              | ♂♂  | $18.4 \pm 0.4$                     | 0.7                                          | 1.6                              | 2/5             | 8                            | 40               |
|                    | ♀♀  | $16.3 \pm 0.5$                     | 0.9                                          | 2.3                              | 4/5             | 5–8                          | 80               |
| 2 сут              | ♂♂  | $24.1 \pm 1.9$                     | 5                                            | 10.4                             | 5/5             | 7                            | 100              |
|                    | ♀♀  | $17.2 \pm 0.4$                     | 5                                            | 12.5                             | 5/5             | 7                            | 100              |
| 3 сут              | ♂♂  | $22.2 \pm 1.1$                     | 4                                            | 9                                | 5/5             | 7–8                          | 100              |
|                    | ♀♀  | $16.7 \pm 0.8$                     | 4.7                                          | 12                               | 5/5             | 7                            | 100              |

\* Летальный исход (n)/тестировано(n). То же в табл. 4.

**Таблица 4.** Тестирование капсулированной и зерновой приманок (0.05 г бромadiолона/кг) на обыкновенной полевке *Microtus arvalis*

| №                                | Пол | Средняя доза<br>(D, мг/кг) ± SE | Максимальная<br>пережитая доза<br>(D, мг/кг) | L/T | Пол                                        | Средняя доза<br>(D, мг/кг) ± SE | Максимальная<br>пережитая доза<br>(D, мг/кг*) | L/T |
|----------------------------------|-----|---------------------------------|----------------------------------------------|-----|--------------------------------------------|---------------------------------|-----------------------------------------------|-----|
| Капсулы (0.05 г бромadiолона/кг) |     |                                 |                                              |     | Зерновая приманка (0.05 г бромadiолона/кг) |                                 |                                               |     |
| 1                                | ♂♂  | 1.8 ± 2.7                       | —                                            | 5/5 | ♂♂                                         | 2.6 ± 0.2                       | 2.8                                           | 3/5 |
| 2                                | ♀♀  | 2.3 ± 0.06                      | —                                            | 5/5 | ♀♀                                         | 2.5 ± 0.2                       | —                                             | 5/5 |
| 3                                | ♂♂  | 1.9 ± 0.1                       | 2.2                                          | 2/5 | ♂♂                                         | 2.6 ± 0.1                       | 3                                             | 2/5 |
| 4                                | ♀♀  | 2.7 ± 0.4                       | 3.3                                          | 4/5 | ♀♀                                         | 3.1 ± 0.1                       | 3.3                                           | 3/5 |
| 5                                | ♂♂  | 3.7 ± 0.6                       | 2.6                                          | 3/5 | ♂♂                                         | 9.2 ± 1.8                       | 12.4                                          | 3/4 |
| 6                                | ♀♀  | 3.6 ± 0.9                       | 3.6                                          | 2/5 | ♀♀                                         | 8.3 ± 2.0                       | 7.9                                           | 3/4 |
| 7                                | ♂♂  | 4.4 ± 0.9                       | —                                            | 5/5 | ♂♂                                         | 11.2 ± 1.3                      | 6.5                                           | 4/5 |
| 8                                | ♀♀  | 6.3 ± 0.9                       | 7.2                                          | 4/5 | ♀♀                                         | 14.4 ± 1.3                      | 13.7                                          | 4/5 |
| 9                                | ♂♂  | 3.6 ± 0.4                       | 3.6                                          | 4/5 | ♂♂                                         | 12.7 ± 0.7                      | —                                             | 5/5 |
|                                  |     |                                 |                                              |     | ♀♀                                         | 13.8 ± 1.4                      | —                                             | 4/4 |

\* Максимально пережитая доза в группе.

достигала 40–80%. Устойчивый результат 100% получали при 2- и 3-суточном потреблении гранулированной приманки.

В опытах с индивидуальной рассадкой была проведена серия сравнительных опытов для определения эффективности капсулированной и зерновой приманок (0.05 г бромadiолона/кг) (табл. 4).

В отсутствие зеленого корма была эффективна доза бромadiолона от 2 до 3 мг/кг. Максимальные дозы переживания у обыкновенной полевки для бромadiолона составили для капсул от 2.2 до 7.2 мг/кг, для зерновой приманки – от 2.8 до 13.7 мг/кг.

В серии опытов был выявлен более высокий уровень резистентности тестируемых выборок по сравнению с чувствительной линией обыкновенной полевки *Microtus arvalis*, для которой ЛД<sub>50</sub> по бромadiолону составила 3.3 ± 0.85 мг/кг.

*Определение ЛД<sub>50</sub> на устойчивой линии обыкновенной полевки Microtus arvalis.* По результатам перорального введения рассчитанных доз препарата составили таблицу, объединив данные для ♂♂ и ♀♀ (не показавших значительных отличий) обыкновенной полевки устойчивой линии (табл. 5).

Максимальная доза переживания препарата составила 20 мг/кг. Точность расчетов была снижена из-за неравномерности результатов, но полученная оценка ЛД<sub>50</sub> = 5.2 мг /кг превышала показатель для чувствительной линии обыкновенной полевки *Microtus arvalis*, составивший 3.3 мг/кг.

Полученные показатели токсичности бромadiолона для устойчивых линий обыкновенной полевки сравнимы с известными в литературе данными для грызунов, отловленных на регулярно обрабатываемых сельскохозяйственных угодьях Сербии: набор доз обыкновенной полевкой при потреблении в лабораторных опытах приманки с бромadiолоном (сроки экспозиции менялись от 1 до 4 сут) составлял от 4.9 до 20.8 мг/кг, дозы переживания – от 4.9 до 15.7 мг/кг. Для мыши р. *Apodemus* из того же местообитания дозы переживания составили от 5.9 до 11.2 мг/кг [26]. По нашей оценке, в соответствии с методикой [25], ЛД<sub>50</sub> для обыкновенной полевки из Сербии составляла 8–9 мг/кг, что больше в 2–3 раза по сравнению с показателем 3.3 мг/кг для чувствительной линии обыкновенной полевки, полученной в настоящей работе.

**Таблица 5.** Определение ЛД<sub>50</sub> по бромadiолону обыкновенной полевки устойчивой линии

| Группа | D (мг/кг) | Летальный исход L (n) | Тестируемо T(n) | Летальные исходы L (%) | Lg D | Пробит |
|--------|-----------|-----------------------|-----------------|------------------------|------|--------|
| 1      | 3         | 7                     | 18              | 39                     | 0.48 | 4.72   |
| 2      | 6         | 9                     | 17              | 53                     | 0.78 | 5.08   |
| 3      | 12        | 12                    | 17              | 71                     | 1.1  | 5.55   |
| 4      | 20        | 11                    | 18              | 61                     | 1.3  | 5.28   |

Опасность вторичных отравлений повышается в случае роста устойчивости популяции целевых грызунов, аккумулирующих большие дозы антикоагулянта. Благополучие агроэкосистем зависит в большой степени от соблюдения регламента применения родентицидов – в России разрешенная норма внесения приманок (0.05 г бромодиолон/кг) составляет 2 кг/га, т.е. 0.1 г бромодиолон/га [27]. Этот показатель в 10 раз меньше, чем разрешено во Франции при механической обработке против водяной полевки с распределением приманки в искусственные норы, где при норме внесения 20 кг приманки/га в посеве пшеницы (0.05 г бромодиолон/кг) токсическая нагрузка составляет 1 г бромодиолон/га [28]. Надо учитывать, что в местах постоянных обработок бромодиолоном резистентность к этому родентициду может повышаться. Родентицидные приманки на основе бромодиолон подходят для контроля численности сообществ мышевидных грызунов при доминировании обыкновенной полевки и проведении обработок в начале роста численности популяции.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В лабораторных опытах был выявлен сравнительно высокий уровень резистентности обыкновенной полевки *Microtus arvalis* к бромодиолону. Возможность набора высоких доз бромодиолон целевыми объектами создает опасность вторичных отравлений миофагов. Применение родентицидов на основе бромодиолон в полевых условиях необходимо проводить при численности грызунов, соответствующей норме внесения 1 г бромодиолон/га с обязательным контролем эффективности. Альтернативой при ограниченном числе действующих веществ в списке разрешенных родентицидов остается бродифакум.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Клименко О.Н., Бабич Н.В., Яковлев А.А. Родентициды для защиты от грызунов в поле // Защита и карантин раст. 2004. № 8. С. 23–24.
2. Яковлев А.А., Бабич Н.В., Покровская С.Д., Долженко В.И. Биологическая эффективность антикоагулянтных родентицидов против обыкновенной и общественной полевок // Вестн. защиты раст. 2005. № 2. С. 55–57.
3. Яковлев А.А., Бабич Н.В., Драгомиров К.А. Эффективность антикоагулянтных родентицидов // Защита и карантин раст. 2010. № 1. С. 23–25.
4. Бабич Н.В., Яковлев А.А., Драгомиров К.А. Устойчивость обыкновенной полевки *Microtus arvalis* Pall. к антикоагулянтным родентицидам из группы 1,3-индан-дионов // Териофауна России и сопредельных территорий. Мат-лы Международ. совещ. 31 января–2 февраля 2007 г. М., С. 33.
5. Бабич Н.В., Яковлев А.А. Развитие резистентности к антикоагулянтным родентицидам у полевых грызунов в России // Тез. докл. IV Всерос. съезда по защите раст. “Фитосанитарные технологии в обеспечении независимости и конкурентоспособности АПК России”. СПб., 2019. С. 311.
6. Rost S., Fregin A., Ivaskевич V., Conzelmann E., Hörtnagel K., Pelz H.-J., Lappegard K., Seifried E., Scharrer I., Tuddenham E.G.D. Mutations in *VKORC1* cause warfarin resistance and multiple coagulation factor deficiency type 2 // Nature. 2004. V. 427(6974). P. 537–541.
7. Зотова И.В., Никитин А.Г., Фаттахова Э.Н., Бровкин А.Н., Ходырев Д.С., Лаврикова Е.Ю., Исаева М.Ю., Косухина А.С., Носиков В.В., Затейщиков Д.А. Влияние полиморфизма генов *CYP2C9* и *VKORC1* на безопасность терапии варфарином // Клинич. практика. 2013. № 4(16). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-polimorfizma-genov-cyp2c9-i-vkorc1-na-bezopasnost-terapii-varfarinom>
8. Fujita S., Chiba I., Ishizuka M., Hishi H., Iwata H., Sakakibara A., Tanabe S., Kazusaka A., Masuda M., Masuda Y., Nakagawa H. P450 in wild animals as a biomarker of environmental impact // Biomarkers. 2001. V. 6(1). P. 19–25. <https://doi.org/10.1080/135475001452751>
9. Horak K.E., Volker S.F., Campton C.M. Increased diphacinone and chlorophacinone metabolism in previously exposed wild caught voles, *Microtus californicus* // Crop Protect. 2015. V. 78. P. 35–39. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2015.08.011>. [https://doi.org/10.31993/2308-6459-2018-4\(98\)-58-62](https://doi.org/10.31993/2308-6459-2018-4(98)-58-62)
10. Markussen M.D., Heiberg A.-C., Fredholm M., Kristensen M. Differential expression of cytochrome P450 genes between bromadiolone-resistant and anticoagulant-susceptible Norway rats: a possible role for pharmacokinetics in bromadiolone resistance // Pest Manag. Sci. 2008. V. 64. P. 239–248. <http://dx.doi.org/10.1002/ps.1506>
11. Khalil R.A., Barbier B., Fournoux A., Mahamat A.B., Marquez A., Poissenot K., Keller M., Desvars-Larrive A., Fernandez-De-Simon J., Coeurdassier M., Benoit E., Lefebvre S., Pinot A., Lattard V. Seasonal diet-based resistance to anticoagulant rodenticides in the fossorial water vole (*Arvicola amphibius*) // Environ. Res. 2021. V. 200. 111422. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.111422>
12. Prescott C.V., Buckle A.P., Hussain I., Endepols S. A standardised BCR resistance test for all anticoagulant rodenticides // Inter. J. Pest Manag. 2007. № 53(4). P. 265–272.
13. Marvo M. Efficacy of a number of toxic baits and baiting against the voles, *Microtus agrestis* and *Arvicola terrestris* // Proceed. Eleventh Vertebrate Pest Conf. 1984. V. 27. <https://digitalcommons.unl.edu/vpc11/27>
14. Bulletin OEPP/ EPPO 1982 laboratory tests for evaluation of the toxicity and acceptability of rodenticides and rodenticide preparations no 113 guideline for the efficacy evaluation of rodenticides. P. 1–10.
15. Saucy F., Meylan A., Poitry R. Lessons from 18 years of use of anticoagulants against fossorial *Arvicola terrestris* in Switzerland / Eds. Pelz J., Cowan P., Feare C. // Adv. Vertebrate Pest Manag. II. Fürth: Filander Verlag, 2001.



16. Poché R.M. Rodent tissue residue and secondary hazard studies with bromadiolone // Bull. OEPP/EPPO. 1988. V. 18. 323–30. P. 71–90.
17. Berny P.J., Buronfosse T., Buronfosse F., Lamarque F., Lorgue G. Field evidence of secondary poisoning of foxes (*Vulpes vulpes*) and buzzards (*Buteo buteo*) by bromadiolone, a 4-year survey // Chemosphere. 1997. V. 35(8). P. 1817–1829.
18. Карякин И.В. Катастрофические последствия дератизации с использованием бромдиолонa в Монголии в 2001–2003 гг. для российской популяции птиц // Пест-менеджмент. 2010. № 1. Институт Пест-Менеджмента, С. 20–26.
19. Sage M., Coeurdassier M., Defaut R., Lucot E., Barbier B., Rieffel D., Berny P., Giraudoux P. How environment and vole behaviour may impact rodenticide bromadiolone persistence in wheat baits after field controls of *Arvicola terrestris* // Environ. Pollut. 2007. V. 148. P. 372–379.
20. RRAC, RRAC guidelines on anticoagulant rodenticide resistance management. Rodenticide resistance action committee. Brussels, Belgium: CropLife International, 2016. 32 p. <https://about.rrac.info/releases/technical-monographs.html>
21. Blažić T., Jokić G., Götz M., Esther A., Vukša M., Đedović S. Brodifacoum as a first choice rodenticide for controlling bromadiolone-resistant *Mus musculus* // J. Stored Prod. Res. 2018. V. 79(2). P. 29–33. <https://doi.org/10.1016/j.jspr.2018.08.006>
22. Vein J., Grandemange A., Cosson J.F., Benoit E., Berny P.J. Are water vole resistant to anticoagulant rodenticides following field treatments? // Ecotoxicology. 2011. V. 20(6). P. 1432–1441. <https://doi.org/10.1007/s10646-011-0700-7>
23. Khalil R.A., Barbier B., Rached A., Benoit E., Pinot A., Lattard V. Water vole management – Could anticoagulant rodenticides stereochemistry mitigate the ecotoxicity issues associated to their use? // Environ. Toxicol. Pharmacol. 2021. V. 81. P. 103536. <https://doi.org/10.1016/j.etap.2020.103536>
24. Баби́ч Н.В., Яковлев А.А. Лабораторные методы исследования родентицидов для защиты от полевых грызунов // Вестн. защиты раст. 2018. № 4(98). С. 58–62. [https://doi.org/10.31993/2308-6459-2018-4\(98\)-58-62](https://doi.org/10.31993/2308-6459-2018-4(98)-58-62)
25. Яковлев А.А. Методические рекомендации по контролю за резистентностью обыкновенной полевки (*Microtus arvalis* Pall) к антикоагулянтным родентицидам // Агрохимия. 2023. № 1. С. 66–72. <https://doi.org/10.31857/S0002188123010118>
26. Jokić G., Vukša M., Đedović S., Kljajić P. Laboratory testing of wood mouse and common vole sensitivity to bromadiolone, sodium selenite, and cellulose // J. Pest Sci. 2014. V. 87(2). <https://doi.org/10.1007/s10340-014-0554-x>
27. Giraudoux P., Tremollières C., Barbier B., Defaut R., Rieffel D., Bernard N., Lucot E., Berny P. Persistence of bromadiolone anticoagulant rodenticide in *Arvicola terrestris* populations after field control // Environ. Res. 2006. V. 102(3). P. 291–298. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2006.02.008>
28. Государственный каталог пестицидов и агрохимикатов, разрешенных к применению на территории Российской Федерации, по состоянию на 31 марта 2023 г. <https://mcx.gov.ru/ministry/departments/departament-raste-nievodstva-mekhanizatsii-khimizatsii-i-zashchity-rasteniy/industry-information/info-gosudarstvennaya-usluga-po-gosudarstvennoy-registratsii-pestitsidov-i-agrokhimikatov>

## Effectiveness of Rodenticides based on Bromadiolone against the Common Vole *Microtus arvalis* Pall. in Laboratory Conditions

N.V. Babich<sup>a,b,#</sup>

<sup>a</sup>All-Russian Research Institute of Plant Protection,  
sh. Podbelskogo 3, Saint Petersburg–Pushkin 196608, Russia

<sup>b</sup>LLC “Innovative Plant Protection Center”,  
196608 St. Petersburg–Pushkin, s./b. 5, Russia

<sup>#</sup>E-mail: natbabich@gmail.com

The number of preparations based on the 2<sup>nd</sup> generation anticoagulant bromadiolone in the catalog of plant protection products against mouse-like rodents in Russia is growing, but information about the effectiveness of this active substance against the common vole *Microtus arvalis* Pall. is very limited. In a laboratory study of bromadiolone, acute LD<sub>50</sub> = 3.3 ± 0.8 mg/kg was shown, increased resistance equal to LD<sub>50</sub> 5.2 mg/kg was detected in individuals selected on the basis of resistance to anticoagulants of the 1st generation against the background of a diet with a high content of vitamin K (green food). Rodents overcame relative stability in the laboratory with a 3-day consumption of bait (0.05 g of bromadiolone/kg). In the field, the effectiveness of treatments may decrease and lead to the selection of resistant individuals. Bromadiolone-based rodenticidal baits are suitable for controlling the number of mouse-like rodent communities with the dominance of the common vole and carrying out treatments at the beginning of population growth.

**Keywords:** anticoagulant rodenticides, bromadiolone, common vole *Microtus arvalis*, laboratory testing, LD<sub>50</sub>, resistance, protection of plants from rodents.

УДК 632.91:595.752.3

## ПРИВЛЕЧЕНИЕ ТРИПСОВ СОЛЕВЫМИ ФОРМАМИ АЛКИЛ НИКОТИНАТОВ И ИЗОНИКОТИНАТОВ<sup>§</sup>

© 2024 г. А. Ю. Лобур<sup>1,\*</sup>, Н. Г. Тодоров<sup>1</sup>, М. И. Ушкова<sup>1</sup><sup>1</sup>Всероссийский центр карантина растений

р.п. Быково, Московская обл., Раменский р-н, ул. Пограничная, 32, 140150 Россия

\*E-mail: Alex-lobur@yandex.ru

Метилловые и этиловые эфиры никотиновой и изоникотиновой кислот являются эффективными аттрактантами для отлова трипсов. Солевые формы эфиров никотиновой и изоникотиновой кислот на воздухе диссоциируют и постепенно выделяют аттрактант. Применение солевых форм алкил никотинатов или изоникотинатов в качестве аттрактантов трипсов в литературных источниках не описано. Исследована эффективность отлова западного цветочного трипса в закрытом грунте на посевах огурца и на цветах астры на синие липкие ловушки с диспенсерами, содержащими соли соляной, фосфорной, лимонной и трифторуксусной кислот с метил никотинатом. Установлено, что применение диспенсеров с солевыми формами метилникотината увеличивало отлов западного цветочного трипса в 1.8–2.3 раза в течение 1 мес. Диспенсеры с цитратами этиловых и метиловых эфиров никотиновой и изоникотиновой кислот увеличивали отлов трипсов в 1.7–2.2 раза.

**Ключевые слова:** метил никотинат, этил никотинат, этил изоникотинат, этил изоникотинат, соли метил никотината, диспенсер, западный цветочный трипс (*Frankliniella occidentalis*), разноядный трипс (*Frankliniella intonsa*), табачный трипс (*Trips tabaci*), розанный трипс (*Trips fuscipennis*), цветочный трипс (*Trips physapus*).

**DOI:** 10.31857/S0002188124010053

### ВВЕДЕНИЕ

Западный цветочный трипс (**WFT**) *Frankliniella occidentalis* является одним из наиболее опасных вредителей овощных, декоративных и цветочных растений защищенного грунта. **WFT** опасен тем, что наносит растениям непосредственные повреждения и способен переносить вирусы-возбудители опасных заболеваний растений. Для раннего выявления **WFT** эффективным является применение цветных ловушек с аттрактантом [1].

Известно более 30 соединений, входящих в состав душистых масел цветов и привлекающих трипсов [2, 3]. Было установлено, что наряду с компонентами природных масел трипсов привлекают эфиры никотиновой и изоникотиновой кислот [4, 5]. Кроме метилового и этилового эфиров никотиновой и изоникотиновой кислот было исследовано большое количество производных пиридина и других соединений близкой структуры. Многие из этих веществ тоже проявляли аттрактивность к **WFT** [6–8]. Эфиры никотиновой и изоникотиновой кислоты проявляют аттрактивность к **WFT** в диапазоне концентраций до 4-х порядков.

Большинство других душистых соединений проявляли аттрактивность в диапазоне концентраций 1–2 порядка [9]. Это послужило одним из факторов при включении в состав для диспенсеров именно эфиров никотиновой или изоникотиновой кислот, т.к. большой диапазон концентраций аттрактивности позволяет обеспечить значительно большую продолжительность работы ловушек. Описано, что метиловые и этиловые эфиры никотиновой и изоникотиновой кислот привлекают и несколько видов трипсов: *Trips obscuratus* [4], *Frankliniella occidentalis*, *Trips tabaci* [7], *Frankliniella schulizei*, *Trips imaginis*, *Trips major*, *Hydatotrips adolffriderici* [10], *onion trips*, *New Zeland flower trips* [8], *Megalurothrips sjostedti* [14]. Авторы утверждали, что метил изоникотинат увеличивает отлов всех видов трипсов, не увеличивая нежелательный случайный отлов их естественных врагов – энтомофагов [14]. Вероятно, метил никотинат (**МН**) является аттрактантом для большого количества видов трипсов. При этом возможны исключения, например, испанская популяция **WFT**, по сообщениям авторов, не восприимчива к метилу изоникотинату и другим никотинам [10].

Вторым фактором при выборе эфиров никотиновой кислоты является их коммерческая доступность и экологическая безопасность. **МН** является

<sup>§</sup>Работа выполнена в рамках Госзадания, рег. № 123042500058-4.1.1.

производным витамина РР, и его широко применяют в мазах медицинского назначения.

Эфиры никотиновой и изоникотиновой кислоты характеризуются высокой летучестью, что не позволяет применять их на диспенсерах простой конструкции из-за быстрого испарения аттрактанта [10]. В предыдущей работе исследовали постепенное выделение МН с диспенсеров при диссоциации его солей с различными кислотами. Было установлено, что соли с уксусной и муравьиной кислотой разлагались слишком быстро. Устойчивое длительное испарение целевого соединения наблюдали для солей с соляной, трифторуксусной, ортофосфорной и лимонной кислотами. Примерно такую же скорость испарения МН наблюдали для диспенсеров, герметично запаянных в двойные пакеты из полиэтилена высокого давления толщиной 200 мкм [15]. Применение солевых форм эфиров никотиновой кислоты в качестве аттрактантов трипсов в литературе не описано. Не известно, какое влияние на общую аттрактивность будут оказывать кислоты, входящие в состав солей. Поэтому было целесообразно провести полевые испытания этих соединений.

Цель работы — на первом этапе исследовать эффективность отлова трипсов различными солями МН в полевых условиях для выбора наиболее перспективной кислоты. На втором этапе необходимо было сравнить эффективность отлова трипсов солями метилового и этилового эфиров никотиновой и изоникотиновой кислот.

## МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

В качестве диспенсеров использовали пластины  $2 \times 2.5$  см, нарезанные из коммерчески доступных губчатых салфеток York  $17.5 \times 15.5$  см. Эфиры никотиновой и изоникотиновой кислот использовали покупные. МН и метил изоникотинат использовали фирмы “ACROS ORGANICS”, а этил никотинат и этил изоникотинат — фирмы “Tokyo Chemical Industry”. Солевые формы эфиров никотиновой и изоникотиновой кислот готовили растворением в метаноле эквимольных количеств эфира и кислоты. Эфиры никотиновой и изоникотиновой кислот и их солевые формы наносили на диспенсеры в виде растворов в метаноле. Растворитель после нанесения в течении 1 ч полностью испарялся. Лабораторные опыты по установлению летучести солей проводили гравиметрическим методом в четырехкратной повторности. Для запаивания полиэтиленовых пакетов использовали полиэтилен высокого давления толщиной 200 мкм и вакуумный упаковщик “Vacuum sealer dz-280a”. Полевые исследования по отлову *WFT* проводили с применением синих клеевых ловушек “Пластина”, которые размещали в пятикратной повторности. Ловушки

были изготовлены из двухстороннего ламинированного картона синего цвета размером  $25 \times 30$  см с отверстием для подвески и клеевым покрытием с обеих сторон, защитой клеевой поверхности силиконизированной бумагой. Диспенсер прикрепляли с помощью скрепки в день его вывешивания.

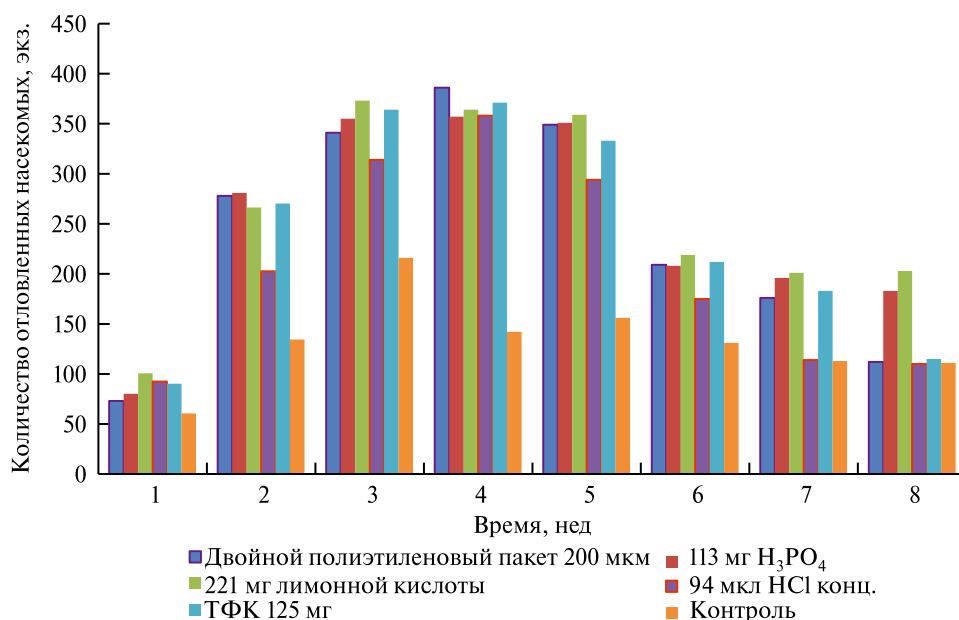
Опыт проводили на территории Московской области в период с 27 апреля по 23 июня 2021 г. на культуре огурца сорта Мадрилене F1 в теплице площадью  $800 \text{ м}^2$ , ловушки размещали через 1 мес. после высадки рассады на высоте 30 см над растениями. Ловушки размещали на расстоянии  $4 \times 5$  м друг от друга. Температура воздуха в теплице днем была равна  $20\text{--}24^\circ\text{C}$ , ночью —  $18\text{--}19^\circ\text{C}$ . В качестве контроля применяли ловушки “Пластина” без диспенсера, которые размещали также в пятикратной повторности. Размещение вариантов ловушек чередовали. Учет количества привлеченных в ловушки насекомых проводили один раз в 7 сут.

Вторую часть опыта проводили в период с 25 мая по 21 июня 2022 г. в посадках цветов хризантемы вetchной сортов Кеннеди, Аристотель, Шик, Ларсон и др. в теплице площадью  $3000 \text{ м}^2$ , ловушки размещали на высоте 10–15 см над растениями и поднимали по мере роста растений. Ловушки размещали на расстоянии  $4 \times 5$  м друг от друга в десятикратной повторности. Трипсов удаляли вместе с частью клеевой ловушки и помещали фрагмент ловушки с насекомыми в стеклянную чашку Петри на несколько часов для полного растворения клеевого слоя в соответствии со стандартизированной методикой [16]. Изготовление микропрепаратов и последующую идентификацию анатомо-морфологическим методом проводили в соответствии с актуальными нормативными документами [17, 18].

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

МН в количестве 150 мг ( $1.095 \text{ мкмоль}$ ) наносили на диспенсер в виде раствора в 0.5 мл метанола. В раствор добавляли эквимольное количество кислоты (рис. 1).

На протяжении 6 нед ловушки с диспенсерами ловили в 1.5–2.7 раза больше трипсов по сравнению с контрольными. Диспенсеры с МН и его солевыми формами привлекали трипсов примерно одинаково. Несколько хуже работал гидрохлорид МН. На 7-й нед ловушки с гидрохлоридом МН и контрольные отловили одинаковое количество вредителей. Вероятно, за этот период вся соль испарилась и диспенсеры перестали испарять аттрактант. На восьмой неделе диспенсеры с солью МН с трифторуксусной кислотой (*TFA*) и с МН в двойных полиэтиленовых пакетах тоже перестали привлекать насекомых. Вероятно, за 7 нед вещество полностью испарилось. Диспенсеры с фосфатом

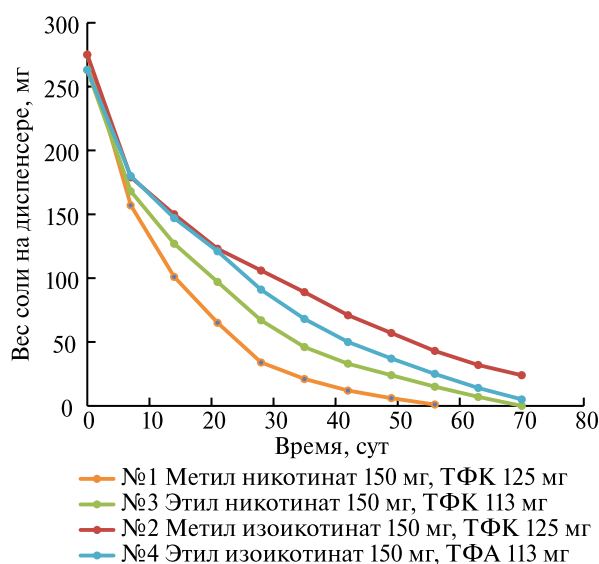


**Рис. 1.** Понедельный отлов трипсов на ловушки с диспенсерами с МН (150 мг) и его солями на культуре огурца сорта Мадрилене F1.

и цитратом МН и на 8-й нед продолжали привлекать трипсов. Ловушки с этими диспенсерами в течение 8-й нед отловили в 1.6–2.0 раза больше вредителей по сравнению с контрольными. Опыт был остановлен из-за прекращения работы теплицы. Вследствие этого время до полной выработки диспенсеров установить не удалось. Следует отметить,

что диспенсеры с цитратом МН привлекали трипсов немного лучше по сравнению с фосфатом МН. Определение видового состава отловленных насекомых показало, что на ловушках в основном был *WFT* (*Frankliniella occidentalis*) и  $\approx 30\%$  – разнотельный трипс (*Frankliniella intonsa*).

Перед проведением полевых сравнительных испытаний аттрактивности солей метилового и этилового эфиров никотиновой и изоникотиновой кислот представлялось целесообразным изучить скорости испарения этих солей, т.к. эта характеристика может влиять на время и эффективность работы диспенсеров в полевых условиях. В лабораторных условиях определяли снижение массы пластины с нанесенными на них растворами солей этих аминов с трифторуксусной кислотой. Для опытов была выбрана *TFA*, т.к. при диссоциации соли она испаряется вместе с амином. Результаты исследования представлены на рис. 2.



**Рис. 2.** Снижение массы солей метиловых и этиловых эфиров никотиновой и изоникотиновой кислот с трифторуксусной кислотой при их диссоциации на диспенсерах в течение времени.

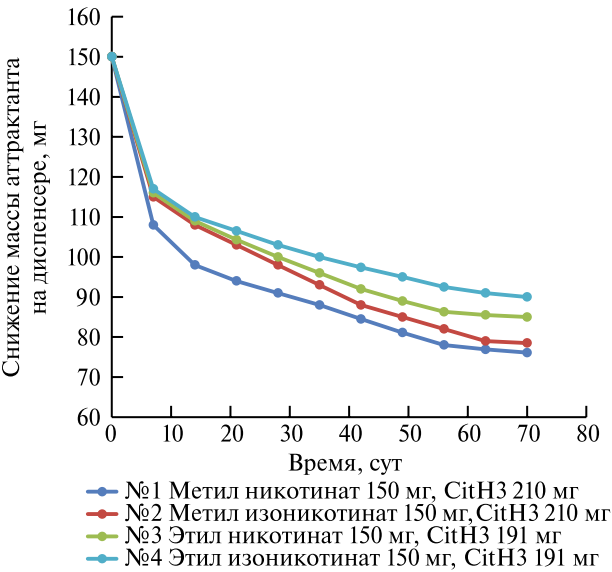
Быстрее всего среди солей с *TFA* испарялся метил никотинат. Вероятнее всего разность скорости испарения этих солей обусловлена их разной основностью. Согласно литературным данным, основность МН  $pK_a = 3.23$  и меньше чем у метила изоникотината, для которого  $pK_a = 3.38$  [19]. Скорость испарения солей этил никотината и этил изоникотината имела промежуточные величины. Данными по основности этих эфиров мы не располагаем.

Лимонная кислота при термической диссоциации ее солей не испаряется и делает пластины более гигроскопичными, что вносит большую

погрешность в гравиметрические исследования при изменениях влажности воздуха в лаборатории. Тем не менее, т.к. диспенсеры с цитратом МН оказались в полевых условиях наиболее эффективными при отлове трипсов, были проведены исследования скорости испарения метиловых и этиловых эфиров никотиновой и изоникотиновой кислот при диссоциации их цитратов с диспенсеров. Для устранения изменения массы диспенсеров из-за влажности перед взвешиванием их выдерживали 4 ч в эксикаторе над гидроксидом натрия в качестве осушителя. Соли готовили растворением в метаноле 150 мг соответствующего эфира с эквивалентным количеством лимонной кислоты и в виде раствора наносили на диспенсеры. Растворитель в течении 1 ч полностью испарялся. Результаты исследований представлены на рис. 3.

В течение первой недели испарялось –35–47 мг эфиров. В течение 2-х мес. испарилось от 60 до 72 мг эфиров. Далее эфиры практически перестали выделяться с диспенсеров. При этом запах метил и этил никотината также перестал ощущаться на диспенсерах органолептически. По окончании опыта диспенсеры с цитратом МН были обработаны водным раствором карбоната натрия и экстрагированы диэтиловым эфиром. После концентрирования было выделено 85 мг МН (в расчете на 1 диспенсер). Вероятно, после испарения части МН избыток освободившейся лимонной кислоты сильно снижает скорость испарения.

По мнению [7], для исключения влияния диспенсеров на соседние ловушки расстояние между ними должно быть не менее 10 м. Эти же авторы в другой работе в сравнительных опытах располагали ловушки на расстоянии 24 м друг от друга [20]. Диспенсеры с солями эфиров никотиновой и изоникотиновой кислот выделяют аттрактант медленнее, чем диспенсеры с этими соединениями в виде оснований. Поэтому представлялось целесообразным изучить радиус действия диспенсеров с солями. Для определения радиуса действия диспенсеров с цитратом МН были проведены испытания



**Рис. 3.** Испарение метиловых и этиловых эфиров никотиновой и изоникотиновой кислот при диссоциации их солей с лимонной кислотой с диспенсеров в течение времени.

в теплице на посадках цветов хризантемы веточной. Синие липкие ловушки (10 × 25 см, 6 шт.) с диспенсерами располагали на расстоянии не менее 20 м друг от друга. Между ними на прямой линии с шагом сначала 1 м, а далее 2.5 м располагали ловушки без диспенсеров. Крайние ловушки располагали не менее 1 м от края посадки. Установлено, что на расстоянии 1 м от ловушек с диспенсером ловушки без диспенсеров отлавливали трипсов в 1.3 раза меньше, а начиная с 2.5 м и далее, различие в отлове составляло 1.8 раза. Таким образом в нашем случае для сравнительных опытов ловушки необходимо было располагать на расстоянии не менее 3 м друг от друга. Поэтому в сравнительных опытах мы располагали ловушки по схеме 4 × 5 м.

Опыты по сравнению эффективности отлова трипсов синими липкими ловушками с диспенсерами

**Таблица 1.** Отлов трипсов синими ловушками с диспенсерами, содержащими цитраты эфиров на цветах хризантемах (*n* = 10)

| № | Аттрактант, 150 мг | Среднее количество насекомых на ловушке с доверительным интервалом для вероятности $P = 0.95$ | $F_{(4,4)}$ | Относительное превышение отлова по сравнению с контролем, раз |
|---|--------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|---------------------------------------------------------------|
| 1 | Метил никотинат    | $237 \pm 69$                                                                                  | 39.0        | 1.69                                                          |
| 2 | Метил изоникотинат | $217 \pm 67$                                                                                  | 25.5        | 1.55                                                          |
| 3 | Этил никотинат     | $181 \pm 54$                                                                                  | 8.6         | 1.29                                                          |
| 4 | Этил изоникотинат  | $187 \pm 52$                                                                                  | 11.4        | 1.33                                                          |
| 5 | Контроль           | $140 \pm 70$                                                                                  |             | 1                                                             |

с цитратами метиловых и этиловых эфиров никотиновой и изоникотиновой кислот проводили на посадках цветов хризантемы веточной на протяжении 27 сут. Оценку значимости отличий результатов каждого опытного варианта от контрольного проводили с помощью однофакторного дисперсионного анализа по критерию Фишера. Результаты представлены в табл. 1.

Цитрат метил никотината оказался лидером по привлечению трипсов на ловушки и дал превышение отлова по сравнению с контролем в 1.69 раза. Попарное сравнение по критерию Фишера показало, что отличия между 1-м и 2-м вариантом, а также между 3-м и 4-м оказались незначимыми. Отличия в отлове насекомых между метиловыми и этиловыми эфирами оказались значимыми.

Определение видового состава отловленных насекомых показало, что на ловушках оказалось 3 вида трипсов. Среди них больше всего, ≈70%, был представлен табачный трипс (*T. tabaci*) и примерно по 15% были представлены розанный и цветочный трипсы (*T. fuscipennis*, *T. physapus*). Следует отметить, что хотя эти виды трипсов не являются карантинными, тем не менее они наносят вред культурным растениям такой же, как и *WFT*. Поэтому необходим мониторинг и борьба с этими вредителями. Сравнение результатов опытов в теплицах с огурцом, заселенных *WFT* и разнородными трипсами, и в теплицах с астрами, заселенных табачным, цветочным и розанным трипсами, показало, что диспенсеры с цитратом МН увеличивали отлов разных видов трипсов примерно одинаково.

## ВЫВОДЫ

Нанесение 150 мг метил никотината на пористые пластины в виде солей с соляной, фосфорной, лимонной или трифторуксусной кислотами позволило сделать диспенсеры без запаивания в полимерные пакеты, которые постепенно выделяют в окружающий воздух метил никотинат более 1 мес. Этот способ позволяет изготавливать диспенсеры длительного срока действия для отлова трипсов.

Сравнительные испытания эффективности отлова трипсов синими липкими ловушками с диспенсерами с цитратами метиловых и этиловых эфиров никотиновой и изоникотиновой кислот показали, что наиболее эффективным оказался цитрат метил никотината. Диспенсеры с цитратом метил никотината увеличивали отлов западного цветочного, разнородного, табачного, розанного и цветочного трипсов.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Sampson C.* Management of the western flower trips on strawberry: Thesis submitted for the degree of Ph D. Keele University, 2014. 278 p.
2. *Imai T., Mackawa M., Murai T.* Attractiveness of methyl anthranilate and its related compounds to the flower thrips, *Thrips hawaiiensis* (Morgan), *T. coloratus* Schmutz, *T. flavus* Schrank and *Megalurothrips distalis* (Karny) (Thysanoptera: Thripidae) // *Appl. Entomol. Zool.* 2001. V. 36(4). P. 475–478.
3. *Cao Yu, Wang J., Germinara G.S., LijuanWang, Yang H., Gao Y., Li C.* Behavioral responses of *Thrips hawaiiensis* (Thysanoptera: Thripidae) to volatile compounds identified from *Gardenia jasminoides* Ellis (Gentianales: Rubiaceae) // *Insects.* 2020. V. 11. 408. <https://doi.org/10.3390/insects11070408>
4. *Penman D.R., Osborne G.O., Worner S.P., Chapman R.B., McLaren G.F.* Ethyl nicotine: A chemical attractant for *Trips obscuratus* (Thysanoptera: Thripidae) in Stonefruit in New Zealand // *J. Chem. Ecol.* 1982. V. 8. № 10. P. 1299–1303.
5. *Teulon D.A.J., Penman D.R., Ramakers P.M.J.* Volatile chemicals for *Trips* (Thysanoptera: Thripidae) host finding and applications for trips pest management // *J. Econom. Entomol.* 1993. V. 86. Iss. 5. P. 1405–1415.
6. *Davidson M.M., Teulon D.A.J., Perry N.B.* Insect behaviour modifying compounds: Pat. WO2005046330A1. 2003.11.13.
7. *Teulon D.A.J., Davidson M.M., Hedderley D.I., James D.E., Fletcher C.D., Larsen L., Green V.C., Perry N.B.* 4-Pyridyl carbonyl and related compounds as *Thrips* lures: Effectiveness for onion thrips and New Zealand flower thrips in field experiments // *J. Agric. Food Chem.* 2007. V. 55. P. 6198–6205.
8. *Davidson M.M., Perry N.B., Larsen L., Green V.C., Butler R.C., Teulon D.A.J.* 4-Pyridyl carbonyl compounds as *Thrips* lures: Effectiveness for western flower thrips in y-tube bioassays // *J. Agric. Food Chem.* 2008. V. 56. P. 6554–6561.
9. *Koschier E.H., De Kogel W.J., Visser J.H.* Assessing the attractiveness of volatile plant compounds to western flower thrips *Frankliniella occidentalis* // *J. Chem. Ecol.* 2000. V. 26. № 12. P. 2643–2655.
10. *Nielsen M.C.K.* Factors affecting the response of thrips to an olfactory cue: A thesis submitted in partial fulfillment of Doctor of Philosophy (Ph.D.). Lincoln University, 2013. 157 p.
11. *Muvea A.M., Waiganjo M.M., Kutima H.L., Osiemo Z., Nyasani J.O., Subramanian S.* Attraction of pest thrips (Thysanoptera: Thripidae) infesting French beans to coloured sticky traps with Lurem-TR and its utility for monitoring thrips populations // *Inter. J. Tropical Insect Sci.* 2014. V. 34. № 3. P. 197–206.
12. *Лобур А.Ю., Тодоров Н.Г., Кузнецов К.А.* Способ снижения летучести метилникотиноата с диспен-

- серов путем перевода его в солевые формы для отлова трипсов // *Агрохимия*. 2022. № 4. С. 46–51.
13. ГОСТ 28420-2022. Межгосударственный стандарт карантин растений. Правила подготовки лабораторных проб при энтомологических исследованиях.
  14. Волков О.Г., Смирнов Ю.Н. Методические рекомендации по выявлению и идентификации западного цветочного трипса *Frankliniella occidentalis* (Pergande). Быково: ВНИИКР, 2020. 76 с.
  15. Атлас трипсов. Виды, встречающиеся в подкарантинной продукции. Сост. Рожина В.И. Калининград: Балтийск. Фед. ун-т имени Иммануила Канта, 2019. 136 с.
  16. United States Environmental Protection Agency, <https://comptox.epa.gov/dashboard/chemical/properties/DTXSID7044471>, <https://comptox.epa.gov/dashboard/chemical/properties/DTXSID9062433>
  17. Davidson M.M., Butler R.C., Winkler S., Teulon D.A.J. Piidin compounds increase capture of *Frankliniella occidentalis* (Pergande) in a cover crop // *J. Econom. Entomol.* 2009. V. 102(4). P. 1468–1471.

## Attraction of Thrips by Salt Forms of Alkyl Nicotines and Isonicotines

A. Yu. Lobur<sup>a, #</sup>, N. G. Todorov<sup>a</sup>, M. I. Ushkova<sup>a</sup>

<sup>a</sup>All-Russian Plant Quarantine Center – FGBU “VNIIEK”,  
Pogranichnaya ul. 32, Moscow region, Ramenskiy district, r.p. Bnykovo 140150, Russia,

<sup>#</sup>E-mail: Alex-lobur@yandex.ru

Methyl and ethyl esters of nicotinic and isonicotinic acids are effective attractants for catching thrips. The salt forms of nicotinic and isonicotinic acid esters dissociate in air and gradually secrete an attractant. The use of salt forms of alkyl nicotines or isonicotines as thrips attractants has not been previously described. The efficiency of catching Western flower thrips in the closed ground on cucumber crops and aster flowers on blue sticky traps with dispensers containing salts of hydrochloric, phosphoric, citric and trifluoroacetic acids with methyl nicotine was investigated. It was found that the use of dispensers with salt forms of methylnicotine increased the catch of Western flower thrips by 1.8–2.3 times during 1 month. Dispensers with citrates of ethyl and methyl esters of nicotinic and isonicotinic acids increased the catch of thrips by 1.7–2.2 times.

**Keywords:** methyl nicotine, ethyl nicotine, ethyl isonicotinate, ethyl isonicotinate, methyl nicotine salts, dispenser, western flower thrips (*Frankliniella occidentalis*), variegated thrips (*Frankliniella intonsa*), tobacco thrips (*Trips tabaci*), roseate thrips (*Trips fuscipennis*), flower thrips (*Trips physapus*).

УДК 633.2/3:631.445.52(571.54)

## МАКРОЭЛЕМЕНТЫ И ИХ СООТНОШЕНИЯ В РАЗНЫХ ВИДАХ РАСТЕНИЙ, ПРОИЗРАСТАЮЩИХ НА ПРИОЗЕРНЫХ СОЛОНЧАКАХ ЗАПАДНОГО ЗАБАЙКАЛЬЯ

© 2024 г. М. Г. Меркушева<sup>1,\*</sup>, Л. Н. Болонева<sup>1</sup>, И. Н. Лаврентьева<sup>1</sup>, С. Б. Сосорова<sup>1</sup><sup>1</sup>Институт общей и экспериментальной биологии СО РАН  
670047 Улан-Удэ, ул. Сахьяновой, 6, Россия

\*E-mail: merkusheva48@mail.ru

Впервые изучены макроэлементный состав и соотношения макроэлементов в доминантах и содоминантах растений, произрастающих на приозерных солончаках Западного Забайкалья: от солесупесчаных полос на обсохшей отмели с пионерными группировками, бортовых склонов до равнин с чиевниками, ирисниками и леймусниками. Для однолетних галофитов солесупесчаных полос уреза оз. Белое установлены общие закономерности, характеризующие их макроэлементный состав. Выявлено, что пионерные многолетники формируются на мортмассе однолетников. Разная по длительности образования мортмасса характеризовалась высокими кремнистостью и концентрациями S, Fe и Mg при минимальном количестве K, соотношение K : Na составляло 0.03–0.04. Биологическая продуктивность сообществ приозерных солончаков определена как нормальная и повышенная (1490–3080 г сухой массы/м<sup>2</sup>/год). Виды существенно различались по макроэлементному составу в зависимости от условий произрастания в береговой зоне солонководных озер. Общим для химического состава растений являлось относительно высокое содержание азота и золы. Выявлено, что по совокупности концентрации K, Ca, Mg, Na, Si в сухом веществе однолетники семейства Chenopodiaceae доминировали за счет высокого количества натрия. Несмотря на несоответствие нормативам соотношений большинства макроэлементов в сухом веществе растений, особенно K : Ca + Mg и K : Na, все виды используют как кормовые растения в разные периоды года.

**Ключевые слова:** приозерные солончаки, галофиты, галоксерофиты, продуктивность, макроэлементы и их соотношение, Западное Забайкалье.

**DOI:** 10.31857/S0002188124010069

### ВВЕДЕНИЕ

Долевое участие макроэлементов в построении (составе) живого организма в относительных единицах [1] располагается следующим образом:  $N > K > Cl > Na > Ca > Si > S > Mg > P$ . Согласно [2], комплекс минеральных веществ для растений должен состоять не только из элементов, необходимых для завершения жизненного цикла (N, P, K, Ca, Mg, S и др.), а также из элементов, способствующих росту максимальной биомассы и(или) снижающих критические уровни существенных элементов, которые названы функциональными питательными веществами (Na, Si, Se), т.е. минеральный состав растений представлен 2-мя основными группами питательных веществ: необходимыми и функциональными.

При одинаковых исходных условиях в пределах одного фитоценоза отличия в содержании химических элементов зависят от экобиологических особенностей разных видов растений и способности эдификаторов преобразовывать биотопы в сфере их воздействия, что

оказывает влияние на содержание элементов в подчиненных видах [3]. Каждый вид растений имеет свой макроэлементный состав, а совокупность концентраций Si, K, Na, Ca, Mg в сухом веществе служит их видовым признаком [4]. Растения, помимо их видовых различий, отличаются также условиями произрастания, в частности, степенью засоленности и увлажненности почв [5]. Например, разнотравье, произрастающее на засоленных почвах, является концентратором Na, тогда как злаки в этих же сообществах не накапливают этот элемент [6]. Наиболее варибельным показателем является соотношение K : Na. Также известно влияние избыточного количества солей на нормальное соотношение элементов минерального питания в растениях [7, 8].

Натрий при недостатке калия способен воздействовать на повышение обводненности клеточных коллоидов в растениях, т.к.  $Na^+$  – синергист  $K^+$ , а отношение K : Na является показателем солевого обмена, поддержание которого в оптимальном диапазоне (7 : 1) есть проявление механизма солеустойчивости



[9]. Натрий необходим для ряда высших растений [10], особенно приспособленных к засоленным в разной степени почвам, в основном некоторым видам семейств маревых, крестоцветных и др. [2, 11–14]. Однако до сих пор продолжают исследования влияния натрия на высшие растения с позиции его токсичности [15–18]. Следует отметить, что каждый элемент имеет порог концентрации, ниже которой не является токсичным, а в галофитах, например, содержание натрия может быть очень высоким [19, 20].

Основная функция кремния в растении — повышение устойчивости к неблагоприятным условиям, выражающееся в утолщении эпидермальных тканей (механическая защита), ускорении роста и усилении корневой системы (физиологическая защита) и толерантности к абиотическим стрессам (биохимическая защита) [21–23].

Ресурсы галофитов — важный источник и резерв устойчивого развития сельского хозяйства в аридных (засушливых) районах мира, включая Россию [24, 25]. Видовое, внутривидовое (экотипическое, популяционное, индивидуальное) многообразие галофитов по эколого-биологическим, почвенно-экологическим и хозяйственным характеристикам (продуктивность, биохимический и минеральный составы, поедаемость) определяет их неодинаковую значимость как кормовых растений [26].

В настоящее время в литературе имеются противоречивые данные о поедаемости галофитов. Например, по данным [27], на сенокосах и пастбищах с сильно засоленными почвами обильно разрастаются плохо поедаемые галофиты (*Plantago cornuti*, *Glaux maritima*, *Salicornia europaea*, *Suaeda prostrata*), тогда как в условиях пустыни Кызылкум поедаемость *Atriplex nitens*, *Kochia scoparia* и *Suaeda altissima* была достаточно хорошей [28]. В Западном Забайкалье поедаемость галофитов оценена от удовлетворительной до отличной [29–31]. Отмечено, что животные поедают галофиты и некоторые другие растения в сообществах осенью и зимой или в ранней стадии вегетации.

В Западном Забайкалье процессы соленакопления в почвах и грунтовых водах имеют специфические особенности [32–36]. Солончаки Забайкалья, наряду с каштановыми почвами, являются приоритетными объектами охраны почв согласно Национальной стратегии сохранения биоразнообразия России [37].

В Западном Забайкалье солончаки занимают незаливаемые равнинные и прибрежные территории, прилегающие к содово-соленым озерам, а также надпойменные террасы и пониженные участки пойм с близким уровнем минерализованных грунтовых вод. Общая их площадь в структуре почвенного покрова сельскохозяйственных угодий Республики Бурятия составляет 27,17 тыс. га (1,1%). Основное использование солончаков типичных под чиевыми и ирисовыми ассоциациями — пастбищное (79,5%), солончаков

темных — сенокосное (11,9%) [38]. Следует отметить, что чиевники и ирисники отнесены к подтипу сазовых степей, но произрастающих в условиях постоянного или временного грунтового увлажнения [39]. Следствием чего является выраженная комплексность растительного покрова сазовых сообществ.

Изученность макроэлементного состава травяных экосистем в Забайкалье представлена данными степных пастбищ [40, 41], пойменных сенокосов [42], в т.ч. леймусников [43]. Цель работы — определение содержания и соотношения макроэлементов в разных видах растений, произрастающих на приозерных солончаках Западного Забайкалья.

## МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследование проводили в 2010–2021 гг. в сухостепной зоне Западного Забайкалья. Объекты исследования — виды сообществ, произрастающих на приозерных солончаках.

Продолжительный период аридизации и цикличность наполнения и высыхания солоноватых озер в Забайкалье меняют почвенно-растительный облик их береговой зоны, начиная с пионерных группировок на обсыхающей отмели. Днище отмели представлено галечниково-каменистыми отложениями с легким гранулометрическим составом мелкозема, который содержит разное количество солей и карбонатов и имеет щелочную реакцию. Пятнами распространены солевые коры. Исследование проводили от уреза до борта (20–25 м). Общая площадь отмели 600–650 м<sup>2</sup>. Высыхание озера продолжается в течение 5-ти последних лет. В настоящее время его граница дошла до донных осадков. Группировки *Salicornia perennans* с высоким проективным покрытием расположены на солесупесчаной полосе около водной каймы на влажных участках, за ними — *Suaeda sibirica*.

Разрез 2а (h — 524 м, 51°32'43,3" N, 107°02'35,5" E) заложен в 50 м восточнее оз. Белое. Сообщество сведово-солеросовое, солончак глеевый.

Разрез 5 (h — 493 м, 51°32.857' N, 107°01.350' E) заложен на равнине, прилегающей к оз. Белому (Иволгинский р-н). Чиевое сообщество, солончак типичный сульфатно-хлоридно-содовый.

Разрез 3 (h — 562 м, 51°84.106' N, 107°59.265' E) заложен у северного борта оз. Белое (Иволгинский р-н). Ирисовое сообщество, солончак типичный сульфатно-содовый.

Разрез 1а (h — 524 м, 51°32'09,6" N, 107°01'21,0" E) заложен в 536,5 м северо-западнее оз. Белое. Леймусовое сообщество, солончак типичный.

Разрез 14 (h — 561 м, 52°029' N, 108°636' E) заложен на берегу оз. Гуджирное (Заиграевский р-н). Солончаковоползунковое сообщество, солончак глеевый содово-хлоридно-сульфатный.

Разрез 15 (h — 558 м, 52°00'15,44" N, 108°42'58.62" E) заложен на обсохшем мелководье оз. Додо-гол (Лесное). Пионерные группировки галофитов, солончак глеевый хлоридно-сульфатно-содовый.

Разрез 11 (h — 639 м, 50°39.092' N, 105°39.398' E) заложен на обсохшем дне в 150 м от уреза оз. Каменный ключ (Джидинский р-н). Солончаково-воползунковое сообщество, солончак глеевый хлоридно-сульфатно-содовый.

Региональной особенностью галоморфных почв является сочетание контрастных и часто противоположных элементарных почвенных процессов, формирующих профиль и определяющих их свойства (табл. 1).

Это обусловлено резкими циклическими изменениями климата, нестабильностью уровня грунтовых вод, водного и солевого режимов. В отличие от зональных каштановых почв солончаки характеризуются широкой вариабельностью содержания и распределения гранулометрических фракций, емкости

катионного обмена (в том числе количеством  $\text{Na}^+$ ) и карбонатов [44].

Показатели pH находятся в интервале, соответствующем слабощелочной—щелочной реакции среды. Солевой профиль часто отличается от карбонатного. Содержание гумуса и азота невысокое, резко убывающее по профилю солончаков типичных и более плавное — в солончаках темном и глеевом. Обеспеченность нитратным азотом — низкая, подвижным фосфором и обменным калием — от высокой до низкой градации.

Запасы надземной и подземной фитомассы определяли в 3-ю декаду июля. На это время приходится максимум запасов корневой массы и наибольшая продуктивность трав. Надземную массу определяли укосным методом. Травостой срезали у самой поверхности почвы с площадок 50 × 50 см в пятикратной повторности. Запасы подземной массы в сообществах изучали методом монолитов с последующей отмывкой на почвенных ситах. В каждом сообществе почвенные монолиты отбирали с 3-х площадок размером 25 × 25 см послойно через 10 см. Надземную массу и отмывые

**Таблица 1.** Характеристика засоленных почв Западного Забайкалья

| Горизонт                                                            | Глубина, см | Фракция<br>(мм), % |        | pH <sub>H2O</sub> | Обменные<br>катионы,<br>мг-экв/100 г |                  | Сумма солей | CO <sub>2</sub><br>карб | Гумус | N <sub>общ</sub> | Подвижные,<br>мг/ 100 г |     |      |
|---------------------------------------------------------------------|-------------|--------------------|--------|-------------------|--------------------------------------|------------------|-------------|-------------------------|-------|------------------|-------------------------|-----|------|
|                                                                     |             |                    |        |                   |                                      |                  |             |                         |       |                  |                         |     |      |
|                                                                     |             | <0.01              | <0.001 |                   | ЕКО                                  | Na <sup>2+</sup> |             |                         |       |                  | %                       |     |      |
| Разр. 14 Солончак соровый (Заиграевский р-н, берег оз. Гуджирное)   |             |                    |        |                   |                                      |                  |             |                         |       |                  |                         |     |      |
| 1-й слой                                                            | 0—22        | 15.5               | 3.7    | 9.0               | 10.0                                 | 5.2              | 2.45        | 7.7                     | 0.3   | 0.02             | —                       | 3.7 | 31.1 |
| 2-й слой                                                            | 22—53       | 12.4               | 3.1    | 8.7               | 3.0                                  | 0.4              | 0.17        | 0.2                     | 0.1   | 0.007            | —                       | 1.2 | 5.3  |
| Разр. 3 Солончак типичный (Иволгинский р-н, борт оз. Белое)         |             |                    |        |                   |                                      |                  |             |                         |       |                  |                         |     |      |
| S[Ао]                                                               | 0—3         | 16.6               | 4.1    | 8.0               | 20.0                                 | 5.8              | 1.32        | 1.7                     | 4.2   | 0.29             | 1.12                    | 9.4 | 40.6 |
| S[АJ]                                                               | 3—27        | 17.2               | 2.4    | 8.2               | 11.0                                 | 8.5              | 1.18        | 1.3                     | 1.7   | 0.12             | 0.95                    | 8.0 | 38.2 |
| BCas                                                                | 27—45       | 31.2               | 11.0   | 8.5               | 8.0                                  | 7.0              | 0.69        | 7.0                     | 0.6   | 0.10             | 0.64                    | 3.6 | 36.7 |
| BCsa, s                                                             | 45—62       | 29.6               | 10.7   | 8.1               | 12.1                                 | 7.3              | 0.56        | 1.6                     | 0.4   | 0.10             | 0.21                    | 1.1 | 31.4 |
| 1Csa, s                                                             | 62—85       | 24.9               | 1.5    | 8.2               | 8.3                                  | 6.0              | 0.46        | 3.5                     | 0.4   | 0.08             | 0.09                    | 0.7 | 27.5 |
| 2Csa, s                                                             | 85—110      | 38.2               | 1.9    | 8.1               | 12.0                                 | 8.4              | 0.73        | 1.5                     | 0.4   | 0.07             | 0.07                    | 0.9 | 37.4 |
| Разр. 5 Солончак типичный (Иволгинский р-н, равнина оз. Белое)      |             |                    |        |                   |                                      |                  |             |                         |       |                  |                         |     |      |
| S[Ао]                                                               | 0—4         | 25.9               | 11.1   | 7.9               | 11.0                                 | 0.4              | 1.21        | 4.4                     | 3.1   | 0.17             | 0.72                    | 8.8 | 55.5 |
| S[АJ]                                                               | 4—26        | 39.4               | 17.6   | 8.1               | 17.0                                 | 2.2              | 0.36        | 9.9                     | 2.1   | 0.18             | 0.35                    | 5.6 | 13.6 |
| Bs                                                                  | 26—43       | 14.8               | 10.5   | 7.8               | 7.0                                  | 0.4              | 0.16        | 0.2                     | 0.6   | 0.06             | 0.05                    | 0.4 | 4.1  |
| C                                                                   | 43—70       | 7.1                | 5.2    | 7.8               | 5.0                                  | 0.4              | 0.10        | 0.2                     | 0.7   | 0.03             | 0.06                    | 0.9 | 4.1  |
| Разр. 11 Солончак глеевый (Джидинский р-н, берег оз. Каменный ключ) |             |                    |        |                   |                                      |                  |             |                         |       |                  |                         |     |      |
| S[Ао]                                                               | 0—2         | 27.7               | 4.8    | 8.9               | 38.0                                 | 10.4             | 1.58        | 2.8                     | 3.2   | 0.18             | 2.15                    | 1.5 | 65.3 |
| S[АJ]                                                               | 2—9         | 24.3               | 3.2    | 8.7               | 18.0                                 | 8.3              | 1.23        | 2.0                     | 2.4   | 0.13             | 1.72                    | 1.2 | 27.7 |
| BCas                                                                | 9—23        | 20.5               | 3.9    | 8.7               | 33.0                                 | 2.2              | 0.31        | 3.8                     | 0.5   | 0.04             | 0.68                    | 1.2 | 12.1 |
| Bca, s                                                              | 23—43       | 26.9               | 4.2    | 8.9               | 19.0                                 | 4.8              | 0.54        | 1.7                     | 1.4   | 0.06             | 0.85                    | 1.1 | 20.7 |
| Gs, ca                                                              | 43—60       | 27.7               | 3.9    | 8.6               | —                                    | —                | 0.24        | 5.5                     | 0.8   | 0.08             | 0.09                    | 0.7 | 17.4 |
| CGs, ca                                                             | 60—80       | 35.3               | 4.2    | 8.7               | —                                    | —                | 0.23        | 4.6                     | 1.0   | 0.06             | 0.10                    | 0.5 | 17.4 |

Примечание. Прочерк — нет данных.

корни высушивали до воздушно-сухого состояния и взвешивали (табл. 2).

В растительных образцах определяли по [45]: сухое вещество, сырую золу, после мокрого озоления в растениях – общий азот, фосфор – фотометрическим методом, калий и натрий – пламенно-фотометрическим методом, после сухого озоления – кальций и магний комплексометрическим методом; серу – турбидиметрическим методом [46], кремний – по Ермакову [47]. Относительная ошибка средней макроэлементного состава видов растений составляла в однолетниках – 2.7–4.2, в многолетниках – 1.5–4.7%. Полученные данные обработаны с помощью методов математической статистики в среде Microsoft Excel.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В аридной фазе климатического цикла происходит расширение площадей галофитной растительности за счет высыхания соленых озер, особенно мелкоконтурных. В наибольшей степени возрастает площадь пионерной галофитной растительности с доминированием однолетних *Chenopodiaceae* и галофитных лугов. Прибрежная флора соленых озер Юго-Западного Забайкалья включает 51 вид растений, принадлежащих 37 родам и 19 семействам, что составляет 2.4% флоры региона. По количеству видов и родов ведущими семействами являются *Chenopodiaceae* (25.4% видов), *Asteraceae* (19.6%), *Рoaceae* (11.7%) и *Сурегасеae* (7.8%). Три семейства содержат по 2 вида, остальные 12 представлены одним видом [48]. Видовой состав сообществ, расположенный на трансекте: урез озера Белое (Оронгойское) – береговой склон – приозерная галоксероморфная степь в значительной степени обусловлен изменением увлажнения и количества солерастворимых солей.

Таблица 2. Биологическая продуктивность галофитных и галоксерофитных сообществ, прилегающим к соленатым озерам, г сухой массы/м<sup>2</sup>/год

| Сообщество        | Общая<br>фитомасса | Надземная ( <i>n</i> = 5) |              | Подземная ( <i>n</i> = 3) |              | Надземная/<br>Подземная |
|-------------------|--------------------|---------------------------|--------------|---------------------------|--------------|-------------------------|
|                   |                    | <i>M</i> ± <i>m</i>       | <i>V</i> , % | <i>M</i> ± <i>m</i>       | <i>V</i> , % |                         |
| оз. Гуджирное     |                    |                           |              |                           |              |                         |
| Сведовое          | 1680               | 156 ± 12                  | 17.3         | 1530 ± 50                 | 5.4          | 1 : 9.8                 |
| Ползунковое       | 2820               | 245 ± 12                  | 11.0         | 2570 ± 220                | 15.1         | 1 : 10.5                |
| оз. Белое         |                    |                           |              |                           |              |                         |
| Сведо-солеросовое | 2070               | 199 ± 14                  | 15.2         | 1870 ± 110                | 10.1         | 1 : 9.4                 |
| Ползунковое       | 3080               | 268 ± 14                  | 11.8         | 2810 ± 190                | 11.5         | 1 : 10.5                |
| Чиевое            | 1490               | 165 ± 15                  | 20.4         | 1320 ± 120                | 16.0         | 1 : 8.0                 |
| Ирисовое          | 1650               | 180 ± 15                  | 18.9         | 1470 ± 30                 | 3.9          | 1 : 8.1                 |
| Леймусовое        | 2300               | 245 ± 9                   | 8.2          | 2050 ± 70                 | 6.0          | 1 : 8.4                 |
| оз. Каменный Ключ |                    |                           |              |                           |              |                         |
| Ползунковое       | 2830               | 259 ± 26                  | 22.3         | 2570 ± 170                | 11.3         | 1 : 9.9                 |
| Чиевое            | 1580               | 149 ± 13                  | 19.8         | 1440 ± 120                | 14.0         | 1 : 9.6                 |

Однолетние галофиты в надземной фитомассе содержат значительное количество золы: *Salicornia perennans* – 24.3% и *Suaeda sibirica* – 21.3%, в подземной же фитомассе – ≤10–12%. Установлены общие закономерности: 1 – наибольшая аккумуляция макроэлементов надземной фитомассой по сравнению с подземной; 2 – отношение К : Na <1.0; 3 – превышение содержания Mg над Ca; 4 – разная по длительности образования мортмасса характеризовалась высокой кремнистостью и концентрациями S, Fe и Mg при минимальном количестве K, а соотношение К : Na составляло 0.03–0.04. Аккумулятивный ряд был макроэлементов выражен следующим образом:

в однолетниках – *Salicornia perennans*  
надземная фитомасса – Si>Na>S>Mg>K>Ca>P  
подземная фитомасса – Si>S>Na>Mg>Ca>K>P’

*Suaeda sibirica*  
надземная фитомасса – Si>S>Mg>Na>Ca>K>P  
подземная фитомасса – Si>S>Na>Mg>Ca>K>P’

в многолетниках – *Knorringia sibirica*  
надземная фитомасса – Si>S>Na>Ca>Mg>K>P  
подземная фитомасса – Si>Ca>S>Na>Mg>K>P’

*Halerpestes salsuginosa*  
надземная фитомасса – Si>S>Na=K>Ca>Mg>P  
подземная фитомасса – Si>S>K>P>Mg=Na>Ca’

в мортмассе  
срок 1 год – Si>S>Na>Ca>Mg>P>K  
срок 3 года – Si>S>Mg>Na>Ca>P>K’

Сравнение полученных данных с минеральным составом видов сведо-солеросового сообщества, произрастающим на солончаке глеевом (борт оз. Белое)

показало, что в анаэробных условиях и илистом гранулометрическом составе защитная роль кремния не была выраженной для однолетников. *Salicornia perennans* и *Suaeda sibirica* содержали гипервысокое количество золы, S и Na, соотношение К : Na составляло 0.19 и 0.08 соответственно, тогда как многолетники имели благоприятный зольный состав (табл. 3).

Многолетние галофиты формируют сообщество на мортмассе соленакапливающих видов, в основном *Salicornia perennans*, на 2–3-й год после его отмирания. Химический состав мортмассы однолетников значительно отличается от их надземной и подземной частей. Особенностью зольного состава фитомассы соленакапливающих однолетних и солевыводящих многолетних галофитов, произрастающих на почвогрунтах отмели с аэробными условиями, является наличие большого количества кремния. Несмотря на то, что галофиты имеют специфические механизмы солеустойчивости, высокие концентрации Si оказывают защитное воздействие при биотических и абиотических стрессах, уменьшая поглощение Na и S, улучшая содержание и соотношение макро- и микроэлементов, а мортмасса однолетников является субстратом для произрастания многолетних галофитов.

Согласно [49], биологическая продуктивность сообществ, произрастающих на солончаках, отнесена преимущественно к нормальному и повышенному уровням (табл. 2).

Диапазон минерализованности почвенного раствора, в котором то или иное растение может нормально расти и возобновляться, у разных видов неодинаков. Эти различия позволили объединить растения в следующие группы: 1 – гипергалофиты, 2 – эугалофиты, 3 – галотолерантные гликофиты.

По содержанию золы в растениях побережья соленых озер Забайкалья гипергалофиты представлены *Salicornia perennans* (38.8), *Suaeda sibirica*, *S. prostrata* (18.8–35.2), *Atriplex fera*, *A. sibirica* (19.6–25.5%). Известно, что при зольности растений 15–20% и больше травянистая галофитная растительность уже обогащает верхние горизонты почв сернокислыми солями натрия, т.е. происходит биологическое засоление почв. Это подтверждено нашими данными (рис. 1, табл. 3), где отмечено очень большое содержание Na и S в этих видах растений [50].

Другой особенностью гипергалофитов является существенное превышение количества Mg в золе над Ca, а также величина соотношения К : Na. У галофитов ферменты также чувствительны к присутствию ионов

**Таблица 3.** Содержание макроэлементов в сухом веществе (над чертой) и золе (под чертой) в растениях сообществ обсохшей отмели прибрежной зоны соленых озер, %

| Вид                                         | N    | Зола  | P                  | K                   | Ca                 | Mg                  | Na                  | S                   | Si                 |
|---------------------------------------------|------|-------|--------------------|---------------------|--------------------|---------------------|---------------------|---------------------|--------------------|
| Пионерные группировки (оз. Додо-Гол)        |      |       |                    |                     |                    |                     |                     |                     |                    |
| <i>Suaeda sibirica</i>                      | 3.92 | 25.2  | <u>0.33</u><br>1.3 | <u>0.78</u><br>3.1  | <u>0.07</u><br>0.3 | <u>0.47</u><br>1.9  | <u>7.25</u><br>28.8 | <u>6.19</u><br>24.6 | <u>0.61</u><br>2.4 |
| <i>Suaeda prostrata</i>                     | 1.80 | 18.80 | <u>0.19</u><br>1.0 | <u>1.82</u><br>9.7  | <u>0.61</u><br>3.2 | <u>1.39</u><br>7.4  | <u>4.84</u><br>25.7 | <u>5.50</u><br>18.6 | <u>0.76</u><br>4.0 |
| <i>Knorringia sibirica</i>                  | 2.80 | 9.41  | <u>0.27</u><br>2.9 | <u>0.63</u><br>6.7  | <u>0.44</u><br>4.7 | <u>1.04</u><br>11.0 | <u>1.68</u><br>17.9 | <u>0.55</u><br>5.8  | <u>0.65</u><br>7.6 |
| <i>Artemisia anethifolia</i>                | 3.27 | 7.29  | <u>0.32</u><br>4.4 | <u>0.64</u><br>8.8  | <u>0.10</u><br>1.4 | <u>0.38</u><br>5.2  | <u>0.93</u><br>12.8 | <u>0.27</u><br>3.7  | <u>0.62</u><br>5.6 |
| Солончаково-ползунковое (оз. Гуджирное)     |      |       |                    |                     |                    |                     |                     |                     |                    |
| <i>Halerpestes salsuginosa</i>              | 1.57 | 12.9  | <u>0.37</u><br>2.9 | <u>1.65</u><br>12.8 | <u>0.46</u><br>3.6 | <u>0.64</u><br>5.0  | <u>1.72</u><br>13.4 | <u>2.02</u><br>15.7 | <u>0.93</u><br>7.2 |
| <i>Suaeda corniculata</i>                   | 1.93 | 27.5  | <u>0.16</u><br>0.6 | <u>1.17</u><br>4.2  | <u>0.35</u><br>1.3 | <u>0.72</u><br>2.6  | <u>7.14</u><br>25.9 | <u>6.83</u><br>24.8 | <u>0.87</u><br>3.2 |
| Пионерные группировки (оз. Белое)           |      |       |                    |                     |                    |                     |                     |                     |                    |
| <i>Salicornia perennans</i>                 | 2.02 | 38.8  | <u>0.20</u><br>0.5 | <u>1.57</u><br>4.0  | <u>0.34</u><br>0.9 | <u>1.55</u><br>4.0  | <u>8.41</u><br>21.7 | <u>6.26</u><br>16.1 | <u>0.73</u><br>1.9 |
| <i>Suaeda sibirica</i>                      | 1.23 | 35.3  | <u>0.23</u><br>0.7 | <u>0.61</u><br>1.7  | <u>0.86</u><br>2.4 | <u>2.14</u><br>6.1  | <u>7.91</u><br>22.4 | <u>8.03</u><br>22.8 | <u>0.81</u><br>2.3 |
| <i>Knorringia sibirica</i>                  | 2.45 | 10.8  | <u>0.31</u><br>2.9 | <u>0.73</u><br>6.8  | <u>0.62</u><br>5.8 | <u>1.12</u><br>10.4 | <u>2.15</u><br>20.0 | <u>0.84</u><br>7.8  | <u>0.57</u><br>5.3 |
| <i>Halerpestes subsuginosa</i>              | 2.24 | 10.5  | <u>0.48</u><br>4.6 | <u>1.18</u><br>11.2 | <u>0.27</u><br>2.6 | <u>0.77</u><br>7.3  | <u>0.94</u><br>9.0  | <u>1.10</u><br>10.5 | <u>0.60</u><br>5.7 |
| Солончаково-ползунковое (оз. Каменный Ключ) |      |       |                    |                     |                    |                     |                     |                     |                    |
| <i>Halerpestes salsuginosa</i>              | 1.21 | 11.3  | <u>0.34</u><br>3.0 | <u>1.74</u><br>15.4 | <u>0.34</u><br>3.0 | <u>0.53</u><br>4.7  | <u>1.68</u><br>14.9 | <u>1.82</u><br>16.2 | <u>0.84</u><br>7.5 |

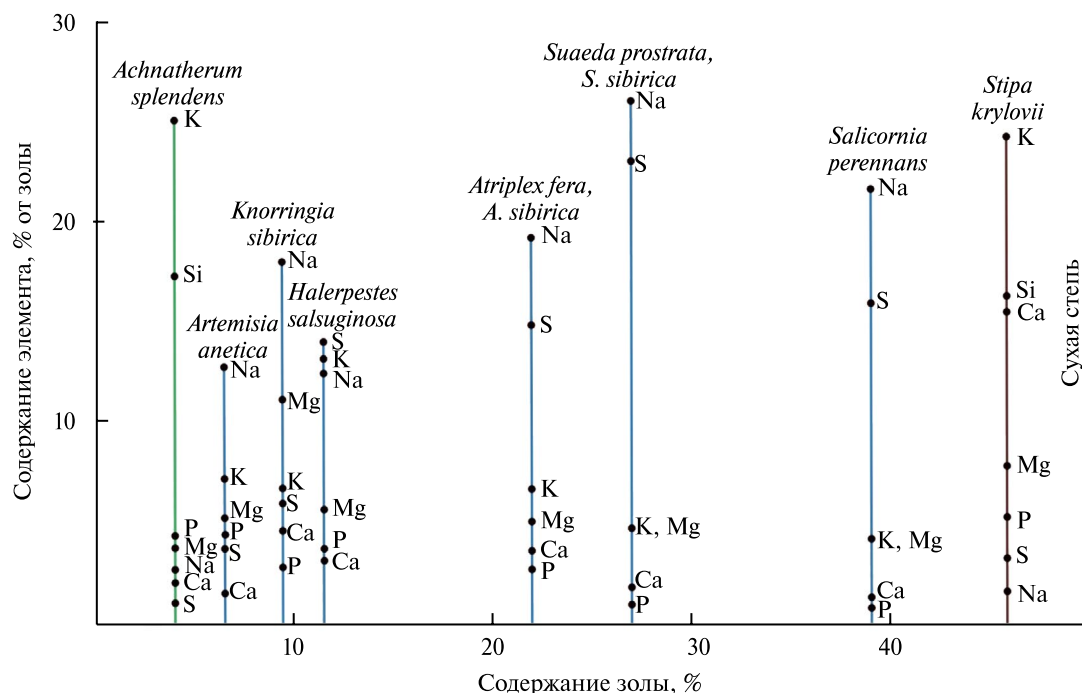


Рис. 1. Содержание макроэлементов в золе растений побережий соленых озер.

натрия, как и у гликофитов, и ионы натрия у них в основном локализуются в вакуолях, а не в цитоплазме [51]. Именно соотношение между концентрацией ионов калия и натрия регулирует солеустойчивость растений. В гипергалофитах величина  $K : Na$  варьирует в пределах 0.08–0.39. Аккумулятивный ряд макроэлементов в этой группе выражен следующим образом:  $Na > S > K = Mg > Ca > P$ .

У второй группы галофитов (эугалофиты), к которой принадлежат *Artemisia anethifolia*, *Knorringia sibirica*, *Halerpestes salsuginosa*, содержание золы составляет от 6 до 12%. Здесь также выявлено превышение  $Mg$  в золе над  $Ca$ , и увеличение соотношения  $K : Na$  до 0.68–1.35, т.е. происходит возрастание концентрации  $K$ . Аккумуляция макроэлементов у эугалофитов зависит от видовых особенностей и почвенно-экологических условий их произрастания, которые могут существенным образом различаться.

К 3-й группе (галотолерантные гликофиты) отнесено довольно большое количество видов, произрастающих как в галофитных лугах, так и галоксероморфной степи. Но, как правило, преобладают сообщества с *Achnatherum splendens*, *Leymus chinensis*, *Iris biglumis* и др. (табл. 4).

Несмотря на значительное содержание  $K$  и  $Si$  в золе *Achnatherum splendens* (рис. 1) и существенное снижение количества  $S$  и  $Na$ , сохраняется превышение количества  $Mg$  в золе над  $Ca$ , что отсутствует в гликофитах сухой степи (*Stipa krylovii*). Величина  $K : Na$  возрастает до 4–21. Для этой группы аккумулятивный ряд

расположен в следующем порядке:  $K > Si > P > Mg > Na > Ca > S$ . Для сравнения отметим, что для элементов в золе растений Мировой суши характерен иной ряд аккумуляции макроэлементов ( $Ca > K > Si > S > Mg > P > Na$ ) [52].

По совокупности содержания  $K$ ,  $Ca$ ,  $Mg$ ,  $Na$ ,  $Si$  в доминантах и содоминантах сообществ, произрастающих на разных типах солончаков, виды существенно различались (рис. 2).

Наибольшее их количество отмечено у однолетних семейств *Chenopodiaceae* за счет высокого содержания натрия. Наименьшее — у видов, произрастающих на приозерных равнинах (рис. 2д). Следует отметить вариабельность совокупности макроэлементов у *Halerpestes salsuginosa*, что обусловлено различием почвенных условий произрастания.

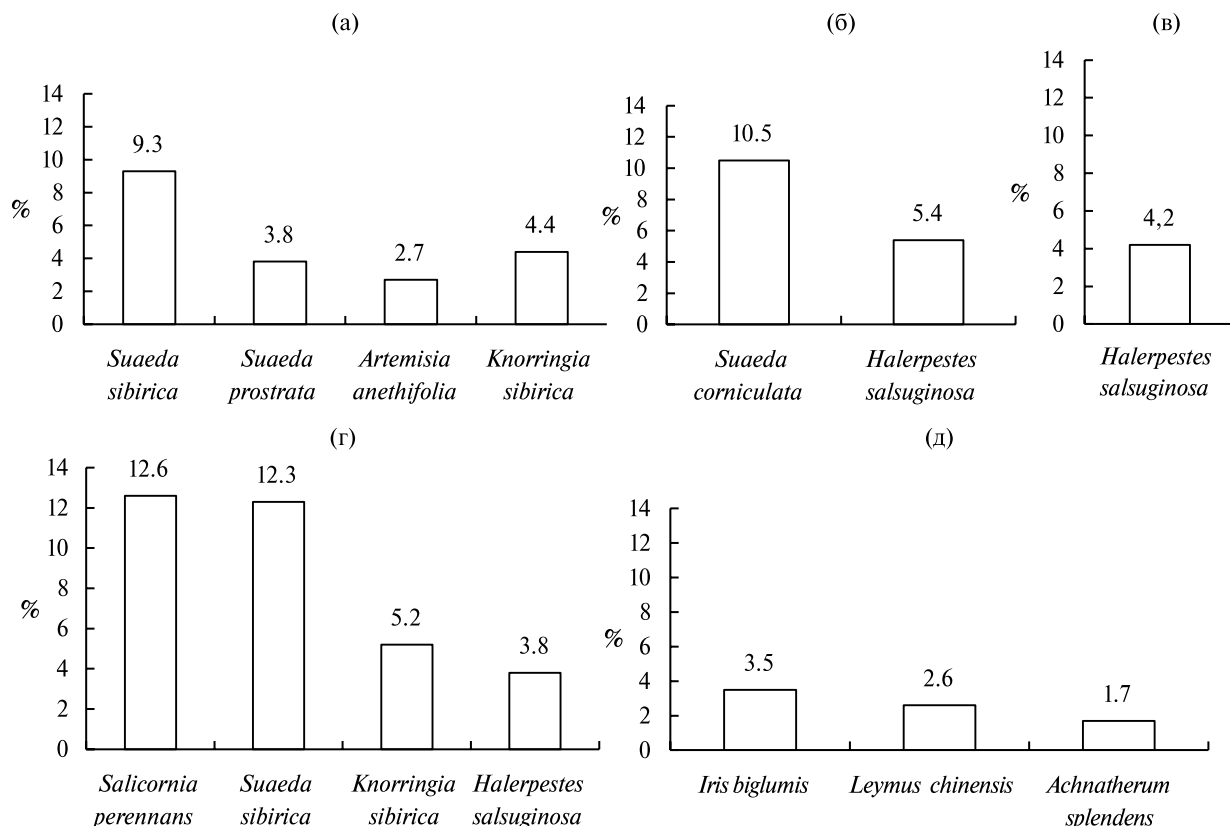
Для оценки соответствия уровня содержания макроэлементов в растениях засоленных местообитаний приведены их соотношения (табл. 5).

Виды характеризовались относительно повышенным и высоким количеством азота и золы, что является благоприятным фактором питательности растительного корма (табл. 3, 4).

Выявлено, что по величине соотношения  $Ca : P$  нормативам соответствуют только 14 видов или 44% изученных растений, по  $K : (Ca + Mg)$  — 5 видов или 16%, по  $K : Na$  — 4 вида или 12.5%. Однако учитывая, что различные виды растений поедаются в разное время года [30–32], все они являются пастбищным

**Таблица 4.** Содержание макроэлементов в сухом веществе (над чертой) и золе (под чертой) в растениях сообществ приозерной равнины солоноводного озера Белое, %

| Вид растения                   | N    | Зола  | P                   | K                   | Ca                   | Mg                   | Na                   | S                    |
|--------------------------------|------|-------|---------------------|---------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| Чиевое                         |      |       |                     |                     |                      |                      |                      |                      |
| <i>Achnatherum splendens</i>   | 1.69 | 4.06  | <u>0.17</u><br>4.19 | <u>1.03</u><br>25.4 | <u>0.08</u><br>1.97  | <u>0.16</u><br>3.94  | <u>0.09</u><br>2.22  | <u>0.04</u><br>0.98  |
| <i>Leymus chinensis</i>        | 1.49 | 7.38  | <u>0.14</u><br>1.90 | <u>1.38</u><br>18.7 | <u>0.22</u><br>2.98  | <u>0.42</u><br>5.69  | <u>0.33</u><br>4.47  | <u>0.24</u><br>3.25  |
| <i>Bromopsis inermis</i>       | 1.37 | 8.68  | <u>0.13</u><br>1.50 | <u>1.56</u><br>18.0 | <u>0.18</u><br>2.07  | <u>0.33</u><br>3.80  | <u>0.12</u><br>1.38  | <u>0.22</u><br>2.53  |
| <i>Potentilla bifurca</i>      | 1.89 | 10.27 | <u>0.27</u><br>2.63 | <u>1.65</u><br>16.1 | <u>0.36</u><br>3.51  | <u>0.78</u><br>7.60  | <u>0.35</u><br>3.41  | <u>0.31</u><br>3.02  |
| <i>Carex duriuscula</i>        | 1.96 | 6.89  | <u>0.21</u><br>3.05 | <u>1.14</u><br>16.5 | <u>0.41</u><br>5.95  | <u>0.62</u><br>9.00  | <u>0.16</u><br>2.32  | <u>0.15</u><br>2.18  |
| <i>Artemisia anethifolia</i>   | 1.92 | 5.91  | <u>0.22</u><br>3.72 | <u>0.82</u><br>13.9 | <u>0.26</u><br>4.40  | <u>0.31</u><br>5.24  | <u>0.25</u><br>4.23  | <u>0.19</u><br>3.21  |
| Ирисовое                       |      |       |                     |                     |                      |                      |                      |                      |
| <i>Iris biglumis</i>           | 2.34 | 8.37  | <u>0.24</u><br>2.87 | <u>2.12</u><br>25.3 | <u>0.38</u><br>4.54  | <u>0.61</u><br>7.29  | <u>0.10</u><br>1.19  | <u>0.40</u><br>4.78  |
| <i>Leymus chinensis</i>        | 1.65 | 7.86  | <u>0.19</u><br>2.42 | <u>1.44</u><br>18.3 | <u>0.33</u><br>4.20  | <u>0.51</u><br>6.49  | <u>0.12</u><br>1.53  | <u>0.26</u><br>3.31  |
| <i>Puccinellia tenuiflora</i>  | 1.67 | 6.95  | <u>0.31</u><br>4.46 | <u>0.84</u><br>12.1 | <u>0.68</u><br>9.78  | <u>0.88</u><br>12.66 | <u>0.62</u><br>8.92  | <u>0.79</u><br>11.37 |
| <i>Potentilla bifurca</i>      | 1.73 | 11.07 | <u>0.33</u><br>2.98 | <u>1.27</u><br>11.5 | <u>0.56</u><br>5.06  | <u>0.68</u><br>6.14  | <u>0.21</u><br>1.90  | <u>0.26</u><br>2.35  |
| <i>Medicago falcata</i>        | 2.67 | 8.71  | <u>0.31</u><br>3.56 | <u>1.28</u><br>14.7 | <u>1.14</u><br>13.09 | <u>0.45</u><br>5.17  | <u>0.14</u><br>1.61  | <u>0.17</u><br>1.95  |
| <i>Atriplex fera</i>           | 1.79 | 19.57 | <u>0.50</u><br>2.56 | <u>1.12</u><br>5.71 | <u>0.44</u><br>2.26  | <u>0.45</u><br>2.30  | <u>3.59</u><br>18.40 | <u>2.65</u><br>13.60 |
| <i>Atriplex sibirica</i>       | 2.30 | 25.51 | <u>0.35</u><br>1.37 | <u>2.00</u><br>7.83 | <u>0.76</u><br>3.00  | <u>0.76</u><br>2.96  | <u>5.10</u><br>20.00 | <u>4.11</u><br>16.10 |
| <i>Artemisia scoparia</i>      | 1.48 | 6.72  | <u>0.29</u><br>4.31 | <u>1.49</u><br>22.2 | <u>1.12</u><br>16.66 | <u>0.46</u><br>6.84  | <u>0.11</u><br>1.64  | <u>0.14</u><br>2.08  |
| <i>Artemisia frigida</i>       | 1.75 | 7.24  | <u>0.31</u><br>4.28 | <u>1.54</u><br>21.3 | <u>1.06</u><br>14.64 | <u>0.78</u><br>10.77 | <u>0.12</u><br>1.66  | <u>0.17</u><br>2.35  |
| <i>Heteropappus altaicus</i>   | 1.74 | 9.14  | <u>0.34</u><br>3.72 | <u>2.43</u><br>26.6 | <u>1.27</u><br>13.89 | <u>0.53</u><br>5.80  | <u>0.16</u><br>1.75  | <u>0.21</u><br>2.30  |
| <i>Potentilla anserina</i>     | 1.87 | 8.11  | <u>0.33</u><br>4.07 | <u>0.96</u><br>11.8 | <u>1.05</u><br>12.95 | <u>0.71</u><br>8.75  | <u>0.14</u><br>1.73  | <u>0.16</u><br>1.97  |
| <i>Carex duriuscula</i>        | 1.61 | 7.17  | <u>0.24</u><br>3.35 | <u>1.02</u><br>14.2 | <u>1.11</u><br>15.48 | <u>0.49</u><br>6.83  | <u>0.09</u><br>1.26  | <u>0.14</u><br>1.95  |
| <i>Caragana pygmaea</i>        | 3.59 | 5.58  | <u>0.19</u><br>3.40 | <u>0.99</u><br>17.7 | <u>1.20</u><br>21.92 | <u>0.38</u><br>6.81  | <u>0.10</u><br>1.79  | <u>0.25</u><br>4.48  |
| Леймусовое                     |      |       |                     |                     |                      |                      |                      |                      |
| <i>Leymus chinensis</i>        | 2.04 | 7.26  | <u>0.23</u><br>3.2  | <u>0.97</u><br>13.4 | <u>0.24</u><br>3.3   | <u>0.19</u><br>2.6   | <u>0.12</u><br>1.7   | <u>0.47</u><br>6.5   |
| <i>Potentilla bifurca</i>      | 1.84 | 11.77 | <u>0.31</u><br>2.6  | <u>1.43</u><br>12.1 | <u>0.49</u><br>4.2   | <u>0.59</u><br>5.0   | <u>0.27</u><br>2.3   | <u>0.26</u><br>2.2   |
| <i>Artemisia anethifolia</i>   | 1.91 | 7.13  | <u>0.28</u><br>3.9  | <u>1.10</u><br>15.4 | <u>0.28</u><br>3.9   | <u>0.38</u><br>5.3   | <u>0.32</u><br>4.5   | <u>0.21</u><br>2.9   |
| <i>Halerpestes salsuginosa</i> | 2.13 | 11.47 | <u>0.39</u><br>3.4  | <u>1.24</u><br>10.8 | <u>0.30</u><br>2.5   | <u>0.48</u><br>4.2   | <u>1.02</u><br>10.6  | <u>1.07</u><br>9.3   |
| Растительность суши            |      |       |                     |                     |                      |                      |                      |                      |
| Добровольский [58]             | 1.90 | —     | 0.20                | 1.10                | 1.50                 | 0.32                 | 0.12                 | 0.48                 |
| Нормы концентрации             |      |       | 0.2—0.35            | 1.2—1.8             | 0.4—0.8              | 0.12—0.26            | 0.2                  | 0.10—0.15            |



**Рис. 2.** Совокупность содержания К, Са, Мг, Na, Si в видах-доминантах и содоминантах сообществ, произрастающих на разных типах солончаков: (а) — пионерные группировки, оз. Додо-Гол; (б) — солончаково-ползунковое, оз. Гуджирное; (в) — солончаково-ползунковое, оз. Каменный Ключ; (г) — сведово-селеросовое, оз. Белое; (д) — доминанты сообществ приозерных равнин.

кормом. Например, *Halerpestes salsuginosa* поедают все виды животных, *Achnatherum splendens* — до начала выметывания метелки и в отаве. *Leymus chinensis* хорошо съедают на пастбище и в сене, он является нажировочным растением. *Iris biglumis* до наступления устойчивых холодов и начала усыхания листьев не поедают, позднее — удовлетворительно. *Artemisia anethifolia* считается нажировочным кормом, улучшающим качество баранины. Виды семейства Chenopodiaceae поедают поздней осенью.

## ВЫВОДЫ

Впервые изучен макроэлементный состав и соотношения макроэлементов в видах и сообществах, произрастающих в сухостепной зоне Западного Забайкалья на приозерных солончаках с разными экологическими условиями.

Однолетние галофиты солесупесчаных полос с разной влажностью грунтов в надземной фитомассе содержат значительное количество золы: *Salicornia*

*perennans* (24.3%) и *Suaeda sibirica* (21.3%), в подземной фитомассе —  $\leq 10\text{--}12\%$ . Установлены общие закономерности: 1 — наибольшая аккумуляция макроэлементов надземной фитомассы по сравнению с подземной; 2 — отношение К : Na  $< 1$ ; 3 — превышение содержания Mg над Ca; 4 — разная по длительности образования мортмасса характеризовалась высокой кремнистостью и концентрациями S, Fe и Mg при минимальном количестве К, а соотношение К : Na составляло 0.03–0.04.

Выявлено, что пионерные многолетники формируются на мортмассе однолетников. Разная по длительности образования мортмасса характеризовалась высокими кремнистостью и концентрациями S, Fe и Mg при минимальном количестве К, а соотношение К : Na составляло 0.03–0.04. Установлено, что биологическая продуктивность этих сообществ характеризуется как нормальная и повышенная (1490–3080 г сухой массы/м<sup>2</sup>/год). Наибольшей продукцией характеризуются солончаково-ползунковые сообщества, сформированные на донных органических остатках обсохших отмелей, наименьшей — чиевники

**Таблица 5.** Соотношение элементов минерального питания в разных видах сообществ прибрежной и равнинной части соленоватых озер

| Вид растений                                | Ca : P  | K : (Ca + Mg) | K : Na |
|---------------------------------------------|---------|---------------|--------|
| Пионерные группировки (оз. Додо-Гол)        |         |               |        |
| <i>Suaeda sibirica</i>                      | 0.2     | 1.4           | 0.1    |
| <i>Suaeda prostrata</i>                     | 3.2     | 0.9           | 0.4    |
| <i>Artemisia anethifolia</i>                | 0.3     | 1.3           | 0.7    |
| <i>Knorringia sibirica</i>                  | 1.6     | 0.4           | 0.4    |
| Солончаково-ползунковое (оз. Гуджирное)     |         |               |        |
| <i>Halerpestes salsuginosa</i>              | 1.2     | 1.5           | 1.0    |
| <i>Suaeda corniculata</i>                   | 2.2     | 1.1           | 0.2    |
| Солончаково-ползунковое (оз. Каменный Ключ) |         |               |        |
| Сообщество                                  | 0.8     | 2.6           | 0.3    |
| <i>Halerpestes salsuginosa</i>              | 1.0     | 2.0           | 0.2    |
| Чиевое (оз. Белое)                          |         |               |        |
| <i>Achnatherum splendens</i>                | 0.5     | 4.3           | 11.4   |
| <i>Leymus chinensis</i>                     | 1.6     | 2.2           | 4.2    |
| <i>Bromopsis inermis</i>                    | 1.4     | 3.1           | 4.7    |
| <i>Potentilla bifurca</i>                   | 1.3     | 1.4           | 7.1    |
| <i>Carex duriuscula</i>                     | 2.0     | 1.1           | 3.3    |
| <i>Artemisia anethifolia</i>                | 1.2     | 1.4           | 22.2   |
| Ирисовое                                    |         |               |        |
| <i>Iris biglumis</i>                        | 1.6     | 2.1           | 21.2   |
| <i>Leymus chinensis</i>                     | 1.7     | 1.7           | 12.0   |
| <i>Puccinellia tenuiflora</i>               | 2.2     | 0.5           | 1.4    |
| <i>Potentilla bifurca</i>                   | 1.7     | 1.0           | 6.1    |
| <i>Medicago falcata</i>                     | 3.7     | 0.8           | 9.1    |
| <i>Atriplex fera</i>                        | 0.9     | 1.3           | 0.3    |
| <i>Atriplex sibirica</i>                    | 2.2     | 1.3           | 0.4    |
| <i>Artemisia scoparia</i>                   | 3.9     | 0.9           | 13.6   |
| <i>Artemisia frigida</i>                    | 3.4     | 0.8           | 12.8   |
| <i>Heteropappus altaicus</i>                | 3.7     | 1.4           | 15.2   |
| <i>Potentilla anserina</i>                  | 3.2     | 0.6           | 6.9    |
| <i>Carex duriuscula</i>                     | 4.3     | 0.6           | 11.34  |
| <i>Caragana pygmaea</i>                     | 6.3     | 0.6           | 9.9    |
| Леймусовое                                  |         |               |        |
| <i>Leymus chinensis</i>                     | 1.0     | 2.2           | 8.1    |
| <i>Potentilla bifurca</i>                   | 1.6     | 1.3           | 5.3    |
| <i>Artemisia anethifolia</i>                | 1.0     | 1.7           | 3.4    |
| <i>Halerpestes salsuginosa</i>              | 1.0     | 1.6           | 1.2    |
| Пределы нормальных соотношений              | 1.2–2.0 | 2.0–2.2       | 3–5    |

приозерных равнин. Подземная фитомасса превышает надземную в 8–10.5 раза. Галофиты существенно различались по соленакопительной активности, содержанию золы и макроэлементов в зависимости от вида и почвенно-экологических условий произрастания в береговой зоне соленоводных озер. Наиболее высокое количество кремния определено в *Halerpestes salsuginosa*. Выявлено, что по совокупности содержания K, Ca, Mg, Na, Si в сухом веществе однолетники семейства Chenopodiaceae доминировали за счет высокого содержания натрия. Большая часть видов

растений не соответствовала нормативам соотношений макроэлементов, особенно K : (Ca + Mg) и K : Na, но учитывая относительно повышенное и высокое количество азота и золы, все они используются в разное время года.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дерюгин И.П., Кулюкин А.Н. Агрохимические основы системы удобрений овощных и плодовых культур. М.: Агропромиздат, 1988. С. 30–35.



2. Subbarao G.V., Ito O., Berry W.L., Wheeler R.M. Sodium – a functional plant nutrient // Crit. Rev. Plant Sci. 2003. V. 22. P. 391–416. <https://doi.org/10.1080/07352680390243495>
3. Мирошниченко Ю.М. Влияние климата и почв на доминирование макроэлементов в растениях пустыни и степей // Фиторазнообразие Восточной Европы. 2007. № 3. С. 204–206.
4. Титлянова А.А. Биологический круговорот азота и зольных элементов в травяных биогеоценозах. Новосибирск: Наука, 1979. 149 с.
5. Bazihizina N., Barrett-Lennard E.G., Colmer T.D. Plant growth and physiology under heterogeneous salinity // Plant Soil. 2012. V. 354. P. 1–19. <https://doi.org/10.1007/s11104-012-1193-8>
6. Убугунов Л.Л., Лаврентьева И.Н., Убугунова В.И., Меркушева М.Г. Разнообразие почв Иволгинской котловины: эколого-агрохимические аспекты. Улан-Удэ: БГСХА, 2000. 208 с.
7. Котенко М.Е., Зубкова Т.А. Влияние засоленных почв на состояние микробного сообщества // Вестн. Казан. ГАУ. 2008. Т. 7. № 1. С. 138–141.
8. Уайтхед Д.С. Минеральные питательные вещества в травах лугов и пастбищ. М., 1970. 68 с.
9. Бгатов А.В. Биогенная классификация химических элементов // Философия науки. 1999. № 2(6). С. 12–24.
10. Brownell P.F. Sodium as an essential micronutrient element for some higher plants // Plant and Soil. 1968. V. 27. № 1. P. 161–164. <https://link.springer.com/article/10.1007/BF01349184>
11. Лархер В. Экология растений. М.: Мир, 1978. 384 с.
12. Takahashi E., Maejima K. Comparative research on sodium as a beneficial element for crop plants // Memoirs of the Faculty of Agriculture of Kinki University (Japan). 1998. V. 31. P. 57–72.
13. Gattward J.N., Almeida A.A.F., Souza J.O., Gomes F.P., Kronzucker H.J. Sodium-potassium synergism in *Theobroma cacao*: stimulation of photosynthesis, water-use efficiency and mineral nutrition // Physiol Plant. 2012. V. 146. P. 350–362. <https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.2012.01621.x>
14. Kronzucker H.J., Coskun D., Schulze L.M., Wong J.R., Britto D.T. Sodium as a nutrient and toxicant // Plant and Soil. 2013. V. 369. P. 1–23. <https://doi.org/10.1007/s11104-013-1801-2>
15. Maathuis F.J.M. Monovalent cation transporters; establishing a link between bioinformatics and physiology // Plant and Soil. 2007. V. 301. P. 1–15. <https://doi.org/10.1007/s11104-007-9429-8>
16. Munns R., Tester M. Mechanisms of salinity tolerance // Annu. Rev. Plant Biol. 2008. V. 59. P. 651–681. <https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.59.032607.092911>
17. Kronzucker H.J., Britto D.T. Sodium transport in plants: a critical review // New Phytol. 2011. V. 189. P. 54–81. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2010.03540.x>
18. Cheeseman J.M. The integration of activity in saline environments: problems and perspectives // Funct. Plant Biol. 2013. <https://doi.org/10.1071/FP12285>
19. Flowers T.J., Colmer T.D. Salinity tolerance in halophytes // New Phytol. 2008. V. 179. P. 945–963. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2008.02531>
20. Aguirre R.A.G., Pinero J.L.H., Estrada A.R., Pournavab R.F., Limon S.M. Microanalysis of leaves of *Atriplex canescens* (Purch) Nutt. under saline conditions // Inter. J. Farm. Allied Sci. 2015. V. 4(1). P. 26–31.
21. Матвиченков В.В. Роль подвижных соединений кремния в растениях и системе почва–растение. Автореф. ... д-ра биол. наук. Пушкино, 2008. 35 с.
22. Bakker N.V.J., Hemminga M.A., Soelen J.V. The relationship between silicon availability, and growth and silicon concentration of the salt marsh halophyte *Spartina anglica* // Plant and Soil. 1999. V. 215. P. 19–27.
23. Mateos-Naranjo E., Andrades-Moreno L., Davy A.J. Silicon alleviates deleterious effects of high salinity on the halophytic grass *Spartina densiflora* // Plant Physiol. Biochem. 2013. V. 63. P. 115–121. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2012.11.015>
24. Шамсутдинов Н.З., Шамсутдинова Э.З., Орловский Н.С., Шамсутдинов З.Ш. Галофиты: особенности экологии, мировые ресурсы, возможности многоцелевого использования // Вестн. РАН. 2017. Т. 87. № 1. С. 3–14. <https://doi.org/10.7868/S086958731611013X>
25. Шамсутдинова Э.Э., Старшинова О.А., Шамсутдинов З.Ш. Галофитное растениеводство: концепция, опыт, перспективы // Достиж. науки и техн. АПК. 2013. № 11. С. 36–39.
26. Шамсутдинов Н.З. Галофиты: ресурсы, экологические особенности, направления использования // Арид экосист. 2002. Т. 8. № 16. С. 106–121.
27. Прокопьев Е.П. Растительный покров поймы Иртыша. Томск, 2012. 560 с.
28. Раббимов А., Бекчанов Б., Мукимов Т. Химический состав и поедаемость некоторых видов галофитов // Арид. экосист. 2011. Т. 17. № 2(47). С. 47–54.
29. Давыдов А.Г. Травы сенокосов и пастбищ Бурятии. Улан-Удэ: Бурят. кн. изд-во, 1984. 144 с.
30. Куликов Г.Г., Цыдыпов Д.Ч., Давыдов А.Г. Растения сенокосов и пастбищ Забайкалья. Улан-Удэ, 1995. 137 с.
31. Бадмаева С.Ц. Кормовая характеристика некоторых видов растений семейства Asteraceae (Compositae) на сенокосах и пастбищах куйтунов Баргузинской долины (Северное Прибайкалье) // Флора, растительность и растительные ресурсы Забайкалья и сопредельных территорий. Чита, 2013. С. 183–188.
32. Засоленные почвы России / Под ред. Л.Л. Шишова, Е.И. Панковой. М.: ИКЦ “Академкнига”, 2006. 854 с.
33. Королук Т.В. Особенности солевой динамики в длительно-сезонно-мерзлых засоленных почвах Южного Забайкалья // Почвоведение. 2014. № 5. С. 515–520. <https://doi.org/10.7868/S0032180X14050098>
34. Панкова Е.И. Засоленные почвы России: решенные и нерешенные проблемы // Почвоведение. 2015. № 2. С. 131–142. <https://doi.org/10.7868/S0032180X15020094>

35. Черноусенко Г.И., Ямнова И.А. О генезисе засоления почв Западного Забайкалья // Почвоведение. 2004. № 4. С. 399–414.
36. Убугунов Л.Л., Меркушева М.Г., Андреева И.М. Натрий в экосистемах Забайкалья и его агрохимическая эффективность. Новосибирск: СО РАН, 2022. 239 с.
37. Национальная стратегия сохранения биоразнообразия России. М., 2012. 129 с.
38. Убугунов Л.Л., Ральдин Б.Б., Убугунова В.И. Почвенный покров Бурятии как базовый компонент природных ресурсов Байкальского региона. Улан-Удэ: БНЦ СО РАН, 2002. 53 с.
39. Пешкова Г.А. Степная флора Байкальской Сибири. М.: Наука, 1972. 207 с.
40. Меркушева М.Г., Убугунов Л.Л., Лаврентьева И.Н. Биопродуктивность и химический состав надземной и подземной фитомассы растительности степных пастбищ Западного Забайкалья // Агрохимия. 2000. № 12. С. 36–44.
41. Буянтуева Л.Б., Алексеева Е.В., Намсараев Б.Б., Дамдинсүрэн Б. Исследование химического состава степных пастбищных растений Бурятии // Вестн. Бурят. гос. ун-та. 2012. № 4. С. 88–91.
42. Меркушева М.Г., Убугунов Л.Л., Гармаев С.Р. Биологический круговорот макро- и микроэлементов в пойменных ценозах Забайкалья. Улан-Удэ: БНЦ СО РАН, 2003. 214 с.
43. Болонева Л.Н., Бадмаева Н.К., Лаврентьева И.Н., Меркушева М.Г. Качественные показатели питательной ценности *Leymus chinensis* (Trin.) Tzvel. Восточного Забайкалья // Химия раст. сырья. 2021. № 3. С. 191–200.
44. Сосорова С.Б., Меркушева М.Г., Болонева Л.Н., Балданова А.Л., Убугунов Л.Л. Содержание микроэлементов в солончаках Западного Забайкалья // Почвоведение. № 4. С. 459–474.
45. Практикум по агрохимии / Под ред. В.Г. Минеева. М.: Изд-во МГУ, 2001. 689 с.
46. Методические указания по определению серы в растениях и кормах растительного происхождения. М.: Росинформагротех, 2004. 8 с.
47. Ермаков А.И. Методы биохимического исследования растений. Л.: Колос, 1972. С. 216–262.
48. Найданов Б.Б. Флора засоленных местообитаний Юго-Западного Забайкалья: кормовая оценка // Вестн. КрасГАУ. 2009. № 11(38). С. 39–43.
49. Уиттеккер Р. Сообщества и экосистемы. М.: Прогресс, 1980. 328 с.
50. Merkusheva M.G., Vishnyakova O.V., Naidanov B.B., Boloneva L.N., Sosorova S.B. Elemental composition and salt-accumulating activity of halophytes in the coastal zone of salt lakes // 13<sup>th</sup> Inter. Conf. on Salt Lake Res.: Book of Abstracts. Ulan-Ude: Buryat State University Publishing Department, 2017. P. 145.
51. Yeo A. Molecular biology of salt tolerance in the context of whole-plant physiology // J. Exp. Bot. 1998. V. 49. P. 915–929.
52. Добровольский В.В. Основы биогеохимии. М.: Академия, 2003. 352 с.

## Macronutrients and Their Ratios in Different Plant Species Growing in Solonchaks of Western Transbaikalia

M. G. Merkusheva<sup>a, #</sup>, L. N. Boloneva<sup>a</sup>, I. N. Lavrentieva<sup>a</sup>, S. B. Sosorova<sup>a</sup>

<sup>a</sup>Institute of General and Experimental Biology SB RAS,  
ul. Sakhyanovoy 6, Ulan-Ude 670047, Russia

<sup>#</sup>E-mail: merkusheva48@mail.ru

The macroelement composition and ratios of macroelements in dominant and co-dominant plants growing on lakeside solonchaks of Western Transbaikalia: from salt-sandy strips on dried shoals with pioneer groupings, side slopes to plains with cheives, irises and leymus communities were studied for the first time. General regularities characterizing their macroelement composition were established for annual halophytes of salt-sand strips of the Beloe Lake shoreline. It has been revealed that pioneer perennials are formed on the mortmass of annuals. Mortmass of different duration of formation was characterized by high silicic content and concentrations of S, Fe, and Mg with a minimal amount of K, and the K : Na ratio was 0.03–0.04. Biological productivity of lakeside saltmarsh communities was determined to be normal and elevated, 1490–3080 g dry mass/m<sup>2</sup>/year. Species differed significantly in the macroelement composition depending on the conditions of growing in the coastal zone of brackish lakes. Common for the chemical composition of plants was a relatively high content of nitrogen and ash. It was found that by the total concentration of K, Ca, Mg, Na, Si in the dry matter, annuals of the *Chenopodiaceae* family dominated due to the high amount of sodium. In spite of non-compliance with the norms of the ratios of most macronutrients in the dry matter of plants, especially by K : (Ca + Mg) and K : Na, all species are used as fodder in different periods of the year.

**Keywords:** lakeside solonchaks, halophytes, haloxerophytes, productivity, macronutrients and their ratio.

УДК 632.93:632.952:633.256(470.333)

## МИКОЦЕНОЗЫ КАРТОФЕЛЯ НА ПОЛЯХ НОВОЗЫБКОВСКОГО РАЙОНА БРЯНСКОЙ ОБЛАСТИ С РАЗНЫМ УРОВНЕМ РАДИОАКТИВНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ И ХОЗЯЙСТВЕННОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ<sup>§</sup>

© 2024 г. С. Н. Михалева<sup>1,\*</sup>, Л. Н. Ульяненко<sup>1</sup>, Н. И. Будынков<sup>1</sup>, А. П. Глинушкин<sup>1</sup><sup>1</sup>Всероссийский научно-исследовательский институт фитопатологии 143050 Московская обл.,  
Одинцовский р-н, р.п. Большие Вяземы, ул. Институт, влад. 5, Россия

\*E-mail: svetlanova-1985@mail.ru

Изучили особенности формирования микоценозов в посадках картофеля, произрастающего на полях с разным уровнем радиоактивного загрязнения и хозяйственного использования. Эксперименты проведены в 1991–1998 гг. на полях Новозыбковской сельскохозяйственной опытной станции в Брянской обл. (плотность загрязнения  $^{137}\text{Cs} = 1.2 \pm 0.2 \text{ МБк/м}^2$ ) и выведенных из хозяйственного использования угодьях СХПК “Комсомолец” ( $^{137}\text{Cs} > 1.8 \text{ МБк/м}^2$ ). Отмечены различия в пораженности растений картофеля болезнями в полевом мелкоделяночном опыте (1992 г.) в зависимости от внесенных удобрений (фон – ТНК или дополнительно  $\text{НРК} + \text{Mg}$ ), их сбалансированности (разные дозы элементов питания), а также агротехники возделывания. В вариантах с внесением  $\text{НРК} + \text{Mg}$  и применением гербицида Прометрин СК или гумата натрия выявлено достоверное снижение пораженности клубней паршой обыкновенной на 25–60%. Погодные условия оказывали влияние на развитие патогенов. В 1994 г. наиболее активно в посадках картофеля развивался ризоктониоз и на клубнях – парша обыкновенная ( $\text{ГТК}_{\text{май–август}} = 2.35$ , что значительно выше среднееголетней нормы за 1991–1998 гг. – 1.35). В опыте на картофеле сорта Темп белорусской селекции (1994 г.) показана возможность сдерживания развития возбудителей болезней за счет предпосадочной обработки клубней фунгицидами: при использовании контактного фунгицида ТМТД 80 СП снижение суммарного уровня развития фитопатогенов и сапрофитов было в 1.4 раза меньше, чем в контроле, а при использовании системного фунгицида Текто 450 КС – в 2.3 раза. Применение для предпосадочной обработки клубней картофеля биологически активных веществ (Агат-25К, ТПС, Крезацин, КРП и Эпин-Экстра Р) приводило к снижению пораженности растений фитофторозом в 2.2–4.5 раза, паршой обыкновенной – на 17–32%, ризоктониозом – на 10–36% и более позднему, чем в контроле, развитию болезней, что определяло тактику фунгицидной защиты картофеля в период вегетации. Отмечено повышение урожайности картофеля на 11–29% и достоверное снижение накопления  $^{137}\text{Cs}$  в клубнях на 7–15%.

**Ключевые слова:** микоценоз, картофель, радиоактивное загрязнение, болезни, фитопатогены, протравители, биологически активные вещества.

**DOI:** 10.31857/S0002188124010071

### ВВЕДЕНИЕ

Загрязнение окружающей среды радионуклидами в результате радиационных аварий оказывает влияние на организацию сельскохозяйственного производства на подвергшихся их воздействию территориях. Из многих проблем, возникающих особенно в отдаленный после аварии период развития радиологической ситуации, на первый план выходят вопросы сохранения плодородия почв, охраны окружающей среды и обеспечения экологической

безопасности [1]. Ограничение поступления радионуклидов или тяжелых металлов в организм человека за счет минимизации их перехода в урожай сельскохозяйственных культур обеспечивается внедрением технологий возделывания растений с использованием специальных агротехнических и агрономических приемов и средств [2, 3]. Оправданность этих мероприятий подтверждена опытом преодоления последствий радиационных аварий в агрофлоре. Между тем, негативным аспектом этих приемов является дестабилизирующее влияние на компоненты ценозов, в том числе на микробиоту почв [4–6]. В условиях антропогенного загрязнения микроорганизмы способны быстро

<sup>§</sup>Работа выполнена в рамках совместных НИР с ФГБНУ ВНИИРАЭ в 1992–1998 гг.

адаптироваться и изменять свои физиологические и даже наследственные параметры [7]. При этом происходит перераспределение доминирующего положения представителей структуры микоценоза. Показаны различия в развитии консорциумов фитопатогенной микробиоты, в частности, возбудителей болезней из рода *Fusarium* на злаковых травах и зерновых культурах в зоне отчуждения в разные периоды после аварии (Новозыбковский р-н Брянской обл.) [8]. Отмечено появление ранее нетипичных для региона видов фитопатогенных грибов (*Gloeosporium lupini* Bon., *Colletotrichum coccodes* Wallr., *Rhizoctonia solani* Kiihn.). На растениях ячменя отмечено доминирование фитопатогенов над другими группами грибов, наблюдаются заметные отличия в соотношениях групп микромицетов по сравнению с “чистыми” от радионуклидов территориями [9].

Цель работы – изучение особенностей формирования микоценозов в посадках картофеля, произрастающего на полях с разным уровнем радиоактивного загрязнения, специфики хозяйственного использования и применения различных агротехнических приемов.

## МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследование было проведено в 1991–1998 годах в Новозыбковском р-не Брянской обл. на выведенных из использования после аварии на ЧАЭС сельскохозяйственных угодьях СХПК “Комсомолец” (2 участка с посевами зерновых, люпина и картофеля; плотность загрязнения  $^{137}\text{Cs} > 1.8 \text{ МБк/м}^2$ ) и на опытных полях Новозыбковской сельскохозяйственной опытной станции – филиала ФГБНУ “Федеральный научный центр кормопроизводства и агроэкологии им. В.Р. Вильямса” (плотность загрязнения  $^{137}\text{Cs} = 1.2 \pm 0.2 \text{ МБк/м}^2$ ). Почвы региона дерново-подзолистые песчаные и супесчаные, содержание гумуса  $< 2\%$ , подвижного фосфора – 34–40 и калия – 8–10 мг/100 г почвы, pH 5.4–6.4 [8].

Распространенность болезней и пораженность ими растений оценивали в соответствие со стандартными методиками [10, 11]. Для микологических анализов образцов растений и клубней картофеля возбудителей выделяли в чистые культуры [12], фитоэкспертизу клубней проводили в соответствие с традиционной методикой [13]. Использовали 2 методических подхода к фитопатологическому анализу посадочного материала: 1 – отбирали явно зараженные клубни с очевидными симптомами болезней и 2 – внешне здоровые клубни для микологического анализа эндогенной инфекции, бессимптомно сохраняющейся в здоровых тканях и развивающейся при благоприятных для патогенеза погодных условиях (температура

и влажность воздуха, отсутствие агротехнических приемов сдерживания болезней).

В полевом мелкоделяночном опыте на картофеле сорта Темп белорусской селекции на полях Новозыбковской сельскохозяйственной опытной станции (1994 г.) оценивали влияние специальных мероприятий, направленных на снижение поступления радионуклидов в урожай, а также использования средств защиты растений и агрохимикатов. Схема мелкоделяночного полевого опыта включала 3 блока: вариант А<sub>0</sub> (фоновый) – внесение органических удобрений – торфо-навозный компост (ТНК) 80 т/га, вариант А<sub>1</sub> – внесение ТНК и минеральных удобрений (NPK) – N90P60K120 + Mg40, вариант А<sub>2</sub> – внесение ТНК и повышенных доз минеральных удобрений (N150P120K120 + Mg60). Дозы внесения NPK соответствовали тем, которые способствуют подавлению перехода  $^{137}\text{Cs}$  из почвы в урожай [2]. В каждом из блоков (А<sub>0</sub>, А<sub>1</sub> и А<sub>2</sub>) были предусмотрены варианты без использования средств защиты растений (контроль), а также: с обработкой посадок гербицидом Прометрин СК (500 г/л) – за 3-е сут до всходов культуры, норма применения – 30 мл/100 м<sup>2</sup>, расход рабочего раствора – 3 л/100 м<sup>2</sup>; обработка 1%-ным раствором медного купороса (сульфат меди,  $\text{CuSO}_4$ ) в фазе образования основных побегов (6 л/100 м<sup>2</sup>); обработку 0.1%-ным раствором ортоборной кислоты ( $\text{H}_3\text{BO}_3$ ) по всходам (5 см высоты ботвы) в норме 1 л/м<sup>2</sup> и обработка растений в тот же период гуматом натрия в концентрации 0.035% (3 л/100 м<sup>2</sup>). Повторность опыта четырехкратная. Гербицид Прометрин СК относится к классу триазинов, характеризуется избирательным системным почвенным действием, имеет длительный защитный эффект против однолетних двудольных и злаковых сорняков. Раствор медного купороса применяют в качестве профилактического и лечебного препарата против фитофтороза. Обработка всходов ортоборной кислотой способствует гармоничному развитию растений. Применение гуматов на начальных фазах развития растений или при действии стресс-агентов разной природы способствует повышению адаптивных возможностей организма.

Предпосадочное протравливание клубней проводили 2-мя фунгицидами: ТМТД 80 СП – контактный, защитный фунгицид, д.в. – тирам, норма применения – 2.5 кг/т (целевые объекты – возбудители фитофтороза, парши обыкновенной, мокрой гнили картофеля); Текто 450 КС – системный фунгицид, д.в. – тиабендазол, 0.06 л/т (фузариоз, фомоз, ооспороз, ризоктониоз, парша обыкновенная), норма расхода рабочего раствора – 10 л/т. Повторность опыта четырехкратная. В рамках этого же эксперимента оценивали влияние предпосадочной обработки клубней картофеля суспензией штаммов грибов – антагонистов *Nematogonium*

*auratiacum* и *Dactylella anisomeres* на рост растений картофеля в ранних фазах развития. Активность и нормы применения грибных суспензий определяли опытным путем в лаборатории ВНИИ фитопатологии и составляли  $9 \times 10^8$ – $10^9$  КОЕ/мл.

Для обработки клубней биологически активными веществами использовали: Агат-25К ТПС – 3-индолилуксусная кислота + α-аланин + α-глутаминовая кислота (18 + 60 + 70 мг/кг). Действие препарата направлено в том числе на повышение устойчивости к неблагоприятным факторам среды и болезням, норма применения – 135 г/т, 10 л рабочего раствора/т; Крезацин КРП – ортокрезоксиуксусной кислоты триэтаноламмониевая соль – синтетический аналог фитогормонов из группы ауксинов, регулирует биоантиоксидантный комплекс, действие направлено на повышение урожайности и устойчивости к болезням (1.5 г/т, 10 л/т);

Эпин-Экстра Р – растительный гормон, д.в. – 2,4-эпибрассинолид, 0.025 г/л, обладает антистрессовыми свойствами (20 мл/т, 10 л/т). В качестве варианта-стандарта для обработки клубней был выбран фунгицид Текто КС (0.06 л/т, 10 л рабочего раствора/т). Повторность опыта четырехкратная.

Статистическую обработку экспериментальных данных проводили методом дисперсионного анализа с применением пакета прикладных программ в составе Microsoft Excel 97.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

*Микоценозы картофеля на полях с ведением растениеводства и на отчужденных территориях.* Регион исследования относится к зоне нестабильной вредоносности большинства вредных организмов. Мониторинг фитосанитарного состояния с 1991 по

Таблица 1. Видовая структура микробных ценозов картофеля на полях Новозыбковского р-на Брянской обл.

| Возбудитель болезни                 | Название болезни            | Распространенность возбудителей болезней |               |
|-------------------------------------|-----------------------------|------------------------------------------|---------------|
|                                     |                             | 1992 г.                                  | 1991–1998 гг. |
| <i>Phytophthora infestans</i>       | Фитофтороз                  | +                                        | ++            |
| <i>Colletotrichum coccodes</i>      | Антракноз                   | +                                        | ++            |
| <i>Fusarium oxysporum</i>           | Корневая гниль, трахеомикоз | +                                        | ++            |
| <i>Geotrichum candidum</i>          | Резиновая гниль клубня      | +                                        | +             |
| <i>Phoma exigua</i>                 | Фомоз                       | +                                        | +             |
| <i>Rhizoctonia solani</i>           | Корневая гниль, ризоктониоз | +                                        | +++           |
| <i>Verticillium albo-atrum</i>      | Увядание вертициллезное     | –                                        | +             |
| <i>Pythium debarianum</i>           | Корневая гниль              | +                                        | ++            |
| <i>Erwinia carotovora</i>           | Мокрая гниль клубней        | +                                        | ++            |
| <i>Pectobacterium phytophthorum</i> | Черная ножка картофеля      | +                                        | +             |
| <i>Streptomyces scabies</i>         | Парша обыкновенная          | +                                        | +++           |
| <i>Oospora pustulans</i>            | Бугорчатая парша клубня     | +                                        | +             |
| <i>Alternaria solani</i>            | Альтернариоз (макроспориоз) | +                                        | ++            |
| <i>Ascochyta graminicola</i>        | Аскохитоз (пятнистость)     | –                                        | ++            |
| <i>Botrytis cinerea</i>             | Ботритис (серая гниль)      | –                                        | +             |
| <i>Fusarium culmorum</i>            |                             | +                                        | +             |
| <i>Fusarium moniliforme</i>         | Корневая гниль,             | +                                        | ++            |
| <i>Fusarium nivale</i>              | трахеомикоз                 | +                                        | +             |
| <i>Fusarium solani</i>              |                             | +                                        | +++           |
| <i>Penicillium</i> spp.             | Пеницеллез                  | –                                        | +             |

Примечание. +++ – доминируют (3 балла), ++ – часто встречаются (2 балла), + – редко встречаются (1 балл); прочерк – возбудитель отсутствует. То же в табл. 2–6.

1998 г. на радиоактивно загрязненных территориях Новозыбковского р-на Брянской обл. позволил определить структуру микробных консорциев в посадках картофеля (табл. 1).

Рассчитанный за вегетационный период (май–август) гидротермический коэффициент увлажнения (ГТК по Г.Т. Селянинову) в 1991 г. составил 1.4, в 1992 г. – 0.73 (недостаточное увлажнение), в 1993 г. – 1.58, в 1994 г. – 2.35, в 1995 г. – 1.1, в 1996 г. – 1.23, в 1997 г. – 1.15, в 1998 г. – 1.3, что свидетельствовало о неустойчивом характере погоды. Средний ГТК за период 1991–1998 гг. – 1.35.

Погодные условия 1992 г. характеризовались недостаточным увлажнением – ГТК был в 1.75 раза меньше, чем средний многолетний показатель 1.28. Видовой состав микробиома картофеля на полях Новозыбковского р-на Брянской обл. включал опасные патогены: *Colletotrichum coccodes* Wallr., *Fusarium oxysporum* Schl., *Geotrichum candidum* Link., *Phoma exigua* и *Rhizoctonia solani* Kuhn.

Тенденция нарастания встречаемости в течение 8-летнего периода (1991–1998 гг.) по сравнению с 1992 г. отмечена и для возбудителя фитофтороза (*Phytophthora infestans*), корневой гнили (*Pythium debarianum* Hesse.) и мокрой гнили клубней картофеля (*Erwinia carotovora* subsp. *carotovora*). В течение 6 лет более интенсивно проявлялся *Rhizoctonia solani*, а также – *Colletotrichum coccodes* и *F. oxysporum*. Появился новый вид грибов *Verticillium albo-atrum*, отсутствующий в 1992 г. Активность *Fusarium solani* var. *minus* Wollenw., провоцирующего развитие корневых гнилей и трахеомикозов, а также парши обыкновенной *Streptomyces scabies* (Thaxter) Waksman et Henrici., возросла до 3-х баллов. Прогрессирование других патогенных видов – возбудителей макроспориоза (*Alternaria solani* Sorauer), аскохитоза (*Ascochyta graminicola* Sacc.), корневых гнилей и трахеомикозов (*F. oxysporum* Schl.), нередко в сопровождении токсинообразующего гриба *F. moniliforme* J. Sheld не имело определяющего значения для фитосанитарного состояния посадок картофеля. В целом, как было установлено ранее [8], структура микоценозов зерновых культур, многолетних трав и люпина была типичной для этих культур в средней полосе РФ и не зависела от плотности радиоактивного загрязнения, что оказалось характерно и для картофеля. В то же время на картофеле выявлено снижение распространенности фузариозов, в отличие от усиления их активности на зерновых культурах [8].

На брошенных полях СХПК “Комсомолец”, где спустя 6 лет после аварии на ЧАЭС, в 1992 г. происходило восстановление естественного ценоза, сопровождавшееся изменениями встречаемости отдельных видов патогенов, наблюдали ризоктониозно-антракнозное увядание картофеля,

что не было отмечено на полях с возделыванием культур по специальным технологиям. В посадках картофеля сохранялась вероятность распространения *Colletotrichum coccodes*, *F. oxysporum*, *Pythium debarianum*, *Rhizoctonia solani*, *Streptomyces scabies*, *Fusarium nivale* Fr. Ces. Поскольку перечисленные возбудители болезней в течение длительного времени сохраняются в почве и на растительных остатках, ограничением накопления патогенов является соблюдение научно обоснованных севооборотов с возвратом картофеля не ранее, чем через 3 года. В этот “промежуточный” период возможна стабилизация фитосанитарного состояния полей за счет возделывания культур, не способствующих развитию фитопатогенов картофеля. Собственные исследования на полях Новозыбковской сельскохозяйственной опытной станции (плотность загрязнения  $^{137}\text{Cs} = 1.2 \pm 0.2 \text{ МБк/м}^2$ ), проведенные в 1993 г., показали, что в посевах некоторых нетрадиционных для региона или занимающих незначительную часть посевных площадей культур выявлено либо отсутствие ряда фитопатогенов, либо их незначительное развитие. Эти культуры могли бы играть санитарную роль для посадок картофеля при включении их в схемы севооборотов. К таким культурам можно отнести амарантус (общих для картофеля патогенов на растениях не обнаружено), сераделлу (выявлен только возбудитель аскохитоза, 1 балл пораженности, август), укроп (по 1 баллу пораженности с начала июля до конца августа возбудителями церкоспороза, мучнистой росы, сухой фиолетовой и фузариозной гнилей) и, отчасти, топинамбур (в конце августа выявлена пораженность пятнистостями листьев – 2 балла, белой и серой гнилями, ризопусом/мягкой гнилью клубней). В целом включение в севооборот бобовых (горох, клевер, люцерна, вика) и пропашных (картофель, свекла) культур также лишает возбудителей болезней питания. При этом насыщенность почвы опасной микробиотой может снижаться в 3–10 раз [14].

Пораженность картофеля сорта Темп на полях Новозыбковской сельскохозяйственной опытной станции в период созревания (1993 г.) мало отличалась от проявления болезней на отчужденных полях СХПК “Комсомолец”. Это могло свидетельствовать об общих закономерностях формирования микоценозов картофеля на радиоактивно загрязненных территориях (1–2 МБк/м<sup>2</sup>) (табл. 2).

На следующий год (1994 г.) на картофеле активно встречались *Colletotrichum coccodes*, *F. solani*, *F. nivale*, а также сохранялась вероятность поражения растений фитофторозом, ризоктониозом и паршой обыкновенной. Анализ ризопланы и ризосферы злаковых растений на отчужденных территориях СХПК “Комсомолец” (1994 г. и 1998 г.) [8] показал наличие 5-ти видов возбудителей фузариозов: *F. nivale*, *F. culmorum* Sacc., *F. avenaceum* Sacc., *F. sporotrichiella*

Таблица 2. Пораженность картофеля болезнями в разные сроки вегетации (1993 г.)

| Возбудитель<br>болезни             | Пораженность болезнями в разные сроки вегетации        |                                 |            |                      |
|------------------------------------|--------------------------------------------------------|---------------------------------|------------|----------------------|
|                                    | Новозыбковская сельскохозяйственная<br>опытная станция |                                 |            | СХПК<br>“Комсомолец” |
|                                    | всходы                                                 | бутонизация—<br>начало цветения | созревание | созревание           |
| <i>Phytophthora infestans</i> spp. | —                                                      | 3                               | 3          | 3                    |
| <i>Rhizoctonia solani</i>          | 1                                                      | 2                               | 3          | 3                    |
| <i>Colletotrichum coccodes</i>     | —                                                      | 1                               | 2          | 2                    |
| <i>Phoma exigua</i>                | —                                                      | —                               | 1          | 1                    |
| <i>Fusarium</i> spp.               | 1                                                      | 1                               | 3          | 3                    |
| <i>Alternaria solani</i>           | —                                                      | 1                               | 1          | 1                    |
| <i>Erwinia</i> sp.                 | 1                                                      | —                               | —          |                      |
| <i>Streptomyces scabies</i>        |                                                        | 1                               | 3          | 3                    |

Примечание. Пораженность болезнями: 1 — слабая, 2 — средняя, 3 — сильная.

Таблица 3. Видовой состав патогенов картофеля в посадочном материале (Новозыбковская сельскохозяйственная опытная станция, 1992 г.)

| Виды грибов                     | Активность патогена, балл | Доля от количества обнаруженных колоний, % |                              |
|---------------------------------|---------------------------|--------------------------------------------|------------------------------|
|                                 |                           | эндогенная микофлора<br>проростков         | микофлора гниющих<br>клубней |
| <i>Phytophthora infestans</i>   | 3                         | 1                                          | 5                            |
| <i>Fusarium oxysporum</i>       | 3                         | 2                                          | 20                           |
| <i>Verticillium albo-atrum</i>  | 2                         | 5                                          | —                            |
| <i>Colletotrichum coccodes</i>  | 2                         | 5                                          | 5                            |
| <i>Rhizoctonia solani</i>       | 3                         | 8                                          | 10                           |
| <i>Phoma exigua</i>             | 3                         | 1                                          | 1                            |
| <i>Streptomyces scabies</i>     | 3                         | 5                                          | 5                            |
| <i>Fusarium sambucinum</i>      | 3                         | 10                                         | 20                           |
| <i>Fusarium solani</i>          | 3                         | 5                                          | 10                           |
| <i>Fusarium nivale</i>          | 2                         | 5                                          | 10                           |
| <i>Fusarium moniliforme</i>     | 1                         | 10                                         | —                            |
| <i>Oospora pustulans</i>        | 2                         | 5                                          | 10                           |
| <i>Sclerotinia sclerotiorum</i> | 2                         | 2                                          | —                            |
| <i>Geotrichum candidum</i>      | 2                         | —                                          | 5                            |
| <i>Alternaria alternata</i>     | 1                         | —                                          | 1                            |
| <i>Myrothecium</i> sp.          | —                         | 5                                          | —                            |
| <i>Sporotrichum</i> sp.         | —                         | 3                                          | —                            |
| <i>Mycelia sterilia</i>         | —                         | 28                                         | —                            |

Bilai, *F. oxysporum*. Было сделано заключение о том, что злаковые травы выступают как накопители фузариозной инфекции спустя много лет после прекращения хозяйственной деятельности в результате высокой плотности загрязнения радионуклидами.

Влияние специальных мероприятий, направленных на снижение поступления радионуклидов в урожай,

и применения средств защиты картофеля от вредных организмов и агрохимикатов на развитие болезней картофеля. На картофеле сорта Темп в посадочном материале доминировали грибы из рода *Fusarium*, преимущественно *F. sambucinum*, *F. oxysporum* и *F. solani* (табл. 3).

В эндогенной микофлоре проростков также доминировали грибы из рода *Fusarium* (на их долю

Таблица 4. Развитие болезней картофеля в зависимости от агротехники возделывания

| Доза внесения удобрений                                       | Обработка пестицидами и агрохимикатами | *Антракноз (фаза созревания), % | Клубни (урожай), % |                    |             |
|---------------------------------------------------------------|----------------------------------------|---------------------------------|--------------------|--------------------|-------------|
|                                                               |                                        |                                 | фитофтороз         | парша обыкновенная | ризоктониоз |
| A <sub>0</sub>                                                | Контроль                               | 5                               | 0.01               | 14.2               | 10          |
| ТНК 80 т/га                                                   | Прометрин СК                           | 5                               | 0.01               | 9.2                | 20          |
|                                                               | Гумат натрия 0.035%                    | 15                              | 0.01               | 15.5               | 10          |
|                                                               | 1% CuSO <sub>4</sub>                   | 0                               | 0.01               | 30.0               | 10          |
|                                                               | 0.1% H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>    | 0                               | 0.01               | 15.0               | 10          |
|                                                               | Контроль                               | 40                              | 0.01               | 21.1               | 5           |
| A <sub>1</sub><br>ТНК 80 т/га +<br>+ N90P60K120 +<br>+ Mg40   | Прометрин СК                           | 30                              | 0.01               | 16.4               | 5           |
|                                                               | Гумат натрия 0.035%                    | 20                              | 0.01               | 15.4               | 5           |
|                                                               | 1% CuSO <sub>4</sub>                   | 0                               | 0.01               | 40.0               | 5           |
|                                                               | 0.1% H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>    | 0                               | 0.01               | 20.0               | 5           |
|                                                               | Контроль                               | 25                              | 0.01               | 25.4               | 5           |
| A <sub>2</sub><br>ТНК 80 т/га +<br>+ N150P120K120 +<br>+ Mg60 | Прометрин СК                           | 12                              | 0.01               | 10.4               | 5           |
|                                                               | Гумат натрия 0.035%                    | 20                              | 0.01               | 17.2               | 5           |
|                                                               | 1% CuSO <sub>4</sub>                   | 0                               | 0.01               | 35.0               | 5           |
|                                                               | 0.1% H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>    | 0                               | 0.01               | 25.0               | 5           |
|                                                               | Контроль                               | 2                               | —                  | 2.8                | 1           |
| HCP <sub>05</sub>                                             |                                        |                                 |                    |                    |             |

\* Определяли в лабораторных условиях.

приходилось 32%). При этом следует понимать, что активность эндогенно сохраняющихся грибов нередко приводит к массовому проявлению многих болезней во 2-й половине вегетации. Это особенно характерно для возбудителей фузариозов и ризоктониоза, активность которых на проростках была высокой (инфицирования фузариями 32, ризоктонией — 8%).

В микофлоре гниющих клубней прослежена та же тенденция: на долю грибов из рода *Fusarium* приходилось ≈59, *Rhizoctonia* — 10%. В зависимости от спектра и количества внесенных удобрений (только ТНК или комплекса ТНК + NPK + Mg), их сбалансированности (NPK и Mg в разных дозах), а также применения средств защиты растений и агрохимикатов отмечены разные показатели пораженности растений картофеля болезнями. Пораженность антракнозом в вариантах с внесением минеральных удобрений была больше, чем на фоне ТНК: максимальные показатели пораженности в фазе созревания (увядания стеблей) выявлены в блоке A<sub>1</sub> в контроле (40%) и при дождевой обработке посадок картофеля гербицидом (30%). Повышение доз внесения Mg с 40 до 60 (блок A<sub>2</sub>) способствовало снижению пораженности растений антракнозом. Развитие фитофтороза было

незначительным (0.1%) во всех вариантах опыта (табл. 4).

Пораженность растений ризоктониозом при внесении минеральных удобрений (блоки A<sub>1</sub> и A<sub>2</sub>) составила 5%. На фоне ТНК пораженность ризоктониозом была в 2 раза больше: 10% — в контроле и при внесении агрохимикатов, и в 4 раза — в варианте Прометрин СК. Обращает на себя внимание, что при использовании гумата натрия пораженность антракнозом составляла 15–20% независимо от отсутствия или внесения минеральных удобрений. В то же время на фоне только ТНК пораженность антракнозом была в 3 раза больше, чем в контроле, в других блоках — напротив, меньше, т.е. отмечено положительное влияние минеральных удобрений, в частности, в блоке A<sub>1</sub> — снижение пораженности на 50%.

Пораженность клубней паршой обыкновенной значительно отличалась в зависимости от внесенных удобрений, их сбалансированности, а также применения средств защиты растений и агрохимикатов. В целом развитие парши было больше в блоках с внесением NPK, чем в менее удобренных вариантах. Только в вариантах с применением Прометрина СК и гумата натрия в удобренных вариантах отмечено снижение пораженности паршой на 25–60%, тогда как в блоке A<sub>0</sub> на фоне



гумата натрия пораженность болезнью соответствовала ее уровню в контроле.

Таким образом, развитие болезней картофеля зависело от их этиологии, доз внесения минеральных удобрений, применения средств защиты растений от вредных организмов, а также агрохимикатов, что необходимо принимать во внимание при разработке адресных систем защиты растений от вредных организмов в технологиях возделывания культуры на радиоактивно загрязненных территориях.

Влияние предпосадочной обработки клубней протравителями на микоценоз картофеля. В связи с тем, что в посадках картофеля, особенно на отчужденных полях (1992 г.), значительно

распространились антракноз, ризоктониоз и парша обыкновенная клубней картофеля, необходимо было апробировать приемы, сдерживающие развитие болезней, в частности, предпосадочную обработку клубней фунгицидами.

Фитоэкспертиза клубней показала, что в структуре глубинной микрофлоры клубней картофеля сорта Темп преобладал *F. nivale* – 45%, на долю возбудителя сухой гнили *F. sambucinum* приходилось 15%, а возбудителя мокрой бактериальной гнили *Erwinia carotovora* – 20%. При посадке таких клубней в лабораторных условиях в песок происходило их полное гнивание. Среди поверхностной инфекции доминировал возбудитель парши обыкновенной *Streptomyces scabies* (20%), а также

Таблица 5. Влияние предпосадочной обработки фунгицидными протравителями клубней картофеля сорта Темп на микробиоту корней и стеблей картофеля (1994 г.)

| Виды грибов                                     | Развитие грибов в фазе цветения картофеля |          |   |                         |   |                            |   |
|-------------------------------------------------|-------------------------------------------|----------|---|-------------------------|---|----------------------------|---|
|                                                 | почва                                     | контроль |   | ТМТД 80 СП<br>(2.5 л/т) |   | Текто 450 КС<br>(0.06 л/т) |   |
|                                                 |                                           | К        | С | К                       | С | К                          | С |
| Фитопатогены                                    |                                           |          |   |                         |   |                            |   |
| <i>Fusarium oxysporum</i>                       | —                                         | —        | — | —                       | — | —                          | — |
| <i>Colletotrichum coccodes</i>                  | —                                         | —        | 1 | —                       | — | —                          | — |
| <i>Rhizoctonia solani</i>                       | 1                                         | 1        | — | —                       | — | 1                          | — |
| <i>Fusarium nivale</i>                          | 2                                         | 2        | 2 | 2                       | 2 | 1                          | 2 |
| <i>Fusarium solani</i>                          | 1                                         | 2        | 2 | 2                       | 2 | 2                          | — |
| <i>Fusarium sambucinum</i>                      | —                                         | —        | — | 1                       | — | —                          | — |
| <i>Erwinia carotovora</i>                       | —                                         | 1        | 2 | —                       | — | —                          | — |
| <i>Streptomyces scabies</i>                     | 1                                         | 1        | — | 1                       | — | —                          | — |
| Сумма баллов (К + С)                            |                                           | 14       |   | 10                      |   | 6                          |   |
| Сапрофиты                                       |                                           |          |   |                         |   |                            |   |
| <i>Alternaria alternata</i>                     | —                                         | —        | 2 | 1                       | 1 | —                          | 2 |
| <i>Acremonium spinosum</i>                      | —                                         | —        | 1 | —                       | — | —                          | — |
| <i>Aureobasidium pullulans</i>                  | —                                         | —        | 1 | —                       | — | —                          | — |
| <i>Chlamydomyces diffusus</i>                   | 1                                         | 1        | — | —                       | — | —                          | — |
| <i>Penicillium citrinum</i>                     | 1                                         | —        | — | —                       | — | —                          | — |
| <i>Bacillus subtilis</i>                        | —                                         | —        | 1 | 1                       | 1 | —                          | — |
| Сумма баллов (К + С)                            |                                           | 6        |   | 4                       |   | 2                          |   |
| Сумма баллов (К + С) (фитопатогены + сапрофиты) |                                           | 20       |   | 14                      |   | 8                          |   |
| Антагонисты                                     |                                           |          |   |                         |   |                            |   |
| <i>Acremonium charticola</i>                    | —                                         | —        | 1 | —                       | — | —                          | — |
| <i>Penicillium expansum</i>                     | —                                         | 1        | — | 1                       | — | —                          | 1 |
| <i>Penicillium chrysogenum</i>                  | 2                                         | —        | 1 | —                       | — | —                          | — |
| <i>Gliocladium delicuescens</i>                 | 2                                         | —        | — | —                       | — | —                          | — |
| Сумма баллов (К + С)                            |                                           | 3        |   | 1                       |   | 1                          |   |
| Сумма, всего                                    |                                           | 23       |   | 15                      |   | 9                          |   |

Примечания. К – корни, С – стебли. Развитие грибов: 1 балл – слабое, 2 – доминируют, прочерк – возбудитель отсутствует (0 баллов).

встречалась *Rhizoctonia solani* (6%). Распространенность фузариозов была в 2.3 раза больше, чем инфекции на поверхности семенного клубня, глубинной инфекции в целом (по выявленным патогенам) — в 3.1 раза больше при том же сравнении. Наличие в посадочном материале клубней картофеля, пораженных фузариозом, приводят к изреживанию посадок и недобору урожая [15]. В зависимости от степени поражения посадочного материала зараженность клубней нового урожая в период хранения увеличивалась на 4.4–15.7%.

Микологический анализ образцов картофеля, отобранных в течение вегетационного периода 1994 г., после предпосадочной обработки клубней контактным фунгицидом ТМТД 80 СП (2.5 л/т) и системным фунгицидом Текто 450 КС (0.06 л/т) показал, что во внутренних тканях растений развивается сложное сообщество грибов и бактерий. Наиболее интенсивно проявилась фузариозная инфекция: из грибов рода *Fusarium* доминировал вид *Fusarium nivale* (на фоне высокой его активности в почве), который с различной интенсивностью выделяли во всех вариантах опыта на различных частях растения (табл. 5).

Заселенность стеблей *F. solani* была равномерной во всех вариантах опыта на корнях, а на стеблях отмечено полное подавление патогена в варианте применения протравителя Текто 450 КС. Следует отметить, что в почвенной микрофлоре, при доминировании *F. nivale* встречались *Rhizoctonia solani* и *Streptomyces scabies*. *F. nivale* (возбудитель снежной плесени злаков) доминировал в контроле и в опытных вариантах, за исключением снижения его активности на корнях после применения системного препарата Текто 450 КС.

Совокупная оценка распространенности фитопатогенов (в баллах, на корнях и стеблях) свидетельствовала о преимуществе варианта применения Текто 450 КС (0.06 л/т) в подавлении возбудителей болезней: 6 баллов против 14 в контроле и 10 баллов в варианте ТМТД 80 СП.

Следует отметить, что в опытных вариантах распространенность сапрофитных грибов была в 3 раза меньше, чем в контроле. Снижение суммарного уровня развития фитопатогенов и сапрофитов при использовании контактного фунгицида ТМТД 80 СП было 1.4-кратным по сравнению с контролем, а при использовании системного фунгицида Текто 450 КС — 2.3-кратным. Группа грибов-антагонистов в почве была представлена видами из родов *Gliocladium* и *Penicillium* (сильное развитие). Их присутствие в тканях растений картофеля было незначительным — 1 балл при предпосадочной обработке клубней фунгицидами, в контроле — 4 балла.

Погодные условия оказали существенное влияние на развитие патогенных микроорганизмов: не произошло обычно значительного распространения фитофтороза на картофеле, по данным визуального учета в фазе бутонизация–цветение ( $ГТК_{июнь} = 1.4$ ) поражение ботвы в опытных вариантах составило 5, в контроле — 7% (меньше ЭПВ), а последующая засушливая погода ( $ГТК_{июль} = 0.6$ ) не способствовала развитию болезней. В зависимости от групп сортов картофеля биологические пороги вредоносности фитофтороза (*Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary) в течение вегетации различны: для ранних сортов — 10–15% поражения, среднеранних — 15–20, среднепоздних — 25–35 и поздних — 35–45% [15].

**Таблица 6.** Влияние биологически активных веществ на пораженность картофеля болезнями, урожайность и содержание  $^{137}\text{Cs}$  в клубнях

| Вариант               | Пораженность растений <i>Phytophthora infestans</i> , % | Пораженность клубней болезнями, % |                           | Урожайность, ц/га | Содержание $^{137}\text{Cs}$ , % к контролю | $*\text{КН}^{137}\text{Cs}$ , $\times 10^{-3}$ |
|-----------------------|---------------------------------------------------------|-----------------------------------|---------------------------|-------------------|---------------------------------------------|------------------------------------------------|
|                       |                                                         | <i>Streptomyces scabies</i>       | <i>Rhizoctonia solani</i> |                   |                                             |                                                |
| Контроль              | 7.6                                                     | 73                                | 31.7                      | 205               | —                                           | 35                                             |
| Агат-25 К ТПС         | 1.7                                                     | 49                                | 20.3                      | 245               | 85.0                                        | 30                                             |
| Крезацин КРП          | 3.5                                                     | 60                                | 28.4                      | 228               | 92.7                                        | 32                                             |
| Эпин -Экстра Р        | 2.2                                                     | 54                                | 21.8                      | 242               | 88.2                                        | 31                                             |
| Текто 450 КС (эталон) | 1.4                                                     | 48                                | 18.3                      | 272               | 80.7                                        | 28                                             |
| НСР <sub>05</sub>     | 0.7                                                     | 14                                | 4.3                       | 40                | 3.0                                         | —                                              |

\* КН — коэффициент накопления  $^{137}\text{Cs}$  — отношение концентраций радионуклида в продукции (Бк/кг) к его концентрации в почве (Бк/кг).

Пораженность клубней картофеля нового урожая паршой составила соответственно 24.1 и 35.4% в вариантах применения ТМТД 80 СП и Текто 450 КС, тогда как в контроле – 53.4% (различия значимы при  $p < 0.05$ ). Распространенность ризоктониоза на клубнях нового урожая в контроле составила 15.7, в опытных вариантах – 3.0–5.5% без значимых различий между опытными вариантами. Ризоктониоз (возбудитель *Rhizoctonia solani* Kuhn.) или черная ножка причиняет большой ущерб картофелеводству. За порог вредоносности признают наличие в посадочном материале 25% клубней со склероциями гриба на половине их поверхности [15]. Использование больших клубней на семенные цели приводит к недобору 15–40% урожая [16].

Результаты предпосадочной обработки клубней суспензией грибов-антагонистов показали стимуляцию роста картофеля в ранних фазах развития. При обработке клубней *Nematogonium auratiacum* и *Dactyella anisomeres* отмечено увеличение количества стеблей на 1 клубень по сравнению с контролем на 25 и 6% соответственно, высоты стебля – на 55 и 47%.

*Эффективность применения биологически активных соединений для обработки клубней картофеля перед посадкой.* В ряду широко культивируемых сельскохозяйственных растений картофель относится к культурам с низким накоплением  $^{137}\text{Cs}$  в хозяйственно-ценной части [17]. Поэтому возделывание картофеля на радиоактивно загрязненных территориях может иметь практическое значение для регионов, подвергшихся техногенному загрязнению при разработке технологий, обеспечивающих защиту растений от вредных организмов и предотвращающих потерю урожая.

По результатам опытов, проведенных в 1992–1998 гг., была показана эффективность применения ряда биологически активных веществ в борьбе с болезнями и накоплением  $^{137}\text{Cs}$  в урожае картофеля (табл. 6).

Предпосадочная обработка клубней способствовала снижению пораженности растений грибными болезнями: пораженность растений фитофторозом в фазе бутонизация–цветение во всех вариантах опыта достоверно отличалась от контроля. При этом эффективность фунгицида с системными свойствами была больше, чем при использовании биологически активных веществ. Пораженность клубней нового урожая паршой обыкновенной и ризоктониозом была в большинстве вариантов достоверно меньше, чем в контроле (кроме варианта Крезацин КРП). Урожайность картофеля имела тенденцию к увеличению, однако достоверные отличия отмечены только в вариантах с применением препаратов Агат-25 К, ТПС

и после обработки клубней фунгицидом Текто 450 КС. Предпосадочная обработка клубней способствовала достоверному снижению содержания  $^{137}\text{Cs}$  в урожае: коэффициент накопления радионуклидов был на 9–20% меньше контроля. При предпосадочной обработке клубней веществами с биологической активностью признаки проявления грибных заболеваний в посадках отмечали позднее, чем в контроле, что, с одной стороны, имеет важное значение для зоны с неустойчивым характером агрометеоусловий, с другой, – позволяет сократить количество фунгицидных обработок в течение вегетации.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенных в 1991–1998 гг. комплексных исследований установлено, что структура микробных консорциев картофеля Новозыбковского р-на Брянской обл. соответствовала в основном типичной при повышенном уровне активности возбудителей антракноза (*Colletotrichum coccodes* Wallr.), ризоктониоза (*Rhizoctonia solani* Kuhn.) и резиновой гнили картофеля (*Geotrichum candidum* Link.). В нарушенных биоэкологических системах в условиях загрязнения почв ксенобиотиками обычно сохранялись микроорганизмы, имеющие тесные паразитические связи с растением, а также обладающие высокой конкурентной активностью. К ним относятся грибы из рода *Fusarium* и *Rhizoctonia solani* Kuhn. У возбудителей фузариозов наиболее ярко выражена полифагия, а их развитие в значительной мере зависит от условий, складывающихся в ризосфере. Возбудители фузариозов сохраняются непосредственно в почве в виде конидий, хламидоспор до 5 лет в отсутствие хозяина, и минерализация растительных остатков не играет существенной роли в снижении количества инфекции. Именно поэтому борьба с фузариями должна осуществляться в посевах всех культур севооборота, а также за счет включения в севооборот культур с санитарными функциями, таких как амарантус, сераделла, что было подтверждено в ходе исследований.

Высокой конкурентной активностью в сравнении с другими видами грибов обладают грибы из рода *Rhizoctonia*. Возбудитель ризоктониоза люпина *Rhizoctonia solani* является общим для люпина и картофеля, а также зерновых. В случае интенсивного поражения люпина ризоктонией (как отмечено в 1994 г. на угодьях СХПК “Комсомолец”) и последующей посадки картофеля растения поражались болезнью на 30%. Для борьбы с грибами из рода *Rhizoctonia* рекомендуется включать в севооборот слабopоражаемые культуры, например, сераделлу.

В условиях техногенного “давления” применяются технологии, направленные на регулирование процессов транспорта загрязняющих веществ в системе почва–растение. Критерием выбора таких технологий является их экологическая ориентированность. По результатам наших исследований с разными нормами внесения минеральных удобрений (ТНК и комплекс ТНК + NPK + Mg) показано, что пораженность растений картофеля болезнями отличалась как в зависимости от сбалансированности элементов питания, так и от применения различных средств защиты растений и агрохимикатов. Установлена положительная роль предпосадочной обработки клубней фунгицидами разного спектра действия (ТМТД 80 СП и Текто 450 КС) на развитие возбудителей болезней на корнях и стеблях картофеля. Обнаружено снижение суммарного уровня развития фитопатогенов и сапрофитов по сравнению с контролем при использовании ТМТД 80 СП в 1.4 раза, Текто 450 КС – в 2.3 раза. Подавление развития болезней возможно за счет предпосадочной обработки клубней картофеля биологически активными веществами. В нашем опыте использование препаратов Агат-25К, ТПС, Крезацин, КРП и Эпин-Экстра Р приводило к снижению пораженности фитофторозом в 2.2–4.5 раза, пораженности клубней нового урожая паршой обыкновенной – на 17–32, ризоктониозом – на 10–36% и более позднему, чем на контрольном участке, развитию болезней. Это имеет важное значение для определения тактики фунгицидных обработок растений в период вегетации, особенно при неустойчивым характере погоды с выраженными периодами недостаточного увлажнения. Отмеченное повышение урожайности картофеля на 11–29% и достоверное снижение накопления <sup>137</sup>Cs в клубнях на 7–15% придает этому способу практическую перспективность.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дутов А.И., Пузанова Л.А. Формирование устойчивости сельскохозяйственного производства к радионуклидному загрязнению агроэкосистем (на примере аварии на Чернобыльской АЭС) // Инновац. в АПК: пробл. и перспект. 2021. № 4. С. 32.
2. Алексахин Р.М., Санжарова Н.И., Ульяненко Л.Н. Рекомендации по организации земледелия на техногенно загрязненных сельскохозяйственных угодьях (загрязнение радионуклидами и тяжелыми металлами) Обнинск, 2006. 66 с.
3. Ульяненко Л.Н., Арышева С.П., Филипас А.С., Круглов С.В., Малеванная Н.Н., Пименов Е.П. Продуктивность, морфометрические признаки растений яровой пшеницы и накопление кадмия в урожае под влиянием регулятора роста Циркон // Сел.-хоз. биол. 2005. № 5. С. 75–80.
4. Филипас А.С., Лой Н.Н., Ульяненко Л.Н., Пименов Е.П., Алексахин Р.М. Влияние комбинированного воздействия <sup>137</sup>Cs и тяжелых металлов на пораженность ячменя стеблевой ржавчиной // Докл. РАСХН. 2001. № 3. С. 18–20.
5. Андросов Г.К., Симонов В.Ю., Холопова Е.В. Распространение патогенных грибов в агробиоценозах различной степени радионуклидного загрязнения в Брянской области // Сел.-хоз. биол. 2010. Т. 45. № 5. С. 118–122.
6. Ульяненко Л.Н., Удалова А.А. Оценка состояния окружающей среды по реакции сельскохозяйственных растений на действие ионизирующих излучений // Бюл. Нац. радиац.-эпидемиол. регистра “Радиация и риск”. 2015. № 1. С. 118–131.
7. Тугай А., Тугай Т., Лукашов Д. Влияние хронического облучения на физиолого-биохимические свойства трех облученных “поколений” *Aspergillus versicolor* // Биология. 2015. Т. 2. № 70. С. 77–81.
8. Михалева С.Н., Ульяненко Л.Н., Акимова С.В., Глинушкин А.П. Фитосанитарное состояние почв на территориях, загрязненных радионуклидами ЧАЭС, и подходы к решению проблем, возникающих при их возврате в сельскохозяйственный оборот // Достиж. науки и техн. АПК. 2022. Т. 36. № 2. С. 37–41.
9. Михалева С.Н. Фитопатогенный состав и пути оптимизации защиты зерновых и кормовых растений в условиях техногенного радиоактивного загрязнения Брянской области. Автореф. ... канд. биол. наук, 2022. 27 с.
10. Попкова К.В. Методы определения болезней и вредителей сельскохозяйственных культур. М.: Агропромиздат, 1987. 224 с.
11. Гешеле Э.Э. Основы фитопатологической оценки и селекции растений. М.: Колос, 1978. 205 с.
12. Методы экспериментальной микологии. Киев: Наукова думка, 1982. 550 с.
13. Наумова Н.А. Анализ семян на грибную и бактериальную инфекцию. Л., 1970. 105 с.
14. Защита зерновых культур от корневых гнилей (рекомендации). М.: Агропромиздат, 1986. 152 с.
15. Чумаков А.К., Захарова Т.Н. Вредоносность болезней сельскохозяйственных культур. М.: Агропромиздат, 1990. 105 с.
16. Попкова К.В., Шнейдер Ю.И., Воловик А.С., Шмыгля В.А. Болезни картофеля. М.: Колос, 1980. 304 с.
17. Алексахин Р.М., Санжарова Н.И., Ульяненко Л.Н. Методические указания по получению экологически чистой сельскохозяйственной продукции на техногенно загрязненных территориях. Обнинск: ВНИИСХРАЭ, 2005. 85 с.

## Potato Mycocenoses in the Fields of the Novozybkovsky District of the Bryansk Region with Different Levels of Radioactive Contamination and Economic Use

S. N. Mikhaleva<sup>a, #</sup>, L. N. Ulianenko<sup>a</sup>, N. I. Budynkov<sup>a</sup>, A. P. Glinushkin<sup>a</sup>

<sup>a</sup>*All-Russian Research Institute of Phytopathology,*

*ul. Institute, poss. 5, Moscow region, Odintsovo district, r.p. Bolshye Vyazemy 143050, Russia*

<sup>#</sup>*E-mail: svetlanova-1985@mail.ru*

The peculiarities of the formation of mycocenoses in potato plantings growing in fields with different levels of radioactive contamination and economic use were studied. The experiments were carried out in 1991–1998 in the fields of the Novozybkov agricultural experimental station in the Bryansk region (pollution density  $^{137}\text{Cs} = 1.2 \pm 0.2 \text{ MBq/m}^2$ ) and the lands of the Komsomolets Agricultural Complex withdrawn from economic use ( $^{137}\text{Cs} > 1.8 \text{ MBq/m}^2$ ). Differences were noted in the incidence of potato plants with diseases in the field small-scale experiment (1992), depending on the fertilizers applied (background – peat manure compost (PMC) or additionally NPK + Mg), their balance (different doses of nutrients), as well as agricultural cultivation techniques. In the variants with the introduction of NPK + Mg and the use of the herbicide Promethrin SC or sodium humate, a significant decrease in the incidence of tubers with scab by 25–60% was revealed. Weather conditions influenced the development of pathogens. In 1994 rhizoctoniosis developed most actively in potato plantings and common scab on tubers (hydrothermal coefficient (GTC)<sub>may–august</sub> = 2.35, which is significantly higher than the average long-term norm for 1991–1998–1.35). In the experiment on potatoes of the Temp variety of Belarusian selection (1994), the possibility of restraining the development of pathogens due to pre-planting treatment of tubers with fungicides was shown: when using contact the decrease in the total level of development of phytopathogens and saprophytes was 1.4 times less than in the control, and when using the systemic fungicide Tect 450 CS – 2.3 times. The use of biologically active substances for the pre-planting treatment of potato tubers (Agate-25K, TPS, Crezacin, KRP and Epin-Extra R) led to a decrease in plant infestation with late blight by 2.2–4.5 times, infestation of tubers with scab by 17–32%, rhizoctoniosis by 10–36% and later than in the control, the development of diseases, which determined the tactics of fungicidal protection of potatoes during the growing season. There was an increase in potato yield by 11–29% and a significant decrease in the accumulation of  $^{137}\text{Cs}$  in tubers by 7–15%.

**Keywords:** mycocenosis, potato, radioactive contamination, diseases, phytopathogens, mordants, biologically active substances.

УДК 631.416.3:546.15(571.1)

## ЙОД В ПОЧВАХ БАССЕЙНА ВНУТРЕННЕГО СТОКА КУЛУНДИНСКОЙ РАВНИНЫ<sup>§</sup>

© 2024 г. Г. А. Конарбаева<sup>1,\*</sup>, Б. А. Смоленцев<sup>1</sup>, Н. В. Елизаров<sup>1</sup>,  
В. В. Попов<sup>1</sup>, В. В. Демин<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Институт почвоведения и агрохимии СО РАН  
630090, Новосибирск, просп. Акад. Лаврентьева, 8/2, Россия

\*E-mail: konarbaeva@issa-siberia.ru

Распределение йода (I) исследовали в 2-х почвенных катенах, расположенных в бассейнах р. Бурла и Кулунда в Алтайском крае. Почвенные разрезы были заложены на основных типах элементарных ландшафтов. Первый участок расположен на низменной равнине в излучине р. Бурла (рядом с п. Бурла Алтайского края). Заложено 3 разреза, вскрывавшие следующие почвы: темно-каштановая осолодевшая среднесиловая легкосуглинистая (Calcic Kastanozems), расположенная в элювиальном ландшафте, солонец черноземно-луговой солончаковый высокогипсовый мелкий легкоглинистый (Gleyic Solonetz), сформированный в супераквальном ландшафте, и луговая солончаковая маломощная малогумусная легкосуглинистая (Chernic Gleysols Salic) – в трансупераквальном. Абсолютное превышение по высоте между каштановой почвой и луговой составляло 3 м, длина катены 677 м. Участок в долине р. Кулунда находился в ее среднем течении у с. Нижняя Чуманка Алтайского края. Он имел меньший уклон, поэтому смену почв от вершины всхолмленного участка к пойме р. Кулунда наблюдали на большем расстоянии (длина катены 1650 м). Разрезы заложены на лугово-черноземной глубоко вскипающей маломощной слабогумусированной супесчаной почве (Gleyic Chernozems), солонце черноземно-луговом солончаковом среднем легкосуглинистом (Gleyic Solonetz Salic) и луговой солончаковой маломощной слабогумусированной супесчаной почве (Chernic Gleysols Salic), расположенных в аналогичных первой катене ландшафтах. Во всех генетических горизонтах определяли валовое содержание йода и его водорастворимой формы. Содержание общего I в почвах в среднем составило 26.4 мг/кг (пределы варьирования от 0.36 до 100 и более мг/кг), водорастворимого – соответственно 0.3 мг/кг (от 0.0 до 0.9 мг/кг). Установлено, что содержание общего I со средней силой коррелировало с содержанием физической глины и ила, а абсолютные максимумы содержания йода были приурочены к иллювиальным горизонтам солонцов. В луговых почвах также обнаружено большое количество валового йода, тогда как в почвах элювиальных позиций йод находили в очень малых концентрациях. Выявленные аккумуляции I в интразональных почвах возможно использовать для покрытия йододефицита зональных почв путем вовлечения их в сельскохозяйственный оборот в качестве естественных сенокосов и пастбищ.

**Ключевые слова:** йод, йододефицит, Кулундинская степь, каштановая почва (Kastanozems), солонец (Solonetz), луговая почва (Gleysols), Западная Сибирь, р. Бурла, р. Кулунда.

**DOI:** 10.31857/S0002188124010088

### ВВЕДЕНИЕ

Йод играет важную биологическую роль в жизни живых организмов. Он относится к эссенциальным (жизненно необходимым) микроэлементам, без которых организм не может совершать свой естественный жизненный цикл. Йод является

обязательным компонентом тиреоидных гормонов щитовидной железы, которые регулируют физиологические процессы в организме человека и животных, в т.ч. их рост и развитие, обмен веществ, терморегуляцию [1–5]. Значимая роль, которую играет йод в процессах жизнедеятельности живых организмов, обуславливает актуальность детальных исследований его содержания в природных объектах (почвах, водах и растительности).

Длительный дефицит йода приводит к заболеваниям щитовидной железы, перинатальной смертности, физической и умственной

<sup>§</sup>Полевые работы и определение свойств почв выполнены при финансовой поддержке РФФИ (грант № 21-55-75002); лабораторные анализы по определению йода, а также подготовка статьи к публикации – в рамках государственного задания Института почвоведения и агрохимии СО РАН.

отсталости детей, сахарному диабету, а при его избытке — к йододерме [6–9].

Йодная недостаточность у животных проявляется в замедлении их роста и развития, ухудшении воспроизводства [10, 11]. Йододефицитные заболевания признаны самыми распространенными во всем мире заболеваниями неинфекционного характера [12].

Йод в природе является наименее распространенным элементом из подгруппы галогенов. Основные его запасы сосредоточены в мировом океане, поступление океанического йода на материк вместе с атмосферными осадками существенно только в прибрежной зоне, а внутриконтинентальные территории являются йододефицитными [13–18]. Круговорот йода бессточных территорий практически замкнут внутри территории и основным естественным источником йода для растений являются почвы [19–24]. В структуре питания животных и человека на долю поступления йода с питьевой водой приходится не более 10% [25]. Изучение и оценка йодного потенциала (состояния) почв в таких областях имеет важное значение для здоровья животных и человека.

Цель работы — изучение содержания и закономерностей распределения йода (валового и водорастворимого) в почвенных катенах внутреннего бессточного бассейна рек Кулундинской равнины.

## МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Кулундинская озерно-аллювиальная равнина расположена на юге Западной Сибири в пределах степной зоны междуречья Оби и Иртыша. По почвенно-экологическому районированию [26] территория относится к Предалтайской степной провинции черноземов обыкновенных и южных, Бурла-Кучукскому округу черноземов южных солонцеватых и лугово-черноземных солонцеватых и солончаковатых почв. Ранее исследователями были описаны основные факторы почвообразования, характерные для Кулундинской равнины [27]. Почвенный покров исследованной части Кулундинской равнины на водораздельных пространствах и верхних частях склонов увалов представлен лугово-черноземными почвами (Gleyic Chernozems), полугидроморфными аналогами черноземов южных (Calcic Chernozems), а также и каштановыми почвами (Calcic Kastanozems), которые в настоящее время используются как пашня. На нижних частях склонов и на пониженных участках равнины в условиях грунтового и поверхностного переувлажнения широко распространены гидроморфные солонцы (Gleyic Solonetz) и луговые засоленные почвы (Chernic Gleysols Salic).

При наличии большого обилия озер различного размера и минерализации местность

характеризуется очень затрудненным и замедленным поверхностным стоком из-за однообразного равнинного рельефа поверхности, с абсолютными высотами от 95 до 160 м. Система древних долин, бывших ложбин стока расчленяет равнинную поверхность на параллельно вытянутые узкие платообразные увалы, с уклоном в сторону Иртыша, однако глубина расчленения не превышает 15 м. С востока на запад глубина вреза древних долин уменьшается, и они сливаются с пониженной зоной степи. К системе ложбин стока приурочены долины современных степных рек Кулунда, Бурла, Кучук и др. (рис. 1).

Почвенные исследования проводили на территории Кулундинской озерно-аллювиальной равнины в водосборных бассейнах рек Бурла (N3.336501°, E78.292122°) и Кулунда (N53.226948°, E80.645954°) Алтайского края, относящихся к внутреннему бессточному бассейну Обь-Иртышского междуречья, берущие начало на Приобском плато и теряющиеся в Кулундинской степи (рис. 2).

По характеру водного режима эти реки относятся к водотокам с весенним половодьем и паводками, в летнее время имеют застойный режим, а местами совсем пересыхают. В целом на территории речная сеть развита слабо, что способствует накоплению солей в почвах и почвообразующих породах.

Характерной особенностью территории является близкое залегание минерализованных грунтовых вод, принимающих активное участие в процессе почвообразования. Различия в уровне залегания и степени минерализации грунтовых вод — главная причина мозаичности почвенного покрова и его засоленности. Глубина залегания, минерализация и солевой состав грунтовых вод варьируют в широких пределах (от 1–2 до 5 м и более). С севера на юг минерализация грунтовых вод увеличивается от 1.0 до 10–50 г/л, а химический состав меняется от гидрокарбонатного до хлоридного [28]. Равнинный рельеф и горизонтальное залегание отложений создают малые уклоны поверхности грунтовых вод.

Так как территория имеет определенную пространственную неоднородность условий почвообразования для выявления особенностей распределения и миграции йода в ландшафтах использован сравнительно-географический метод, основанный на катенном анализе организации почвенного покрова и почвенно-геохимической сопряженности. Почвенные разрезы были заложены на основных типах элементарных ландшафтов. Для изучения содержания йода в профиле почв, различающихся по степени гидроморфности и засолению, образцы отбирали во всех генетических горизонтах.

Анализы проведены общепринятыми методами: содержание органического углерода ( $C_{org}$ )

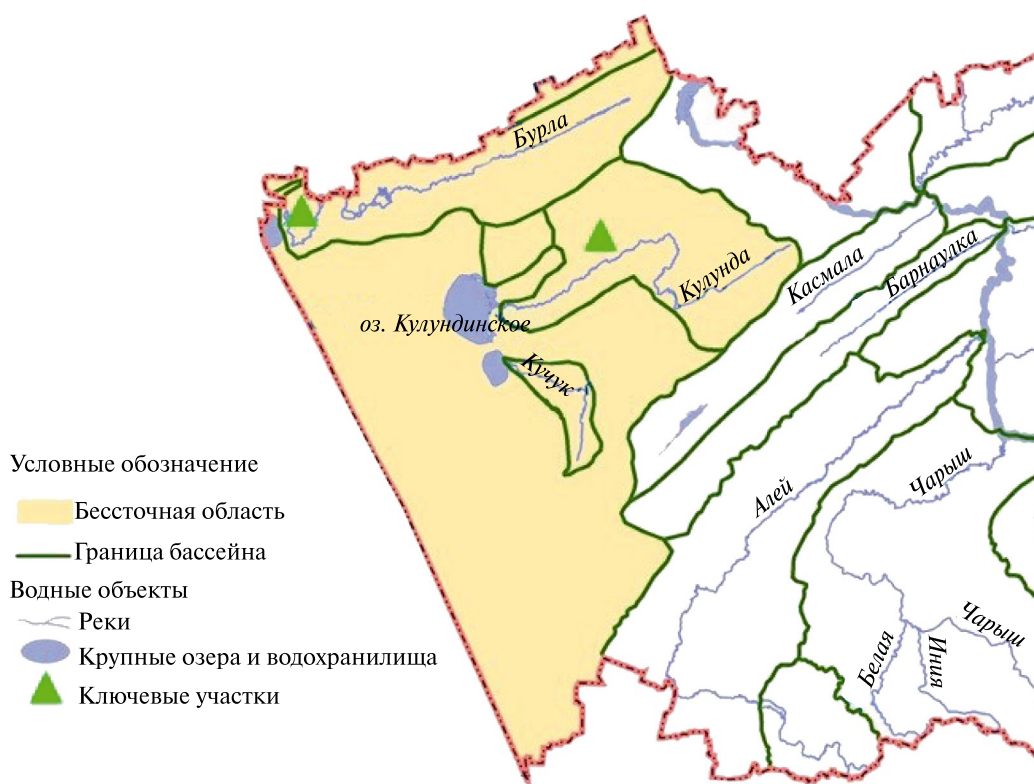


Рис. 1. Расположение ключевых участков.

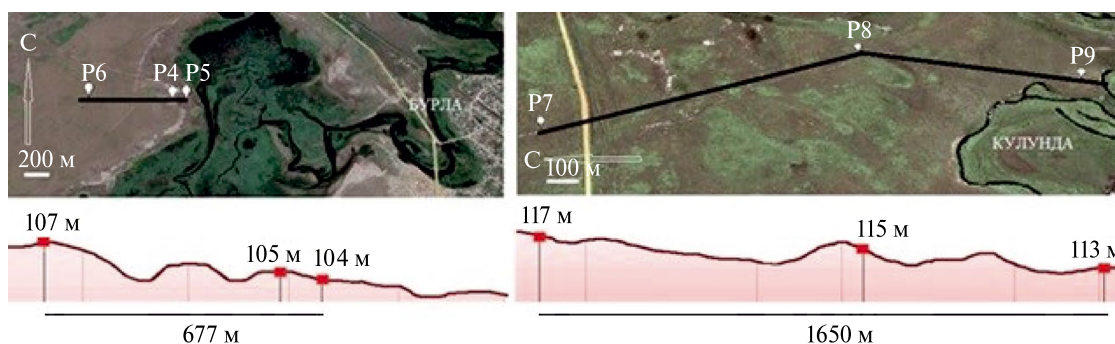


Рис. 2. Геоморфологические профили участков исследования (слева – долина р. Бурла, справа – долина р. Кулунда).

определяли по методу Тюрина [29], величину рН – потенциометрическим методом в водной суспензии (почва : раствор = 1 : 2.5), обменные основания – методом Пфелфера в модификации Молодцова и Игнатовой [30] с последующим определением катионов Са, Mg, Na и К – атомно-абсорбционным методом. Гранулометрический состав исследовали методом пипетки с диспергацией образца пирофосфатом натрия [31].

Содержание валового йода определяли кинетическим роданидно-нитритным методом,

водорастворимой формы – в водной вытяжке (почва : вода = 1 : 4) с временем взаимодействия 4 ч и последующим центрифугированием [32]. Статистическую обработку данных проводили по [33], расчеты и визуализацию результатов – с использованием программы Microsoft Excel 2016.

Название почв определены по классификации и диагностики почв СССР [34] и международной классификации World Reference Base for Soil Resources (WRB) [35].



РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

*Общая характеристика почв.* На интенсивность аккумуляции йода в почвах равнин и его миграцию влияет конкретная почвенно-геохимическая обстановка. Если в зональных почвах основные факторы, контролирующие содержание йода, – степень их гумусированности, реакция почвенной среды, гранулометрический состав, водный режим, то в интразональных почвах приоритетную роль играют месторасположение почв в ландшафте, обогащенность различными солями и реакция почвенной среды.

Почвы, находящиеся в эллювиальной позиции обоих исследованных участков, характеризуются

нейтральной реакцией среды по всему 1-метровому профилю. В супераквальной и транссупераквальной позициях нейтральная и слабощелочная реакция верхних горизонтов солонцов и луговых почв подщелачивается с глубиной, достигая сильнощелочной в иллювиальных горизонтах солонцов (рН 8.7–8.9). Учитывая, что в щелочной среде происходит образование наиболее устойчивых анионов йода ( $I^-$  и  $IO_3^-$ ) [15, 36, 37], следовало ожидать его аккумуляирования в данных почвах, что и было обнаружено в результате лабораторных исследований (табл. 1).

Участок, находящийся в долине р. Бурла, отличался высоким содержанием органического

Таблица 1. Свойства почв Кулундинской равнины

| Горизонт<br>почв                                                                         | Глубина,<br>см | $S,^*$<br>мг-экв/100 г | $pH_{H_2O}$ | Na, % от $S$ | Ил   | Физическая<br>глина | Гумус | $I_{вал}$ | $I_{водн}$ |
|------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|------------------------|-------------|--------------|------|---------------------|-------|-----------|------------|
|                                                                                          |                |                        |             |              | %    |                     |       | мг/кг     |            |
| Разр. 4. Солонец черноземно-луговой солончаковый высокогипсовый мелкий легкоглинистый    |                |                        |             |              |      |                     |       |           |            |
| A                                                                                        | 0–4            | 8.4                    | 7.3         | 8.4          | 3.9  | 15.1                | 5.23  | 8.5       | 0.07       |
| B1                                                                                       | 4–16           | 22.1                   | 8.1         | 22.1         | 27.1 | 41.4                | 2.54  | 35.1      | 0.03       |
| B2                                                                                       | 23–33          | 24.0                   | 8.7         | 24.0         | 28.4 | 40.9                | 0.99  | 45.4      | 0.86       |
| B3                                                                                       | 38–48          | 21.0                   | 8.2         | 21.0         | 31.3 | 44.8                | 1.03  | 39.9      | 0.84       |
| BC                                                                                       | 50–60          | 20.6                   | 8.0         | 20.6         | 32.0 | 49.2                |       | 33.1      | 0.60       |
| CD                                                                                       | 75–85          | 16.6                   | 8.1         | 16.6         | 15.2 | 21.4                |       | 11.2      | 0.25       |
|                                                                                          | 103–113        | 16.8                   | 8.2         | 16.8         | 19.4 | 28.8                |       | 14.7      | 0.25       |
| Разр. 5. Луговая солончаковая маломощная малогумусная легкосуглинистая                   |                |                        |             |              |      |                     |       |           |            |
| Ад                                                                                       | 0–7            | 8.4                    | 7.5         | 13.4         | 8.8  | 25.0                | 4.3   | 15.6      | 0.08       |
| A                                                                                        | 7–21           | 22.1                   | 7.8         | 34.7         | 18.4 | 30.4                | 2.02  | 29.1      | 0.07       |
| AB                                                                                       | 22–32          | 24.0                   | 8.4         | 36.4         | 19.7 | 29.6                | 1.09  | 39.6      | 0.06       |
| B                                                                                        | 50–60          | 21.0                   | 8.3         | 23.5         | 24.0 | 35.4                |       | 37.2      | 0.9        |
| BC                                                                                       | 80–90          | 20.6                   | 7.9         | 20.5         | 18.3 | 26.0                |       | 15.9      | 0.44       |
| C                                                                                        | 100–110        | 16.6                   | 7.7         | 17.8         | 18.9 | 27.3                |       | 14.7      | 0.25       |
| Разр. 6. Темно-каштановая осолодевшая среднемощная легкосуглинистая                      |                |                        |             |              |      |                     |       |           |            |
| Ад                                                                                       | 0–4            | 16.8                   | 6.5         | 0.6          | 7.7  | 20.4                | 4.34  | 0.98      | 0.00       |
| Апах                                                                                     | 4–20           | 8.4                    | 6.7         | 1.7          | 8.0  | 21.1                | 2.66  | 1.25      | 0.03       |
| B1                                                                                       | 22–32          | 22.1                   | 6.5         | 1.3          | 16.8 | 25.7                | 1.69  | 2.51      | 0.07       |
| B2                                                                                       | 45–55          | 24.0                   | 6.8         | 1.7          | 12.0 | 18.1                | 1.12  | 2.16      | 0.05       |
| Вса                                                                                      | 65–75          | 21.0                   | 7.6         | 2.4          | 14.1 | 21.6                |       | 3.08      | 0.05       |
|                                                                                          | 95–105         | 20.6                   | 8.0         | 2.4          |      |                     |       | 1.33      | 0.02       |
| Разр. 7. Лугово-черноземная глубоко вскипающая маломощная слабогумусированная супесчаная |                |                        |             |              |      |                     |       |           |            |
| Апах                                                                                     | 0–20           | 16.6                   | 6.3         | 0.9          | 4.7  | 11.6                | 2.49  | 1.02      | 0.01       |
| Астаропах                                                                                | 20–32          | 16.8                   | 6.7         | 0.9          | 5.6  | 10.9                | 1.48  | 0.93      | 0.02       |
| AB                                                                                       | 32–39          | 8.4                    | 6.6         | 1.2          | 5.8  | 11.2                | 0.96  | 0.72      | 0.02       |
| B                                                                                        | 45–57          | 22.1                   | 6.7         | 1.2          | 8.4  | 11.2                | 0.57  | 0.36      | 0.02       |
| BC                                                                                       | 85–95          | 24.0                   | 6.9         | 1.0          | 10.6 | 14.7                |       | 0.43      | 0.04       |

Таблица 1. Окончание

| Горизонт<br>почв                                                          | Глубина,<br>см | $S,^*$<br>мг-экв/100 г | pH <sub>H<sub>2</sub>O</sub> | Na, % от $S$ | Ил   | Физическая | Гумус | I <sub>вал</sub> | I <sub>водн</sub> |
|---------------------------------------------------------------------------|----------------|------------------------|------------------------------|--------------|------|------------|-------|------------------|-------------------|
|                                                                           |                |                        |                              |              |      | глина      |       |                  |                   |
| Разр. 8. Солонец черноземно-луговой солончаковый средний легкосуглинистый |                |                        |                              |              |      |            |       |                  |                   |
| A                                                                         | 0–11           | 21.0                   | 6.7                          | 3.0          | 4.3  | 16.0       | 4.42  | 30.1             | 0.07              |
| B1                                                                        | 11–24          | 20.6                   | 8.3                          | 11.5         | 29.2 | 44.2       | 2.88  | 99.8             | 0.07              |
| B2                                                                        | 40–50          | 16.6                   | 8.9                          | 35.5         | 21.7 | 32.0       | 1.25  | 43.1             | 0.9               |
| BCg                                                                       | 65–75          | 16.8                   | 8.9                          | 35.3         | 26.6 | 36.4       |       | 43.0             | 0.88              |
| Cg                                                                        | 88–98          | 8.4                    | 8.7                          | 35.4         | 23.0 | 34.5       |       | 42.0             | 0.69              |
| Разр. 9. Луговая солончаковая маломощная слабогумусированная супесчаная   |                |                        |                              |              |      |            |       |                  |                   |
| A*                                                                        | 0–14           | 22.1                   | 7.3                          | 0.5          | 10.5 | 19.4       | 2.94  | 59.6             | 0.65              |
| A**                                                                       | 14–17          | 24.0                   | 7.7                          | 2.2          | 9.8  | 10.6       | 1.53  | 98.2             | 0.92              |
| Aca                                                                       | 20–30          | 21.0                   | 7.7                          | 13.7         | 12.8 | 22.3       | 1.08  | 92.9             | 0.91              |
| Bca                                                                       | 43–53          | 20.6                   | 8.1                          | 21.4         | 17.3 | 23.5       | 0.69  | 47.6             | 0.90              |
| BCca                                                                      | 70–80          | 16.6                   | 8.4                          | 25.1         | 13.4 | 18.6       |       | 8.3              | 0.27              |
| Cca                                                                       | 93–113         | 16.8                   | 8.3                          | 21.2         | 11.7 | 17.9       |       | 5.3              | 0.12              |

\* $S$  – сумма поглощенных оснований.

вещества верхних дерновых горизонтов почв всех позиций (4.3–5.2%), которое резко уменьшалось с глубиной. Почвы Кулундинского участка были менее гумусированы, содержание гумуса в верхнем горизонте солонца было средним (4.4%), лугово-черноземной и луговой почв – низкое (2.5 и 2.9% соответственно), возможно связанное с водным режимом и слабокислой реакцией почвенной среды первой и доминированием песчаной супеси во второй. Ряд исследователей указывают на существенное влияние гумусированности почвы на аккумуляцию и миграцию йода в профиле [20, 38, 39], однако в нашем исследовании существенной связи между содержанием валового и водорастворимого йода и содержанием органического вещества не зафиксировано, что могло быть связано с региональными особенностями условий миграции йода.

Почвы долины р. Бурла отличались по гранулометрическому составу. Профиль каштановой почвы был легкосуглинистым (20–26% физической глины) с супесчаным прослоем (на глубине 45–55 см – 18% физической глины). Содержание физической глины в профиле солонца в иллювиальных горизонтах достигало 41–49%, что соответствовало легкой глине. Гранулометрический состав луговой легкосуглинистой почвы в связи с постепенным уменьшением количества крупной и средней пыли сверху вниз по профилю менялся от пылевато-песчаного до иловато-песчаного.

Лугово-черноземная почва, сформировавшаяся в элювиальной позиции долины р. Кулунда была супесчаной по всему профилю (10.9–14.7%

физической глины) и отличалась низким содержанием ила (в среднем в 1-метровом профиле – 7%). Гранулометрический состав луговой солончаковой почвы был несколько тяжелее, количество физической глины варьировало в пределах 10.6–19.4% в верхних и самых нижних горизонтах, увеличиваясь до 22.3–23.5% в средних (на глубине 20–53 см). Солонец, расположенный в супераквальной позиции, обладал более тяжелым гранулометрическим составом, содержание физической глины в горизонте B1 достигало 44.2%, что соответствовало легкой глине.

Таким образом, почвы всех типов элементарных ландшафтов долины р. Бурла обладали более тяжелым гранулометрическим составом, чем аналогичные почвы катены долины р. Кулунда.

Ранее исследователями было замечено, что в почвах с легким гранулометрическим составом наблюдается низкое содержание йода, связанное с более слабыми механизмами его связывания и удерживания в них [13]. Данное обстоятельство подтверждено нашими исследованиями, в профилях темно-каштановой легкосуглинистой и лугово-черноземной супесчаной почв, находящихся в элювиальных позициях обоих участков, зафиксировано минимальное содержание валового и водорастворимого йода. Учитывая хорошую растворимость солей йода, это также объясняется водным режимом данных почв.

Выявлена корреляционная связь средней величины между содержанием водорастворимого йода в профиле исследованных почв и содержанием

**Таблица 2.** Коэффициенты корреляции между показателями почвенных свойств и содержанием йода

| Показатель      | Разрез                  | Коэффициент корреляции |                     |
|-----------------|-------------------------|------------------------|---------------------|
|                 |                         | валовой йод            | водорастворимый йод |
| Ил (<0.001 мм)  | Р 4. Солонец            | 0.9                    | 0.7                 |
|                 | Р 5. Луговая            | 0.6                    | 0.6                 |
|                 | Р 6. Каштановая         | 0.9                    | 0.9                 |
|                 | Р 7. Лугово-черноземная | –0.9                   | 0.9                 |
|                 | Р 8. Солонец            | 0.6                    | 0.4                 |
|                 | Р 9. Луговая            | –0.3                   | 0.4                 |
|                 | Для всех почв           | 0.4                    | 0.6                 |
| Глина <0.01     | Р 4. Солонец            | 0.9                    | 0.6                 |
|                 | Р 5. Луговая            | 0.8                    | 0.6                 |
|                 | Р 6. Каштановая         | 0.3                    | 0.5                 |
|                 | Р 7. Лугово-черноземная | –0.5                   | 0.9                 |
|                 | Р 8. Солонец            | 0.8                    | 0.2                 |
|                 | Р 9. Луговая            | –0.2                   | 0.9                 |
|                 | Для всех почв           | 0.4                    | 0.5                 |
| Na <sup>+</sup> | Р 4. Солонец            | 0.9                    | 0.6                 |
|                 | Р 5. Луговая            | 0.8                    | –0.2                |
|                 | Р 6. Каштановая         | 0.7                    | 0.6                 |
|                 | Р 7. Лугово-черноземная | –0.7                   | 0.1                 |
|                 | Р 8. Солонец            | –0.3                   | 1.0                 |
|                 | Р 9. Луговая            | –0.7                   | –0.4                |
|                 | Для всех почв           | 0.3                    | 0.6                 |

частиц ила и физической глины (коэффициент корреляции 0.6 и 0.5 соответственно) (табл. 2).

Между содержанием валового йода и количеством ила и физической глины отмечена умеренная корреляционная связь (коэффициент корреляции равен 0.4 в обоих случаях). На обоих ключевых участках максимальные количества валового йода найдены в иллювиальных горизонтах солонцов, в количестве 45.4 мг/кг в солонце черноземно-луговом долины р. Бурла и 99.8 мг/кг в солонце черноземно-луговом долины р. Кулунда (при среднем содержании  $I_{\text{вал}}$  для почв – 5 мг/кг [13]). Данное обстоятельство объясняется высоким содержанием илистой фракции в солонцовых горизонтах, являющихся природным сорбционным геохимическим барьером, в том числе и для солей йода. По этой причине зафиксирована средняя корреляционная связь между содержанием обменного натрия и водорастворимого йода ( $r = 0.6$ ), максимальные количества которого ( $I_{\text{водн}}$ ) были также приурочены к иллювиальным горизонтам солонцов (0.6–0.9 мг/кг).

Водный режим – один из ведущих факторов, влияющих на миграцию йода, особенно его водорастворимой формы. В верхних частях катен и на склонах элементы вымываются атмосферными осадками,

особенно сильно из почв с легким гранулометрическим составом. Крутизна склона и величина поверхностного стока также влияют на вынос элемента в нижележащие аккумулятивные позиции. Так как на обоих участках склон имел малый уклон, содержание валового йода в сопряженных луговых почвах и солонцах примерно одинаковое (среднее содержание  $I_{\text{вал}}$  в слое почвы на Бурлинском участке – 25–26, на Кулундинском – 51 мг/кг). В лугово-черноземной почве в условиях повышенного увлажнения и в каштановой солонцеватой почве в условиях неустойчивого увлажнения атмосферными осадками валовое содержание йода низкое, в пределах 1–3 мг/кг и менее. В распределении валового йода по профилю солонца и луговой почвы прослеживается приуроченность к средним горизонтам на участке в долине р. Бурла и к верхним и средним частям 1-метровой толщи в долине р. Кулунда, что повторяет распределение содержания ила и физической глины по профилю.

Зафиксированы существенные отличия в распределении водорастворимого йода по профилю луговых почв на разных участках. На участке в долине р. Кулунда в профиле луговой почвы максимальные концентрации элемента зафиксированы в верхней части профиля, до глубины 53 см (0.7–0.9 мг/кг), тогда

как на участке в долине р. Бурла в профиле луговой почвы максимальное содержание водорастворимого йода обнаружено на глубине 50–90 см (горизонт В, 0.4–0.9 мг/кг), а в верхней части профиля только в незначительных количествах (0.06–0.08 мг/кг).

Таким образом, несмотря на схожие условия обоих участков в профилях луговых почв водорастворимый йод аккумулировался на разной глубине из-за своей высокой подвижности и особенностей водного режима исследованных почв, т.к. непосредственно в депрессиях концентрация йода определяется не только аккумуляцией поверхностного стока, но и подъемом солей с грунтовыми водами. По классификации обеспеченности почв водорастворимой формой йода [40], верхние горизонты зональных почв исследованных участков содержали низкое количество йода ( $<0.05$  мг/кг), а интразональных – оптимальное (0.05–0.1 мг/кг) и даже высокое. По градации Ковальского [41] валового йода в почвах, интразональные почвы были обеспечены нормально и избыточно (5–40 и  $>40.0$  мг/кг соответственно), а зональные – йододефицитны ( $<5.0$  мг/кг). Бессточность территории, нахождение интразональных почв в аккумулятивных ландшафтах и их свойства обусловили аккумуляцию валового и водорастворимого йода в профиле.

Из полученных данных следует, что дефицит йода в продукции растениеводства, полученной на зональных почвах, возможно восполнить, используя интразональные солонцы и луговые почвы как естественные сенокосы и пастбища.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной работе рассмотрены малоизученные почвы Кулундинской равнины: зональные – темно-каштановая осолодевшая среднемощная, лугово-черноземная маломощная, слабогумусированная и интразональные – луговая солончаковая маломощная слабогумусированная, солонец черноземно-луговой солончаковый с позиций обеспеченности территории йодом.

Содержание гумуса в профиле почв низкое, за исключением самых верхних горизонтов. Не зафиксировано существенной связи между накоплением йода в почве и содержанием органического вещества, т.к. в исследованных почвах доминирующее действие на аккумуляцию йода оказывали другие факторы.

Формирование зональных почв происходило в основном на легких породах, что привело к низкому содержанию илистой фракции и, как следствие, йододефициту.

В слабощелочных луговых почвах и щелочных солонцах установлено высокое содержание валового йода, обусловленное аккумуляцией устойчивых

йодид- и йодат-анионов. Содержание водорастворимого йода от его валового количества было очень незначительным (в среднем 1.9%).

Наиболее существенно на накопление йода в данных почвах влиял их гранулометрический состав. Высокое содержание ила и физической глины способствовало аккумуляции йода в почвах, что подтверждено статистически. Особенно высокое содержание валового йода отмечено в иллювиальных горизонтах солонцов обоих участков. В данном случае иллювиальный горизонт послужил сорбционным геохимическим барьером для анионов йода.

Наблюдался явный недостаток валового и водорастворимого йода в зональных почвах, используемых для выращивания основных сельскохозяйственных культур, тогда как в интразональных его концентрация высокая, что позволило рекомендовать вовлечение солонцов и луговых почв в качестве естественных сенокосов и пастбищ.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шабанова Н.С., Удалов М.О., Вейцман И.А. Роль дефицита йода в патогенезе заболеваний щитовидной железы // Бюл. мед. науки. 2019. № 4(16). С. 57–59.
2. Трошина Е.А., Платонова Н.М., Абдулхабилова Ф.М., Герасимов Г.А. Йододефицитные заболевания в Российской Федерации: время принятия решений / Под ред. Дедова И.И., Мельниченко Г.А. М., 2012. 232 с.
3. Саиджанова Ф.Л., Раззаков Б.Ю., Маматалиева М.А., Асранов С.А. Морфометрические параметры сердца при внезапной коронарной смерти в эндемических очагах зоба // Архив исслед-й. 2021. № 7. С. 370–375.
4. Ahmad S., Bailey E.H., Young S.D., Arshad M. Multiple geochemical factors may cause iodine and selenium deficiency in Gilgit Baltistan, Pakistan // Environ. Geochem. Health. 2021. V. 43 № 11. P. 4493–4513.
5. Konečný R., Šeda M., Macháček H., Trávníček J., Švehla J., Fiala K. The iodine content in areas with enhanced landscape management in the Czech Republic // J. Elementol. 2020. V. 25. № 3. P. 1233–1242.
6. Мельниченко Г.А., Трошина Е.А., Платонова Н.М., Панфилова Е.А., Рыбакова А.А., Абдулхабилова Ф.М., Бостанова Ф.А. Йододефицитные заболевания щитовидной железы в Российской Федерации: современное состояние проблемы. Аналитический обзор публикаций и данных официальной государственной статистики (Росстат) // Consilium Medicum. 2019. № 4. С. 14–20.
7. Чикин А.Л., Друккер Н.А., Селютина С.Н., Попова В.А. Тиреоидный гомеостаз плаценты у женщин при йододефиците // Совр. пробл. науки и образ-я. 2022. № 2. С. 126.

8. *Moridi A.* Etiology and risk factors associated with infertility // *Inter. J. Women's Health Reproduct. Sci.* 2019. V. 7. № 3. P. 346–353.
9. *Bowley H.E., Young S.D., Ander E.L., Grout N.M.* Iodine bioavailability in acidic soils of northern Ireland // *Geoderma*. 2019. V. 348. P. 97–106.
10. *Пилов А.Х., Тарчоков Т.Т., Пойденко А.А., Миллер Т.В.* Трансформация клеточного состава щитовидной железы коров в условиях йододефицита // *Дальневост. аграрн. вестн.* 2023. Т. 17. № 1. С. 52–60.
11. *Карабаева М.Э.* Проблема йододефицита у животных // *Эффект. животновод-во.* 2018. № 2. С. 28–29.
12. WHO, UNICEF and ICCIDD. Progress towards the elimination of Iodine Deficiency Disorders (IDD) // Geneva: WHO, WHO/NUT, 1999. P. 1–33.
13. *Виноградов А.П.* Геохимия редких и рассеянных химических элементов. М.: Изд-во АН СССР, 1957. 234 с.
14. *Перельман А.И.* Геохимия элементов в зоне гипергенеза. М.: Недра, 1972. 287 с.
15. *Федак И.Р., Трошина Е.А.* Проблема дефицита йода в Российской Федерации и пути ее решения в ряде стран мира // *Пробл. эндокринолог.* 2007. № 53(5). С. 40–48.
16. *Савченков М.Ф., Селятицкая В.Г., Колесников С.И.* Йод и здоровье населения Сибири. Новосибирск: Наука, Сиб. отд-ние, 2002. 286 с.
17. *Cox E.M., Arai Y.* Environmental chemistry and toxicology of iodine // *Adv. Agron.* 2014. V. 128. P. 47–96.
18. *Duborska E., Matulova M., Vaculovic T.* Iodine fractions in Soil and their determination // *Forests*. 2021. V. 12. № 11. P. 2–8.
19. *Русина Т.В.* Атмосферный и почвенный пути поступления йода в растение. Автореф. дис. ... канд. биол. наук. М., 1985. 24 с.
20. *Кашин В.К.* Биогеохимия, физиология, агрохимия йода. Л.: Наука, 1987. 260 с.
21. *Конарбаева Г.А.* Галогены в почвах юга Западной Сибири. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2004. 200 с.
22. *Котова З.П., Данилова Т.А., Иванов А.И.* Влияние подкормки йодистым калием на продуктивность и качество клубней картофеля // *Плодородие*. 2021. № 1(118). С. 23–26.
23. *Hu Q., Moran J.E., Blackwood V.* Geochemical cycling of iodine species in soils // *Lawrence Livermore National Lab. (United States)*. 2007.
24. <https://e-reports-ext.llnl.gov/pdf/351779.pdf>
25. *Fuge R., Johnson C.C.* Iodine and human health, the role of environmental geochemistry and diet, a review // *Appl. Geochem.* 2015. V. 63. P. 282–302.
26. *Fuge R., Selinus O., Alloway B.J., Centeno J.A., Finkelman R.B., Fuge R., Lindh U.* Soils and iodine deficiency // *Essential of medical geology: Impacts of the natural environment on public health*. 2005. P. 417–433.
27. *Урусевская И.С., Алябина И.О., Винюкова В.П., Востокова Л.Б., Дорофеева Е.И., Шоба С.А., Щипухина Л.С.* Карта почвенно-экологического районирования Российской Федерации. М. 1: 2500000. М., 2013. 16 л.
28. *Конарбаева Г.А., Смоленцева Е.Н.* Фтор и йод в почвах Кулундинской равнины // *Почвоведение*. 2023. № 2. С. 170–183.
29. *Елизаров Н.В., Попов В.В., Семендяева Н.В.* Современный гидроморфизм солонцов лесостепной зоны Западной Сибири // *Почвоведение*. 2020. № 12. С. 1451–1459.
30. Теория и практика химического анализа почв / Под ред. А.А. Воробьевой. М.: ГЕОС, 2006. 400 с.
31. Руководство по лабораторным методам исследования ионно-солевого состава нейтральных и щелочных минеральных почв. М.: ВАСХНИЛ, 1990. 235 с.
32. *Вадюнина А.Ф., Корчагина З.А.* Методы исследования физических свойств почв. М.: Агропромиздат, 1986. 416 с.
33. *Проскурякова Г.Ф., Никитина О.Н.* Ускоренный вариант кинетического роданидно-нитритного метода определения микроколичеств йода в биологических объектах // *Агрохимия*. 1976. № 7. С. 140–143.
34. *Доспехов Б.А.* Методика полевого опыта. М.: Агропромиздат, 1985. 351 с.
35. Классификация и диагностика почв СССР. М.: Колос, 1977. 225 с.
36. IUSS Working Group WRB. 2014. World Reference Base for Soil Resources 2014. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. World Soil Resources Reports No. 106. FAO, 2015. 192 p.
37. *Конарбаева Г.А., Якименко В.Н.* Содержание и распределение галогенов в почвенном профиле естественных и антропогенных экосистем юга Западной Сибири // *Вестн. ТГУ. Сер. Биол.* 2012. № 4(20). С. 21–35.
38. *Конарбаева Г.А., Смоленцев Б.А., Сапрыкин О.И.* Влияние физико-химических свойств солодей Кулундинской равнины на содержание в них йода // *Агрохимия*. 2015. № 3. С. 78–80.
39. *Розен Б.Я.* Геохимия брома и йода. М.: Недра, 1970. 132 с.
40. *Yamada Hidekazu, Kiriya Totsuya, Onogawa Yuji.* Speciation of iodine in soils // *Soil Sci. Plant Nutr.* 1999. V. 45. № 3. P. 563–568.
41. *Покатилов Ю.Г.* Биогеохимия биосферы и медико-биологические проблемы. Новосибирск: Наука, Сиб. изд. фирма, 1993. 65 с.
42. *Ковальский В.В.* Биологическая роль йода // *Биологическая роль йода*. Научн. тр. ВАСХНИЛ. М.: Колос, 1972. С. 3–32.

## Iodine in the Soils of the Basin of the Inner Runoff of the Kulunda Plain

G. A. Konarbaeva<sup>a, #</sup>, B. A. Smolentsev<sup>a</sup>, N. V. Elizarov<sup>a</sup>, V. V. Popov<sup>a</sup>, V. V. Demin<sup>a</sup>

<sup>a</sup>*Institute of Soil Science and Agrochemistry SB RAS,  
prosp. Akad. Lavrentyeva 8/2, Novosibirsk 63009, Russia*

<sup>#</sup>*E-mail: konarbaeva@issa.nsc.ru*

The distribution of iodine (I) was studied in two soil catenae located in the basins of the Burla and Kulunda rivers in the Altai Territory. Soil sections were laid on the main types of elementary landscapes. The first site is located on a low-lying plain in a bend of the Burla River (near the village of Burla in the Altai Territory). Three sections have been laid, revealing the following soils: Calcic Kastanozems, located in the eluvial landscape, Gleic Solonetz – was formed in the superqual landscape and Chernic Gleysols Salic. The absolute height excess between chestnut soil and meadow was 3 m, the length of the catena was 677 m. The site in the valley of the Kulunda River was located in its middle course not far from the Lower Chumanka point of the Altai Territory. It had a smaller slope, so the change of soils from the top of the hilly area to the floodplain of the Kulunda River was observed at a greater distance (the length of the catena is 1650 m). The sections are laid on Gleyic Chernozems, Gleyic Solonetz Salic and Chernic Gleysols Salic, located in landscapes similar to the first catena. The total iodine content and its water-soluble form were determined in all genetic horizons. The content of total I in soils averaged 26.4 mg/kg (ranging from 0.36 to 100 mg/kg or more), water-soluble – 0.3 mg/kg, respectively (from 0.0 to 0.9 mg/kg). It was found that the content of total I with an average strength correlates with the content of physical clay and silt, and the absolute maxima of iodine content are confined to the illuvial horizons of salt lakes. A large amount of gross iodine was also found in meadow soils, whereas iodine is found in very small concentrations in soils of eluvial positions. The identified accumulations of I in intrazonal soils can be used to cover the iodine deficiency of zonal soils by involving them in agricultural turnover as natural hayfields and pastures.

**Keywords:** iodine, iodine deficiency, Kulunda steppe, Kastanozems, Solonetz, Gleysols, Western Siberia, river Burla, Kulunda.

УДК 631.46:631.51

# ВЛИЯНИЕ МИНИМИЗАЦИИ СПОСОБОВ ПОЧВООБРАБОТКИ И ПРЯМОГО ПОСЕВА НА БИОГЕННОСТЬ ПОЧВЫ И РАЗВИТИЕ АЗОТОБАКТЕРА В ПОЧВЕННО-КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ ЮГО-ВОСТОКА ЦЧР

© 2024 г. В. М. Гармашов<sup>1,\*</sup>, Л. В. Гармашова<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Воронежский федеральный аграрный научный центр  
им. В.В. Докучаева, Каменная Степь  
397463 Воронежская обл., Таловский р-н, пос. 2-го участка Института им. В.В. Докучаева,  
квартал 5, 81, Россия  
\*E-mail: garmashov.63@mail.ru

В многолетних исследованиях биогенности почвы и развития азотобактера, проведенных с целью изучения изменений почвенных процессов при минимизации почвообработки и прямом посеве, показано, что в почвенно-климатических условиях юго-востока ЦЧР в зернопропашном севообороте происходило снижение биогенности почвы и возрастание ее зависимости от погодных условий. Наиболее благоприятные условия для развития азотобактера складывались при вспашке на глубину 20–22 см, при среднегодовой его численности 445 КОЕ/50 г почвы в слое 0–20 см. Минимизация обработки почвы приводила к ухудшению условий почвенной среды для развития азотобактера, усиливавшихся с продолжительностью ее использования. Глифосатсодержащие гербициды при нулевой обработке почвы при длительном их применении оказывали депрессирующее влияние на развитие свободноживущих азотфиксирующих бактерий рода *Azotobacter*. Применение минеральных удобрений N60P60K60 при нулевой обработке почвы снижало негативное влияние глифосатсодержащих препаратов на микрофлору и азотобактер в черноземе обыкновенном.

**Ключевые слова:** минимизация обработки почвы, прямой посев, биогенность почвы, общая численность микроорганизмов, азотобактер.

**DOI:** 10.31857/S0002188124010099

## ВВЕДЕНИЕ

В современном земледелии актуальны разработки и внедрение ресурсосберегающих технологий обработки почвы вплоть до прямого посева, несмотря на то, что это зачастую приводит к ухудшению физических и биологических свойств почвы [1–4], наращиванию объемов применения пестицидов и удобрений [5–8], что вызывает опасность ухудшения экологического состояния почв [9–11].

В последние годы для изучения и оценки экологического состояния пахотных почв широкое распространение получают методы микробиологического тестирования [12–14], т.к. почвенная микрофлора является одним из чувствительных показателей оценки плодородия и экологического состояния пашни [15–18]. Поэтому в настоящее время особое значение и актуальность приобретает изучение интенсивности и направленности микробиологических процессов в почве при применении современных энергосберегающих технологий, насыщенных агрохимикатами и пестицидами.

В связи с этим цель работы — исследование динамики и направленности развития основных групп почвенных микроорганизмов и азотобактера как индикаторов экологического состояния почвы при минимизации обработки и прямом посеве.

## МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследование проводили в стационарном опыте по изучению эффективности приемов минимизации обработки почвы в Воронежском ФАНЦ им. В.В. Докучаева на черноземе обыкновенном среднегумусном, тяжелосуглинистом, с благоприятными физико-химическими показателями 0–30 см слоя: гумус (по Тюрину в модификации Симанова, ГОСТ 2613–91) — 6.48%, общий азот (по Гинзбург) — 0.36%, общий фосфор (по Гинзбург и Щегловой) — 0.35%, общий калий (по Ожигову) — 1.85%, азот гидролизующий (по Тюрину и Кононовой) — 61.2 мг/кг почвы, сумма поглощенных оснований (ГОСТ 27821–88) — 66.4 мг/кг

почвы,  $pH_{KCl}$  6.99, гидролитическая кислотность — 0.57 мг-экв/100 г почвы.

Наблюдения за динамикой микробиологических процессов (развитием микробиома почвы и азотобактера) проводили в течение 9-ти лет с 2014 по 2022 гг. в вариантах традиционной обработки почвы — вспашке на глубину 20–22 см (контроль), минимальной обработки на глубину 6–8 см, прямом посеве — нулевой обработке и залежи. Изучение приемов минимизации обработки чернозема проводили в зернопропашном севообороте: горох — озимая пшеница — кукуруза на зерно — ячмень — однолетние травы — озимая пшеница — подсолнечник — ячмень.

Для изучения изменения микробного ценоза в вариантах опыта отбирали смешанные почвенные образцы из наиболее биогенного слоя 0–20 см. Учет численности микроорганизмов проводили классическим методом посева на питательные среды по методике Теппер [19], азотобактера — на почвенных пластинах. Обработку данных проводили с использованием Microsoft Office Excel 2016.

Погодные условия в годы исследования были различными и в целом близкими к типичным для юго-востока ЦЧР, что позволило получить достоверную оценку действия изученных факторов.

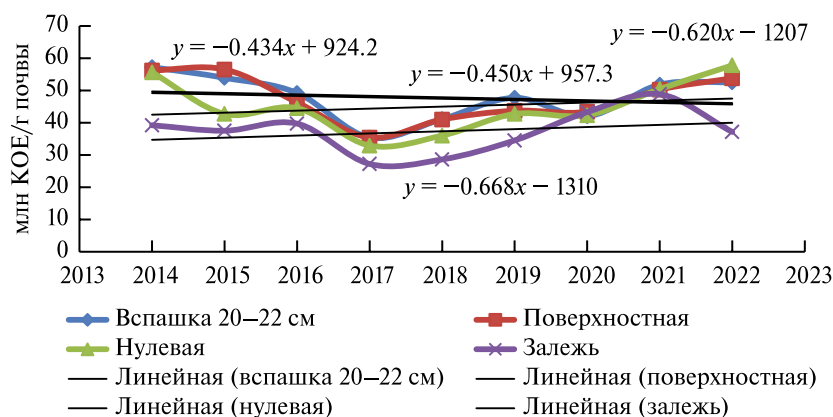
## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Данные об изменении биогенности чернозема обыкновенного при минимизации обработки почвы и прямом посеве представлены на рис. 1.

Показано, что на фоне выраженных амплитудных изменений общей численности микроорганизмов, обусловленных гидротермическими

условиями вегетационных периодов при  $r = 0.46$  при поверхностной обработке до  $r = 0.28$  при нулевой обработке и  $r = 0.26$  на залежи существовали трендовые закономерности изменения общей численности микроорганизмов в зависимости от изученных приемов обработки почвы. При максимальной среднегодовой биогенности (общей численности микроорганизмов) 0–20 см слоя почвы, равной 47.9 млн КОЕ/г почвы при вспашке на глубину 20–22 см поверхностная обработка на глубину 6–8 см приводила к некоторому снижению уровня биогенности до 47.4 млн КОЕ, а использование систематического прямого посева снижало среднегодовую общую численность микроорганизмов в этом слое до 45.0 млн КОЕ/г абсолютно сухой почвы или на 6.1%. При этом минимальная среднегодовая общая численность микроорганизмов была в залежи — 37.3 млн КОЕ/г абсолютно сухой почвы или на 22.1% меньше, чем при вспашке, и на 17.1% меньше, чем при нулевой обработке почвы. Необходимо отметить, что трендовая закономерность изменения биогенности (общей численности микроорганизмов) чернозема обыкновенного при нулевой обработке была аналогична таковой в почве, находящейся в условиях залежи, о чем свидетельствовали уравнения регрессии:  $y = 0.668x - 1310$  в условиях залежи и  $y = 0.620x - 1207$  при нулевой обработке только при более высоких показателях, что было связано с культурным агроценозом.

Обработанная почва (вспашка и поверхностная обработка) имела несколько иные закономерности в развитии биогенности по сравнению с залежью и необработанной почвой. Но при этом динамика и направленность микробиологических процессов в обработанной почве были аналогичными и описывались уравнениями регрессии:  $y = -0.450x + 957.3$  при вспашке на глубину



**Рис. 1.** Изменение биогенности (общей численности микроорганизмов) чернозема в слое 0–20 см при минимизации обработки почвы и прямом посеве.



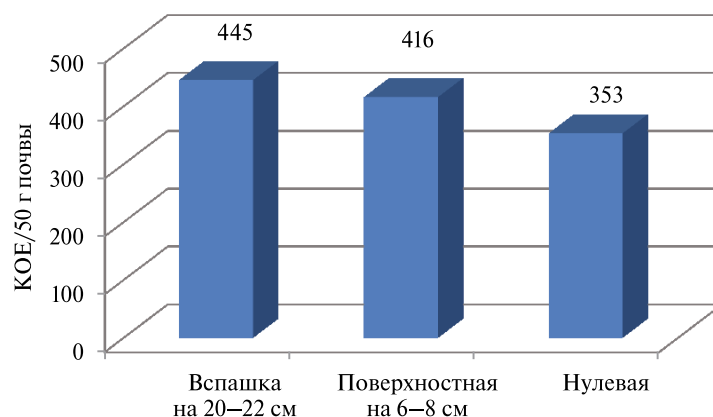


Рис. 2. Среднегодовая численность азотобактера при различных способах обработки почвы (2014–2022 гг.).

20–22 см и  $y = -0.434x + 924.2$  при поверхностной обработке почвы на глубину 6–8 см.

Наиболее стабильной была микробиологическая активность в обработанной почве, вспаханной на глубину 20–22 см и при поверхностной обработке, где коэффициент вариации составил 14.7–15.3%, тогда как при обработке по-till – 18.4%. Можно сделать вывод, что при отказе от обработки почвы в почвенно-климатических условиях опыта, биологическая активность почвы в большей мере зависела от влияния факторов внешней среды и погодных условий.

Одним из показателей плодородия почвы и ее экологического состояния является активность азотфиксирующих бактерий, принадлежащих к роду *Azotobakter*. Эти бактерии обеспечивают трансформацию молекулярного азота воздуха в доступные формы для растений. К тому же *Azotobakter* очень чутко реагирует на изменение агрономических свойств и ухудшение плодородия и экологического состояния почвы [20, 21].

Результаты изучения динамики развития азотобактера и статистическая обработка данных свидетельствовали, что наиболее благоприятные условия для развития азотобактера складывались при вспашке, где отмечено наибольшее его присутствие со среднегодовой численностью 445 КОЕ/50 г почвы (рис. 2).

Применение приемов минимизации обработки почвы привело к ухудшению условий для его развития: при поверхностной обработке почвы его численность снизилась на 6.6% (416 КОЕ/50 г почвы), при нулевой обработке – до 353 КОЕ/50 г почвы или на 20.6%. Азотобактер слабо реагировал на изменение внешних факторов, корреляционная зависимость между численностью бактерий и гидротермическим коэффициентом была очень слабой при всех изученных обработках почвы:  $r = -0.05–0.22$ .

Минимизация обработки почвы приводила к ухудшению условий почвенной среды для

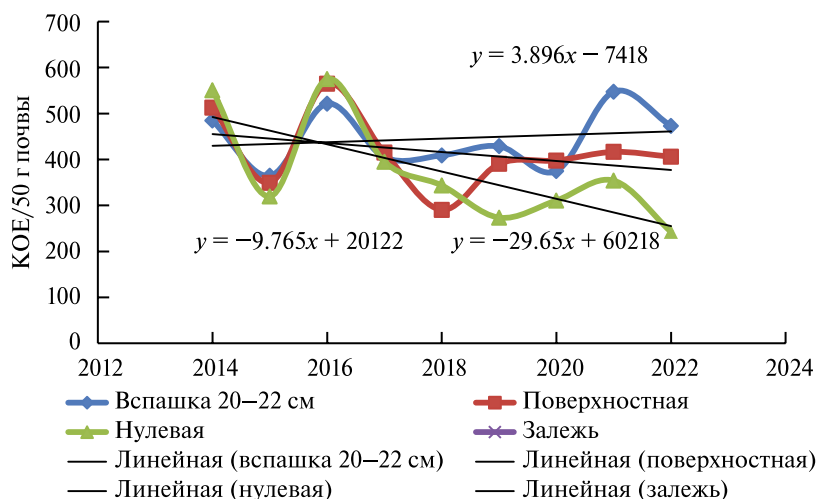
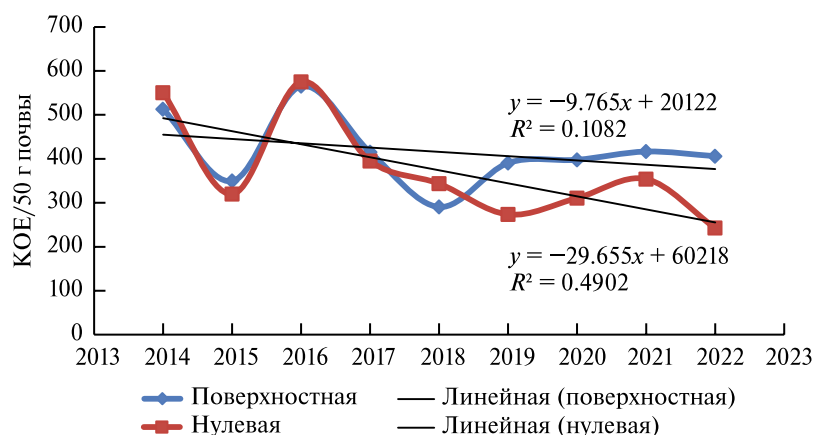


Рис. 3. Развитие азотобактера при минимизации обработки почвы и прямом посеве.



**Рис. 4.** Развитие азотобактера в слое 0–20 см почвы на различных фонах применения глифосатсодержащих гербицидов.

**Таблица 1.** Численность азотобактера в слое 0–5 см почвы при традиционной обработке почвы и нулевой обработке спустя 5 сут после применения препарата Торнадо 500 ВР (2019–2020 гг.)

| Вариант                                         | КОЕ/50 г почвы |
|-------------------------------------------------|----------------|
| Без использования глифосатсодержащего гербицида |                |
| Вспашка на 20–22 см                             | 361            |
| Вспашка на 20–22 см + удобрения                 | 249            |
| Применение Торнадо 500 ВР в течение 7-ми лет    |                |
| Нулевая обработка почвы                         | 55             |
| Нулевая обработка почвы + удобрения             | 93             |

развития азотобактера, усиливавшихся с продолжительностью использования (рис. 3).

В связи с расширением площадей с применением минимизации обработки почвы и прямого посева в земледелии региона увеличились объемы использования гербицидов, особенно – глифосатсодержащих. При этом в научной литературе все чаще утверждают, что глифосатсодержащие препараты являются небезопасными для окружающих организмов и подавляют деятельность азотфиксирующих бактерий, развитие грибной микоризы, оказывающей стимулирующее влияние на усвоение влаги и питательных веществ выращиваемыми культурами [22–24].

Так как многие исследователи в качестве тест-организма для определения наличия в почве токсинов рекомендуют использовать активность развития колоний азотобактера [7, 8]. Была изучена и проанализирована динамика развития свободноживущих азотфиксирующих микроорганизмов рода *Azotobacter* в черноземе обыкновенном, используемом в сельскохозяйственном производстве без применения глифосатсодержащих гербицидов и при нулевой обработке почвы – прямом посеве,

предусматривающем ежегодное применение гербицидов на основе глифосата осенью после уборки предшественника и весной до всходов культур севооборота. В опыте в качестве глифосатсодержащего препарата использовали гербицид Торнадо-500, ВР с нормой расхода 2.5 л/га. За период исследования (9 лет) в почву в варианте с no-till обработкой было внесено глифосата порядка 22.5 л/га.

Анализ данных показал, что в первые 5 лет используемый при прямом посеве глифосат депрессирующего влияния на развитие бактерий рода *Azotobacter* в слое почвы 0–20 см не оказал, но при более длительном применении глифосата в агроценозе отмечена четкая тенденция к снижению численности свободноживущих азотфиксирующих бактерий рода *Azotobacter* по сравнению с фоном, где отсутствовало применение глифосатсодержащего гербицида (рис. 4).

Хотя на общей численности микроорганизмов в агрогенной почве это не сказалось (рис. 1), что было обусловлено высокой буферностью и биологической активностью черноземных почв и влиянием на почвенную среду корневых систем выращиваемых в севообороте культур.

Изучение активности развития азотобактера в поверхностном слое 0–5 см почвы, где непосредственно концентрируется действующее вещество препарата при проведении гербицидной обработки (опрыскивании почвы), в вариантах с нулевой обработкой почвы, показало, что через 5 сут после проведения гербицидной обработки отмечено снижение численности азотобактера в 7 раз по сравнению с фоном, где глифосатсодержащие препараты не применяли, а на фоне ежегодного применения минеральных удобрений N60P60K60 под основную обработку почвы – почти в 3 раза (табл. 1).

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, выявлено, что в почвенно-климатических условиях юго-востока ЦЧР при минимизации почвообработки в зернопропашном севообороте прослеживается общий тренд на снижение биогенности почвы и увеличении ее зависимости от влияния погодных условий. Наиболее благоприятные условия для развития азотобактера складывались при вспашке на глубину 20–22 см, где его среднегодовая численность в слое 0–20 см составляла 445 КОЕ/50 г почвы. Минимизация обработки почвы приводила к ухудшению условий почвенной среды для успешного развития азотобактера, усиливающих с продолжительностью использования этого приема.

Глифосатсодержащие гербициды, примененные при нулевой обработке почвы, при длительном их применении оказывали депрессирующее влияние на развитие свободноживущих азотфиксирующих бактерий рода *Azotobacter*. Применение минеральных удобрений N60P60K60 при нулевой обработке почвы снижало негативное влияние глифосатсодержащих препаратов на микрофлору и азотобактер в черноземе обыкновенном.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Власенко А.Н., Власенко Н.Г., Кудашкин П.И. Изменение показателей плодородия чернозема выщелоченного лесостепи Приобья при использовании технологии No-till // *Агрохимия*. 2019. № 12. С. 24–30.
2. Дубовик Е.В., Дубовик Д.В., Шумаков А.В. Влияние способа основной обработки почвы на агрофизические свойства чернозема типичного при возделывании сои // *Плодородие*. 2022. № 3. С. 49–52.
3. Гребенников А.М., Фрид А.С., Сапрыкин С.В., Чевердин Ю.И. Влияние приемов основной обработки почв, фаз вегетации озимой пшеницы и глубины слоя почвы на уплотнение агрочернозема // *Агрохимия*. 2019. № 10. С. 58–63.
4. Гармашов В.М., Гармашова Л.В. Развитие микроорганизмов, связанных с циклом азота, при минимизации обработки почвы и прямом посеве в почвенно-климатических условиях юго-востока ЦЧР // *Агрохимия*. 2022. № 4. С. 78–82.
5. Завалин А.А., Дригидер В.К., Белобров В.П., Юдин С.А. Азот в черноземах при традиционной технологии обработки и прямом посеве (обзор) // *Почвоведение*. 2018. № 12. С. 1–10. <https://doi.org/10.1134/S0032180X18120146>
6. Notron J.B., Eusebleus J., Notron M., Notron U. Loss and recovery of soil organic carbon and nitrogen in a semiarid agroecosystem // *Soil Organic Soc. Amer. J.* 2012. № 76(2). P. 505–514.
7. Somasundaram J., Sinha N.K., Dalat R.C. No-till farming and conservation agriculture in South Asia: issues, challenges, prospects and benefits // *Critic. Rev. Plant Sci.* 2020. V. 39. № 3. P. 236–279.
8. Кирюшин В.И. Проблема минимизации обработки почвы: перспективы развития и задачи исследований // *Земледелие*. 2013. № 7. С. 3–6.
9. Казеев К.Ш., Лосева Е.С., Боровикова Л.Г., Колесников С.И. Влияние загрязнения современными пестицидами на биологическую активность чернозема выщелоченного // *Агрохимия*. 2010. № 11. С. 39–44.
10. Свистова И.Д. Влияние многолетнего внесения удобрений на почвенно-поглощительный комплекс и микробное сообщество выщелоченного чернозема // *Агрохимия*. 2004. № 6. С. 16–23.
11. Коробова Л.Н., Шинделов А.В. Микробный отклик выщелоченного чернозема на превышение нормы гербицидной нагрузки // *Вестн. АлтайГУ*. 2012. № 8(94). С. 51–54.
12. Маячкина Н.В., Чугунова М.В. Особенности биотестирования почв с целью их экологической оценки // *Вестн. Нижегород. ун-та им. Н.И. Лобачевского*. 2009. № 1. С. 84–93.
13. Седельникова Л.Л., Ларичкина Н.И., Седельникова А.А. Использование метода биотестирования экологического состояния в городской среде // *Уч. зап. Таврич. нац. ун-та им. В.И. Вернадского. Сер. Биол., химия*. 2014. Т. 27 (66). № 5. С. 154–156.
14. Колесников С.И., Казеев К.Ш., Вальков В.Ф. Экологическое состояние и функции почв в условиях химического загрязнения. Ростов-н/Д.: Росиздат, 2006. 385 с.
15. Паринкина О.М., Ключева Н.В. Микробиологические аспекты уменьшения естественного плодородия почв при их сельскохозяйственном использовании // *Почвоведение*. 1995. № 5. С. 573–581.
16. Добровольский Г.В., Никитин Е.Д. Экологические функции почвы. М.: Изд-во МГУ, 1986. 240 с.
17. Полякова Н.В., Редькина Н.В. Изменение некоторых микробиологических параметров почв ле-

- состепи при сельскохозяйственном использовании // *Агрохимия*. 2007. № 7. С. 71–75.
18. *Иванов А.Л.* Роль микробиологии в оценке почвенных ресурсов // *Вестн. сел.-хоз. науки*. 2015. № 6. С. 26–28.
19. *Теппер Е.З., Шильникова В.К., Переверзев Г.Н.* Практикум по микробиологии М.: Колос, 1979. 215 с.
20. *Скворцова И.Н., Строганова М.Н., Николаева Д.А.* Азотобактер в почвах города Москвы // *Почвоведение*. 1997. № 3. С. 384–391.
21. *Колесников С.И., Казеев К.Ш., Вальков В.Ф.* Экологические последствия загрязнения почв тяжелыми металлами. Ростов-н/Д.: СКНЦ ВШ, 2000. 232 с.
22. *Спиридонов Ю.Я., Ларина Г.Е., Протасова Л.Д., Верховцева Н.В., Степанов А.Л.* Опыт многолетнего применения производных глифосата и глюфосината в экоценозе парового поля // *Вестн. защиты раст.* 2006. № 2. С. 3–14.
23. *Жариков М.Г., Спиридонов Ю.Я.* Изучение влияния глифосатсодержащих гербицидов на агроценоз // *Агрохимия*. 2008. № 8. С. 81–89.
24. *Куликова Н.А., Лебедева Г.Ф.* Гербициды и экологические аспекты их применения. М.: Кн. дом “ЛИБРОКОМ”, 2015. 152 с.

## **Influence of Minimization of Tillage Methods and Direct Seeding on Soil Biogenicity and Development of Nitrogen Bacterium in Soil and Climatic Conditions of the South-East of the Central Chernozem Region**

**V. M. Garmashov<sup>a, #</sup>, L. V. Garmashova<sup>a</sup>**

*<sup>a</sup>Voronezh Federal Agrarian Scientific Center  
named after V.V. Dokuchaev, Kamennaya Steppe,  
village of the 2nd section of the V.V. Dokuchaev Institute, block 5, 81, Voronezh Region,  
Talovsky district 397463, Russia*

*<sup>#</sup>E-mail: garmashov.63@mail.ru*

In long-term studies of soil biogenicity and the development of nitrogen bacteria, conducted in order to study changes in soil processes while minimizing tillage and direct sowing, it was shown that in the soil and climatic conditions of the south-east of the Central chernozem region in the grain crop rotation, there was a decrease in soil biogenicity and an increase in its dependence on weather conditions. The most favorable conditions for the development of azotobacter were formed when plowing to a depth of 20–22 cm, with an average annual number of 445 CFT/50 g of soil in a layer of 0–20 cm. Minimization of tillage led to deterioration of the soil environment conditions for the development of azotobacter, which increased with the duration of its use. Glyphosate-containing herbicides with zero tillage and prolonged use had a depressing effect on the development of free-living nitrogen-fixing bacteria of the genus nitrogen bacteria. The use of mineral fertilizers N60P60K60 with zero tillage reduced the negative effect of glyphosate-containing preparations on microflora and nitrogen bacteria in ordinary chernozem.

**Keywords:** minimization of tillage, direct sowing, soil biogenicity, total number of microorganisms, nitrogen bacterium.

УДК 632.112:632.937.1.07:632.981

## ВЛИЯНИЕ ЭНДОФИТНЫХ ШТАММОВ *Bacillus subtilis* НА МИКОРИЗАЦИЮ КОРНЕЙ ПШЕНИЦЫ ПРИ СОЛЕВОМ СТРЕССЕ

© 2024 г. З. М. Курамшина<sup>1,\*</sup>, Р. М. Хайруллин<sup>2</sup>, А. А. Ямалеева<sup>3</sup><sup>1</sup>Стерлитамакский филиал Уфимского университета науки и технологий,  
453103 Стерлитамак, пр. Ленина, 49, Россия<sup>2</sup>Институт биохимии и генетики Уфимского федерального исследовательского центра  
Российской академии наук

454054 Уфа, проспект Октября, 71, Россия

<sup>3</sup>Уфимский университет науки и технологий,  
450076, г. Уфа, ул. Заки Валиди, д. 32, Россия

\*E-mail: kuramshina\_zilya@mail.ru

Исследовали влияние инокуляции семян растений пшеницы клетками 2-х эндофитных штаммов *Bacillus subtilis* на формирование эндомикоризы в корнях в условиях солевого стресса. Установлено, что показатели микоризации корней растений уменьшались, как при солевом стрессе в почве, так и при обработке семян эндофитными бактериями. В то же время в условиях солевого стресса у растений, инокулированных *B. subtilis*, обнаружено увеличение показателей микоризации. Выявлено, что бактерии *B. subtilis* снижали у растений стресс, возникший в результате засоления почвы. Полученные результаты показали возможный характер одновременного взаимоотношения растений с представителями двух царств — бактерий и грибов. Вероятно, в условиях стрессового действия на растение-хозяина всем 3-м участникам симбиотической системы выгоднее выживать вместе, сохраняя репродуктивный потенциал для следующих поколений.

**Ключевые слова:** *Triticum aestivum* L., засоленность почвы, эндофитные бактерии *Bacillus subtilis*, везикулярно-арбускулярная микориза, взаимоотношения.

**DOI:** 10.31857/S0002188124010103

### ВВЕДЕНИЕ

Засоленность почвы является одним из жестких факторов, который ведет к большим экономическим потерям и угрожает продовольственной безопасности во всем мире, поскольку сокращает пригодные для выращивания большинства сельскохозяйственных культур площади пахотных земель [1]. Засоление почвы является глобальной проблемой, по данным ФАО, примерно 7% мировых сельскохозяйственных угодий подвержены засолению, и их доля постоянно увеличивается [2]. Причиной засоления могут быть как глобальное изменение климата, так и неправильное использование агротехники, усиленное и неконтролируемое орошение и чрезмерное использование химических удобрений [1, 2]. Высокая засоленность в основном связана с высокими концентрациями  $\text{Na}^+$  и  $\text{Cl}^-$  в почве, которые образуют гипертонические и гипертонические растворы, препятствующие поглощению растениями воды и питательных веществ [2]. Солевой стресс нарушает биохимические и физиологические процессы в растениях и может вызывать

ионный и/или осмотический стресс. На клеточном уровне он вызывает метаболическую токсичность, влияет на фотосинтез, приводит к продукции активных форм кислорода (АФК), вызывает разрушение мембран и даже запрограммированную гибель клеток [1, 2]. На уровне растений эффекты становятся видимыми со временем (от нескольких суток до месяцев) из-за ограниченной способности клеток накапливать ионы. Также обнаруживаются некоторые физиологические изменения, такие как тяжелые некротические поражения листьев, снижение роста, уменьшение количества листьев и нарушение репродукции растений [1, 2].

Физиологические и биохимические изменения растений при стрессе анализируют детально, однако на реакцию симбиотически связанных с растениями организмов, в частности, эндомикоризных грибов обращают меньше внимания. Эти грибы участвуют в мутуалистических ассоциациях с корнями сосудистых растений, обеспечивая растение водой и питательными веществами, получая взамен углеводы [3]. Считается, что реакция

микоризных грибов на стресс может также влиять на растения-партнеры, и стрессоустойчивость грибов может снижать стресс растений [3]. Из-за своей неподвижности при постоянном стрессе окружающей среды растения не только развивают свои адаптивные механизмы, но и совместно с почвенными микроорганизмами вырабатывают сложные механизмы сопротивления стрессу [4].

В связи с активным применением в агрохимической практике препаратов на основе эндофитных бактерий, малоизученными остаются троичные симбиозы, которые могут формировать растительные организмы, эндофитные бактерии и микоризообразующие грибы. Некоторые эндофитные штаммы бактерий активно используют в качестве основной части препаратов для защиты растений от фитопатогенов, например, *Bacillus subtilis* 26Д – основа биофунгицида “Фитоспорин” [5]. Эти штаммы подавляют рост и развитие грибов, и такой же антогонизм они могут проявлять в отношении к грибным микроорганизмам, формирующим везикулярно-арбускулярную микоризу (ВАМ), однако в условиях стресса характер таких отношений может меняться [6–9]. В связи с этим цель работы – изучение влияния инокуляции семян яровой мягкой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) эндофитными антагонистическими штаммами бактерий *B. subtilis* на микоризацию корней растений в условиях солевого стресса.

## МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Объектом исследования служили растения мягкой яровой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) сорта Омская-35. Посев производили калиброванными с помощью сита семенами одинакового размера. Семена обрабатывали суспензией спор ( $10^6$  клеток/мл) эндофитных штаммов бактерий *B. subtilis* 26Д (коллекция ВНИИСХМ, № 128), *B. subtilis* 11ВМ (ВНИИСХМ, № 519) из расчета 20 л суспензии/семян. Растения выращивали в почве (выщелоченный чернозем), отобранной с поля, на котором выращивали яровую пшеницу. Для этого 1 кг воздушно-сухой почвы предварительно освобождали от пожнивных остатков и помещали в пластиковый контейнер.

Солевой стресс имитировали однократным поливом почвы раствором NaCl в концентрациях 3, 4, 5, 6 г/кг почвы после посева семян растений. Контрольные растения поливали дистиллированной водой. Через 60 сут растения извлекали из земли, не повреждая корней и листьев, промывали в проточной воде, подсушивали на фильтровальной бумаге и определяли морфометрические показатели. Корни затем отделяли и проводили количественный учет ВАМ по методу Травло [10]. Для этого корни осветляли в растворе

10%-ного КОН, затем промывали 2%-ным раствором HCl и окрашивали трепановым синим. При определении степени колонизации микоризы использовали стандартную технику световой микроскопии окрашенных корней.

Повторность опыта трехкратная. Представлены средние значения и их стандартные отклонения. Статистическую обработку данных проводили стандартными методами с использованием Microsoft Office Excel. Для оценки значимости различий средних значений применяли *t*-критерий Стьюдента.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Корни контрольных растений пшеницы, выросших в отсутствие стресса из семян, неинокулированных эндофитными штаммами бацилл, характеризовались высокой частотой встречаемости микоризы – >84,2% (табл. 1).

Обработка семян спорами обоих штаммов эндофитных бактерий снижала частоту микоризации корней пшеницы в среднем на 28,8%, что соответствовало полученным нами ранее данным [6–8, 11]. Эндофитные штаммы бактерий *B. subtilis* 26Д и 11ВМ обладают антагонистической активностью к различным видам фитопатогенных грибов [12], с чем, вероятно, и связано их действие по отношению к ВАМ.

При выращивании растений пшеницы в почве с NaCl происходило угнетение развития микоризы в корневой системе растений. При внесении в почву NaCl в концентрации 3, 4, 5, 6 г/кг частота микоризации уменьшалась у неинокулированных бактериями растений на 18,7, 36,0%, в 2,6 и 5 раз соответственно. Плохое развитие микоризных грибов при росте растений на засоленных почвах связано, по мнению ряда авторов, с токсическим воздействием соли на развитие арбускулярных грибов [3, 13, 14]. Клетки ВАМ, так же как и растительные, при солевом стрессе испытывают осмотический стресс, нехватку питательных веществ и/или окислительный стресс [3].

У инокулированных бактериями растений частота микоризации также уменьшалась, но была больше, чем у неинокулированных при тех же концентрациях NaCl на 10, 7, 25, 25% соответственно.

Наличие соли в почве приводило к уменьшению и других показателей микоризации корней (интенсивности микоризации, обилия арбускул) в сравнении с контрольными растениями, выросшими без соли и необработанными эндофитными бактериями. Инокуляция семян эндофитными штаммами бактерий вызывала у растений, растущих в почве без соли, аналогично действию солевому стрессу, снижение других показателей микоризации

**Таблица 1.** Влияние засоления почвы на показатели микоризации корней растений пшеницы сорта Омская 35, обработанных эндофитными бактериями

| Вариант                                                           | NaCl, г/кг почвы |            |             |             |             |
|-------------------------------------------------------------------|------------------|------------|-------------|-------------|-------------|
|                                                                   | 0                | 3          | 4           | 5           | 6           |
| Частота микоризации в корневой системе*, F%                       |                  |            |             |             |             |
| Без обработки                                                     | 84.2 ± 2.7       | 68.4 ± 3.5 | 53.8 ± 2.5  | 31.6 ± 1.0  | 16.3 ± 1.8  |
| <i>B. subtilis</i> 26Д                                            | 60 ± 2*          | 73.7 ± 2.9 | 57.9 ± 3.8  | 39.1 ± 2.6* | 20.0 ± 1.6  |
| <i>B. subtilis</i> 11 ВМ                                          | 59.8 ± 2.1*      | 71.2 ± 3.0 | 58.4 ± 3.7  | 38.5 ± 2.0* | 21.9 ± 1.2* |
| Интенсивность колонизации микоризы в корневой системе*, M%        |                  |            |             |             |             |
| Без обработки                                                     | 3.6 ± 0.9        | 2.0 ± 0.5  | 0.54 ± 0.03 | 0.32 ± 0.07 | 0.14 ± 0.01 |
| <i>B. subtilis</i> 26Д                                            | 2.2 ± 0.7        | 2.7 ± 0.3  | 1.0 ± 0.03  | 0.8 ± 0.06  | 0.25 ± 0.02 |
| <i>B. subtilis</i> 11 ВМ                                          | 2.1 ± 0.3        | 2.5 ± 0.2  | 0.99 ± 0.04 | 0.79 ± 0.05 | 0.24 ± 0.02 |
| Интенсивность колонизации микоризы в корневом фрагменте*, m%      |                  |            |             |             |             |
| Без обработки                                                     | 3.9 ± 0.9        | 2.9 ± 0.5  | 1.7 ± 0.03  | 1.2 ± 0.07  | 0.9 ± 0.01  |
| <i>B. subtilis</i> 26Д                                            | 3.2 ± 0.7        | 3.7 ± 0.3  | 2.0 ± 0.2   | 1.5 ± 0.06  | 1.3 ± 0.02  |
| <i>B. subtilis</i> 11 ВМ                                          | 3.0 ± 0.3        | 3.5 ± 0.2  | 2.1 ± 0.1   | 1.3 ± 0.05  | 1.3 ± 0.01  |
| Изобилие арбускул в корневой системе*, A%                         |                  |            |             |             |             |
| Контроль                                                          | 21.1 ± 1.1       | 11.9 ± 0.9 | 7.8 ± 0.2   | 5.4 ± 0.3   | 1.0 ± 0.1   |
| <i>B. subtilis</i> 26Д                                            | 15.9 ± 0.8       | 14.9 ± 0.9 | 9.8 ± 0.3   | 7.3 ± 0.2   | 3.1 ± 0.1   |
| <i>B. subtilis</i> 11 ВМ                                          | 16.0 ± 1.0       | 15.0 ± 0.7 | 9.5 ± 0.4   | 6.6 ± 0.1   | 2.8 ± 0.1   |
| Изобилие арбускул в микоризованной части корневого фрагмента*, a% |                  |            |             |             |             |
| Без обработки                                                     | 3.1 ± 0.3        | 2.4 ± 0.02 | 1.6 ± 0.1   | 0.9 ± 0.01  | 0.3 ± 0.01  |
| <i>B. subtilis</i> 26Д                                            | 2.7 ± 0.2        | 2.6 ± 0.2  | 1.9 ± 0.1   | 1.1 ± 0.1   | 0.5 ± 0.01  |
| <i>B. subtilis</i> 11 ВМ                                          | 2.5 ± 0.2        | 2.4 ± 0.1  | 1.7 ± 0.1   | 1.0 ± 0.1   | 0.3 ± 0.01  |

\* Различия между показателями обработанных и необработанных бактериями растений при разной степени засоленности почвы достоверны при  $p \leq 0.05$ . То же в табл. 2.

в сравнении с неинокулированными растениями. В условиях засоления почвы показатели микоризации растений (интенсивность микоризации, обилие арбускул), инокулированных бактериями, были, как и показатели частоты микоризации,

больше, чем у неинокулированных при тех же концентрациях NaCl.

Подтверждением влияния солевого стресса на физиологические процессы растений пшеницы является анализ биомассы растений. Масса побегов при

**Таблица 2.** Влияние обработки семян бактериями на сырую массу надземной части (мг) 30-суточных растений пшеницы сорта Омская 35 при разной концентрации хлорида натрия в почве

| Концентрация NaCl, г/кг почвы | Контроль   | <i>B. subtilis</i> 26Д | <i>B. subtilis</i> 11ВМ |
|-------------------------------|------------|------------------------|-------------------------|
| 0                             | 22.5 ± 0.9 | 26.9 ± 1.0*            | 33.1 ± 1.1*             |
| 3                             | 21.1 ± 0.7 | 23.7 ± 0.7*            | 20.8 ± 0.9              |
| 4                             | 18.4 ± 0.9 | 21.8 ± 0.8*            | 18.6 ± 0.7              |
| 5                             | 18.0 ± 0.5 | 20.4 ± 0.7*            | 18.2 ± 0.6              |
| 6                             | 17.0 ± 0.8 | 18.0 ± 0.9             | 17.3 ± 0.8              |

концентрации NaCl 3, 4, 5, 6 г/кг уменьшалась соответственно на 6.2, 18.2, 20, 24.4% в сравнении с растениями, растущими в почве без соли (табл. 2).

Обработка семян пшеницы эндофитными штаммами бацилл достоверно увеличивала сырую массу побегов в отсутствие солевого стресса. Инокуляция семян бактериями не позволила предотвратить отрицательное влияние засоленности почвы на биомассу растений. В то же время масса побегов пшеницы, инокулированных бактериями и растущих в условиях засоленности почвы, в сравнении с неинокулированными растениями, растущими в тех же условиях, была достоверно больше. Защитные действия штамма *B. subtilis* 11ВМ на рост растений по сравнению со штаммом *B. subtilis* 26Д в условиях действия соли были выражены сильнее.

По литературным данным, засоленность почвы негативно сказывается как на растениях, так и на развитии ВАМ и соответственно на колонизации корневой системы растений эндомикоризными грибами [13, 14]. Полученные в модельной системе наши данные подтверждали эти сведения. Практически все показатели микоризации корней были меньше при выращивании растений в засоленной почве. Однако по данным литературы, несмотря на то что прорастание спор при засолении почв снижалось, видовое богатство микоризных грибов и концентрация их спор в почве в условиях засоленности могли и не уменьшаться [15]. В условиях солевого стресса инокуляция семян эндофитными штаммами бактерий *B. subtilis* не только не проявляли антагонистического эффекта, а наоборот, наблюдали обратный эффект “восстановления” показателей микоризации до величин, полученных при анализе корней растений, неинкулированных эндофитами и растущих в почве без соли. Характер такого влияния эндофитных бактерий на взаимоотношения пшеницы с микоризными грибами в условиях солевого стресса можно объяснить протекторными свойствами исследованных штаммов бацилл по отношению к растениям при действии стресс-факторов [16]. Согласно нашим исследованиям и данным литературы, эндофитные бактерии могут повышать солеустойчивость растений, вызывая у них физиологические и биохимические приспособления [15, 17]. РГРВ-бактерии способны в условиях солевого стресса повышать активность деления клеток в корнях и увеличивать количество корневых волосков [15–18]. Низкомолекулярные органические кислоты и сидерофоры, выделяемые РГРВ, могут разлагать нерастворимые минералы посредством комплексообразования, ионного обмена и подкисления, тем самым повышая доступность питательных веществ в почве, снижая рН и облегчая  $\text{Na}^+$ -стресс у растений пшеницы [15, 17, 18]. Инокуляция РГРВ в условиях солевого стресса повышает эффективность

поглощения растениями селективных ионов, уменьшения накопления ионов  $\text{Na}^+$  и  $\text{Cl}^-$  и регулирует баланс макро- и микроэлементов в растениях и почвах [15, 17]. Все это в дальнейшем приводит к усилению поглощения воды и питательных веществ корнями растений, особенно из более глубоких слоев почвы. Вероятно, благодаря увеличению поступления воды в корни растений, преобразованных бактериями, микориза способна хорошо развиваться, что в целом положительно сказывается на росте различных органов растений.

Накопленные растением вещества благодаря “микоризному” поглощению поддерживают низкий осмотический потенциал, что позволяет им использовать воду более эффективно [19]. Кроме того, у растений с более высокими показателями микоризации проявляется и более высокая активность антиоксидантных ферментов, отмечено большее содержание пролина, что было продемонстрировано и описано также в наших работах [16, 17].

Инокуляция семян эндофитными штаммами *B. subtilis* 26Д и 11 ВМ, вероятно, улучшала питание растений при солевом стрессе не только за счет собственных механизмов, но и за счет функционирования микоризного симбиоза. В то же время, можно было наблюдать эффект “гашения” эндофитными бактериями указанных защитных реакций, “открывавших” путь микоризным грибам, которые по нашим сведениям и данным литературы [20–22], в ходе прорастания семян проникают внутрь растительных тканей позже, чем бактериальные клетки.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Выявлено, что показатели микоризации корней растений уменьшались как при засолении почвы, так и при обработке семян эндофитными бактериями. В условиях солевого стресса у растений, инокулированных эндофитными представителями *B. subtilis*, обнаружено увеличение показателей микоризации. В некоторых случаях показатели микоризации у таких растений были не только близки к показателям контрольных растений, растущих без обработки семян и без солевого стресса, но даже превышали их.

Вероятно, в условиях стрессового действия на растение-хозяина всем трем участникам симбиотической системы выгоднее выживать вместе, сохраняя репродуктивный потенциал для следующих поколений.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Lungoci C., Motrescu I., Filipov F., Rimbu C.M., Jitareanu C.D., Ghitau C.S., Puiu I., Robu T. Salinity stress influences the main biochemical parameters of



- Nepeta racemosa* Lam. // Plants. 2023. V. 12. № 583. P. 1–15. <https://doi.org/10.3390/plants12030583>
2. Trușcă M., Gâdea Ș., Vidican R., Stoian V., Vâtcă A., Balint C., Stoian V.A., Horvat M., Vâtcă S. Exploring the research challenges and perspectives in ecophysiology of plants affected by salinity stress // *Agriculture*. 2023. V. 13(3). № 734. P. 1–19. <https://doi.org/10.3390/agriculture13030734>
  3. Branco S., Schauster A., Liao H.-L., Ruytinx J. Mechanisms of stress tolerance and their effects on the ecology and evolution of mycorrhizal fungi // *New Phytol.* 2022. V. 235. P. 2158–2175. <https://doi.org/10.1111/nph.18308>
  4. Ren C.-G., Kong C.-C., Liu Z.-Y., Zhong Z.-H., Yang J.-C., Wang X.-L., Qin S.A. Perspective on developing a plant ‘holobiont’ for future saline agriculture // *Front. Microbiol.* 2022. V. 13. 763014. P. 1–13. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.763014>
  5. Devi N.O., Tombisana Devi R.K., Debbarma M., Hajong M., Thokchom S. Effect of endophytic *Bacillus* and arbuscular mycorrhiza fungi (AMF) against *Fusarium* wilt of tomato caused by *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* // *Egypt. J. Biol. Pest. Control.* 2022. V. 32. № 1. P. 1–14. <https://doi.org/10.1186/s41938-021-00499-y>
  6. Курамшина З.М., Хайруллин Р.М., Саттарова Л.Р. Влияние эндофитных штаммов *Bacillus subtilis* на микоризацию корней злаков при имитации почвенной засухи // *Агрохимия*. 2015. № 5. С. 69–73.
  7. Курамшина З.М., Хайруллин Л.Р. Саттарова Л.Р. Влияние эндофитного штамма *Bacillus subtilis* на микоризацию растений при засухе // *Изв. Уфим. НЦ РАН*. 2015. № 4–1. С. 86–88.
  8. Kuramshina Z.M., Smirnova Y.V., Khairullin R.M. Influence of *Bacillus subtilis* and cadmium on the mycorrhization of wheat plants // *Inter. Res. J.* 2022. № 4–2(118). P. 103–106. <https://doi.org/10.23670/IRJ.2022.118.4.090>
  9. Chen Q., Deng X., Elzenga J.T.M., van Elsas J.D. Effect of soil bacteriomes on mycorrhizal colonization by *Rhizophagus irregularis* – kinteractive effects on maize (*Zea mays* L.) growth under salt stress // *Biol. Fertil. Soils*. 2022. V. 58. P. 515–525. <https://doi.org/10.1007/s00374-022-01636-x>
  10. Trouvelot A., Kough C., Gianinazzi-Pearson V. Mesure du taux de mycorhization VA d’un système racinaire. Recherche de méthodes d’estimation ayant une signification fonctionnelle // *Physiological and genetical aspects of mycorrhizae* / Eds. V. Gianinazzi-Pearson, S. Gianinazz. Paris: INRA Press, 1986. P. 217–221.
  11. Курамшина З.М., Хайруллин Р.М., Андреева Ю.В. Влияние протравителей семян на микоризацию корней культурных растений // *Агрохимия*. 2014. № 1. С. 71–74.
  12. Хайруллин Р.М., Минина Т.С., Иргалина Р.Ш., Загребин И.А., Уразбахтина Н.А. Эффективность новых эндофитных штаммов *Bacillus subtilis* в повышении устойчивости пшеницы к болезням // *Вестн. Оренбург. Гос. ун-та*. 2009. № 2. С. 133–137.
  13. Alkobaisy J.S. Factors affecting mycorrhizal activity // *Arbuscular mycorrhizal fungi in agriculture – new insights* / Ed. Nogueira de Sousa R. 2023. <http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.104271>
  14. Delvian Rambey R. Effect of salinity on spore germination, hyphal length and root colonization of the arbuscular mycorrhizal fungi // *IOP Conf. Ser.: Earth and Environmental Science*. IOP Publishing Ltd, 2019. 260012124. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/260/1/012124>
  15. Ji C., Chen Z., Kong X., Xin Z., Sun F., Xing J., Li C., Li K., Liang Z., Cao H. Biocontrol and plant growth promotion by combined *Bacillus* spp. inoculation affecting pathogen and AMF communities in the wheat rhizosphere at low salt stress conditions // *Front. Plant Sci.* 2022. V. 13. 1043171. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.1043171>
  16. Kuramshina Z.M., Khairullin R.M. Endophytic strains of *Bacillus subtilis* promote drought resistance of plants // *Rus. J. Plant Physiol.* 2023. V. 70. № 3. P. 259. <https://doi.org/10.31857/s0015330322600760>
  17. Kuramshina Z.M., Khairullin R.M. Improving salt stress tolerance of *Triticum aestivum* L. with endophytic strains of *Bacillus subtilis* // *Rus. J. Plant Physiol.* 2023. V. 70. P. 293. <https://doi.org/10.31857/S001533032260070X>
  18. Ramakrishna W., Yadav R., Li K. Plant growth promoting bacteria in agriculture: Two sides of a coin // *Appl. Soil Ecol.* 2019. V. 138. P. 10–18. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2019.02.019>
  19. Yooyongwech S., Tisarum R., Samphumphuang T., Phisalaphong M., Cha-um S. Integrated strength of osmotic potential and phosphorus to achieve grain yield of rice under water deficit by arbuscular mycorrhiza fungi // *Sci. Rep.* 2023. V. 13. 5999. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-33304-x>
  20. Проворов Н.А. Растительно-микробные симбиозы как эволюционный континуум // *Журн. общ. биол.* 2009. Т. 70. № 1. С. 10–34.
  21. Егоршина А.А., Хайруллин Р.М., Лукьянцев М.А., Курамшина З.М., Смирнова Ю.В. Фосфатмобилизирующая активность эндофитных штаммов *Bacillus subtilis* и их влияние на степень микоризации корней пшеницы // *Журн. Сибир. фед. ун-та. Сер. Биол.* 2011. Т. 4. № 2. С. 172–182.
  22. Prisa D. Mycorrhizal symbioses and plant interactions // *Karbala Inter. J. Modern Sci.* 2023. V. 9. P. 194–207.

## Effect of Endophytic Strains of *Bacillus subtilis* on Mycorrhization of Wheat Roots under Salt Stress

Z. M. Kuramshina<sup>a, #</sup>, R. M. Khairullin<sup>b</sup>, A. A. Yamaleeva<sup>c</sup>

<sup>a</sup>*Sterlitamak Branch of Ufa University of Science and Technology,  
prosp. Lenina 49, Sterlitamak 453103, Russia*

<sup>b</sup>*Institute of Biochemistry and Genetics of the Ufa Federal Research Center of the RAS,  
prosp. Oktyabrya 71, Ufa 454054, Russia*

<sup>c</sup>*Ufa University of Science and Technology,  
ul. Zaki Validi 32, Ufa 450076, Russia*

<sup>#</sup>*E-mail: kuramshina\_zilya@mail.ru*

The effect of inoculation of wheat plant seeds by cells of 2 endophytic strains of *Bacillus subtilis* on the formation of endomycorrhiza in the roots under salt stress was studied. It was found that the indicators of mycorrhization of plant roots decreased both during salt stress in the soil and during seed treatment with endophytic bacteria. At the same time, under conditions of salt stress, an increase in mycorrhization rates was found in plants inoculated with *B. subtilis*. It was revealed that *B. subtilis* bacteria reduced stress in plants resulting from soil salinization. The obtained results showed the possible nature of the simultaneous relationship of plants with representatives of two kingdoms – bacteria and fungi. Probably, under conditions of stress action on the host plants, it is more profitable for all 3 participants of the symbiotic system to survive together, preserving the reproductive potential for the next generations.

**Keywords:** *Triticum aestivum* L., soil salinity, endophytic bacteria *Bacillus subtilis*, vesicular-arbuscular mycorrhiza, loan relations.

УДК 632.7:577.19

## ИЗУЧЕНИЕ ФЕРОМОНОВ ОСНОВНЫХ НАСЕКОМЫХ-ВРЕДИТЕЛЕЙ ОТРЯДА ЧЕШУЕКРЫЛЫХ (Lepidoptera)

© 2024 г. Т. Джумакулов<sup>1,\*</sup>, Ж. Э. Турдибаев<sup>1</sup>, Л. Т. Юлдашев<sup>1</sup>, М. Ш. Мосидиков<sup>1</sup>,  
О. Х. Холбеков<sup>2</sup>, Г. С. Шакирзянова<sup>2</sup>, Э. Ш. Торениязов<sup>3</sup>, Р. Э. Юсупов<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Алмалыкский филиал Ташкентского государственного технического университета им. Ислама Каримова  
110100 Алмалык, ул. М. Улугбека, 45, Ташкентская обл., Узбекистан

<sup>2</sup>Институт биоорганической химии им. А.С. Садыкова АН РУз,  
100125 Ташкент, ул. М. Улугбека, 83, Узбекистан

<sup>3</sup>Каракалпакский институт сельского хозяйства и агротехнологии  
230100 Нукус, ул. Абдамбетова, Республика Каракалпакстан

\*E-mail: jt82@bk.ru

Интенсивное развитие сельскохозяйственного производства в настоящее время требует расширения масштабов применения химических средств защиты растений от насекомых-вредителей, что в свою очередь приводит к загрязнению окружающей среды и невосполнимым потерям в биоценозе. Поэтому все более актуальной становится разработка принципиально новых средств защиты растений, отличающихся безопасностью по отношению к окружающей среде и высокой избирательностью действия. Использование половых феромонов в интегрированных системах защиты растений приводит к необходимости разработки удобных схем синтеза, позволяющих из одних и тех же исходных соединений-синтонов получать феромоны различных видов вредителей с хорошим выходом и высокой изомерной чистотой.

**Ключевые слова:** феромоны, вредитель, томатная моль, совка гамма, матки медоносной пчелы, древооточек пахучий, дынная муха, синтез феромонов.

**DOI:** 10.31857/S0002188124010112

### ВВЕДЕНИЕ

Феромоны – химические вещества, выделяемые насекомыми и вызывающие специфические поведенческие и физиологические реакции у воспринимающих насекомых. Все рассмотренные в работе феромоны принадлежат насекомым, относящимся к отряду чешуекрылых (Lepidoptera). Это соединения представляют собой ненасыщенные алифатические спирты, ацетаты, альдегиды, в последнее время выделены и идентифицированы кетоны. Различие структур – один из главных факторов в репродуктивной изоляции насекомых.

За последние десятилетия в нашей стране и за рубежом все большее распространение получает интегрированная система защиты растений, при этом использование синтетических феромонов для сигнализации сроков и определения необходимости инсектицидных обработок позволяет существенно сократить число химических опрыскиваний, что, с одной стороны, уменьшает загрязнение окружающей среды и, с другой, – дает значительный экономический эффект [1–3].

Знания о системе половых аттрактантов чешуекрылых развивались главным образом двумя параллельными путями: 1 – идентификацией природных половых феромонов, 2 – полем скринингом синтетических аттрактивных веществ. Для многих видов был идентифицирован состав полового феромона самок, выявлены аттрактивные компоненты. Также для многих видов было установлено, что синтетические аттрактивные смеси имеют такую же привлекающую силу, как и природный половой феромон самок. Так как наиболее полезную информацию об аттрактивности феромонов получают в результате полевых испытаний в ловушках, то интенсивность привлечения остается главным критерием активности полового аттрактанта. В настоящее время успешно используются в сельском хозяйстве некоторые аттрактанты хлопковой, озимой, вослищательной, капустной и ряда других совков, некоторых плодовых. Сведения о половых феромонах этих видов были немногочисленны и противоречивы.

В экспериментах с целью полевого скрининга использовали десятки соединений – компонентов феромонов различных видов насекомых-вредителей

**Таблица 1.** Функциональные группы феромонов, определяемые в биотесте, и их ожидаемые предшественники

| Функциональная группа | Возможные предшественники                         |
|-----------------------|---------------------------------------------------|
| Эпоксид               | Олефин                                            |
| Сложный эфир          | Спирт, фенол, карбоновая кислота                  |
| Спирт                 | Сложный эфир, карбоновая кислота, альдегид, кетон |
| Карбоновая кислота    | Сложный эфир, спирт, соль                         |
| Альдегид              | Спирт, карбоновая кислота                         |
| Кетон                 | Спирт                                             |
| Амин                  | Амид, соль                                        |

и многочисленные комбинации веществ, синтезированных в ТГУ, ПО «Флора» (Эстония), НИИХЗР (Россия), ИБОХ АН Республики Узбекистан, ИБОХ НАН Республики Белоруссии, а также ряд зарубежных препаратов. Были протестированы 16 типов феромонных ловушек, 5 марок клея для насекомых, 13 типов препаративных форм феромонов.

Прогрессивное развитие в области техники микроанализа позволило в последние 10 лет существенно сократить использование больших количеств необходимого биоматериала. Использование высокоразрешающей газовой хроматографии (ГЖХ), высокоэффективной газожидкостной хроматографии под давлением, хромато-масс-спектрометрии (ГЖХ–МС), масс-фрагментографии, особенно в сочетании с компьютерным обеспечением позволило свести идентификацию компонентов феромонов для некоторых видов насекомых к рассмотрению экстракта нескольких десятков особей и тем самым сократить до минимума путь от источника феромона до последней ступени его идентификации.

Выделяют и идентифицируют основные и минорные компоненты, представляющие собой геометрические, позиционные изомеры или родственные соединения, различающиеся функциональными группами, длиной углеродной цепи, степенью и положением ненасыщенности. При этом необходимо учитывать зависимость состава феромона от географического обитания популяции.

Активные вещества феромона могут быть выделены из насекомых различными методами экстракции, начиная от перегонки с паром, улавливанием летучих веществ из воздуха, экстракцией бумаги, на которой выращивают насекомых, а также вымачиванием в растворителе целого насекомого или отдельных его частей [4].

Большинство исследователей для вымачивания кончика брюшка или целого насекомого используют хлористый метилен или другие растворители. Возможность выделить экстракт феромона с минимальным количеством балластных веществ увеличивается, если вместо кончиков брюшка

насекомых использовать препарированную железу, вырабатывающую феромон или яйцеклад насекомого. Непродолжительное выдерживание (1–2 с) железы или яйцеклада в подходящем растворителе позволяет получить экстракт феромона, практически не нуждающийся в дополнительной очистке перед анализом ГЖХ или ГЖХ–МС, такой способ выделения становится все более популярным в последнее время, т.к. дает возможность ограничиться небольшим количеством особей [5]. Этот метод стал возможен только в результате совершенствования техники инструментального микроанализа, позволяющий идентифицировать нанogramмовое количество вещества и тем самым ограничиваться иногда одной – двумя особями [6].

Феромоны чешуекрылых и их компоненты по химической структуре представляют собой длинноцепочечные ацетаты, спирты, альдегиды, эпоксиды и другие углеводороды, могут содержать 1 или 2 ненасыщенных фрагмента или разветвления.

Идентификация предшественника при этом может оказаться значительно более простой, чем идентификация конечного продукта. В табл. 1 представлены предполагаемые предшественники, с теми или иными функциональными группами [7]. Если функциональная группа в активном соединении определена, не трудно догадаться о природе предшественника.

### ИДЕНТИФИКАЦИЯ ФЕРОМОНОВ ЧЕШУЕКРЫЛЫХ СОЧЕТАНИЕМ ГАЗОЖИДКОСТНОЙ ХРОМАТОГРАФИИ С ЭЛЕКТРОАНТЕННОГРАФИЕЙ (ГЖХ–ЭАГ)

Предложенный Роэлофсом метод применяли для идентификации феромонов чешуекрылых. Поскольку феромоны чешуекрылых, как правило, – длинноцепочечные  $C_{10}$ – $C_{18}$  непредельные спирты, альдегиды, ацетаты и эпоксиды, то располагая эталонами таких соединений, можно сравнивать время удерживания компонентов феромона при ГЖХ-анализе со временем удерживания эталонов на полярных и неполярных колонках,

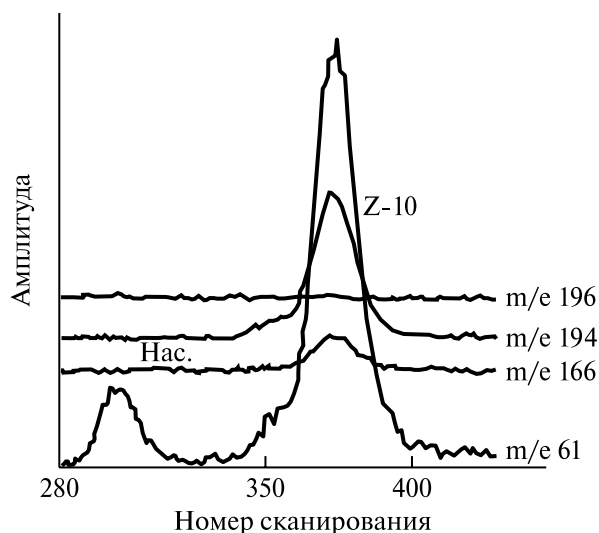


Рис. 1. Масс-фрагментография Z-10-TDA на колонке с 10%-ным DEGS при 160 °С.

Таблица 2. Альдегиды, идентифицированные масс-фрагментографией в продуктах озонлиза феромона совки гамма (*Autographa gamma*)

| Сканирование | Альдегиды                                            | Диагностические фрагменты |
|--------------|------------------------------------------------------|---------------------------|
| I            | CH <sub>3</sub> CHO                                  | 29                        |
|              | CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> CHO                  | 29 58                     |
|              | CH <sub>3</sub> (CH <sub>2</sub> ) <sub>2</sub> CHO  | 29 72                     |
|              | CH <sub>3</sub> (CH <sub>2</sub> ) <sub>3</sub> CHO  | 29 86                     |
|              | CH <sub>3</sub> (CH <sub>2</sub> ) <sub>4</sub> CHO  | 57                        |
| II           | CH <sub>3</sub> (CH <sub>2</sub> ) <sub>5</sub> CHO  | 57 70                     |
|              | CH <sub>3</sub> (CH <sub>2</sub> ) <sub>6</sub> CHO  | 57 84                     |
|              | CH <sub>3</sub> (CH <sub>2</sub> ) <sub>7</sub> CHO  | 57 70 96                  |
|              | CH <sub>3</sub> (CH <sub>2</sub> ) <sub>8</sub> CHO  | 57 70 96 112              |
|              | CH <sub>3</sub> (CH <sub>2</sub> ) <sub>9</sub> CHO  | 110                       |
| III          | CH <sub>3</sub> (CH <sub>2</sub> ) <sub>10</sub> CHO | 110 140                   |
|              | CH <sub>3</sub> (CH <sub>2</sub> ) <sub>2</sub> CHO  |                           |

одновременно биотестировать те и другие с помощью электроантеннографии (ЭАГ) [8].

Преимущество метода ГЖХ–ЭАГ состоит в том, что он нуждается в ограниченном количестве особей для экстракции (50–200 самок), а идентификация минорных количеств вещества бывает невидимой на хроматограмме, но при этом дает сигнал ЭАГ, поскольку чувствительность антенны насекомого на много порядков больше чувствительности хроматографа с ПИД. В этом случае по времени удерживания активного, но невидимого на хроматограмме компонента, можно судить о его

структуре [9]. Метод ГЖХ–ЭАГ позволил установить структуру феромонов многих видов чешуекрылых. Геометрическая конфигурация компонентов в этом методе определяется сравнением с активностью и временем удержания синтетических Z- и E-изомеров.

Впервые масс-фрагментография была удачно использована при идентификации не разделившихся ГЖХ-пиков составных частей феромона листовертки *A. semiferranus*. Из предварительных исследований феромона самок микроаналитическими методами было сделано заключение о наличии в феромоне C<sub>14</sub>-ацетатов [10]. Испытание серии тетрадеценилацетатов указало на то, что одним из компонентов может быть Z-10-TDA. Однако некоторые другие тетрадеценилацетаты тоже были привлекательны для самок. Для проведения масс-фрагментографии активной фракции было запрограммировано сканирование только тех ионов, которые были характерны для насыщенных и мононенасыщенных ацетатов с C<sub>14</sub> атомами углерода: m/e 196 (M-60), 194 (M-60), 166 (194–28), 61 (CH<sub>3</sub>COOH)<sup>+</sup>. На рис. 1 Z-5-TDA является одним из компонентов сложной смеси тетрадеценил-ацетатов.

Поэтому был предпринят микроозонлиз ацетатной фракции, и продукты озонлиза исследованы масс-фрагментографией. Для этой цели было запрограммировано сканирование только тех фрагментов, которые характерны для низших альдегидов (табл. 2). Данные приведены для каждого идентифицированного альдегида.

Несмотря на то, что чешуекрылые обходятся ограниченным числом непредельных спиртов, ацетатов, альдегидов или эпоксидов с 10–18-ю атомами углерода, основное предназначение феромонов – создание строгой специфичности в изоляции видов при их воспроизводстве осуществляется либо разным соотношением одних и тех же веществ, либо разными их концентрациями, либо присутствием разных основных компонентов, либо наличием минорных компонентов.

Для статистического анализа сходства и различия таксонов плодоярки и совки по химической структуре феромонов самок использовали данные 700 видов обоих семейств. Метод построения дендограмм сходства таксонов на основе показателя общности химической структуры феромонов показал закономерность, незначительно отличающуюся от существующих систем высших таксонов 2-х изученных семейств, созданных главным образом в зависимости от морфологических признаков имаго [11].

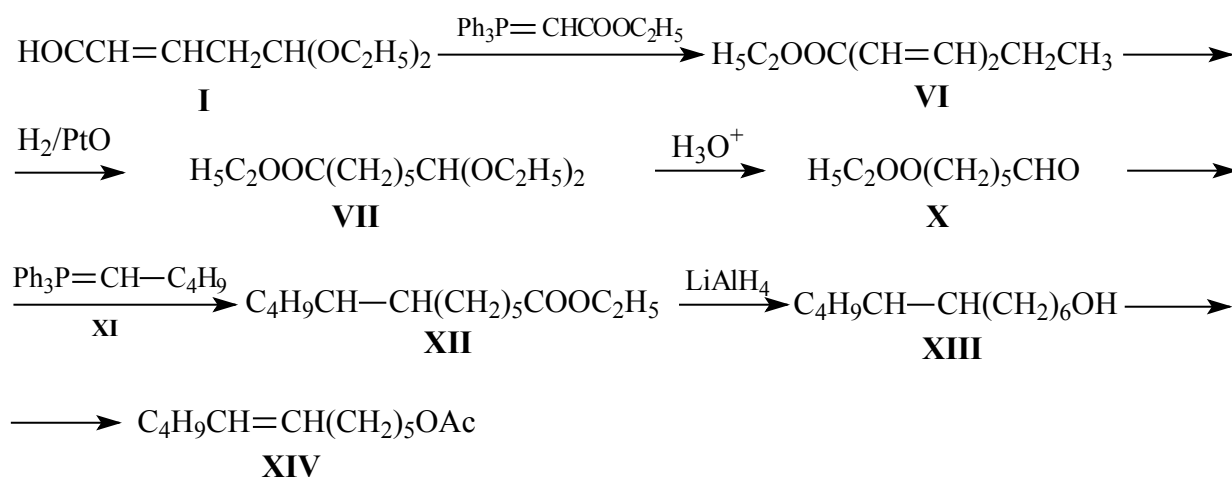
Большое число феромонов чешуекрылых относится к ацетатам прямо- цепочечных моноеновых спиртов, и они не встречаются в других отрядах насекомых. Практическая важность этих феромонов в борьбе с сельскохозяйственными вредителями

(плодожорками, совками, листовертками) вызвала большой интерес химиков и обусловила глубокое исследование реакций синтеза этих соединений [12–15].

**Синтез компонента совки гамма.** Вредоносность совки гамма (*Autographa gamma*) на хлопчатнике проявляется в период развития первого поколения, 2-е и 3-е поколения развиваются на овощебахчевых и зернобобовых культурах. Разработка методов синтеза феромона совки гамма и определение биологической активности полового аттрактанта в зависимости от состава и доз, а также рекомендаций по созданию препаративных форм феромона для их практического применения в практике защиты растений представлены в работах [16–18].

*Цис*-7-додеценилацетат является компонентом феромона совки гамма (*Autographa gamma*). Синтез

его синтетического аналога основывается на взаимодействии карбэтоксиметилентрифенилфосфатана (V) с монодиэтилацеталь-пимелиновым альдегидом (I) и проходит с образованием диенового эфирацетала (VI) с хорошим выходом. Гидрирование (VI) над окисью платины дает продукт – эфирацеталь (IV). Кислый гидролиз этого ацетала в мягких условиях приводит с высоким выходом к этиловому эфиру 7-оксогептановой кислоты. Затем проводят конденсацию альдегида (VII) с пентилидентрифенил фосфораном (VIII) в условиях “цис-олифинирования” (VIII). Последний продукт восстанавливают алюмогидридом лития в соответствующий 7-*цис*-додецен-1-ол (XVI), который окисляют с помощью хлорхроматомпиридина в *цис*-7-додеценаль и ацелируют до продукта (XIV):



**Восклицательная совка *Scotia exclamations*.** Восклицательная совка *Scotia exclamations* – один из многочисленных видов совков, наносящих вред хлопчатнику и другим сельскохозяйственным культурам. Восклицательная совка развивается в 2–3-х поколениях. Цикл развития каждого поколения требует 75°C эффективных температур (при пороге 11°C), что на 20°C больше, чем для озимой совки. Вредоносность восклицательной совки на хлопчатнике проявляется в период развития 1-го поколения, 2-е и 3-е поколения развиваются на овощебахчевых, зернобобовых культурах, люцерне, излюбленных сорняках. Гусеницы этого вредителя живут более продолжительное время, чем гусеницы озимой совки (*Agrotis segetum*) и имеют в последнем возрасте сравнительно большие размеры тела, достигая в длину 4 см при большем диаметре в сечении, размеры головных капсул составляют 3.25–4.16 мм. Установление сроков вылета бабочек, их массовости особенно необходимо для принятия своевременных мероприятий по предотвращению вредоносности одного или одновременно 2-х видов.

Эти моменты следует учитывать при использовании синтетического полового феромона восклицательной совки для определения сроков развития вредителя после зимовки и последующего поколения, своевременного выявления очагов заражения и принятия мер по предотвращению потерь урожая [4].

Половые феромоны насекомых отряда чешуекрылых (Lepidoptera) синтезируют во НИИХСЗР (г. Москва), НИИБМЗР Молдавии (г. Кишинев) и ИБОХ АН Республики Узбекистан (г. Ташкент). Безопасность для окружающей среды, простота в обращении, небольшие дополнительные расходы и высокая биологическая активность позволяют применять эти вещества для своевременного выявления и ранней диагностики очагов заражения насекомыми-вредителями для последующего использования защитных мероприятий [1–4].

Первоначально феромон (1–2 мг) наносят на небольшие отрезки резиновых трубочек или пробок, на дно феромонной ловушки помещают

**Таблица 3.** Активность половых аттрактантов чешуекрылых *Lepidoptera*

| Компонент аттрактанта | Соотношение компонентов, % | Доминирующий вид самцов/ловушки | Видоспецифичность, % | Прочие виды экз./ловушку |
|-----------------------|----------------------------|---------------------------------|----------------------|--------------------------|
| Z11–16 : Ald          | 95                         | —                               | —                    | —                        |
| Z9–16 : Ald           | 5                          | 14.3                            | 67.1                 | 7.0                      |
| Z11–16 : Ac           | 49.5                       | —                               | —                    | —                        |
| Z11–16 : OH           | 1                          | 10.6                            | 5.4                  | 10.6                     |
| Z9–16 : Ac            | 50                         | —                               | —                    | —                        |
| Z7–12 : Ac            | 12.5                       | —                               | —                    | —                        |
| Z5–14 : Ac            | 12.5                       | 21.0                            | 8.9                  | 10.3                     |
| Z5–14 : Ac            | 80                         | —                               | —                    | —                        |
| Z9–14 : Ac            | 2                          | 21.0                            | 22.7                 | 3.4                      |
| Z8–12 : Ac            | 3                          | 10.3                            | 15.8                 | 1.6                      |
| Z11–14 : Ac           | 10                         | 19                              | —                    | 13.0                     |

фиксатор — энтомологический клей, нанесенный тонким слоем на мелованную бумагу, которые затем помещают в феромонные ловушки различного типа. Продолжительность “работы” феромона восклищательной совки — 30 сут, хлопковой и озимой совки — 10 сут.

Наиболее интенсивный лёт самцов наблюдали в течение 1 нед (с 5 по 12 июля) с максимальной численностью 29.3 экз./ловушку в посевах хлопчатника и люцерны в Ташкентской обл. и с 12 по 24 июля с максимальной численностью 33.0 экз./ловушку — в овощебахчевых агроценозах Наманганской обл.

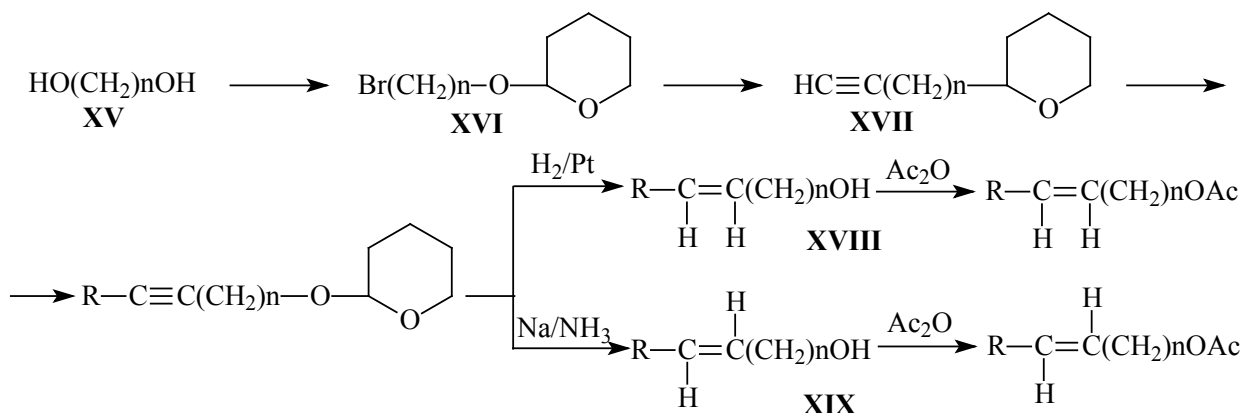
Полевой скрининг феромонов насекомых проводили посредством учета сведений о наличии и распространении тех или иных компонентов феромонов в различных таксонах. Общий анализ системы половых аттрактантов моли и совков позволили выявить признаки, пригодные для хемотаксономической характеристики подсемейств: 1 — частота встречаемости отдельных групп и классов соединений (например, альдегидов, диолефинов 12,14-атомных *транс*-изомерных компонентов и т.п.) в феромонах; 2 — средняя частота встречаемости одного соединения, т.е. соотношение общей суммы частот и числа известных в данной группе соединений.

Предварительный анализ показал, что каждый из наиболее изученных высших таксонов чешуекрылых обладает одним или несколькими специфическими признаками химической структуры феромонов. Кроме этого, установленные эмпирическим путем правила уже теперь способны в большой мере ускорить полевой скрининг аттрактивных для бабочек веществ и повысить его результативность (табл. 3).

#### РАЗРАБОТКА СХЕМ СИНТЕЗА ФЕРОМОНОВ

Интенсивное использование половых феромонов в интегрированных системах защиты растений приводит к необходимости разработки удобных схем синтеза, позволяющих из одних и тех же исходных соединений-синтонов получать феромоны различных видов вредителей с хорошим выходом и высокой изомерной чистотой. Такой подход возможен и целесообразен вследствие близости химической структуры феромонов многих видов насекомых [4].

Один из наиболее распространенных методов синтеза феромонов включает использование в качестве ключевых соединений моно- или ди-замещенные ацетилены. Например, около 100 незамещенных неразветвленных C<sub>10</sub>–C<sub>16</sub>-соединений, содержащих

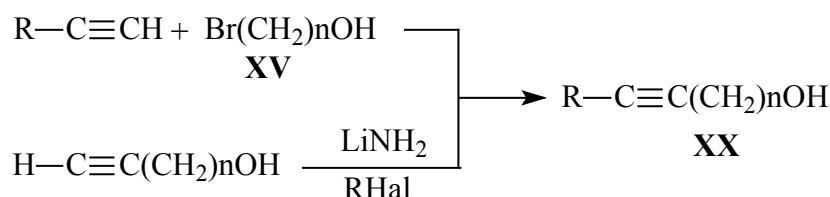


концевую тройную связь и ацетатную группу, были синтезированы японскими исследователями. При скрининге обнаружены вещества, специфически привлекающие 93 вида насекомых, принадлежащих 15 семействам *Lepidoptera*. Все образцы синтезированы по следующей схеме:

Комплекс ацетиленида лития с этилендиамином конденсировали в ТГФ, ГМФТ, ГМФТ/ТГФ с соответствующим тетрагидропиранилоксиалкил бромидом (XV) для получения с почти количественным выходом ключевого соединения — дизамещенного ацетилена (XVII), которое далее гидрировали над

катализатором Линдлара и получали продукт, содержащий более 95% *цис*-изомера (XVIII). Соответствующие *транс*-изомеры (XIX) были получены при восстановлении литием в жидком аммиаке.

Для получения высших ацетиленовых спиртов из алкилацетиленов в качестве алкилирующего агента используют оксиалкилгалогениды с замещенной спиртовой группой. Для проведения таких реакций ГМФТ является наиболее подходящим растворителем, поскольку выход дизамещенных ацетиленов достигают 60–80% [11]. Замена хлора на бром в тетрагидропираниловых (ТГП) эфирах



приводит к повышению выхода на 10–15%. Незамещенные  $\omega$ -бромалканола-1 (V) или терминальные ацетиленовые спирты (VI) можно также с успехом применять для синтеза оксиалкилацетиленов [12]:

В последнем случае образуется смесь дизамещенного ацетилена и простой эфир продуктов С- и О-алкилирования соответственно. Доля продукта С-алкилирования может быть резко увеличена при проведении реакции в диполярных апротонных растворителях, в которых резко возрастает нуклеофильная реакционная способность карбанионов.

**Компонент феромона древооточца пахучего *Cossus cossus*.** *Цис*-7-додецен-1-ол ацетат является основным компонентом полового феромона пахучего *Cossus cossus*. Он был синтезирован с помощью реакции Виттига. Высокая стереоселективность реакции получения *цис*-изомеров была достигнута конденсацией моноацетата пимелинового альдегида с пентаметилентрифенилфосфораном, с последующим гидролизом полученного ацетата до *цис*-7-додеценола. Последующим восстановлением вторичного спирта был синтезирован основной компонент полового феромона *Cossus cossus*:



Изомерная чистота синтезированных соединений была определена газожидкостной хроматографией на капиллярной колонке с умеренно полярной фазой (карбовакс, 20 м) и на набивной колонке со стереоспецифической фазой *UF-275*, чистота *цис*-изомера составляла 96–98%.

Регистрацию масс-спектров образцов проводили методом *TIC* (Total Ion Current) в диапазоне

50–110, условия МС: расход газа осушителя — 4 л/мин, температура газа — 320°C, давление газа в распылитель — 20 nsi, температура испарителя — 250°C, напряжение на капилляре — 4500 Вт [15].

**Томатная минирующая моль *Tuta absoluta*.** Родной томатной моли (*Tuta absoluta* Meyr) являются регионы Центральной и Южной Америки, где она широко распространена. Томатная моль повреждает растения пасленовых в любой фазе — от начала всходов до полного созревания урожая. Кроме томата она повреждает баклажан, перец, физалис, картофель и многие дикорастущие и декоративные растения пасленовых. Объектом питания для томатной моли может быть большое количество растений [12].

В 2011 г. томатная минирующая моль была обнаружена на территории Узбекистана. Самки откладывают яйца на протяжении суток, но пик яйцекладки приходится на ночное время. Негативная особенность данного вредителя при проведении мер контроля заключается в том, что томатная моль имеет растянутый период яйцекладки. Более 70% всех яиц самки откладывают на протяжении 10 сут, при этом яйцекладка может находиться как с верхней, так и с нижней стороны листа растений. Исследование показало, что вредитель способен откладывать яйца на протяжении 20 сут. Гусеницы выходят из яиц утром и сразу проникают в ткань растения, где тут же начинают питаться, создавая повреждения в виде мин. Вышедшая из яйца гусеница первоначально зеленого цвета с черной головой. На спинной стороне первого грудного сегмента гусеницы видно характерное полукруглое черное пятно. Взрослая гусеница вырастает до ≈9 мм в длину. На молодых растениях гусеницы

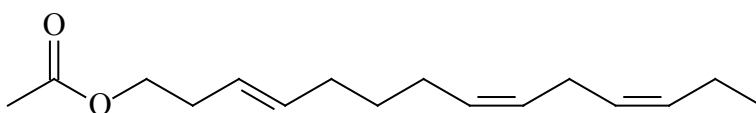


повреждают листья, стебли, побеги, цветы томатов, а повреждение плодов наблюдают на всех стадиях их созревания. Мины увеличиваются по мере роста самой гусеницы.

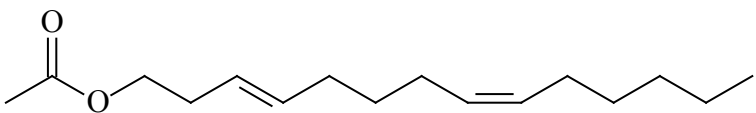
В тяжелых случаях повреждения гусеницы могут полностью съедать листья томатов, оставляя при этом только жилки. Перед окукливанием гусеница плетет шелковый кокон или делает его в виде свернутых листьев. Она не впадает в диапаузу до тех пор, пока доступен пищевой ресурс. Минимальная температура для развития томатной моли составляет 8.1°C. Для развития яиц температура не должна быть <6.9°C, для гусеницы этот показатель составляет 7.6°C, для куколок — 9.2°C. Также важно перед принятием решения детально изучить особенности морфологии и экологии вредителя, чтобы не перепутать томатную моль

с другими вредителями, такими как картофельная моль (*Phthorimaca operculella*).

Томатная моль быстро адаптируется к новым условиям обитания и обладает высокой скоростью размножения, поэтому требует принятия незамедлительных и решительных мер по уничтожению. Феромонные ловушки можно эффективно использовать для раннего обнаружения вредителя. Использование синтетических феромонов — один из экологически безопасных методов выявления насекомых и борьбы с вредителями растений. Такие вещества у насекомых являются продуктами сложных биокаталитических реакции, происходящих в ответственной за этот процесс железе. Женский половой феромон *Tuta absoluta* состоит из 2-х компонентов. Основным компонентом, который составляет ≈90% летучих веществ, содержащихся в половых железах



a



b

самок, является (3E, 8Z, 11Z)-3, 8, 11-тетрадекатриен-1-илацетат (а). Минорная компонента, составляющая 10%, была идентифицирована как (3E, 8Z)-3,8-тетрадекадиен-1-ил ацетат (b):

Стратегии защиты, основанные на половых феромонах (например, массовой отлов или нарушение спаривания), являются многообещающими методами борьбы с такими вторгающимися вредителями. Стратегии с применением половых феромонов иногда бывают дороже обычных химических методов борьбы с вредителями. Поэтому важно снижать себестоимость производства феромона *T. absoluta* для того, чтобы стимулировать их использование фермерами.

Среди феромонов насекомых известно большое число соединений, содержащих сопряженные двойные и тройные связи. Несопряженные триены идентифицированы у большого числа насекомых, например, 4-*транс*,7-*цис*, 10-*цис*-тридекатриенилацетат — феромон *Phthorimaea operculella*.

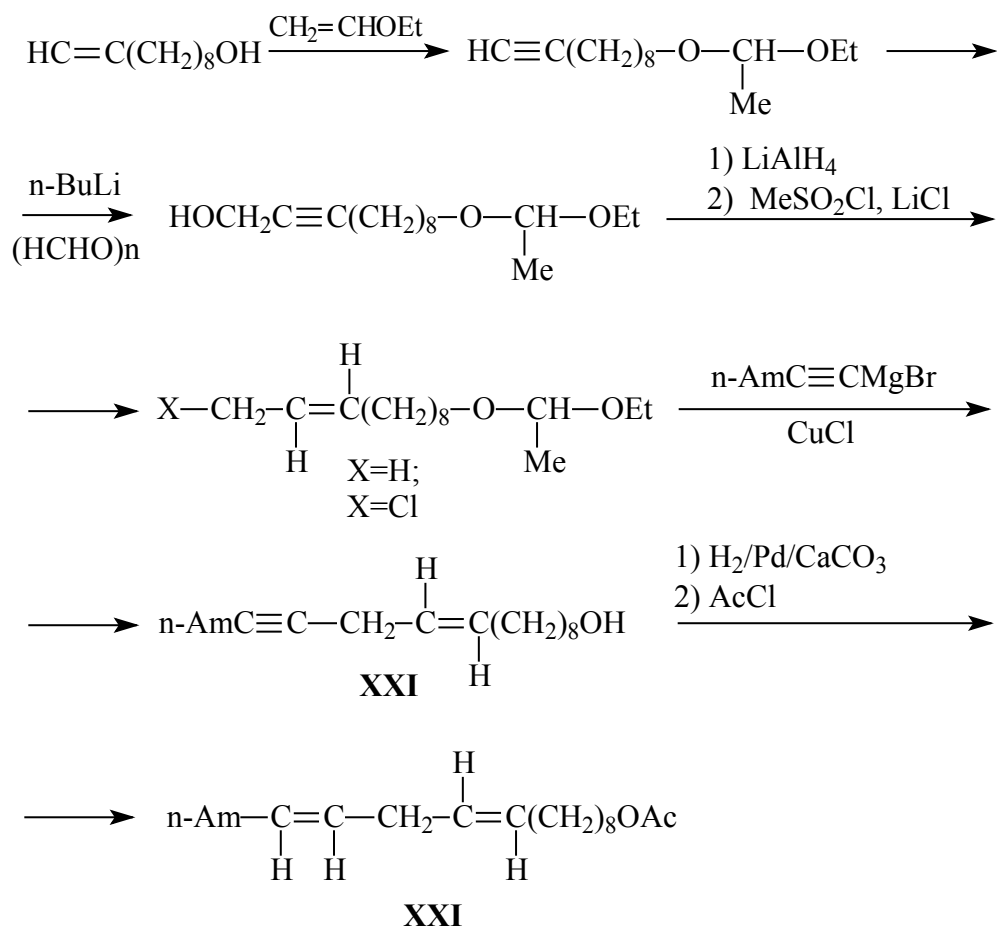
Такой ацетат был получен по схеме (см. на с. 89):

*Феромон матки медоносной пчелы Apis mellifera.*

Пчелы играют важную роль в сохранении природных экосистем, поскольку опыляют 85% цветковых растений — около 300 тыс. видов во всем мире. От их деятельности зависит биоразнообразие природных экосистем.

Матка медоносной пчелы *Apis mellifera* экономно расходует медовые запасы: сокращает вывод расплода, когда поток нектара на исходе и летает на большие расстояния за нектаром. Биология и образ жизни пчелы полностью ориентированы на обитание в холодных климатических условиях: даже в холодную, пасмурную и жаркую погоду она способна летать за нектаром, а спаривание матки происходит при низких температурах.

В феромоне матки медоносной пчелы идентифицированы *цис*-, *транс*- моноолефиновые спирты и их ацетаты. Большое количество *цис*-моноолефиновых спиртов и их ацетатов может быть синтезировано с помощью реакции Виттига. Обычный вариант этого процесса — взаимодействие алкилфенилфосфоранов с карбонильными



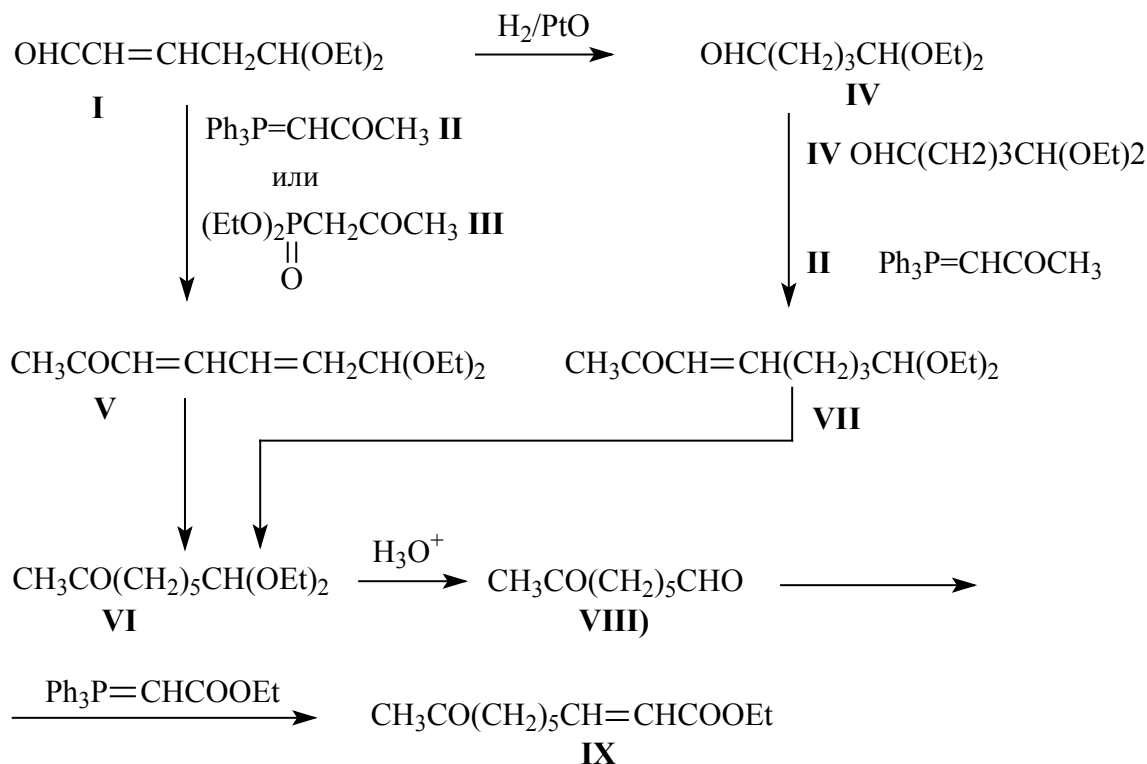
соединениями, позволяющий получать олефины в виде смесей *цис*- и *транс*-изомеров. Высокая стереоспецифичность этой реакции с целью получения *цис*-изомера достигается при использовании алифатических фосфоранов и алифатических альдегидов в неполярных растворителях, в отсутствие литиевых солей [24]. Получение илидов фосфора из соответствующих фосфониевых солей действием *бис*(триметилсилил)амида щелочного металла с последующим взаимодействием с альдегидами приводит к *цис*-алкенам с 98%-ной стереохимической чистотой.

Наиболее удобным методом синтеза 9-оксо-*транс*-деценовой кислоты — феромона матки медоносной пчелы *Apis mellifera*, и ее эфиров считается взаимодействие 7-оксооктаноля (XII) с малоновой кислотой или конденсация с этоксикарбонилметилтрифенилфосфораном с последующим гидролизом в конечное соединение. В связи с этим имеется необходимость разработки простых синтезов 7-оксооктаноля (XII) или его производных.

Синтез этилового эфира 9-оксо-*транс*-2-деценовой кислоты осуществляли, исходя из доступности моноацеталей глутарового и глутаконового альдегидов [3]. Монодиэтилацеталь глутаконового

альдегида (I) с ацетилметилтрифенил-фосфораном (II) в эфире, с выходами 45 и 28%, соответственно, образует диеновый кетоацеталь (V), который гидрированием над окисью платины превращали в предельный кетоацеталь (V). Этот же кетоацеталь получали из монодиэтилацеталей глутарового альдегида (IV). Последний с фосфораном (II) с выходом 65% давал мононепредельный кетоацеталь (VIII), который гидролизовали разбавленной соляной кислотой до кетоальдегида (XIV). Взаимодействие кетоальдегида (VIII) с этоксикарбонилметилтрифенилфосфораном происходит избирательно по альдегидной группе и с выходом 61% преобразуется в этиловый эфир 9-оксо-*транс*-деценовой кислоты (IX) [2, 3] (см. схему на с.90):

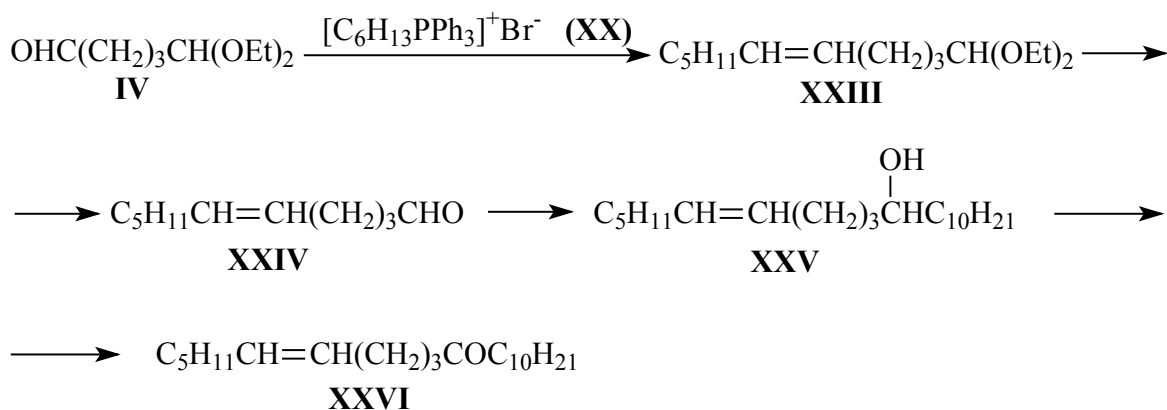
*Компонент феромона кистехвоста Orgyia pseudotsugata.* Моноацеталь (XII) представляет удобный синтон для синтеза различных  $\delta$ -,  $\epsilon$ -непредельных кетонов и в частности, *цис*-6-генэекозен-11-она (XXVI), основного компонента половых феромонов североамериканского кистехвоста *Orgyia pseudotsugata* и распространенной в СНГ волнянки *Orgyia antiqua*. Описаны пути синтеза кетона (XXVI) фрагментацией по Эшенмозеру *p*-толулсульфогидразидов циклических эпоксидов алкилированием алкиларилсульфоксидов и дитианового производного ундекаля,



реакцией Виттига с 5-оксопентадеканалем [14] фрагментацией бициклокеталей, через нитрил 6-ундециновой кислоты.

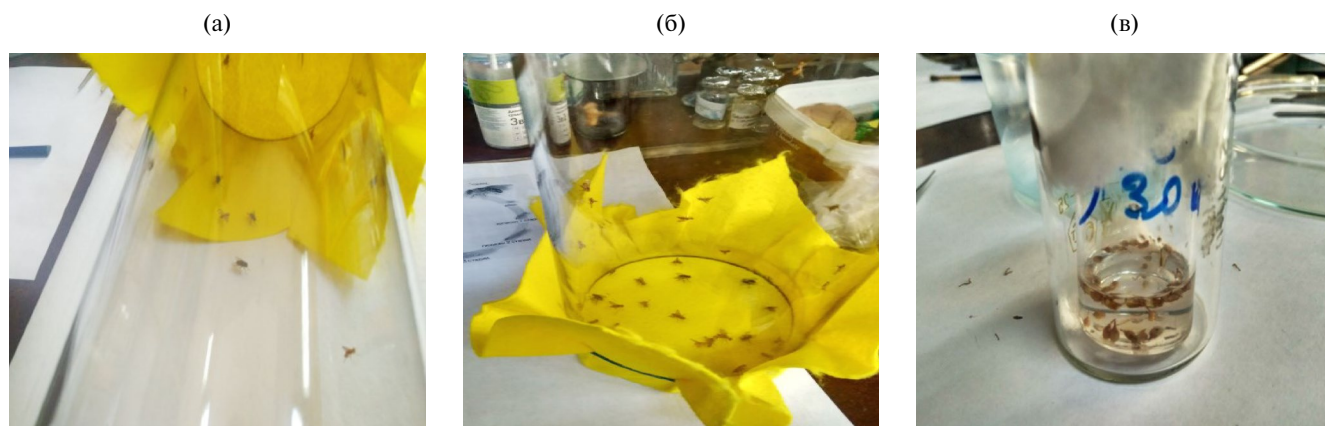
Реакцией моноацетала (IV) с фосфораном, генерированным из фосфонийной соли (XX) в условиях *цис*-олефинирования с выходом 84%, получен

диэтилацеталь *цис*-5-ундецанала (XXIII), кислотный гидролиз которого приводил с выходом 77% к *цис*-5-ундеценалу (XXV). Альдегид (XXIV) с магнийбромдецилом с умеренным выходом давал непредельный спирт (XVIII), окисленный хлорхроматом пиридином в конечный кетон (XXV). Общий выход кетона, исходя из моноацетала, составлял 28.7%:



Дынная муха *Myiopardalis pardalina*. Дынная муха (*Miopardalis pardalina*) широко распространена в Азии и некоторых странах Европы, в частности, в Азербайджане, Армении, Грузии, Кипре, Турции, Украине, Афганистане, Израиле, Индии, Иордании, Ираке,

Иране, Казахстане, Киргизии, Ливане, Пакистане, Саудовской Аравии, Сирии, Таджикистане, Туркменистане, Узбекистане. В основном повреждает дикорастущие и культурные растения из семейства Тыквенные (Cucurbitaceae): дыню, арбуз, репе — тыкву



**Рис. 2.** Последовательность действий при исследовании дынной мухи: (а) — цилиндрическая конструкция для проведения процесса морилки, (б) — препарирование насекомых, (в) — приготовленный экстракт.

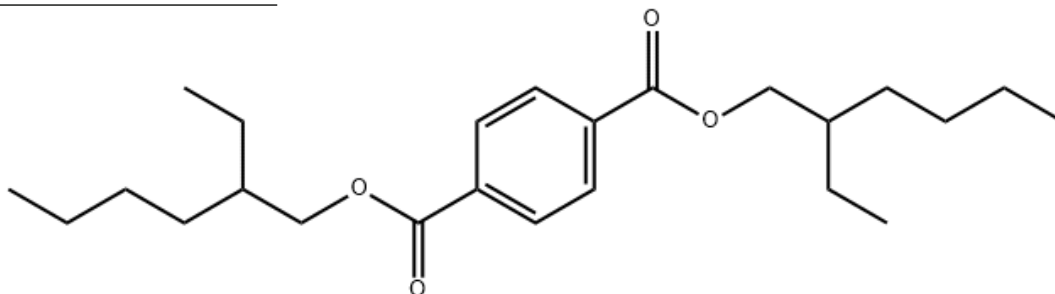
и огурец, предпочитает дыню *Cucumis melo*. В течение года дает 3–4 генерации. Мухи появляются в момент цветения дыни. Самки мухи откладывают яйца в кожуцу завязей и молодых плодов, а также на листьях. Личинки проникают в мякоть плода, где питаются семенами, затем покидают плоды и уходят на окукливание в почву.

Весенний лёт совпадает с периодом образования плодов у кормовых растений. В это время температура почвы, где зимуют насекомые, достигает 20°C. Лёт вредителя наблюдают с начала июня до середины октября. Питаются насекомые соком плодов. Продолжительность жизни имаго — 2 мес. Места проколов мякоти могут служить средой для развития вирусных и грибковых заболеваний. Первыми признаками поражения дынной мухой являются появление мелких бугорчатых пятнышек, либо просто бугорков в местах прокуса плодов. Позднее, после развития личинок, начинается внутреннее загнивание плодов. Поврежденные плоды становятся не пригодными для дальнейшего использования.

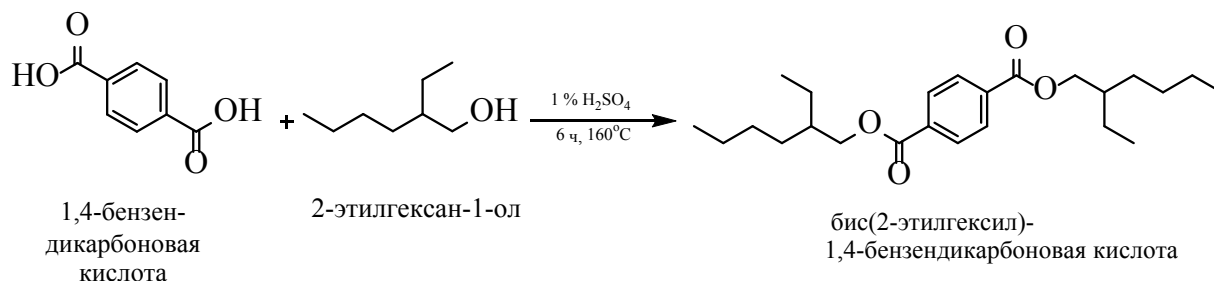
Для ограничения дальнейшего распространения вредителя действуют строгие карантинные ограничения. Одним из элементов программы управления численностью насекомых-вредителей является уничтожение самцов, но отлов самок мух не менее важен для уменьшения повреждения плодов.

В ИБОХ АН РУз проводили исследования по идентификации аттрактивных веществ из биоматериала дынной мухи *Myiopardalis pardalina* Bigot. [15]. Для этого был собран энтомологический биоматериал дынной мухи. Биомассу насекомых содержали в стеклянных емкостях, покрытых увлажненной марлевой материей, с прикрепленными небольшими кусочками дыни для поддержания жизнедеятельности насекомых при комнатной температуре в течение 72 ч. При этом покрывающую материю поддерживали постоянно увлажненной сахарным раствором. Затем взрослые особи дынной мухи были перенесены в цилиндрическую конструкцию со съёмными крышками, для проведения процесса морилки с использованием диэтилового эфира (рис. 2а, б).

У оцепеневших самок *Myiopardalis pardalina* были препарированы брюшки и помещены в склянку с 5 мл хлористого метилена (рис. 2в). Экстракт выдерживали в холодильной камере в течение нескольких суток. Объединенные экстракты препарированных особей *Myiopardalis pardalina* анализировали с помощью GC MS (MassHanter). На основании результатов анализа была выявлена структура одного из компонентов феромона дынной мухи *Myiopardalis pardalina*, соответствующая  $RT = 23.147$ , что соответствует бис(2-этилгексил) эфира 1,4-бензенидикарбоновой кислоты:



Исходя из структурных особенностей идентифицированного компонента, был разработан путь синтеза его синтетического аналога:



### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработка путей практического использования различных феромонов имеет большое значение, т.к. для большинства сельскохозяйственных культур (хлопчатника, зерновых, овощебахчевых и др.) насекомые остаются первостепенными вредителями, с которыми из года в год на огромных площадях ведется борьба; при массовом внедрении в производство феромонов можно значительно сократить объемы химической защиты растений, что приведет как к экономии материальных затрат на выращивание урожая, так и к снижению давления пестицидного пресса на окружающую среду.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ковалев Б.Г., Джумакулов Т., Недопекина С.Ф., Абдувахабов А.А. Половой феромон озимой совки (*Scot. segetum* Schiff) // Докл. АН СССР. 1985. Т. 204. № 6. С. 1373–1375.
2. Ходжаев Ш.Т., Кучкарова Н.Г., Джумакулов Т., Абдувахабов А.А. Феромон – против озимой совки // Защита растений. 1986. № 7. С. 34–35.
3. Мосидиков М.Ш., Джумакулов Т., Турдибаев Ж.Э. Применение феромона в отряде Lepidoptera в целях усовершенствования борьбы с вредителями сельскохозяйственных культур // Сб. научн. ст. по итогам работы Межвуз. Научн. конгр. Высш. шк.: научн. исслед.-я. Т. 2. М., 2020. С. 101–107.
4. Sower L.L., Shorey H.H., Gaston L.K. Sex pheromones of Lepidoptera. XXVIII. Factors modifying the release rate and extractable quantity of pheromone from females of *Trichoplusia ni* (Noctuidae) // Annal. Entomol. Soc. Amer. 1972. V. 65. № 7. Iss. 4. P. 954–957.
5. Minks A.K., Roelofs W.L., van Dijk E.S., Persoons C.J., Ritter F.J. Electroantennogram responses of two tortricid moths using two-component sex pheromones // J. Insect Physiol. 1974. V. 20. Iss. 8. P. 1659–1665.
6. Butler L.I., McDonough L.M. Insect sex pheromones: evaporation rates of acetates from natural rubber septa // J. Chem. Ecol. 1979. T. 5. P. 825–837.
7. Schweitzer E.S., Sanes J.R., Hildebrand J.G. Ontogeny of electroantennogram responses in the moth, *Manduca sexta* // J. Insect Physiol. 1976. V. 22. Iss. 7. P. 955–960.
8. Wolf W.W., Toba H.H., Kishaba A.N., Green N. Antioxidants to prolong the effectiveness of cabbage looper sex pheromone in the field // J. Econom. Entomol. 1972. V. 65. Iss. 4. P. 1039–1041.
9. Бульгинская М.А., Гричанов И.Я., Шамшиев И.В. Полевой скрининг половых аттрактантов для чешуекрылых (Lepidoptera) в северо-западном регионе России // Зоол. журн. 1999. Т. 78. № 10. С. 1179–1183.
10. Asma G.F., Verheggen F. A review of *Tuta absoluta* (Lepidoptera) host plants and their impact on management strategies // Biotechnol. Agron. Soc. Environ. 2019. № 23(4). P. 270–278.
11. Джумакулов Т., Турдибаев Ж.Э., Кушбоев Э.Э. Синтез полового феромона рода *Orgyia* (Lepidoptera) // Universum: хим. и биол.: электр. научн. журн. 2021. № 3(81). С. 54–58.
12. Джумакулов Т., Турдибаев Ж.Э., Жумаев М.Н. Феромонная ловушка томатной минирующей моли *Tuta Absolute* Meyr. // Centr. Asian J. Theor. Appl. Sci. 2021. V. 2 № 7. С. 15–18.
13. Джумакулов Т., Турдибаев Ж.Э., Таджиева С.Х. Синтез полового феромона матки медоносной пчелы *Apis mellifera* // Universum: Хим. и биол.: электр. научн. журн. 2020. № 2(68). С. 34–36.
14. Shakirzyanova G., Kholbekov O., Jumakulov T. The study the behavioral functions of *Miordalis pardalina* under simulators pheromone influence // 21<sup>th</sup> ICS Inter. Chem. Congr., 26–28 July 2022, Tebriz, Iran, P. 1143.
15. Джумакулов Т., Турдибаев Ж.Э., Мурзалиева Д.Б. Феромонная ловушка для карантинного вредителя *Myiopardalis Pardalina* Big. // Orient.

- renaissance: Innova. Educat. Natur. Social Sci. 2022. Т. 2. № 5–2. С. 461–465.
16. Джумакулов Т., Турдибаев Ж., Мардонова С. Компонент полового феромона древооточца пахучего *Cossus cossus* // Sci. Progress. 2022. № 5. С. 124–127.
17. Джумакулов Т. Половые феромоны отряда чешуекрылых Lepidoptera: Gelechiidae // Gospodarka i Innowacje. 2022. Т. 22. С. 661–668.
18. Джумакулов Т., Турдибаев Ж.Э., Жумаев М.Н. Синтез полового феромона совки *Autographa gamma* (Lepidoptera) // Centr. Asian J. Theor. Appl. Sci. 2021. V. 2. № 5. P. 72–76.

## Study of Pheromones of the Main Insect Pests of the Lepidoptera Order (Lepidoptera)

T. Dzhumakulov<sup>a, #</sup>, J. E. Turdibaev<sup>a</sup>, L. T. Yuldashev<sup>a</sup>, M. S. Mosidikov<sup>a</sup>, O. H. Holbekov<sup>b</sup>, G. S. Shakirzyanova<sup>b</sup>, E. S. Toreniyazov<sup>c</sup>, R. E. Yusupov<sup>c</sup>

<sup>a</sup>Almalyk Branch of Tashkent State Technical University named after Islam Karimov, M. Ulugbek str. 45, Tashkent region, Almalyk 110100, Uzbekistan

<sup>b</sup>A.S. Sadykov Institute of Bioorganic Chemistry of the Academy of Sciences of Uzbekistan, M. Ulugbek str. 83, Tashkent 100125, Uzbekistan

<sup>c</sup>Karakalpak Institute of Agriculture and Agrotechnology, Abdambetova str., Nukus 230100, Republic of Karakalpakstan

<sup>#</sup>E-mail: jt82@bk.ru

The intensive development of agricultural production currently requires the expansion of the use of chemical plant protection products from insect pests, which in turn leads to environmental pollution and irreparable losses in the biocenosis. Therefore, the development of fundamentally new plant protection products, characterized by safety in relation to the environment and high selectivity of action, is becoming more and more urgent. The use of sex pheromones in integrated plant protection systems leads to the need to develop convenient synthesis schemes that allow obtaining pheromones of various pest species with good yield and high isomeric purity from the same starting compounds-synthons.

**Keywords:** pheromones, pest, tomato moth, gamma scooper, honey bee uterus, odorous woodworm, melon fly, pheromone synthesis.

УДК 631.811.93

## СОРБЦИОННЫЕ СВОЙСТВА СИЛИКАТНЫХ МАТЕРИАЛОВ ИЗ СОЛОМЫ РИСА И ВЕРМИКУЛИТОВ

© 2024 г. А. Е. Панасенко<sup>1,\*</sup>, С.А. Терминов<sup>1</sup>, Н.П. Шапкин<sup>2</sup>, А.Н. Холомейдик<sup>1</sup><sup>1</sup>Институт химии Дальневосточного отделения РАН  
690022 Владивосток, просп. 100-летия Владивостока, 159д, Россия<sup>2</sup>Дальневосточный федеральный университет  
690090 Владивосток, о. Русский, п. Аякс, 10, Россия

\*E-mail: panasenko@ich.dvo.ru

Синтезирован ряд силикатных и алюмосиликатных сорбционных материалов с использованием соломы риса в качестве источника кремния. Исследована зависимость сорбционных свойств по отношению к метиленовому синему, а также плотности и влагоемкости от состава. Показано, что сорбционная емкость силикатных материалов из растительного сырья в несколько раз больше, чем природных алюмосиликатов – вермикулита и материалов на его основе, полученных химической модификацией. Присутствие в составе полученных биогенных материалов органической компоненты способствует более высокой сорбционной емкости. Определена плотность и влагоемкость синтезированных материалов.

**Ключевые слова:** биогенный кремнезем, силикаты, алюмосиликаты, вермикулит, солома риса, сорбционная емкость.

**DOI:** 10.31857/S0002188124010124

### ВВЕДЕНИЕ

Среди всех сельскохозяйственных культур рис занимает одно из первых мест в мире по объемам производства. Поскольку он является кремнефильным растением, его солома и плодовые оболочки (шелуха) содержат до 14–18% диоксида кремния. С одной стороны, актуален вопрос утилизации этих отходов – они накапливаются на полях и рисоперерабатывающих заводах. Одно из основных направлений утилизации шелухи – ее сжигание и использование золы в металлургии. С другой стороны, рис извлекает кремний из почвы и для обеспечения ее плодородности в будущем необходимо компенсировать изменение ее состава.

Авторы [1] говорят о возможности использования в качестве удобрений кремнийсодержащих материалов на основе диоксида кремния, полученных из соломы и шелухи риса, для которых было изучено содержание водорастворимого, кислоторастворимого и активного кремния.

Кроме диоксида кремния, который является одной из наиболее химически инертных форм кремния, широко применяется внесение в почву алюмосиликатов, в частности, вермикулита. Одна из задач – повысить аэрационные свойства тяжелых глинистых почв и увеличить влагоемкость легких песчаных почв [2]. Внесение силикатов кальция, помимо питания растений кремнием и кальцием,

стимулирует рост азотфиксирующих бактерий. Не менее важной задачей является использование вермикулита и других силикатов и алюмосиликатов для очистки почв от нефтепродуктов, тяжелых металлов (особенно в промышленных регионах), микотоксинов, радионуклидов (в районах, подвергшихся радиоактивному заражению) [3, 4]. В частности, показано, что вермикулит снижает фитодоступность и мобильность радиоактивного цезия [5].

Методы химической модификации позволяют существенно улучшить сорбционные характеристики вермикулита. У вспученного вермикулита удельная поверхность составляет 3.1–12.8 м<sup>2</sup>/г, после модификации соляной кислотой и целлюлозой – 264–342 м<sup>2</sup>/г. Сорбционная емкость по модельному красителю метиленовому синему (МС) при этом повышается с 8.8 до 78 мг/г [6–8].

Как было показано нами ранее, биогенные силикаты и алюмосиликаты, полученные из соломы и шелухи риса, обладают большей сорбционной емкостью по отношению к ионам цезия, сурьмы и свинца, чем природные материалы [7, 9–11]. Однако необходимо понимание механизмов сорбции на подобных материалах и характера взаимодействия контаминанта с поверхностью сорбента для возможности практического использования подобных сорбентов в зависимости от типа почвы и условий окружающей среды [4, 12, 13].



Цель работы – изучение механизмов сорбции модельного поллютанта – метиленового синего на биогенных силикатах и алюмосиликатах, полученных из соломы и шелухи риса, в сравнении с химически модифицированным вермикулитом.

## МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Для синтеза исследованных образцов использовали следующие реактивы: NaOH “х.ч.”, КОН “х.ч.”,  $\text{BaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  “ч.д.а.”,  $\text{CaCl}_2$  “ч.”,  $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  “х.ч.”,  $\text{CoCl}_2$  “х.ч.”,  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$  “х.ч.”, HCl “ос.ч.”,  $\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$  “ч.”, ДМСО “х.ч.”, метиленовый синий “ч.д.а.”.

Для получения силикатных материалов из растительного сырья в качестве источника кремния использовали солому и шелуху риса сорта Луговой дальневосточной селекции [10]. Навеску рисовой соломы (РС) или шелухи (РШ) обрабатывали 0.5 М раствором NaOH при 90°C, негидролизованный целлюлозный остаток отделяли на фильтре. К фильтрату при заданной температуре добавляли раствор  $\text{BaCl}_2$ ,  $\text{CaCl}_2$  или  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ . После рН раствора доводили до фиксированной величины, выпавший осадок декантировали, промывали и сушили при температуре 105°C.

В качестве образцов сравнения были получены образцы модифицированного вермикулита по методике [8]. Навеску вспученного вермикулита Ковдорского месторождения суспендировали в 12.5%-ном растворе HCl, в суспензию добавляли гидролизат РШ (образец 3), либо раствор хлоридов Fe, Co (образец 4) и обрабатывали полученную смесь 15%-ным раствором  $\text{NH}_3$  до нейтральной реакции. Осадок промывали, сушили и прокаливали при 600°C (образец 2).

ИК-спектры поглощения записывали в области 400–4000  $\text{см}^{-1}$  в вазелине на Фурье-спектрофотометре Shimadzu FTIR Prestige 21 (Япония). Рентгенограммы снимали в  $\text{CuK}\alpha$ -излучении на дифрактометре Bruker D8 Advance (Германия), фазы идентифицировали с использованием программы EVA-банка порошковых данных PDF. Элементный анализ выполнен с помощью метода энергодисперсионной рентгеновской спектроскопии на спектрометре EDX 800 HS (Shimadzu, Япония). Микрофотографии получены на сканирующих электронных микроскопах Hitachi S-5500 (Япония) и Thermo scientific Phenom ProX (США). Для образцов с наибольшей сорбционной емкостью определяли плотность пикнометрическим методом в гексане и влагоемкость – гравиметрическим методом.

Сорбционные свойства синтезированных материалов определяли в статических условиях на модельных растворах метиленового синего (концентрация 90–900 мг/л). Для построения

изотермы сорбции 8 навесок образца заливали растворами различной концентрации в соотношении Т : Ж = 1 : 1000, затем встряхивали 40 мин. Растворы разделяли центрифугированием. Концентрацию метиленового синего определяли по оптической плотности, измеренной с помощью спектрофотометра Unico 1201 (США) при максимуме поглощения ( $\lambda = 660$  нм). Величину сорбции рассчитывали по разнице начальной и равновесной концентраций раствора, сорбционную емкость рассчитывали по моделям Ленгмюра и Редлиха–Петерсона.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

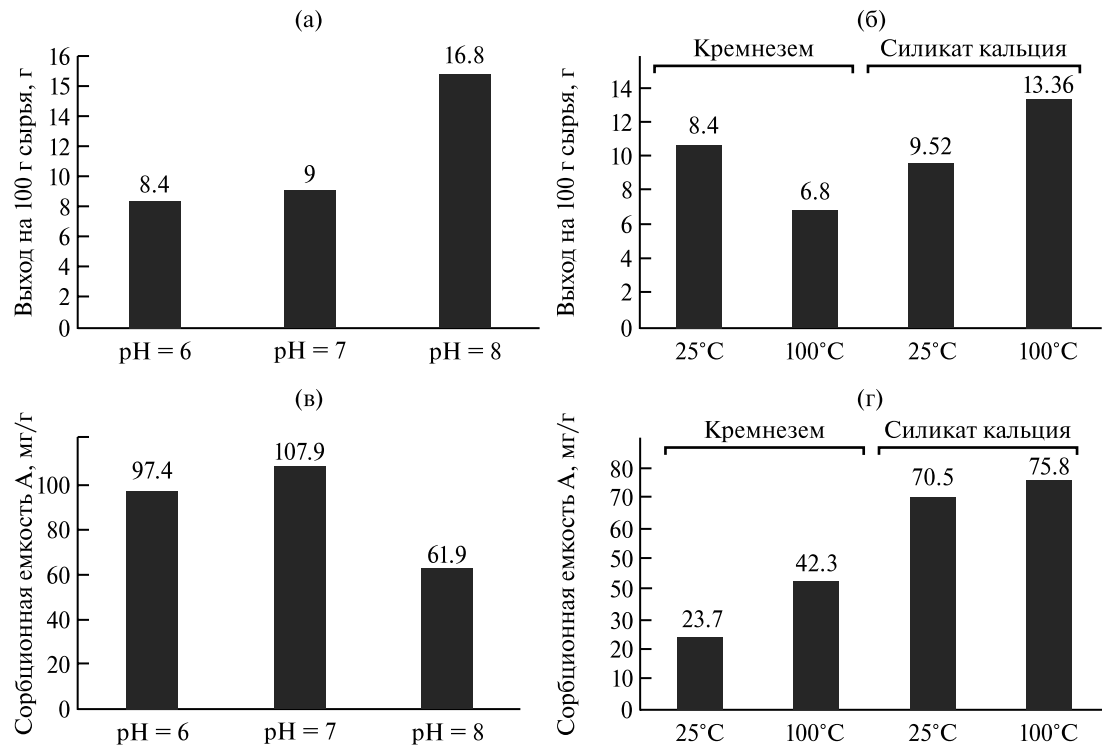
*Условия синтеза.* Зависимость свойств биогенных силикатов от условий синтеза была исследована по изменению сорбционной емкости и выхода продукта при варьировании кислотности и температуры среды. При увеличении рН выход силиката кальция увеличивался, а величины сорбционной емкости, наоборот, уменьшались (рис. 1а, б).

Повышение температуры синтеза (рис. 1в, г) увеличивало сорбционную емкость как для силиката кальция, так и для кремнезема. При этом выход сырья для кремнезема уменьшался, а для силиката кальция увеличивался. Таким образом, синтез последующих образцов проводили при рН 7.0 и температуре 100°C, т.к. при этих параметрах отмечен оптимальные показатели выхода продукта и сорбционной емкости.

*Выбор модели сорбции.* Для описания процесса сорбции на полученных силикатных материалах были рассмотрены модели Ленгмюра и Редлиха–Петерсона. Известно, что сорбция пористыми алюмосиликатами ионов цезия, происходящая по ионообменному механизму, хорошо описывается изотермой Ленгмюра [11]. Однако трехпараметрическое уравнение изотермы адсорбции Редлиха–Петерсона исправляет неточности моделей Ленгмюра и Фрейндлиха в некоторых адсорбционных системах. В зависимости от величины коэффициента  $\alpha$  в уравнении Редлиха–Петерсона, который может принимать значения от 0 до 1, уравнение становится эквивалентным уравнению Фрейндлиха, уравнению Ленгмюра, либо принимает промежуточный вид. При описании адсорбционных систем уравнение Редлиха–Петерсона было более точным, чем уравнение Ленгмюра или Фрейндлиха, или имело одинаково высокую точность [14–20].

Для нескольких образцов биогенных алюмосиликатов были рассчитаны величины предельной сорбционной емкости  $A_\infty$  и коэффициенты корреляции  $R^2$  для обеих моделей, а также коэффициент  $\alpha$  для модели Редлиха–Петерсона. Коэффициент корреляции был существенно больше для модели





**Рис. 1.** Выход и сорбционная емкость по метиленовому синему образцов силиката кальция и диоксида кремния при различных pH (а, б) и температуре (в, г) реакционной среды.

**Таблица 1.** Параметры уравнений Ленгмюра и Редлиха–Петерсона, рассчитанные по изотермам сорбции метиленового синего образцами синтетического алюмосиликата натрия

| Образец                                                                      | модель Ленгмюра     |       | модель Редлиха–Петерсона |          |       |
|------------------------------------------------------------------------------|---------------------|-------|--------------------------|----------|-------|
|                                                                              | $A_{\infty}$ , мг/г | $R^2$ | $A_{\infty}$ , мг/г      | $\alpha$ | $R^2$ |
| $0.15\text{Na}_2\text{O} \cdot 0.47\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$ | 104                 | 0.973 | 89.2                     | 0.668    | 0.984 |
| $0.16\text{Na}_2\text{O} \cdot 0.47\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$ | 82.2                | 0.959 | 83.4                     | 0.965    | 0.954 |
| $0.15\text{Na}_2\text{O} \cdot 0.44\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$ | 116                 | 0.820 | 117                      | 0.877    | 0.976 |
| $0.21\text{Na}_2\text{O} \cdot 0.44\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$ | 94.3                | 0.785 | 86.5                     | 0.814    | 0.930 |

Редлиха–Петерсона ( $R^2 > 0.93$ ), т.е. данная модель предпочтительна для описания сорбционных процессов в исследованной системе (табл. 1).

*Характеристика силикатных материалов.* Полученные материалы (табл. 1, 2) рентгеноаморфны и имеют ИК-спектр, типичный для силикатов и диоксида кремния (рис. 2а).

При помощи сканирующей электронной микроскопии была изучена морфология образцов. Образец минерального происхождения (образец 3) имел слоистую структуру с расстоянием между слоями не более 1 мкм, некоторые частицы расслаивались на более тонкие слои. Помимо этого,

видны отдельные частицы пластинчатой формы, которые не образуют подобные слоистые структуры (рис. 3а). Образцы алюмосиликатов, полученных из растительного сырья, состояли из частиц неправильной формы размером до 60 мкм с развитой поверхностью и диаметром пор не более 1 мкм (рис. 3б).

Для силикатов кальция максимальная сорбционная емкость отмечена при соотношении  $\text{Ca} : \text{Si} = 0.1 : 1$  (табл. 2, образец 14). Выход материала снижался с увеличением соотношения  $\text{Ca} : \text{Si}$ .

Силикат бария (образец 17), несмотря на высокую сорбционную активность по отношению

**Таблица 2.** Характеристика образцов силикатных и алюмосиликатных материалов

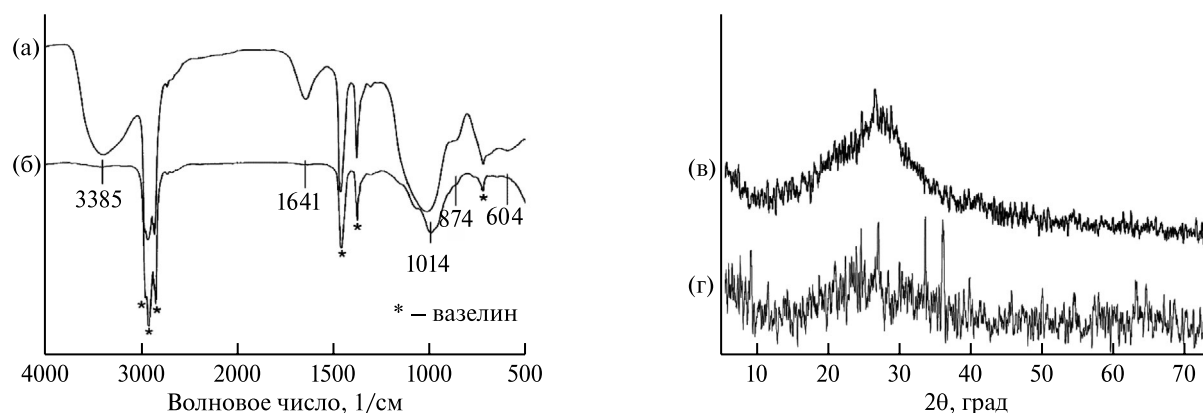
| Образец, №                                               | Образец                                                                    | Выход на 100 г сырья, г | A* (МС), мг/г | Плотность, г/см <sup>3</sup> | Влагоемкость, г/г |
|----------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|-------------------------|---------------|------------------------------|-------------------|
| Образцы минерального происхождения на основе вермикулита |                                                                            |                         |               |                              |                   |
| 1                                                        | Вспученный вермикулит                                                      | —                       | 8.8           | 1.41                         | 6.30              |
| 2                                                        | Вермикулит, модифициро-<br>ванный HCl                                      | 55                      | 18.6          | 2.94                         | 2.64              |
| 3                                                        | Вермикулит + целлюлоза                                                     | 105                     | 26.1          | 2.04                         | 2.89              |
| 4                                                        | Вермикулит + оксиды металлов                                               | 95                      | 46.4          | 2.34                         | 3.09              |
| Биогенные образцы из соломы риса                         |                                                                            |                         |               |                              |                   |
| 5                                                        | 0.15Na <sub>2</sub> O·0.47Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ·SiO <sub>2</sub> | 17.2                    | 89.2          | 1.76                         | 2.46              |
| 6                                                        | 0.16Na <sub>2</sub> O·0.47Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ·SiO <sub>2</sub> | 8.7                     | 83.4          |                              |                   |
| 7                                                        | 0.15Na <sub>2</sub> O·0.44Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ·SiO <sub>2</sub> | 9.6                     | 117           |                              |                   |
| 8                                                        | 0.21Na <sub>2</sub> O·0.44Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ·SiO <sub>2</sub> | 17.1                    | 86.5          |                              |                   |
| 9                                                        | 0.17Na <sub>2</sub> O·0.42Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ·SiO <sub>2</sub> | 10.6                    | 33.0          |                              |                   |
| 10                                                       | 0.23Na <sub>2</sub> O·0.3Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ·SiO <sub>2</sub>  | 13.7                    | 35.5          | 2.09                         | 2.77              |
| 11                                                       | 0.05K <sub>2</sub> O·0.55Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ·SiO <sub>2</sub>  | 19.9                    | 42.8          |                              |                   |
| 12                                                       | 0.02K <sub>2</sub> O·0.31Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ·SiO <sub>2</sub>  | 8.8                     | 38.3          |                              |                   |
| 13                                                       | 0.09CaO·SiO <sub>2</sub>                                                   | 9.3                     | 23.7          |                              |                   |
| 14                                                       | 0.10CaO·SiO <sub>2</sub>                                                   | 4.5                     | 121           |                              |                   |
| 15                                                       | 0.15CaO·SiO <sub>2</sub>                                                   | 3.5                     | 106           | 2.27                         | 2.86              |
| 16                                                       | 0.43CaO·SiO <sub>2</sub>                                                   | 17.4                    | 53.8          | 1.96                         | 2.61              |
| 17                                                       | 0.16BaO·SiO <sub>2</sub>                                                   | 3.8                     | 56.2          |                              |                   |
| 18                                                       | SiO <sub>2</sub> из PC                                                     | 10.6                    | 38.3          |                              |                   |

\* Сорбционная емкость рассчитана по модели Редлиха–Петерсона.

к ионам цезия [11], по отношению к метиленовому синему имел меньшую сорбционную емкость, чем силикат кальция. С учетом более высокой стоимости бария, не представляется целесообразным

получение силиката бария на основе растительного сырья для использования в качестве сорбента.

Для алюмосиликатов натрия наибольший выход и наибольшая сорбционная емкость достигалась при



**Рис. 2.** ИК-спектры и рентгенограммы образцов: а, в — из растительного сырья, б, г — из минерального.

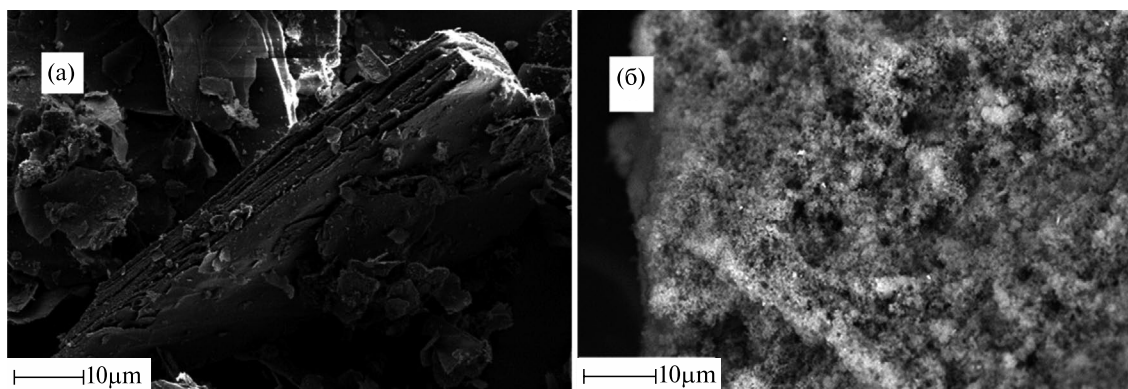


Рис. 3. Микрофотографии образцов из минерального (а, образец 2) и растительного сырья (б, образец 8).

наибольшем соотношении Na : Si. При увеличении соотношения Al : Si уменьшались сорбционная емкость и выход. Алюмосиликаты калия имели в целом меньшие показатели сорбционной емкости и выхода по сравнению с алюмосиликатами натрия. Наибольший выход в этом случае достигался при наибольших величинах соотношения K : Si, но наибольшая сорбционная емкость достигалась при соотношении K : Al : Si = 0.1 : 1.1 : 1 (табл. 2, образец 11). При сравнении образцов алюмосиликатов калия и силикатов кальция показано, что силикаты кальция имели более высокую сорбционную емкость, но вместе с этим их выход был значительно меньше.

Вермикулит (образец 1) имел состав  $0.11\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 1.23\text{MgO} \cdot 0.26\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$ . Его химическая модификация увеличивала плотность и уменьшала влагоемкость. При этом сорбционная емкость по отношению к МС увеличивалась в несколько раз, в частности, для вермикулита, модифицированного оксидами металлов, содержание которых составляло 17.5% (образец 4), возрастало с 8.8 до 46.4 мг/г, но оставалось значительно меньше, чем у синтетических образцов растительного происхождения.

При гидролитическом осаждении силикатных материалов из растительного сырья совместно с целевым соединением из раствора осаждаются органические вещества, преимущественно лигнин и в меньшем количестве гемицеллюлозы, которые попадают в щелочной гидролизат из растительных тканей. Таким образом, полученный материал представляет собой органо-неорганический композит из силикатов или алюмосиликатов и лигнина. При нагревании органическая компонента карбонизируется и частично окисляется [10].

Для термического удаления органической компоненты образец 4 прокаливали в течение 3 ч при различных температурах в интервале от 400°C до 550°C. После прокаливания при 450°C сорбционная емкость понижалась в 1.5 раза и составляла 63.8 мг/г. Такое уменьшение можно объяснить конденсацией групп Al—ОН и Si—ОН, за счет чего снижалось количество активных центров сорбции [21] (рис. 4а).

Поскольку органическая компонента полученных материалов представлена в основном лигнином, включающим ароматические фрагменты, ее удаление возможно путем растворения

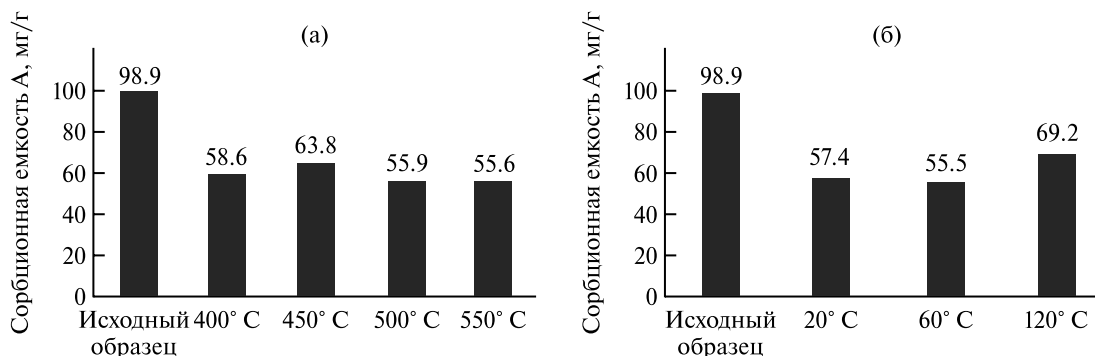
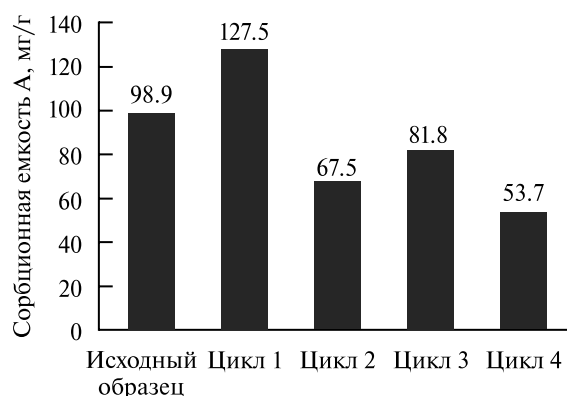


Рис. 4. Сорбционная емкость (МС) биогенного алюмосиликата натрия (образец 8): (а) — до обработки после прокаливания, (б) — после обработки ДМСО.



**Рис. 5.** Сорбционная емкость биогенного алюмосиликата натрия (образец 8) после 4-х циклов регенерации.

в диметилсульфоксиде (*ДМСО*). После обработки алюмосиликата натрия (образец 8) избытком *ДМСО* при различных температурах сорбционная емкость по отношению к *МС* уменьшалась в 1.5–1.8 раза (рис. 4б).

Таким образом, на основе результатов термобработки и обработки *ДМСО*, можно утверждать, что присутствие органической компоненты повышало сорбционные свойства силикатных материалов, полученных из соломы риса.

**Регенерация алюмосиликатных сорбентов.** Для проверки способности полученных материалов к регенерации был выбран алюмосиликат натрия (образец 8), прокаленный при 500°C. Сорбционную емкость определяли после сорбции избытка *МС* (раствор 50 мг/л,  $T : Ж = 1 : 350$ ) и последующего прокалывания при 500°C, обработку повторяли 4 раза, т.е. выполняли 4 цикла регенерации (рис. 5).

Видно, что сорбционная емкость прокаленного образца по отношению к *МС* после первого цикла возрастала, а затем снижалась и после 4-го цикла уменьшалась в 1.8 раза. После первого цикла поверхность становилась более активной за счет неполного выгорания *МС*, а затем на ней снижалось количество активных центров в результате многократного воздействия температуры. Таким образом, практически возможна термическая регенерация полученных сорбционных материалов с сохранением 82% первоначальной сорбционной емкости на протяжении 3-х циклов.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, получены и исследованы образцы силикатов кальция и бария, а также алюмосиликатов натрия и калия из рисовой соломы и шелухи. Наилучшее соотношение выхода и сорбционной

емкости полученных материалов достигалось при температуре реакционной среды 100°C и pH 7.0. Материалы рентгеноаморфны, состояли из частиц размером до 60 мкм и имели ИК-спектр, типичный для силикатов и диоксида кремния. В составе присутствовала органическая компонента, состоящая преимущественно из лигнина.

Сорбция метиленового синего на полученных материалах наиболее корректно описывалась моделью Редлиха–Петерсона. По сравнению с природным вспученным вермикулитом и химически модифицированными материалами на его основе синтетические силикатные материалы из растительного сырья обладали в несколько раз более высокой сорбционной емкостью. Наибольшая сорбционная емкость достигалась для силиката кальция из рисовой соломы (120.8 мг/г); использование в качестве сырья такого традиционного сырья как рисовая шелуха, давало меньшие величины емкости. Алюмосиликатные материалы имели схожую величину максимальной емкости (116.7 мг/г).

Высокая сорбционная емкость в исследованных материалах связана с присутствием органической компоненты. Ее удаление путем прокалывания или обработки *ДМСО* уменьшало  $A_{\infty}$  по отношению к метиленовому синему в 1.8 раза. Показана возможность термической регенерации сорбента после сорбции метиленового синего в течение 3-х циклов с сохранением 82% сорбционной емкости.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ковехова А.В., Арефьева О.Д., Трегубова В.Г., Земнухова Л.А. Кремниевые удобрения из отходов производства риса // Экологическая, промышленная и энергетическая безопасность: Международ. научн.-практ. конф., Севастополь, 20–23 сентября 2021 г. Сб. ст. Севастополь: СевГУ, 2021. С. 322–326. ISBN: 978-5-6043402-4-0
2. Ахияров Б.Г., Исмаилов Р.Р., Рахимов Р.Р. Использование вермикулита при выращивании рассады овощных культур // Изв. ОренбургГАУ. 2015. Вып. 53. С. 67–70.
3. Vasilyeva G., Mikhedova E., Zinnatshina L. Use of natural sorbents for accelerated bioremediation of grey forest soil contaminated with crude oil // Sci. Total Environ. 2022. V. 8501. Art. 157952. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.157952>
4. Durrant C.B., Begg J.D., Kersting A.B., Zavarin M. Cesium sorption reversibility and kinetics on illite, montmorillonite, and kaolinite // Sci. Total Environ. 2018. V. 610–611. P. 511–520.
5. Yamaguchi N., Tsukada H., Kohyama K. Radiocesium interception potential of agricultural soils in north-east Japan // Soil Sci. Plant Nutr. 2017. V. 63. Is. 2.

- P. 119–1264. <https://doi.org/10.1080/00380768.2017.1294467>
6. *Zemnukhova L.A., Panasenkov A.E., Polvakova N.V.* Vermiculite from the Koksharovskiy deposit (Primorsky Krai) and its properties // *Chem. Sustain. Develop.* 2018. V. 26. Is. 1. P. 19–26. <https://doi.org/10.15372/CSD20180104>
  7. *Shapkin N.P., Khal'chenko I.G., Yudakov A.A.* Synthesis of a nanocomposite based on polyethylene and modified vermiculite // *Inorg. Mater.* 2017. V. 53. № 10. P. 1091–1096. <https://doi.org/10.1134/S0020168517100120>
  8. *Shapkin N.P., Khal'chenko I.G., Panasenkov A.E.* Hybrid composite materials based on natural layered silicates // *Inorg. Mater.* 2018. V. 54. № 9. P. 965–969. <https://doi.org/10.1134/S0020168518090145>
  9. *Арефьева О.Д., Ковехова А.В., Земнухова Л.А.* Получение и характеристика сорбентов из возобновляемых отходов производства риса и подсолнечника // *Хим. технол.* Т. 21. № 11. С. 506–511.
  10. *Панасенко А.Е., Борисова П.Д., Арефьева О.Д., Земнухова Л.А.* Алумосиликаты из соломы риса: получение и сорбционные свойства // *Химия раст. сырья.* 2019. № 3. С. 291–298.
  11. *Yarusova S.B., Panasenkov A.E., Zemnukhova L.A.* Sorption of cesium by aluminosilicate sorbents from rice straw // *IOP Conf. Ser.: Material. Sci. Engin.* 2019. V. 525. № 1. Art. 012041.
  12. *Бельчинская Л.И., Ходосова Н.А., Новикова Л.А.* Регулирование сорбционных процессов на природных нанопористых алюмосиликатах. 2. Определение соотношения активных центров // *Физико-хим. поверхности и защита мат-лов.* 2016. Т. 52. № 4. С. 363–370.
  13. *Wang Y.-J., Alves M., Zhou D.-M.* Combining path analysis and X-ray absorption spectroscopy to unravel the Zn sorption mechanism on soils // *Soil Sci. Soc. Amer. J.* 2018. V. 82. Is. 4. P. 796–802. <https://doi.org/10.2136/sssaj2017.12.0436>
  14. *Wu F.-C., Liu B.-L., Wu K.-T., Tseng R.-L.* A new linear form analysis of Redlich–Peterson isotherm equation for the adsorptions of dyes // *Chem. Engin. J.* 2010. V. 162. № 1. P. 21–27.
  15. *Ge Q., Moeen M., Tian Q.* Highly effective removal of  $Pb^{2+}$  in aqueous solution by Na-X zeolite derived from coal gangue // *Environ. Sci. Pollut. Res.* 2020. № 27. P. 7398–7408.
  16. *Titchou F.E., Akbour R.A., Assabbane A., Hamdani M.* Removal of cationic dye from aqueous solution using Moroccan pozzolana as adsorbent: Isotherms, kinetic studies, and application on real textile wastewater treatment // *Groundwater Sustain. Develop.* 2020. № 11. P. 1–10.
  17. *Kumar K.V., Porkodi K.* Relation between some two- and three-parameter isotherm models for the sorption of methylene blue onto lemon peel // *J. Hazard. Mater.* 2006. № 138. P. 633–635.
  18. *Kumar K.V., Sivanesan S.* Equilibrium data, isotherm parameters and process design for partial and complete isotherm of methylene blue onto activated carbon // *J. Hazard. Mater.* 2006. № 134. P. 237–244.
  19. *Wang S., Boyjoo Y., Choueib A., Zhu Z.H.* Removal of dyes from aqueous solution using fly ash and red mud // *Water Res.* 2005. № 39. P. 129–138.
  20. *Ncibi M.C., Mahjoub B., Seffen M.* Kinetic and equilibrium studies of methylene blue biosorption by *Posidonia oceanica* (L.) fibres // *J. Hazard. Mater.* 2007. № 139. P. 280–285.
  21. *Айлер Р.* Химия кремнезема: Пер. с англ. М.: Мир, 1982. Ч. 2. 712 с.

## Sorption Properties of Silicate Materials from Straw Rice and Vermiculites

A. E. Panasenkov<sup>a, #</sup>, S. A. Terminov<sup>a</sup>, N. P. Shapkin<sup>b</sup>, A. N. Holomeidik<sup>a</sup>

<sup>a</sup>*Institute of Chemistry of the Far Eastern Branch of the RAS,  
prosp. of the 100th Anniversary of Vladivostok 159d, Vladivostok 690022, Russia*

<sup>b</sup>*Far Eastern Federal University,  
p. Ajax 10, Russian Island, Vladivostok 690090, Russia*

<sup>#</sup>*E-mail: panasenkov@ich.dvo.ru*

A number of silicate and aluminosilicate sorption materials have been synthesized using rice straw as a silicon source. The dependence of sorption properties with respect to methylene blue, as well as density and moisture capacity on the composition is investigated. It is shown that the sorption capacity of silicate materials from vegetable raw materials is several times greater than that of natural aluminosilicates – vermiculite and materials based on it obtained by chemical modification. The presence of an organic component in the composition of the obtained biogenic materials contributes to a higher sorption capacity. The density and moisture capacity of the synthesized materials are determined.

**Keywords:** biogenic silica, silicates, aluminosilicates, vermiculite, rice straw, sorption capacity.