

# СОДЕРЖАНИЕ

Номер 1, 2022

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ СТАТЬИ

### Плодородие почв

Влияние минеральных удобрений на трансформацию калийного фонда дерново-подзолистой тяжелосуглинистой почвы

*Н. Е. Завьялова, М. Т. Васбиева, Д. Г. Шишков, И. В. Казакова*

3

### Удобрения

Удобрение сахарной свеклы в Центрально-Черноземном районе РФ

*О. А. Минакова, П. А. Косякин, Л. В. Александрова*

10

Эффективность комплексного применения минеральных удобрений и стимуляторов роста в посевах ярового ячменя (*Hordeum sativum* L.)

*Л. А. Пискарева, А. Ю. Чевердин*

21

Комплексная оценка различных систем удобрения в экологическом овощеводстве открытого грунта

*В. А. Борисов, И. Ю. Васючков, О. Н. Успенская*

32

### Регуляторы роста растений

Влияние регулятора роста Зеребра агро с фунгицидными свойствами на ростовые показатели, продуктивность табака и качество сырья

*Е. М. Тютюнникова, Т. В. Плотникова*

39

Влияние обработки регулятором роста флороксан в комплексе с растительным экстрактом на состояние листьев томатов (*Solanum lycopersicum*), зараженных томатной минирующей молью

*Р. П. Закирова, С. М. Тураева, Э. Р. Курбанова, Н. Д. Чкаников, С. С. Халиков*

46

### Пестициды

Агрохимические аспекты химической безопасности пестицидов

*В. А. Захаренко*

50

### Агроэкология

Изменение фракционного состава зерна озимой ржи, выращенного на фоне возрастающих уровней минерального питания

*А. В. Пасынков, Е. Н. Пасынкова*

58

### Экотоксикология

Прогрессирующее накопление опасных фузариев на зерне озимой пшеницы в хозяйствах юга России (2014–2020 гг.)

*Н. И. Будынков, С. Н. Михалева*

66

## ОБЗОРЫ

Ацидогенная деградация черноземных почв и адаптивные приемы ее преодоления

*А. В. Ивойлов*

78

Аккумуляция тяжелых металлов в овощных культурах

*В. Н. Башкин, Р. А. Галиulina*

86

# Contents

---

---

No. 1, 2022

---

---

## EXPERIMENTAL ARTICLES

### Soil Fertility

Influence of Mineral Fertilizers on the Transformation of the Potash Fund of Sod-Podzolic Heavy Loamy Soil

*N. E. Zavyalova, M. T. Vasbieva, D. G. Shishkov, I. V. Kazakova*

---

### Fertilizers

Sugar Beet Fertilizing in the Central Black-Earth Region

*O. A. Minakova, P. A. Kosyakin, L. V. Aleksandrova*

Efficiency of Complex Application of Mineral Fertilizers and Growth Stimulators on Spring Barley Crops (*Hordeum sativum* L.)

*L. A. Piskareva, A. Yu. Cheverdin, and A. M. Novichihin*

Comprehensive Assessment of Various Fertilizer Systems in Ecological Vegetable Growing of Open Ground

*V. A. Borisov, I. Y. Vasyuchkov, O. N. Uspenskay*

---

### Plant Growth Regulators

Effect of Growth Stimulator Zerebra Agro which Has Fungicidal Properties on Growing Indicators, Tobacco Productivity and Quality of Cured Tobacco

*E. M. Tutunnikova, T. V. Plotnikova*

Vegetable Extract on the State of Tomato Leaves (*Solanum lycopersicum*) Infected with Tomato Mining Mother

*R. P. Zakirova, S. M. Turaeva, E. R. Kurbanova, N. D. Chkanikov, S. S. Khalikov*

---

### Pesticides

Agrochemical Aspects of Chemical Safety of Pesticides

*V. A. Zakharenko*

---

### Agroecology

Change in the Fractional Composition of Winter Rye Grain, Grown on the Background of Growing Mineral Nutrition Levels

*A. V. Pasyнков, E. N. Pasynkova*

---

### Ecotoxicology

Progressive Accumulation of Dangerous Fusariums on Winter Wheat Grain in Farms in the South of Russia (2014–2020)

*N. I. Budykova, S. N. Mikhaleva*

---

## REVIEWS

Acidogenic Degradation of Black Earth Soils and Adaptive Methods of Its Overcoming

*A. V. Ivoilov*

Accumulation of Heavy Metals in Vegetable Crops

*V. N. Bashkin, R. A. Galiulina*

---

---

## ВЛИЯНИЕ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ НА ТРАНСФОРМАЦИЮ КАЛИЙНОГО ФОНДА ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ ТЯЖЕЛОСУГЛИНИСТОЙ ПОЧВЫ

© 2022 г. Н. Е. Завьялова<sup>1,\*</sup>, М. Т. Васбиева<sup>1</sup>, Д. Г. Шишков<sup>1</sup>, И. В. Казакова<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Пермский федеральный исследовательский центр УрО РАН  
614532 Пермский край, Пермский р-н, с. Лобаново, ул. Культуры, 12, Россия

\*E-mail: nezavyalova@gmail.com

Поступила в редакцию 02.07.2021 г.

После доработки 28.08.2021 г.

Принята к публикации 15.10.2021 г.

В полевом стационарном опыте 1978 г. закладки изучили влияние длительного внесения минеральных удобрений на содержание валового калия, его водорастворимых, легкообменных, обменных и необменных форм в дерново-подзолистой тяжелосуглинистой почве. Применение азотных, фосфорных и калийных удобрений в чистом виде и их сочетаний (доза 90 кг д.в./га) показало, что внесение азотно-фосфорных удобрений без использования калийных привело к снижению содержания легкообменных соединений калия относительно контроля на 20, обменных по Кирсанову – на 22 (по Масловой – на 25), необменных гидролизующих по Пчелкину – на 33, необменных фиксированных по Гедройцу – на 42%. Применение азотных удобрений в чистом виде в большей степени повлияло на содержание необменных форм калия, отмечено снижение содержания необменных форм калия в почве на 22–26%. При длительном внесении калийных удобрений отмечено достоверное увеличение в почве относительно контрольного варианта валового содержания калия на 15, его легкообменных соединений – на 47, обменных по Кирсанову и Масловой – на 63–75%. Сочетание азотно-калийных удобрений достоверно повысило в почве содержание легкообменных и обменных соединений калия. Только внесение полного минерального удобрения (NPK)90 способствовало повышению содержания всех форм калия в почве на 21–53%.

*Ключевые слова:* дерново-подзолистая почва, минеральные удобрения, формы калия.

DOI: 10.31857/S0002188122010136

### ВВЕДЕНИЕ

Калий является важным элементом минерального питания растений, занимающим лидирующие позиции среди других элементов-биофилов по величине выноса из почвы урожаями сельскохозяйственных культур. Тем не менее, изучению калийного состояния почв агроценозов уделяется наименьшее внимание, а использование калийных удобрений находится на минимальном уровне. Вопреки научным требованиям, в последнюю четверть века произошел почти полный отказ от использования этих удобрений. В результате страна ежегодно недополучает сотни тысяч тонн продукции растениеводства [1–5]. Считается, что почвы содержат значительные запасы валового калия, однако даже при значительных валовых запасах этого элемента калийное питание может лимитироваться сорбционно-десорбционными процессами [6, 7]. При постоянном отчуждении калия урожаем и неполным возвратом элемента с

удобрениями происходит медленное, но постоянное снижение содержания доступного калия в почве, уменьшаются его подвижность и способность почвы к восстановлению исходного уровня содержания калия в легкодоступной для растений форме, что в конечном итоге приводит к недобору урожая [8–10].

Цель работы – выявить влияние длительного применения минеральных удобрений на трансформацию калийного режима дерново-подзолистой тяжелосуглинистой почвы.

### МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Полевой стационарный опыт был заложен в 1978 г. на опытном поле Пермского НИИСХ (филиала ПФИЦ УрО РАН) на дерново-подзолистой тяжелосуглинистой почве со следующими агрохимическими характеристиками (слой 0–20 см): рН<sub>KCl</sub> 5.6, гидролитическая кислотность – 2.0, об-

**Таблица 1.** Влияние длительного применения удобрений на продуктивность полевого севооборота, хозяйственный баланс калия и его интенсивность

| Вариант           | Продуктивность севооборота (среднее за 1–5-ю ротации), т к.е./га/год | Поступило с удобрениями K <sub>2</sub> O в сумме за 1–5-ю ротации, кг/га | Вынос K <sub>2</sub> O урожаем полевых культур в сумме за 1–5-ю ротации, кг/га | Баланс, кг/га |        | Интенсивность баланса, % |
|-------------------|----------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------|---------------|--------|--------------------------|
|                   |                                                                      |                                                                          |                                                                                | за 5 ротаций  | за год |                          |
| Контроль          | 2.5                                                                  | 0                                                                        | 2729                                                                           | –2729         | –68    | 0                        |
| N90               | 3.1                                                                  | 0                                                                        | 3100                                                                           | –3100         | –77    | 0                        |
| P90               | 2.8                                                                  | 0                                                                        | 2783                                                                           | –2783         | –70    | 0                        |
| K90               | 2.9                                                                  | 2250                                                                     | 2964                                                                           | –714          | –18    | 76                       |
| (NP)90            | 3.0                                                                  | 0                                                                        | 2907                                                                           | –2907         | –73    | 0                        |
| (NK)90            | 3.0                                                                  | 2250                                                                     | 3176                                                                           | –926          | –23    | 71                       |
| (PK)90            | 2.9                                                                  | 2250                                                                     | 2828                                                                           | –578          | –14    | 80                       |
| (NPK)90           | 3.3                                                                  | 2250                                                                     | 3557                                                                           | –1307         | –33    | 63                       |
| HCP <sub>05</sub> | 0.2                                                                  | –                                                                        | –                                                                              | –             | –      | –                        |

менная – 0.025, сумма поглощенных оснований – 21.0 ммоль/100 г почвы, содержание гумуса по Тюрину – 2.12%, подвижных форм фосфора в пахотном слое – 175, обменного калия – 203 мг/кг почвы (по Кирсанову). Содержание физической глины варьировало в интервале 40.1–44.9% в зависимости от варианта опыта. Схема опыта включала следующие варианты: без удобрений (контроль), N90, P90, K90, (NP)90, (NK)90, (PK)90, (NPK)90. Исследования проводили в 8-польном севообороте со следующим чередованием культур: чистый пар–озимая рожь–картофель–пшеница–клевер 1-го года пользования–клевер 2-го года пользования–ячмень–овес. Минеральные удобрения вносили под зерновые культуры и картофель, в посеве клевера изучали последствие. В опыте использовали N<sub>аа</sub>, P<sub>с</sub>, K<sub>х</sub>. Известь вносили перед закладкой опыта в дозе по 1.0 Н<sub>г</sub>. Органические удобрения в опыте не использовали. Общая площадь делянки – 120 м<sup>2</sup>, учетная – 76.4 м<sup>2</sup>. Размещение вариантов в опыте рендомизированное.

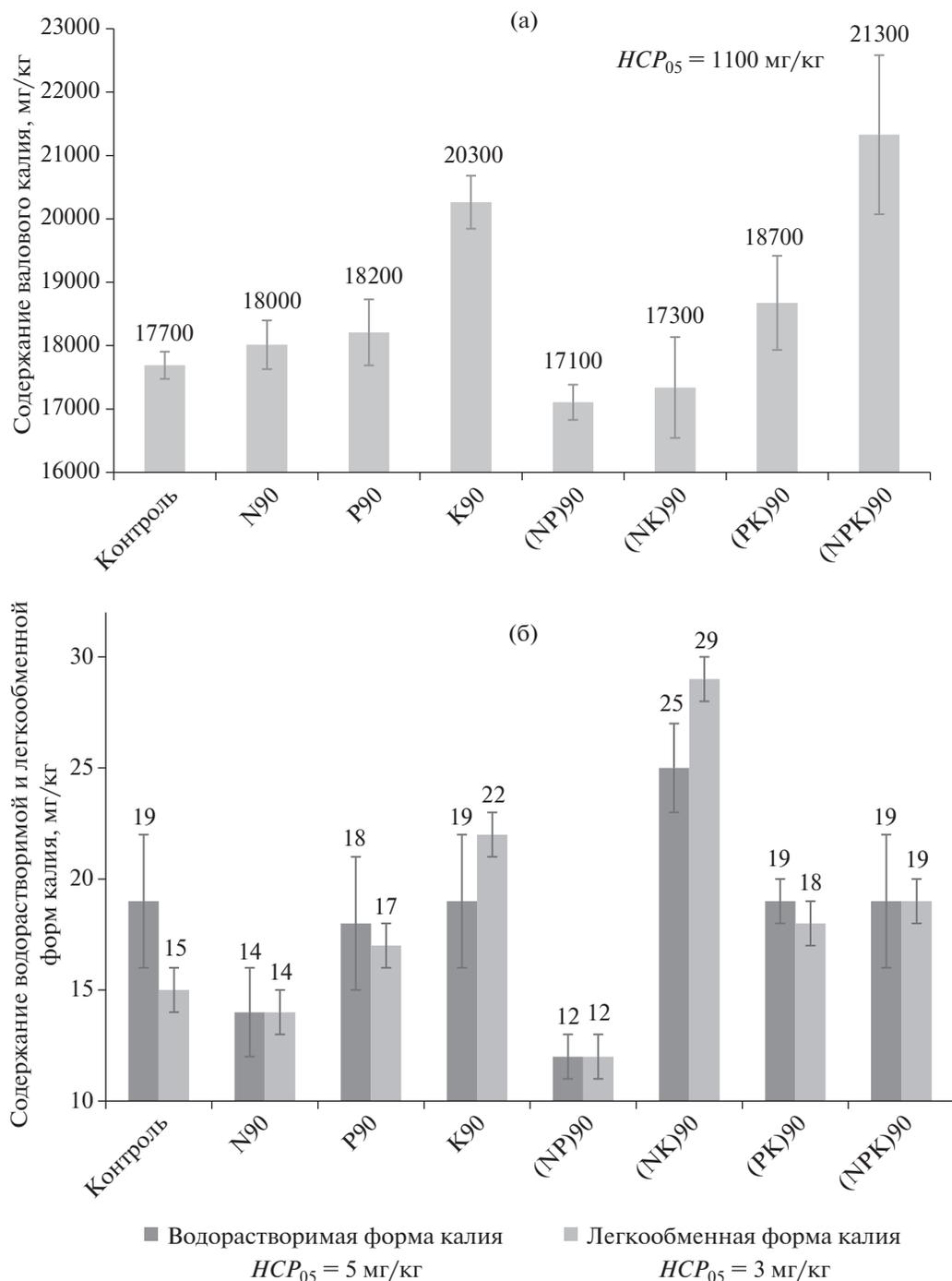
Почвенные образцы для исследования отбирали в конце 5-й ротации севооборота после уборки овса в слое 0–20 см. Основные агрохимические показатели почвы определяли в соответствии с ГОСТами и методиками ЦИНАО. Содержание различных форм калия изучали с использованием следующих методов: водорастворимого – по Александровой, легкоподвижного – в 0.0025 М CaCl<sub>2</sub>-вытяжке, обменного – по Кирсанову и Масловой, необменного легкогидролизуемого – по Пчелкину, необменного фиксированного – по Гедройцу. Валовое содержание калия определяли методом спекания (ГОСТ 26261-84). Запасы форм калия рассчитывали через массу пахотного слоя,

плотность слоя почвы 0–20 см варьировала от 1.23 до 1.28 г/см<sup>3</sup>.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Максимальная продуктивность полевого 8-польного севооборота в среднем за 5 ротаций получена при внесении (NPK)90 – 3.3 т к.е./га в год, что было на 32% достоверно больше контрольного варианта. Минимальный прирост продуктивности отмечен при внесении P90, K90 и (PK)90. Зафиксирован отрицательный баланс калия во всех изученных вариантах (табл. 1). Наиболее высокий отрицательный баланс сложился при одностороннем внесении азотных, фосфорных удобрений, сочетании NP и в контрольном варианте опыта. Интенсивность баланса в вариантах с применением калийных удобрений в дозе K90 составила 63–80%.

Валовое содержание калия в дерново-подзолистой почве в слое 0–20 см в вариантах опыта варьировало от 17100 до 21300 мг/кг (рис. 1а). Максимальное его содержание в почве отмечено в варианте (NPK)90 – 21300 и в варианте K90 – 20300 мг/кг, что на 21 и 15% достоверно больше контрольного варианта. Запасы валового калия в варианте (NPK)90 составили 54.6 т/га, в варианте K90 – 50.7 т/га (табл. 2), что соответствовало целинному аналогу, расположенному вблизи опытного поля под злаково-разнотравным лугом (50.2 т/га). Можно предположить, что применение калийных удобрений в чистом виде в дозе K90 и (NPK)90 способствовало поддержанию калийного режима почвы на исходном уровне. Минимальное содержание валового калия и его запасов в почве отмечено в вариантах (NP)90 и (NK)90.



**Рис. 1.** Содержание калия в дерново-подзолистой почве при длительном применении минеральных удобрений, мг/кг: (а) – валового, (б) – водорастворимой и легкообменной форм, (в) – обменных форм, (г) – необменных (гидролизуемой и фиксированной) форм.

Содержание валового калия отражает потенциальный почвенный запас данного элемента [9]. Доступность калия растениям определяется прочностью его связи с минеральной основой почвы. Для диагностики калийного питания и количественного выражения содержания различ-

ных форм калия были проведены исследования по содержанию  $K_2O$  в различных вытяжках из почвы: водной, солевой и кислотной.

Водорастворимые соединения калия в почвенном растворе представлены солями угольной, азотной и фосфорной кислот и находятся в легко-

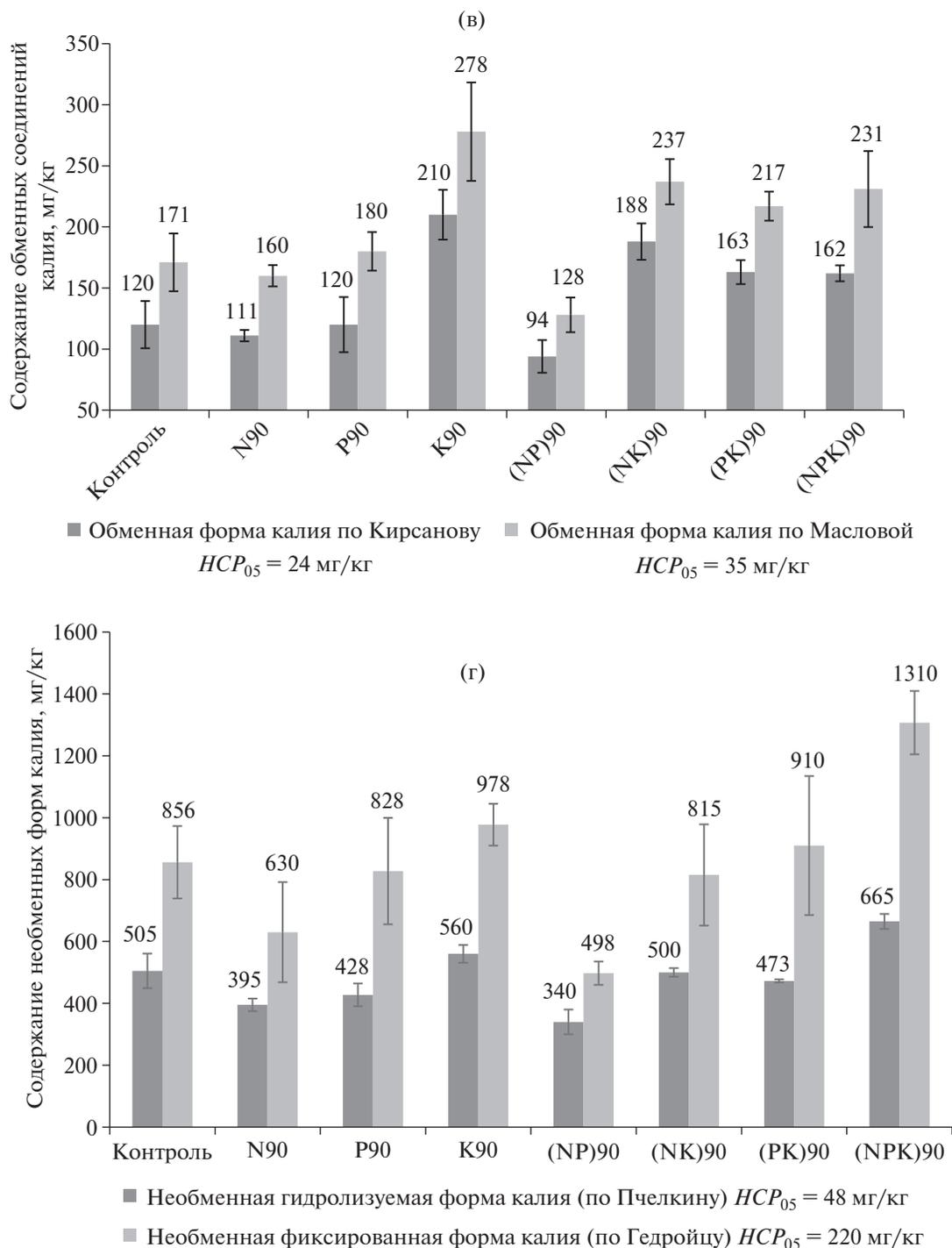


Рис. 1. Окончание.

доступном состоянии для растений [11]. Содержание водорастворимых соединений калия в исследованной дерново-подзолистой тяжелосуглинистой почве составило 12–25 мг/кг (рис. 16). Практически не было различий содержания водорастворимой и легкодоступной форм калия, представленных хлоркальциевой вытяжкой из

почвы (12–29 мг/кг). По содержанию K<sub>2</sub>O в 0.0025 M CaCl<sub>2</sub>-вытяжке судили о степени подвижности этого элемента, следовательно, об обеспеченности калийным питанием растений. Следует отметить, что содержание калия в водной и хлоркальциевой вытяжках было минимальным в вариантах (NP)90 и N90, что возможно было

**Таблица 2.** Запасы форм калия в дерново-подзолистой почве (слой 0–20 см) длительного опыта, т/га (5-я ротация, 2017 г.)

| Вариант           | Валовое содержание | Легкообменная | Обменная по Кирсанову | Обменная по Масловой | Необменная по Пчелкину | Необменная по Гедройцу |
|-------------------|--------------------|---------------|-----------------------|----------------------|------------------------|------------------------|
| Контроль          | 44.2               | 0.04          | 0.3                   | 0.4                  | 1.3                    | 2.1                    |
| N90               | 44.7               | 0.03          | 0.3                   | 0.4                  | 1.0                    | 1.6                    |
| P90               | 44.8               | 0.04          | 0.3                   | 0.4                  | 1.1                    | 2.0                    |
| K90               | 50.7               | 0.06          | 0.5                   | 0.7                  | 1.4                    | 2.4                    |
| (NP)90            | 43.1               | 0.03          | 0.2                   | 0.3                  | 0.9                    | 1.3                    |
| (NK)90            | 43.3               | 0.07          | 0.5                   | 0.6                  | 1.3                    | 2.0                    |
| (PK)90            | 47.4               | 0.05          | 0.4                   | 0.6                  | 1.2                    | 2.3                    |
| (NPK)90           | 54.6               | 0.05          | 0.4                   | 0.6                  | 1.7                    | 3.3                    |
| HCP <sub>05</sub> | 2.7                | 0.01          | 0.1                   | 0.1                  | 0.1                    | 0.6                    |

связано с высоким выносом этого элемента возделываемыми в севообороте культурами. Содержание водорастворимых и легкоподвижных соединений калия в варианте (NK)90 было в 1.3 и 1.9 раза больше, чем в контроле. Ионы калия в почвенном растворе и ионы калия, адсорбированные почвой, находятся в динамическом равновесии. При возделывании сельскохозяйственных культур в вариантах без внесения удобрений в почве оставалось небольшое количество  $K_2O$  (12–19 мг/кг) в почвенном растворе, который пополняется за счет обменной формы калия.

Содержание обменных соединений калия в почве на сегодняшний день является основным диагностическим показателем уровня калийного питания растений. Наиболее распространенными в нашей стране являются 2 метода определения содержания обменных соединений калия – в вытяжке 1 М  $CH_3COONH_4$  (метод Масловой) и в вытяжке 0.2 М HCl (метод Кирсанова для подзолистых почв). Содержание обменной формы калия по методу Кирсанова варьировало в зависимости от вида внесенных удобрений от 94 до 210 мг/кг почвы, и было максимальным в варианте K90 (рис. 1в).

Длительное (в течение 5-ти ротаций севооборота) использование хлористого калия в дозе 90 кг д.в./га не привело к увеличению содержания обменной формы калия, но способствовало сохранению исходного уровня содержания  $K_2O$  в почве. В контроле отмечено снижение содержания обменной формы калия на 40.9% относительно его исходного содержания перед закладкой опыта. При использовании 1 М раствора ацетата аммония (метод Масловой) из почвы извлекали большее количество обменных ионов калия (128–

278 мг/кг), однако закономерности изменения содержания обменных соединений калия в вариантах опыта были одинаковыми. Вне зависимости от метода, минимальное количество обменного калия определено в варианте (NP)90 (94 и 128 мг  $K_2O$ /кг соответственно). Длительный дефицитный баланс калия привел к существенному снижению содержания в почве обменной формы калия. Уровень обменной формы калия, установившийся в длительном опыте за 5 ротаций севооборота в варианте (NP)90, следует считать показателем нижнего агрономического предела обеспеченности почвы калием [12]. В этом варианте в почву не только не вносили калийные удобрения, но и сочетание азотных удобрений с фосфорными резко увеличило потребление калия растениями.

Еще в 1966 г. В.У. Пчелкин высказал предположение о пополнении обменных соединений калия за счет необменных соединений этого элемента в почве и пришел к выводу, что калий, переходящий в вытяжку 2 М HCl, соответствует необменной поглощенной форме этого элемента. Снижение содержания необменных гидролизующихся соединений калия в пахотном слое почвы наблюдали при длительном одностороннем внесении азотных, фосфорных удобрений и их сочетания (рис. 1г), что было связано с переходом этого элемента прежде всего в обменную форму для обеспечения роста и развития растений или наоборот закрепления в виде фиксированной формы необменного калия. Минимальный уровень необменной гидролизующейся формы калия по Пчелкину определен в варианте (NP)90 – 340 мг/кг почвы, что в 1.5 раза меньше, чем в контроле. Длительное внесение K90 и (NPK)90 способствовало закреплению остаточного калия удобрений в необменно

поглощенном состоянии. В варианте (NPK)90 отмечено наибольшее содержание необменных гидролизуемых соединений калия в изученной почве (665 мг/кг), что было в 1.3 раза больше, чем в контрольном варианте.

Внесение азотных удобрений в чистом виде и в сочетании с фосфорными, усиливая развитие растений, способствовало увеличению хозяйственного выноса калия культурами севооборота и привело к существенному уменьшению фракции необменного фиксированного калия по Гедройцу. В данных вариантах содержание необменных фиксированных соединений калия составило 498–630 мг/кг, что было в 1.4–1.7 раза меньше, чем в контроле и в 2.1–2.6 раза, чем в варианте (NPK)90. Максимальное содержание необменных фиксированных соединений калия отмечено при внесении полного минерального удобрения (NPK)90 – 1310 мг/кг, что было в 1.5 раза больше контроля.

Изучение содержания различных форм калия в дерново-подзолистой тяжелосуглинистой почве позволило сформулировать вывод о том, что сумма обменных и необменных форм калия, которые обеспечивают калийное питание растений, составляет малую долю от общего его содержания в почве (обменные формы – 0.5–1.4, необменные формы – 2.0–6.1%). Основу калийного фонда почвы составляет калий почвенного скелета, который входит в состав труднорастворимых почвенных минералов.

Длительное применение азотно-фосфорных удобрений привело к достоверному снижению в почве валовых запасов калия на 1.1, запасов обменных соединений – на 0.1, необменных соединений по Пчелкину – на 0.4 и по Гедройцу – на 0.9 т/га.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Содержание валового калия в пахотном горизонте дерново-подзолистой тяжелосуглинистой почвы варьировало от 17 100 до 21 300 мг/кг. Доля обменных и необменных форм калия, доступных для питания растений и являющихся ближайшим резервом, от валового содержания составила 0.5–6.1%. Трансформация дерново-подзолистой почвы без внесения калийных удобрений происходила в направлении деградации калийного фонда. Наибольшие потери были выявлены в варианте внесения (NP)90, где содержание соединений легкообменного калия уменьшилось на 20, обменных по Кирсанову и по Масловой – на 22–25, необменных гидролизуемых по Пчелкину – на 33, необменных фиксированных по Гедройцу –

на 42% относительно контрольного варианта. Максимальное содержание обменных соединений калия определено в варианте K90, необменных соединений и валового содержания – в варианте применения (NPK)90.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Пермского края в рамках научного проекта № 20-45-596005 p\_НОЦ\_Пермский край.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Якименко В.Н. Изменение содержания форм калия по профилю почвы при различном калийном балансе в агроценозах // *Агрохимия*. 2007. № 3. С. 3–11.
2. Беляев Г.Н. Калийные удобрения из калийных солей Верхнекамского месторождения и их эффективность. Пермь: Перм. кн. изд-во, 2005. 304 с.
3. Прокошев В.В., Дерюгин И.П. Калий и калийные удобрения. М.: Ледум, 2000. 185 с.
4. Шафран С.А., Кирпичников Н.А. Научные основы прогнозирования содержания подвижных форм фосфора и калия в почвах // *Агрохимия*. 2019. № 4. С. 3–10.
5. Meyer G., Bell M.J., Doolette C.L., Brunetti Zh. YQ., Lombi E., Kopittke P.M. Plant-available phosphorus in highly concentrated fertilizer bands: Effects of soil type, phosphorus form, and coapplied potassium // *J. Agricult. Food Chem.* 2020. V. 68. № 29. С. 7571–7580.
6. Артемьева З.С., Фрид А.С., Титова В.И. Миграционная доступность калия растениям на суглинистых почвах // *Агрохимия*. 2019. № 7. С. 16–26.
7. Никитина Л.В. Исследования калийного режима разных типов почв в длительных опытах Геосети // *Агрохимия*. 2018. № 1. С. 39–51.
8. Носов В.В. Значение калийных удобрений для сохранения экологического равновесия // *Плодородие*. 2002. № 2. С. 28–30.
9. Якименко В.Н. Формы калия в почве и методы его определения // *Почвы и окружающая среда*. 2018. Т. 1. № 1. С. 25–31.
10. Никитина Л.В. Действие и последствие разных систем удобрения в длительном полевом опыте на калийный режим суглинистой почвы // *Плодородие*. 2015. № 6. С. 3–6.
11. Пчелкин В.У. Почвенный калий и калийные удобрения М.: Колос, 1966. 336 с.
12. Никитина Л.В. Динамика обменного калия и его минимальные уровни в агроценозах на дерново-подзолистых почвах // *Агрохимия*. 2007. № 2. С. 14–18.

## **Influence of Mineral Fertilizers on the Transformation of the Potash Fund of Sod-Podzolic Heavy Loamy Soil**

**N. E. Zavyalova<sup>a,#</sup>, M. T. Vasbieva<sup>a</sup>, D. G. Shishkov<sup>a</sup>, and I. V. Kazakova<sup>a</sup>**

*<sup>a</sup>Perm Federal Research Center of the Ural Branch of the RAS  
ul. Kultury 12, Perm Krai, Perm district, d. Lobanovo 614532, Russia*

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

In the field stationary experiment of 1978, the bookmarks studied the effect of prolonged application of mineral fertilizers on the content of total potassium, its water-soluble, easily exchangeable, exchangeable and non-exchangeable forms in sod-podzolic heavy loamy soil. The use of nitrogen, phosphorus and potassium fertilizers in pure form and their combinations (a dose of 90 kg a.s./ha) showed that the introduction of nitrogen-phosphorus fertilizers without the use of potassium led to a decrease in the content of easily exchangeable potassium compounds relative to the control by 20, exchangeable by Kirsanov – by 22 (by Maslova – by 25), non-exchangeable hydrolyzable by Pchelkin – by 33, non-exchangeable fixed by Giedroyc – by 42%. The use of nitrogen fertilizers in pure form had a greater impact on the content of non-exchangeable forms of potassium, a decrease in the content of non-exchangeable forms of potassium in the soil by 22–26% was noted. With prolonged application of potash fertilizers, there was a significant increase in the soil relative to the control version of the total potassium content by 15, its easily exchangeable compounds – by 47, Kirsanov and Maslova exchange compounds – by 63–75%. The combination of nitrogen-potassium fertilizers significantly increased the content of easily exchangeable and exchangeable potassium compounds in the soil. Only the introduction of complete mineral fertilizer (NPK)90 contributed to an increase in the content of all forms of potassium in the soil by 21–53%.

*Key words:* sod-podzolic soil, mineral fertilizers, forms of potassium.

УДК 633.63:631.81(470.32)

## УДОБРЕНИЕ САХАРНОЙ СВЕКЛЫ В ЦЕНТРАЛЬНО-ЧЕРНОЗЕМНОМ РАЙОНЕ РФ

© 2022 г. О. А. Минакова<sup>1,\*</sup>, П. А. Косякин<sup>1</sup>, Л. В. Александрова<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Всероссийский научно-исследовательский институт сахарной свеклы и сахара им. А.Л. Мазлумова  
396030 Воронежская обл., Рамонский район, п. ВНИИСС, 86, Россия

\*E-mail: olalmin2@rambler.ru

Поступила в редакцию 08.07.2021 г.

После доработки 08.08.2021 г.

Принята к публикации 15.10.2021 г.

Установлено, что удобрение сахарной свеклы в ЦЧР должно включать основное внесение удобрений с допосевным их применением, в сочетании с почвенными и некорневыми подкормками. Внесение удобрений в течение вегетации культуры наиболее эффективно, если почва недостаточно удобрена с осени. Действие почвенных подкормок было более выражено, чем некорневых. Из агрохимикатов, внесенных в листовую подкормку, большую эффективность при совместном применении с основным удобрением показало применение гуминового препарата (увеличение урожайности до 120%), меньшую – мочевины и препарата Полихелаты-Свекла (до 40.0–48.6%). Удобрения необходимо применять с учетом показателей эффективного плодородия почвы, занятой посевами сахарной свеклы.

*Ключевые слова:* удобрения, сахарная свекла, основное внесение, почвенная подкормка, некорневая подкормка, полихелаты, мочевина, нитроаммофоска, гуминовый препарат.

DOI: 10.31857/S0002188122010082

### ВВЕДЕНИЕ

Центрально-Черноземный экономический район является основным свеклосеющим регионом РФ, где площадь посевов сахарной свеклы составляет 534.1 тыс. га (46.7% от площади в РФ), а валовой сбор сахара – 45.6% [1].

Высокая агротехника сахарной свеклы, в том числе применение удобрений, является залогом получения высоких урожаев этой культуры [2], характеризующейся значительным выносом NPK (N92–189P45–70K159–266) [3], который не способен обеспечить даже самые высокоплодородные почвы. Ключевым принципом удобрения сахарной свеклы является обеспеченность растения необходимым количеством макро- и микроэлементов во все периоды развития (от всходов до уборки).

Основное внесение удобрений призвано обеспечить практически полную потребность культуры в элементах питания. В условиях периодического недостатка влаги в ЦЧР, в том числе и в холодный период года, основную дозу минеральных удобрений вносят с осени под зяблевую вспашку, что позволяет перераспределить NPK в пределах корнеобитаемого слоя культуры, но не допустить

их вымывания за пределы почвенного профиля [4, 5].

Многочисленными исследованиями доказана высокая эффективность основного внесения удобрений под культуру [6–9]. Например, внесение в условиях Курской обл. N1805P95K150 обеспечило получение урожая корнеплодов 39.6 т/га, N200P190K160 – 43.1 т/га [10].

Рекомендуемыми дозами минеральных удобрений в ЦЧР являются N80–190P80–190K90–180 [4, 8, 11–14], более высокие дозы применяют на менее плодородных почвах зоны (серых лесных почвах, оподзоленных черноземах), низкие – на более плодородных выщелоченных и обыкновенных черноземах. При высокой и очень высокой обеспеченности подвижным фосфором к дозам фосфорного удобрения рекомендуется применять понижающий коэффициент 0.5. и 0.2, калия – 0.7 и 0.5 соответственно [4] (табл. 1). Для наиболее точного учета потребности культуры в элементах питания необходимо производить расчет доз удобрений в соответствии с данными агрохимического анализа почв хозяйства [15].

Применение навоза в дозе 20–50 т/га либо непосредственно под культуру, либо под предше-

**Таблица 1.** Примерные дозы минеральных удобрений для применения на разных типах (подтипах) почв ЦЧР [4, 8, 11–14]

| Тип (подтип) почвы               | Средняя доза NPK, кг д.в. | Тип (подтип) почвы    | Средняя доза NPK, кг д.в. |
|----------------------------------|---------------------------|-----------------------|---------------------------|
| Светло-серая лесная почва        | N180P160K170              | Чернозем выщелоченный | N150P140K140              |
| Серые и темно-серые лесные почвы | N170P150K160              | Чернозем типичный     | N130P140K110              |
| Чернозем оподзоленный            | N160P140K150              | Чернозем обыкновенный | N120P140K100              |

стенник [13, 14], обеспечивает растения запасом постепенно высвобождающихся элементов питания. Систематическое внесение навоза в зерно-свекловичном севообороте улучшает гумусовое и физическое состояния почвы, оказывает подщелачивающее действие [16].

В случае, если почвы недостаточно удобрены с осени, либо отмечают недостаток азота вследствие его вымывания с обильными осадками осенне-весеннего периода, необходимо применять допосевное внесение удобрений, а также почвенные и листовые подкормки.

Допосевное внесение удобрений призвано бороться с недостатком элементов питания в верхнем слое почвы. Например, по данным [17], допосевное внесение смеси  $N_{aa}$  и НАФК повышало урожайность корнеплодов на 65.7–66.1%. В связи с холодной весной в почве может быть недостаток подвижного фосфора. Внесение в рядки при посеве  $P_2O_5$  в дозе 15–20 кг д.в./га позволяет восполнить этот дефицит [4].

Почвенные подкормки сахарной свеклы необходимо осуществлять с помощью быстрорастворимых удобрений, особенно азотных, т.к. культура более всего в этот период нуждается в азоте [17]. Удобрения необходимо вносить в центр рядка, используя культиваторы-растениепитатели, немедленно заделывая в почву во избежание потерь газообразных элементов в атмосферу. Удобрения применяют из расчета  $N30-40P25-30K30-40$  и вносят их на глубину 10–12 см на расстоянии 10–12 см от рядка. Применяют 1–2 подкормки [19].

Некорневое внесение удобрений, в том числе и микроэлементов в хелатной форме, способствует устранению функциональных нарушений в обмене веществ растений, его улучшению, в том числе повышению интенсивности фотосинтеза и иммунитета, их сопротивляемости болезням, активизируя окислительно-восстановительные процессы, положительно влияя на углеводный и азотистый обмен, транспорт сахаров, ускоряя рост и развитие растений, что положительно сказывается на урожайности и качестве растительной продукции

[20–22]. Наиболее часто в качестве некорневой подкормки применяют микроэлементы в хелатной форме и гуминовые вещества.

Положительный эффект от применения гуминовых препаратов объясняется высокой биологической активностью гуминовых веществ, входящих в их состав и выполняющих такие биологические функции как физиологическая, аккумулятивная, транспортная, регуляторная, протекторная, что ускоряет физико-химические и биохимические процессы в растениях [23, 24]. Некорневые подкормки способствуют усилению эффекта от удобрений, внесенных в почву в невысоких дозах [25, 26].

Микроудобрения в хелатной форме (полихелаты) увеличивают урожайность на 2.3–5.1 т/га [27, 28]. Гуминовые препараты повышают урожайность на 6–20, сахаристость – на 1–13, сбор сахара – на 11–24% [29]. Агрохимические средства изменяют сахаристость корнеплодов [30], что в значительной степени наряду с повышением урожайности влияет на итоговую продуктивность культуры.

Таким образом, научно обоснованное применение удобрений на сахарной свекле в ЦЧР – основном свеклосеющем регионе РФ, является залогом получения высоких урожаев культуры с оптимальной сахаристостью корнеплодов. Цель работы – обобщение результатов исследований влияния длительного применения удобрений под сахарную свеклу в ЦЧР.

#### МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследования проводили в 2009–2020 гг. в длительном стационарном опыте и серии временных опытов лаборатории агроэкологических исследований ВНИИСС им. А.Л. Мазлумова. Опытные поля расположены в северной части Воронежской обл., относящейся к зоне неустойчивого увлажнения ЦЧР. Климат района исследований – умеренно-континентальный с неустойчивым увлажнением, гидротермический коэффициент увлажнения по Селянинову равен

0.9–1.3. Почва опытных участков – чернозем выщелоченный тяжелосуглинистый.

Опыт 1: изучение влияния длительного применения удобрений на урожайность сахарной свеклы с внесением под культуру N45P45K45 + навоз 25 т/га в пару, N90P90K90 + навоз 25 т/га в пару, N135P135K135 + навоз 25 т/га в пару, N45P45K45 + навоз 50 т/га в пару, N120P120K120 + навоз 50 т/га в пару, N190P190K190, контроль (без удобрений).

Опыт 2: применение смеси Poliazofosca-Si. Удобрение содержит в своем составе N – 3.0, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> – 3.2, K<sub>2</sub>O – 2.9%, Si – 13.5, Ca – 35.2%, необходимые сахарной свекле микроэлементы Mn (0.2), B (0.9), Zn (0.1), Cu (0.01), Mo (0.012), Co (0.01%), а также Ni, S, Mg, Fe, Br, Se, F, Cl, Zr [31]. Удобрения вносили с осени под основную обработку (глубокую вспашку) культуры в дозе от 200 до 600 кг/га в физическом весе в сочетании с полной дозой НАФК N96P96K96 и ее половинной дозой N48P48K48. В качестве абсолютного контроля использовали вариант без удобрений, для сравнения – варианты N96P96K96 (600 кг в физическом весе) НАФК (16 : 16 : 16) (рекомендуемая в ЦЧР доза под сахарную свеклу) и половинную дозу N48P48K48 [13].

Опыт 3 “Определение оптимальных доз органического удобрения с фунгицидными свойствами (Биокомпоста), вносимого под предпосевную обработку сахарной свеклы”: схема состояла из применения Биокомпоста в дозе 200, 400 и 600 кг/га на фоне N90P90K90. Компосты вносили перед посевом сахарной свеклы вручную с заделкой.

Опыт 4: применение НАФК с повышенным содержанием азота и серой N27P5K5 + S (производство АО “Минудобрения”) в качестве почвенной подкормки при различных фонах основного удобрения. Варианты опыта: 1 – контроль без удобрений (абсолютный контроль), 2 – N50P50K50 (вариант без подкормки), 3 – N50P50K50 + подкормка N27P5K5 + S + подкормка N27P5K5 + S (одна доза), 4 – N50P50K50 + подкормка N54P10K10 + S + подкормка N54P10K10 + S (две дозы), 5 – N50P50K50 + подкормка N81P15K15 + S + подкормка N81P15K15 + S (три дозы), 6 – N100P100 K100 (вариант без подкормки), 7 – N100P100K100 + подкормка N27P5K5 + S + подкормка N27P5K5 + S (одна доза), 8 – N100P100K100 + подкормка N54P10K10 + S + подкормка N54P10K10 + S (две дозы), 9 – N100P100K100 + подкормка N81P15K15 + S + подкормка N81P15K15 + S (три дозы), 10 – N150P150K150 (вариант без подкормки), 11 – N150P150K150 + подкормка N27P5K5 + S + под-

кормка N27P5K5 + S (одна доза), 12 – N150P150K150 + подкормка N54P10K10 + S + подкормка N54P10K10 + S (две дозы), 13 – N150P150K150 + подкормка N81P15K15 + S + подкормка N81P15K15 + S (три дозы).

Опыт 5: некорневое применение растворов N<sub>м</sub> при разных фонах основного удобрения (N45P45K45 и N90P90K90). N<sub>м</sub> растворяли в воде из расчета 200 л рабочего раствора/га, первую подкормку производили в фазе 3–4 пар настоящих листьев сахарной свеклы, вторую – через 10 сут. Схема опыта 5, варианты: контроль (без удобрений), N45P45K45, N45P45K45 + N7 (15 кг ф.в. N<sub>м</sub>), N45P45K45 + N14 (30 кг ф.в. N<sub>м</sub>), N45P45K45 + N21 (45 кг ф.в. N<sub>м</sub>), N90P90K90, N90P90K90 + N7 (15 кг ф.в. N<sub>м</sub>), N90P90K90 + N14 (30 кг ф.в. N<sub>м</sub>), N90P90K90 + N21 (45 кг ф.в. N<sub>м</sub>).

Опыт 6: некорневое (листовое) внесение растворов препарата Полихелаты-Свекла. Препарат Полихелаты-Свекла растворяли в воде из расчета 200 л рабочего раствора/га, первую подкормку производили в фазе 3–4-х пар настоящих листьев сахарной свеклы, вторую – через 10 сут. В составе Полихелаты-Свекла содержатся микроэлементы Mg, Mn, Zn, Cu, Co, B, Mo и Fe в хелатной форме, N – в амидной форме, K<sub>2</sub>O, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, соли органических кислот (сукцинаты, малаты, тартраты, цитраты, оксалаты, аспарагинаты, оксалацетаты, оксалсукцинаты), органические кислоты (индолилуксусная, индолилмасляная), Transfoliovektor “TFV”, фактор роста “HV”, адьювант – ПАВ. В качестве хелатов использованы янтарная, яблочная, аспарагиновая, лимонная, шавелевая, винная, виноградная, шавелево-янтарная, шавелевоуксусная, этилендиаминдиантарная, этилендиаминтетрауксусная и гидроксипропиленди-фосфоновая кислоты [32].

Схема опыта 6, варианты: контроль (без удобрений), N45P45K45 (без подкормки), N45P45K45 + подкормка Полихелаты-Свекла (первое внесение) в дозе 1 л/га + подкормка Полихелаты-Свекла (второе внесение) в дозе 1 л/га + Бор-Актив в дозе 1 л/га (во второе внесение), N45P45K45 + подкормка Полихелаты-Свекла (первое внесение) в дозе 2 л/га + подкормка Полихелаты-Свекла (второе внесение) в дозе 2 л/га + Бор-Актив в дозе 2 л/га (во второе внесение), N90P90K90 (без подкормки), N90P90K90 + подкормка Полихелаты-Свекла (первое внесение) в дозе 1 л/га + подкормка Полихелаты-Свекла (второе внесение) в дозе 1 л/га + Бор-Актив в дозе 1 л/га (во второе внесение), N90P90K90 + подкормка Полихелаты-Свекла (первое внесение) в дозе 2 л/га + подкормка Полихелаты-Свекла (второе внесение) в дозе 2 л/га + Бор-Актив в дозе 2 л/га (во второе внесение).

**Таблица 2.** Урожайность основной и побочной продукции сахарной свеклы в опыте с длительным применением удобрением, 10-я ротация (2018–2020 гг.)

| Урожайность, т/га            |         | Доля корнеплодов<br>от общей биомассы | Сахаристость | Биологический<br>сбор сахара, т/га |
|------------------------------|---------|---------------------------------------|--------------|------------------------------------|
| корнеплодов                  | листьев |                                       |              |                                    |
| Контроль                     |         |                                       |              |                                    |
| 34.0                         | 8.33    | 80.4                                  | 17.7         | 6.02                               |
| N45P45K45 + навоз 25 т/га    |         |                                       |              |                                    |
| 39.9                         | 11.1    | 78.2                                  | 19.0         | 7.58                               |
| N90P90K90 + навоз 25 т/га    |         |                                       |              |                                    |
| 44.2                         | 15.0    | 74.7                                  | 17.5         | 7.73                               |
| N135P135K135 + навоз 25 т/га |         |                                       |              |                                    |
| 43.5                         | 15.9    | 73.2                                  | 17.6         | 7.66                               |
| N120P120K120 + навоз 50 т/га |         |                                       |              |                                    |
| 43.9                         | 15.0    | 74.5                                  | 19.0         | 8.34                               |
| N190P190K190                 |         |                                       |              |                                    |
| 46.6                         | 16.3    | 74.1                                  | 17.7         | 8.25                               |
| <i>HCP</i> <sub>05</sub>     |         |                                       |              |                                    |
| 2.0                          | 0.6     | –                                     | –            | 0.56                               |

дозе 2 л/га + Бор-Актив в дозе 2 л/га (во второе внесение).

Опыт 7, варианты: некорневое внесение растворов гуминового препарата Гумимакс (производство ЗАО “Уралэкоил”) с одинарным и 2-кратным опрыскиванием препаратом (0.2 и 0.1 л/га в 200 л H<sub>2</sub>O/га) на фоне основного внесения N45P45K45, N90P90K90, N135P135K135 и на неудобренном фоне. Гумимакс имеет высокую насыщенность гуминовыми и фульвовыми кислотами, макро- и микроэлементами (азотом, фосфором, калием, кальцием, магнием, марганцем, цинком, бором, кремнием и другими), различными аминокислотами (в том числе незаменимыми – лейцином, фенилаланином, изолейцином, треонином, валином, лизином, метеонином), ферментами и другими биологическими активными веществами. Его действие проявляется в активизации процессов роста и развития растений, содержание гуминовых кислот составляет 15 г/л [33].

Урожайность корнеплодов определяли методом пробных площадок ( $S = 10.8 \text{ м}^2$ ), сахаристость – на поточной линии ВЕНЕМА, биологический сбор сахара – расчетным методом. Дисперсионный анализ данных проводили по [34].

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В результате проведенных исследований установлено, что применение удобрений в течение более чем 80 лет способствовало формированию

урожаемости корнеплодов на уровне 34.0–46.6 т/га, листьев – 8.33–16.3 т/га (табл. 2). Наиболее высокую урожайность обеспечивала система N190P190K190, также значительной она была на фоне применения N90P90K90 + навоз 25 т/га, в этом случае прибавки урожая составили 12.6 и 10.2 т/га, а минимальная доза N45P45K45 + навоз 25 т/га обеспечивала самую низкую прибавку – 5.9 т/га. Эта доза способствовала повышению урожайности на 17.3%, более высокая (N90P90K90 + навоз 25 т/га) – еще на 10.8%. Дальнейшее увеличение доз удобрений до N135P135K135 + навоз 25 т/га и N120P120K120 + навоз 50 т/га не содействовало росту показателя. Максимальная доза N190P190K190 увеличивала урожайность относительно N120P120K120 + навоз 50 т/га на 6.15%.

Применение удобрений в течение длительного периода в целом способствовало росту урожайности корнеплодов на 17.3–37.0%, листьев – на 33.2–95.7%. Наиболее высокая урожайность листьев была отмечена в вариантах с дозами N190P190K190 и N135P135K135 + навоз 25 т/га. Доля корнеплодов в общей массе урожая под действием удобрений снижалась на 2.2–7.2%, высокие дозы удобрений N135P135K135 + навоз 25 т/га навоза и N190P190K190 более других снижали данный показатель.

Увеличение доз удобрений в 10-й ротации не способствовало значительному снижению сахаристости корнеплодов. Дозы N45P45K45 + навоз 25 т/га и N120P120K120 + навоз 50 т/га повы-

**Таблица 3.** Продуктивность сахарной свеклы при применении препарата “Poliazofosca-Si” совместно с НАФК, т/га

| Вариант                                 | Урожайность | Сбор сахара | Вариант                                 | Урожайность | Сбор сахара |
|-----------------------------------------|-------------|-------------|-----------------------------------------|-------------|-------------|
| Контроль (без удобрений)                |             |             | N48P48K48                               |             |             |
| 23.6                                    | 17.2        | 4.06        | 34.3                                    | 17.3        | 5.93        |
| N96P96K96                               |             |             | N48P48K48 + “Poliazofosca-Si” 200 кг/га |             |             |
| 41.3                                    | 17.4        | 7.19        | 38.9                                    | 17.7        | 6.88        |
| N96P96K96 + “Poliazofosca-Si” 200 кг/га |             |             | N48P48K48 + “Poliazofosca-Si” 400 кг/га |             |             |
| 44.4                                    | 17.0        | 7.55        | 38.4                                    | 17.5        | 6.72        |
| N96P96K96 + “Poliazofosca-Si” 400 кг/га |             |             | N48P48K48 + “Poliazofosca-Si” 600 кг/га |             |             |
| 47.1                                    | 17.9        | 8.43        | 43.0                                    | 17.7        | 7.61        |
| N96P96K96 + “Poliazofosca-Si” 600 кг/га |             |             | <i>HCP</i> <sub>05</sub>                |             |             |
| 43.4                                    | 17.5        | 7.59        | 2.5                                     | 0.2         | 0.32        |

шали ее относительно контроля на 1.3%, а на фоне применения других систем отмечена тенденция к снижению на 0.1–0.2%.

Как повышение сахаристости, так и урожайности корнеплодов увеличивало биологический сбор сахара в стационарном опыте на 1.56–2.32 т/га (на 25.9–38.5%), наиболее высоким показателем был при действии систем N120P120K120 + + навоз 50 т/га и N190P190K190.

В опыте 2 уровень урожайности корнеплодов при внесении “Poliazofosca-Si” в разных сочетаниях с НАФК составил 38.4–47.1 т/га (табл. 3), в контроле – 23.6 т/га, в варианте только со внесением НАФК в дозе N96P96K96 – 41.3, N48P48K48 – 34.3 т/га. Наиболее высокие прибавки урожайности корнеплодов (19.8–23.5 т/га) относительно контроля были отмечены при применении полной дозы НАФК N96P96K96 совместно с “Poliazofosca-Si” в дозах 200–600 кг/га (увеличение урожайности на 83.4–99.6%), более низкие (14.8–19.4 т/га) – “Poliazofosca-Si” в дозах 200–600 кг/га совместно с N48P48K48 (64.8–82.2%). Относительно варианта N96P96K96 увеличение урожайности в вариантах “Poliazofosca-Si” в дозах 200–400 + N96P96K96 составило 3.1–5.8 т/га. В вариантах с половинной дозой НАФК совместно с “Poliazofosca-Si” в дозах 200–600 кг/га она повышалась относительно N48P48K48 на 4.1–8.7 т/га. В целом относительно фонов основного удобрения повышение урожайности при добавлении к ним “Poliazofosca-Si” составило 14.0–25.4%.

Сахаристость корнеплодов достоверно повышалась при применении “Poliazofosca-Si” в дозе 200 кг/га + N48P48K48, “Poliazofosca-Si” в дозе 600 кг/га + N48P48K48, “Poliazofosca-Si” в дозе 400 кг/га + N96P96K96 (на 0.30–0.70%). Сахаристость корнеплодов во всех вариантах с “Poliazofosca-Si” была равна или выше сахаристости в вариантах с N96P96K96 и N48P48K48 (кроме “Poliazofosca-Si” 200 кг/га + N96P96K96).

Биологический сбор сахара в вариантах с применением “Poliazofosca-Si” был больше, чем в контроле на 65.5–107.6% (при внесении N96P96K96 НАФК – на 77.1, N48P48K48 – на 46.1%). Относительно дозы N96P96K96 применение “Poliazofosca-Si” способствовало повышению показателя на 0.36–1.24 т/га, что составило 5.01–17.2%, относительно N48P48K48 – 0.79–1.68 т/га (или на 13.3–28.3%).

В опыте с допосевным применением Биокомпоста (опыт 3) максимальная урожайность корнеплодов отмечена при его внесении в дозе 400 кг/га (47.5 т/га), прибавка относительно фона с основной удобренностью составила 9.5 т/га (табл. 4). Также высокий урожай был получен при внесении Биокомпоста в дозе 600 кг/га (46.9 т/га, прибавка 8.9 т/га). Допосевное применение данного удобрения повышало урожайность на 23.4–25.0% относительно N90P90K90. Доза Биокомпоста 400–600 кг/га значительно, на 41.7–44.5%, увеличивала урожайность листьев культуры относительно фона, при этом отмечено снижение сахаристости на 1.1–1.4%. Вследствие значительно возросшей урожайности прибавки биологического сбора сахара с 1 га отмечены на уровне 0.84–1.05 т/га (13.0–16.6%).

Действие Биокомпоста совместно с основным удобрением в дозе N90P90K90 проявилось в повышении урожайности корнеплодов относительно неудоженного контроля на 42.5–78.6%, что составило 11.3–20.9 т корнеплодов/га, при этом доза Биокомпоста 200 кг/га не была эффективной, т.к. урожайность в этом варианте (37.9 т/га) была практически равна урожайности на фоне

**Таблица 4.** Эффективность допосевного внесения Биокомпоста под сахарную свеклу

| Урожайность, т/га                |         | Сахаристость,<br>% | Сбор<br>сахара, т/га |
|----------------------------------|---------|--------------------|----------------------|
| корнеплодов                      | листьев |                    |                      |
| Контроль                         |         |                    |                      |
| 26.6                             | 11.5    | 16.9               | 4.95                 |
| N90P90K90                        |         |                    |                      |
| 38.0                             | 18.2    | 16.6               | 6.31                 |
| N90P90K90 + Биокомпост 200 кг/га |         |                    |                      |
| 37.9                             | 19.3    | 16.5               | 6.25                 |
| N90P90K90 + Биокомпост 400 кг/га |         |                    |                      |
| 47.5                             | 25.8    | 15.5               | 7.36                 |
| N90P90K90 + Биокомпост 600 кг/га |         |                    |                      |
| 46.9                             | 26.3    | 15.2               | 7.13                 |
| HCP <sub>05</sub> фон/Биокомпост |         |                    |                      |
| 4.8/2.8                          | 1.6/0.5 | -/0.30             | 0.51/0.32            |

без удобрений (38.0 т/га). Совместное действие основного и допосевного внесения удобрений снижало сахаристость относительно контроля на 0.4–1.7%, более всего – при применении Биокомпоста 600 кг/га, но рост уровня урожайности содействовал повышению сбора сахара на 43.6–48.7%.

Допосевное внесение N<sub>aa</sub> (под предпосевную культивацию сахарной свеклы) по данным производственного опыта, проведенного в ВНИИСС им. А.Л. Мазлумова, на неудобренном фоне повышало урожайность корнеплодов на 7.3 т/га (на

22.6%), на фоне основного внесения НАФК N32P32K32 – на 5.1 т/га (на 13.3%), а совместно действие НАФК с N<sub>aa</sub> – на 9.4 т/га или на 29.1% (относительно абсолютного контроля).

Уровень урожайности корнеплодов в опыте с внесением N27P5K5 + S (опыт 4) составил 65.5–79.3, в контроле – 44.1 т/га, на фонах основного удобрения – 54.6–65.7 т/га (табл. 5). Внесение N27P5K5 + S в 1–3-х дозах на фоне N50P50K50 обеспечило дополнительное получение корнеплодов 10.9–14.4 т/га, увеличение составило 20.0–26.4% относительно варианта без подкормки, где было собрано корнеплодов 54.6 т/га. Применение 1–3-х доз НАФК N27P5K5 + S на фоне основного внесения N100P100K100 повысило урожайность корнеплодов сахарной свеклы на 12.6–26.5% (прибавка 7.9–16.6 т/га) относительно варианта без подкормки. В целом N27P5K5 + S увеличивало урожайность культуры относительно фонов основного удобрения на 8.07–26.5%.

Совместное действие подкормок и основного удобрения повысило урожайность корнеплодов относительно абсолютного контроля (без удобрений) на 21.4–35.2 т/га (48.5–79.8%). Наиболее высокая урожайность корнеплодов в опыте отмечена при применении 2–3-х доз почвенных подкормок на фонах с N100–150P100–150K100–150.

Сахаристость корнеплодов в вариантах с подкормками составила 17.0–18.1% (без подкормок – 17.3–17.6%). Применение удобрений в основное внесение способствовало тенденции к снижению показателя на 0.1–0.3%, применение двойной дозы N27P5K5 + S на фоне N50P50K50 и тройной

**Таблица 5.** Влияние почвенных подкормок НАФК (N27P5K5 + S) на продуктивность сахарной свеклы

| Урожайность<br>корнеплодов, т/га          | Сахаристость, % | Биологический<br>сбор сахара, т/га | Урожайность<br>корнеплодов, т/га             | Сахаристость, % | Биологический<br>сбор сахара, т/га |
|-------------------------------------------|-----------------|------------------------------------|----------------------------------------------|-----------------|------------------------------------|
| N0P0K0 (контроль)                         |                 |                                    | N100P100K100 + N54P10K10 + S + N54P10K10 + S |                 |                                    |
| 44.1                                      | 17.6            | 7.53                               | 73.9                                         | 17.3            | 12.7                               |
| N50P50K50                                 |                 |                                    | N100P100K100 + N81P15K15 + S + N81P15K15 + S |                 |                                    |
| 54.6                                      | 17.5            | 9.38                               | 79.3                                         | 18.1            | 13.5                               |
| N50P50K50 + N27P5K5 + S + N27P5K5 + S     |                 |                                    | N150P150K150                                 |                 |                                    |
| 65.5                                      | 17.8            | 11.4                               | 65.7                                         | 17.3            | 11.5                               |
| N50P50K50 + N54P10K10 + S + N54P10K10 + S |                 |                                    | N150P150K150 + N27P5K5 + S + N27P5K5 + S     |                 |                                    |
| 69.0                                      | 18.0            | 12.1                               | 71.0                                         | 17.4            | 12.2                               |
| N50P50K50 + N81P15K15 + S + N81P15K15 + S |                 |                                    | N150P150K150 + N54P10K10 + S + N54P10K10 + S |                 |                                    |
| 65.9                                      | 17.2            | 11.3                               | 75.0                                         | 17.1            | 12.8                               |
| N100P100K100                              |                 |                                    | N150P150K150 + N81P15K15 + S + N81P15K15 + S |                 |                                    |
| 62.7                                      | 17.6            | 10.9                               | 74.3                                         | 17.0            | 12.3                               |
| N100P100K100 + N27P5K5 + S + N27P5K5 + S  |                 |                                    | HCP <sub>05</sub> фон/подкормка              |                 |                                    |
| 70.6                                      | 17.6            | 12.5                               | 1.6/1.2                                      | 0.3/0.4         | 0.9/0.6                            |

дозы на фоне N100P100K100 увеличивало ее на 0.5%. Совместное внесение основного удобрения и подкормок N27P5K5 + S в двойной и тройной дозе на фоне N150P150K150 снижало сахаристость относительно контроля на 0.5–0.6%, а также в тройной дозе на фоне N50P50K50 – на 0.4%.

От внесения 1–3-х доз N27P5K5 + S на фоне N50P50K50 получена высокая прибавка сбора сахара 2.00–2.72 т/га (в варианте без подкормки показатель составил 9.38 т/га). При внесении двойной и тройной дозы НАФК на фоне N100P100K100 биологический сбор сахара увеличился на 1.80–2.60 т/га (без подкормки – 10.9 т/га). Синергическое действие подкормок с основным удобрением способствовало увеличению сбора сахара с 1 га на 50.1–79.3% (на 3.77–5.97 т/га) относительно контроля, более всего в варианте с тройной дозой N27P5K5 + S на фоне N100P100K100.

Также эффективным агроприемом в ЦЧР было применение  $N_{aa}$  в дозе N80 + N60 на фоне N45P45K45 (прибавка урожая корнеплодов 6.2 т/га или 17.2%), а также N90P90K90 + N40 + N30 (прибавка 3.9 т/га или 12.9%), прибавка сбора сахара относительно абсолютного контроля отмечена на 36.4 и 44.7% соответственно, что отражено в более ранней публикации [35].

Урожайность в вариантах с некорневым внесением  $N_m$  совместно с основным удобрением (опыт 5) составила 33.1–38.8 т/га, на фонах – 29.9–34.2 т/га, в контроле – 26.1 т/га (табл. 6). Некорневое внесение  $N_m$  в дозах N7–21 на фоне основного внесения N45P45K45, а также  $N_m$  в дозе N21 на фоне N90P90K90 способствовало повышению урожайности корнеплодов на 3.2–4.6 т/га и сбора сахара – на 0.72–1.23 т/га относительно фонов. Совокупное действие удобрения, внесенного с осени и некорневого применения  $N_m$  увеличивало урожайность корнеплодов на 6.2–12.7 т/га (26.8–48.7%) относительно контроля, сбора сахара – на 1.06–1.89 (25.2–45.0%), тогда как только основное удобрение увеличивало ее на 3.8–8.1 т/га (14.6–31.0%), а повышение сбора сахара было статистически недостоверным.

Наиболее эффективной схемой некорневой подкормки  $N_m$  было ее применение в количестве 15 и 45 кг ф.в. на фоне N45P45K45, в также 45 ф.в. на фоне N90P90K90. Это обеспечило получение дополнительно корнеплодов 3.2–4.6 т/га и сахара 0.72–1.23 т/га.

Применение  $N_m$  в листовую подкормку культуры повышало сахаристость корнеплодов относительно фонов основного удобрения (где относительно контроля она снижалась на 0.9 и 1.9%) в большей степени по сравнению с N90P90K90 (на

**Таблица 6.** Эффективность некорневого внесения  $N_m$  на сахарной свекле

| Урожайность, т/га | Сахаристость, %                       | Сбор сахара, т/га |
|-------------------|---------------------------------------|-------------------|
|                   | Контроль                              |                   |
| 26.1              | 16.1                                  | 4.20              |
|                   | N45P45K45                             |                   |
| 29.9              | 15.2                                  | 4.54              |
|                   | N45P45K45 + N7                        |                   |
| 33.1              | 16.1                                  | 5.33              |
|                   | N45P45K45 + N14                       |                   |
| 32.3              | 15.4                                  | 4.97              |
|                   | N45P45K45 + N21                       |                   |
| 33.1              | 15.9                                  | 5.26              |
|                   | N90P90K90                             |                   |
| 34.2              | 14.2                                  | 4.86              |
|                   | N45P45K45 + N7                        |                   |
| 34.9              | 16.1                                  | 5.62              |
|                   | N90P90K90 + N14                       |                   |
| 33.8              | 15.6                                  | 5.27              |
|                   | N90P90K90 + N21                       |                   |
| 38.8              | 15.7                                  | 6.09              |
|                   | HCP <sub>0.5 фона/N<sub>m</sub></sub> |                   |
| 3.3/2.5           | 1.1/0.3                               | 0.80/0.67         |

1.4–1.9%), в меньшей – N45P45K45 (на 0.7–0.9%). Варианты с применением N7 на фонах основной удобренности обеспечивали такую же высокую сахаристость, как и в контроле (16.1%), а при применении N14 и N21 – несколько меньшую (15.4–15.9%).

В опыте с некорневым внесением препарата Полихелаты-Свекла (опыт 6) уровень урожайности в экспериментальных вариантах составил 34.9–45.0 т/га, в контроле – 32.0 т/га, на фонах без подкормок – 35.8 и 40.5 т/га (табл. 7). Урожайность корнеплодов при применении препарата Полихелаты-Свекла в дозе 1 л/га увеличилась относительно фонов основного удобрения (N45P45K45 и N90P90K90) на 5.5 и 4.5 т/га соответственно (на 15.4 и 11.1%), а при действии 2 л/га – увеличения отмечено не было. Совместно с основным удобрением действие препарата Полихелаты-Свекла увеличивало урожайность на 29.1–40.6%, а биологический сбор сахара с 1 га – на 11.1–48.5%.

Применение препарата Полихелаты-Свекла в дозе 1 л/га увеличивало сахаристость на 0.4–0.8%, а более высокая доза препарата для некорневого внесения способствовала повышению показателя

**Таблица 7.** Урожайность, сахаристость и сбор сахара при применении минеральных удобрений совместно с препаратом Полихелаты-Свекла

| Урожайность, т/га                    | Сахаристость, % | Сбор сахар, т/га | Урожайность, т/га                      | Сахаристость, % | Сбор сахара, т/га |
|--------------------------------------|-----------------|------------------|----------------------------------------|-----------------|-------------------|
| Контроль (без удобрений)             |                 |                  | N90P90K90                              |                 |                   |
| 32.0                                 | 16.1            | 5.15             | 40.5                                   | 16.2            | 6.56              |
| N45P45K45                            |                 |                  | N90P90K90 + Полихелаты-Свекла 1 л/га   |                 |                   |
| 35.8                                 | 17.0            | 6.09             | 45.0                                   | 17.0            | 7.65              |
| N45P45K45 + Полихелаты-Свекла 1 л/га |                 |                  | N90P90K90 + Полихелаты-Свекла 2 л/га   |                 |                   |
| 41.3                                 | 17.4            | 7.19             | 40.2                                   | 16.7            | 6.71              |
| N45P45K45 + Полихелаты-Свекла 2 л/га |                 |                  | <i>HCP</i> <sub>05</sub> фон/подкормка |                 |                   |
| 34.9                                 | 16.4            | 5.72             | 2.8/1.9                                | 0.5/0.3         | 0.51/0.35         |

**Таблица 8.** Применение гуминового препарата на различных фонах основного удобрения

| Урожайность корнеплодов, т/га | Сахаристость, % | Сбор сахара, т/га | Урожайность корнеплодов, т/га | Сахаристость, % | Сбор сахара, т/га |
|-------------------------------|-----------------|-------------------|-------------------------------|-----------------|-------------------|
| Без удобрений, без обработок  |                 |                   | N90P90K90 + одна обработка    |                 |                   |
| 20.9                          | 17.0            | 3.56              | 39.9                          | 16.4            | 5.66              |
| N45P45K45, без обработки      |                 |                   | N90P90K90 + две обработки     |                 |                   |
| 38.8                          | 17.4            | 6.75              | 46.0                          | 17.1            | 7.87              |
| N45P45K45 + одна обработка    |                 |                   | N135P135K135, без обработок   |                 |                   |
| 44.8                          | 17.1            | 7.66              | 39.0                          | 16.6            | 6.47              |
| N45P45K45 + две обработки     |                 |                   | N135P135K135 + одна обработка |                 |                   |
| 44.3                          | 16.7            | 7.40              | 45.7                          | 16.7            | 7.66              |
| N90P90K90, без обработки      |                 |                   | N135P135K135 + две обработки  |                 |                   |
| 39.5                          | 17.1            | 6.75              | 40.6                          | 16.5            | 6.70              |
|                               |                 |                   | <i>HCP</i> <sub>05</sub>      |                 |                   |
|                               |                 |                   | 1.1                           | 0.1             | —                 |

на 0.5% только на фоне N90P90K90, на фоне N45P45K45 отмечено его снижение на 0.6%. Вследствие вышеотмеченного, биологический сбор сахара при применении некорневых подкормок в дозе 1 л/га достоверно отличался от фона основного удобрения на 18.1 и 16.6%, при 2 л/га – достоверных различий отмечено не было.

Уровень урожайности в вариантах с некорневым внесением препарата Гумимакс составил 39.9–45.7 т/га (табл. 8), в контроле – 20.9, на фонах основного удобрения – 38.8–39.5 т/га. Применение Гумимакса вместе с основным удобрением способствовало повышению урожайности корнеплодов относительно неудобранного контроля на 90.9–120%, более всего – при 1–2-кратном внесении препарата на фоне N45P45K45, при 2-кратном – на фоне N90P90K90 и 1-кратном – на фоне N135P135K135.

На фоне N45P45K45 прибавка урожайности корнеплодов от применения препарата Гумимакс составила 5.5–6.0 т/га, что в относительном выражении составило 14.2–15.5%, а совместное действие с основным удобрением повысило урожайность на 112–114%, на фоне N90P90K90 + 2 обработки – 6.5 т/га (16.5%) и 120% соответственно, N135P135K135 + 1 обработка – 6.7 т/га (17.2%) и 119% соответственно.

На фоне N135P135K135 применение препарата не оказывало отрицательного влияния на сахаристость, при том, что основное внесение N135P135K135 содействовало получению корнеплодов с наиболее низкой сахаристостью. На фоне N45P45K45 и N90P90K90 сахаристость при действии препарата снижалась на 0.3–0.7%. Совместное действие препарата Гумимакс с основным удобрением повышало сбор сахара с 1 га на 108–121% относительно контроля.

## ВЫВОДЫ

1. При длительном систематическом внесении удобрений в зерносвекловичном севообороте наибольший биологический сбор сахара с 1 га обеспечивался применением N120P120K120 под сахарную свеклу в сочетании с навозом 50 т/га в пару и N190P190K190 под сахарную свеклу, а урожайность корнеплодов — также внесением N135P135K135 под сахарную свеклу + навоз 25 т/га в пару.

2. Значительное повышение урожайности сахарной свеклы обеспечивало сочетание основного внесения удобрений и применения агрохимикатов в течение вегетации, только основное внесение, даже при длительном применении, показало меньшую эффективность.

3. Влияние различных способов удобрения под сахарной свеклы по влиянию на урожайность корнеплодов было следующим: максимальному повышению (на 17.3–37.0%) способствовали длительно применяемая в основное внесение НАФК в сочетании с навозом в пар, несколько меньшему — удобрительная смесь “Poliazofosca-Si” с НАФК (на 14.0–25.4%), а также почвенные подкормки N27P5K5+S — на 17.8–26.4%, допосевное внесение Биокомпоста — на 23.4–25.0%, допосевное внесение  $N_{aa}$  — на 13.3–22.6%. Почвенные подкормки  $N_{aa}$  имели более слабое действие (повышение урожайности составило 12.9–17.2%), еще меньшую эффективность проявили некорневое внесение гуминового препарата (14.2–17.2%), листовые подкормки препаратом Полихелаты-Свекла (11.1–15.4%), а некорневое применение  $N_m$  имело самую слабую эффективность, повышение составило 8.03–13.4%.

4. Совокупное действие основного удобрения с различными приемами их применения в течение вегетации на урожайность корнеплодов было наиболее выраженным при листовом внесении Гумимакса, а также применении НАФК N27P5K5 + S в почвенную подкормку и допосевном — Биокомпоста (повышение относительно контроля на 112–120, 48.5–79.8 и 42.5–78.6% соответственно), несколько меньшее действие оказало применение  $N_{aa}$  в рядки (48.0–67.5%), менее всего —  $N_m$ , препарата Полихелаты-Свекла при листовой подкормке и внесение  $N_{aa}$  до посева (26.8–48.6, 29.1–40.6 и 29.1% соответственно).

5. Внесение гуминового препарата в листовую подкормку и препарата “Poliazofosca-Si” совместно с основным удобрением в наибольшей степени влияло на биологический сбор сахара с 1 га (повышение относительно контроля составило 108–121 и 65.5–108% соответственно), а дли-

тельное основное внесение удобрений — в наименьшей степени (на 25.9–38.5%). Удобрения Биокомпост, Полихелаты-Свекла, N27P5K5 + S,  $N_m$  и  $N_{aa}$  способствовали среднему увеличению данного показателя (на 25.2–79.3%).

6. Применение как почвенных, так и некорневых подкормок, было наиболее эффективным на фонах с низкими дозами основного удобрения (N45–50P45–50K45–50).

7. Установлено, что агрохимикатами, увеличивающими сахаристость корнеплодов (относительно фонов основного удобрения), являлись  $N_m$  (на 0.7–1.9%) и препарат Полихелаты-Свекла в дозировке 1 л/га и 2 л/га на фоне N90P90K90 (на 0.4–0.8%), при внесении N27P5K5 + S в рядки в ряде вариантов отмечено ее увеличение до 0.5%. Внесение препаратов “Poliazofosca-Si” в сочетании с N48–96P48–96K48–96, Гумимакса и Биокомпоста в дозах 400–600 кг/га значительно снижало сахаристость (на 0.5–1.7%).

8. Система удобрения сахарной свеклы в ЦЧР должна включать основное систематическое применение минеральных удобрений в дозе N135P135K135 в сочетании с навозом 25 т/га в пару или N120P120K120 + навоз 50 т/га в пару. Если удобрения в данном севообороте не вносили постоянно, то необходимая доза минеральных удобрений в соответствии с подтипом почвы должна составлять от N120P140K100 до N180P160K170 с применением коэффициента обеспеченности почвы подвижными формами  $P_2O_5$  и  $K_2O$ . Для наиболее полного обеспечения потребности культуры в минеральных удобрениях нужно производить расчет их доз с учетом эффективного почвенного плодородия. Удобрение предшественника навозом в дозе 20–50 т/га или непосредственно под сахарную свеклу сохранит гумусовое состояние почвы и позволит пополнить запас медленно высвобождающихся форм элементов питания. Допосевное внесение Биокомпоста в дозе 400 кг/га или  $N_{aa}$  в дозе 300 кг/га в ф.в. обеспечит азотное питание молодых растений сахарной свеклы, особенно при недостатке подвижных форм азота после снежной зимы или дождливой весны. Почвенные подкормки как  $N_{aa}$  в дозе N 40 + N30, так и НАФК (N27P5K5 + S) в дозе N54P10K10 + S (2 раза) в фазе 3–4 пар листьев культуры (первая подкормка) и через 10–12 сут (вторая подкормка) также устраняли недостаток азота в начальный период развития культуры. Некорневое внесение  $N_m$  в дозе N7–27, а также микроудобрений в хелатной форме, либо гуминовых удобрений (в дозе, рекомендуемой производителями) позволило устранить недостатки основного внесения удобрения, а так-

же обеспечило растения дополнительным количеством NPK и микроэлементов.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Сахарная свекла: площади, сборы и урожайность в 2001–2019 гг. [Электр. ресурс]. АБ Центр. Экспертно-аналитический центр агробизнеса. URL: <https://ab-centre.ru/news/saharnaya-svekla-ploshchadi-sbory-i-urozhaynost-v-2001-2019-gg> (дата обращения 06.05.2021).
- Тютюнов С.И., Солнцев П.И., Хорошилова Ю.В. Урожайность культур зернопаропропашного севооборота в зависимости от интенсификации применяемых агротехнологий / Агротехнологическая модернизация земледелия. Курск: ВНИИ земледелия и защиты почв от эрозии РАСХН, 2013. С. 239–243.
- Заришняк А.С., Руцкая С.И., Колибачук Т.В. Влияние удобрений на потребление элементов питания культурами зерно-свекловичного севооборота на черноземе оподзоленном // Агрехимия. 2003. № 6. С. 39–46.
- Минеев В.Г. Агрехимия: Учебник. М.: Изд-во МГУ: Колос, 2004. 720 с.
- Ефимов В.Н., Донских И.Н., Царенко В.П. Система удобрения. М.: КолосС, 2003. 319 с.
- Тютюнов С.И., Никитин В.В., Соловichenко В.Д. Влияние длительного применения удобрений на продуктивность и качество сахарной свеклы // Международ. научн.-исслед. журн. 2016. № 6–5 (48). С. 198–203.
- Бедловская Т.В. Благообеспеченность и продуктивность растений сахарной свеклы в зависимости от агроприемов ее возделывания // Политемат. сетев. электр. научн. журн. Кубан. ГАУ. 2010. № 61. С. 390–400.
- Терзи И.Г., Пономаренко Ю.С., Ступаков А.Г. Влияние удобрений на урожайность сахарной свеклы // Мат-лы Международ. студ. конф. Белгород: Белгород. ГАУ им. В.Я. Горина (Майский). 2015. С. 29.
- Минакова О.А., Александрова Л.В., Подвигина Т.Н. Повышение продуктивности сахарной свеклы в результате длительного применения удобрений в ЦЧР (1936–2017 гг.) // Сахар. 2020. № 5. С. 16–19.
- Черкасов Г.Н., Мясютенко Н.П., Акименко А.С., Гуреев И.И., Здоровцов И.П., Пыхтин И.Г., Чуян О.Г., Гостев А.В., Свиридов В.И., Сухановский Ю.П., Бахирев Г.И., Дьяков В.П., Санжаров А.И., Вавин В.Г., Дудкин И.В., Олещицкий В.В., Хахулин В.Г., Сидоров В.И. Адаптивно-ландшафтная система земледелия СПК “Русь” Советского района Курской области. Курск, 2012. 92 с.
- Справочник свекловода России. М.: Россельхозиздат, 1986. 240 с.
- Система ведения агропромышленного производства Воронежской области до 2010 года / Под ред. И.Ф. Хицкова. Воронеж: Центр духовного возрождения Черноземного края, 2005. 464 с.
- Перспективная ресурсосберегающая технология производства сахарной свеклы: Метод. рекоменд. М.: Росинформагротех, 2008. 56 с.
- Федоренко В.Ф., Мишууров Н.П., Шеголихина Т.А., Минакова О.А., Бартнев И.И., Макаров В.А., Еремин П.А. Инновационные технологии производства, хранения и переработки сахарной свеклы. Аналит. обзор. М.: Росинформагротех, 2020. 92 с.
- Минакова О.А., Александрова Л.В. Методика расчета доз удобрений на планируемую урожайность сахарной свеклы (модификация балансового метода). Воронеж: Воронежский ЦИТИ-филиал ФГБУ “РЭА” Минэнерго России, 2013. 24 с.
- Громовик А.И., Королев В.А. Изменение основных показателей плодородия черноземов выщелоченных при длительном применении удобрений // Докл. РАСХН. 2015. № 6. С. 24–28.
- Антонова О.И., Даскин В.Ю. Урожайность и качество корнеплодов сахарной свеклы гибрида Портланд при проведении подкормок на фоне допосевого удобрения и гербицидов // Вестн. Алтай. ГАУ. 2013. № 11 (109). С. 33–36.
- Бутяйкин В.В. Основы агрономии. Саранск: МОДОВИЯ–ЭКСПО, 2013. 88 с.
- Юдина Е.М., Авилова Е.Ю., Калитко С.А., Юдин М.О. Технологии в растениеводстве. Краснодар: КубГАУ, 2015. 119 с.
- Анспек П.И. Микроудобрения: справ.-к. Л.: Агропромиздат, 1990. 272 с.
- Немкович А.В. Роль микроудобрений в формировании урожая // Белорус. сел. хоз-во. 2015. № 3 (155). С. 26–29.
- Ошкин В.А., Костин В.И., Смирнова Н.В. Влияние внекорневой подкормки на технологические качества корнеплодов // Вестн. Ульяновск. ГСХА. 2016. № 1. С. 72–75.
- Орлов Д.С. Гуминовые вещества в биосфере. М.: Наука, 1993. 238 с.
- Овчаренко М.М. Гуматы – активаторы продуктивности сельскохозяйственных культур // Агрехим. вестн. 2001. № 2. С. 13–15.
- Шеуджен А.Х., Бондарева Т.Н., Кизинек С.В. Агрехимические основы применения удобрений. Майкоп: Полиграф–ЮГ, 2013. 572 с.
- Левченкова А.Н., Володина Т.И. Агрехимическая оценка применения гуминовых препаратов в условиях Великолукского района Псковской области // Достижения науки в области АПК. Мат-лы региональной научн.-практ. конф. 2020. С. 48–51.
- Поддубная О.В., Поддубный О.А., Мирончикова А.А. Урожайность и качество сахарной свеклы в зависимости от применения микроудобрений Микросил // Аграрная наука – сельскому хозяйству. Барнаул: Алтай. ГАУ, 2016. С. 219–220.
- Осипов А.И., Шкрабак Е.С. Некорневое питание и его роль в повышении продуктивности возделываемых культур // Современные тенденции в научном обеспечении АПК Верхневолжского региона. Иваново: Верхневолж. аграр. научн. центр, 2018. С. 187–194.
- Якименко О.С. Применение гуминовых продуктов в РФ: результаты полевых опытов (обзор литературы) // Живые и биокосн. сист. 2016. № 18. С. 4.

30. *Пигарев И.Я., Тарасов А.А., Никитина О.В.* Удобрения и биохимические свойства корнеплодов сахарной свеклы // *Аграрная наука – сельскому хозяйству*: Сб. ст. Барнаул: Алтай. ГАУ. 2017. С. 238–239.
31. Минеральные удобрения. [Электр. ресурс] // МИНСЕМЛАБ. URL: [http://minsemlab.ru/mineralnye\\_udobreniya/poliiazofossa\\_si/](http://minsemlab.ru/mineralnye_udobreniya/poliiazofossa_si/) (дата обращения 08.05.2021).
32. Полихелат-свекла. Внекорневая подкормка [Электр. ресурс] // МИНСЕМЛАБ. URL: [http://minsemlab.ru/mineralnye\\_udobreniya/polihelatyu/svekla/](http://minsemlab.ru/mineralnye_udobreniya/polihelatyu/svekla/) (дата обращения 08.05.2021).
33. Гумимакс [Электронный ресурс] // ЗАО Уралэко-соил: Продукция. URL: <http://www.humimax.ru/index.php?page=products> [Электронный ресурс] (дата обращения 03.05.2021).
34. *Доспехов Б.А.* Методика полевого опыта. Москва: Агропромиздат, 1985. 351 с.
35. *Минакова О.А., Тамбовцева Л.В.* Применение аммиачной селитры – фактор повышения продуктивности сахарной свеклы // *Мат-лы Международ. научн.-практ. конф., посвящ. 100-летию факультета агрономии, агрохимии и экологии Воронеж. ГАУ. Воронеж: Воронежский ГАУ, 2013. с. 157–162.*

## Sugar Beet Fertilizing in the Central Black-Earth Region

**О. А. Minakova<sup>a, #</sup>, Р. А. Kosyakin<sup>a</sup>, and L. V. Aleksandrova<sup>a</sup>**

<sup>a</sup> *The A.L. Mazlumov All-Russian Research Institute of Sugar Beet and Sugar p. VNIISS 86, Ramonsky district, Voronezh region 396030, Russia*

<sup>#</sup> *E-mail: olalmin2@rambler.ru*

It is established that the fertilization of sugar beet in the Central Black-Earth Region should include the main application of fertilizers with their pre-sowing application, in combination with soil and non-root fertilizing. Fertilization during the growing season of the crop is most effective if the soil has not been sufficiently fertilized since autumn. The effect of soil top dressing was more pronounced than non-root. Of the agrochemicals introduced into the leaf dressing, the use of a humic preparation (an increase in yield up to 120%) showed greater efficiency when used together with the main fertilizer, while the use of urea and a Polychelate preparation—beetroot (up to 40.0–48.6%) showed less. Fertilizers should be applied taking into account the indicators of effective fertility of the soil occupied by sugar beet crops.

*Key words:* fertilizers, sugar beet, basic application, soil top dressing, foliar top dressing, polychelates, urea, nitroammophoska, humic preparation.

УДК 631.81:631.811.98:633.16“321”

## ЭФФЕКТИВНОСТЬ КОМПЛЕКСНОГО ПРИМЕНЕНИЯ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ И СТИМУЛЯТОРОВ РОСТА В ПОСЕВАХ ЯРОВОГО ЯЧМЕНЯ (*Hordeum sativum* L.)

© 2022 г. Л. А. Пискарева<sup>1</sup>, А. Ю. Чевердин<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. Докучаева, кварт. 5, 81, Россия

\*E-mail: cheverdin@bk.ru

Поступила в редакцию 18.05.2021 г.

После доработки 25.06.2021 г.

Принята к публикации 15.10.2021 г.

На черноземе сегрегационном Центрально-Черноземной зоны в стационарном опыте изучали эффективность различных доз полного минерального удобрения при возделывании ярового ячменя. Исследование проводили в 8-польном полевом севообороте. Установлено, что применение под основную обработку минеральных удобрений улучшало показатели эффективного плодородия чернозема обыкновенного. Комплексное их использование с внекорневой подкормкой растений ярового ячменя стимуляторами роста снижало содержание нитратного азота при малых и средних дозах НРК. При этом в этих же условиях обеспеченность доступным фосфором и калием повышалась. Отмечено увеличение содержания азота и калия в вегетативной массе растений при использовании удобрений. Показана четкая сортовая зависимость содержания минеральных элементов в растениях. Улучшение условий корневого питания способствовало росту продуктивности и содержания белка в зерне. Включение в технологию возделывания ячменя агропрепаратов различного спектра действия с некорневыми подкормками оказало менее существенное влияние на повышение продуктивности ячменя. Отмечены сортовые особенности ячменя при реагировании на условия минерального питания и примененные агропрепараты.

**Ключевые слова:** минеральные удобрения, стимуляторы роста, ячмень яровой, чернозем, эффективное плодородие, продуктивность.

**DOI:** 10.31857/S0002188122010094

### ВВЕДЕНИЕ

Ячмень относится к важнейшей кормовой культуре Центрального Черноземья и по площади превосходит другие сельскохозяйственные растения, культивируемые в зоне. В силу своих биологических особенностей (короткий период произрастания, слабая поглотительная способность корневой системы), он довольно требователен к условиям произрастания.

Одним из основных регулируемых источников элементов питания сельскохозяйственных растений являются минеральные удобрения. Несмотря на значительные объемы научных данных об изменении питательного режима почв под их влиянием остается довольно много невыясненных вопросов, связанных с изменившимися условиями функционирования современных агроценозов. На эффективность минеральных удобрений существенное влияние оказывают содержание в

почве азота, фосфора, калия, агротехнические приемы, засоренность посевов, складывающиеся агроклиматические условия, плодородие почвы и др. [1–5]. Наиболее высокая прибавка урожайности ячменя от азотных удобрений отмечена на черноземах [6]. Установлена корреляционная зависимость между количеством осадков и прибавками урожая от дозы азотного удобрения [7]. Тесная корреляционная связь выявлена между урожайностью ячменя и содержанием доступного фосфора в черноземах [8]. Но наибольшая прибавка урожайности отмечена от азотных удобрений [9].

Применение минеральных удобрений в возрастающих дозах стабилизирует почвенную среду, снижает минерализацию органического вещества [10]. Под их воздействием отмечено снижение пестроты почвенного плодородия, стабилизирова-

лась урожайность и снижался коэффициент варьирования продуктивности растений [11].

Многими исследователями отмечена безальтернативность усиления химизации аграрного сектора [12–14]. Несмотря на принимаемые усилия, интенсивно увеличивается отрицательный баланс содержания элементов питания в почвах страны. За период с 1991 по 2015 г. дефицит азота составил 25, фосфора – 12 и калия – 76 млн т, что в среднем составило 40 кг/га [15]. Таким образом, формирование урожайности происходит за счет почвенных запасов.

В то же время в последние десятилетия широко разрабатывают и внедряют в производство различного рода биологически активные вещества и стимуляторы роста сельскохозяйственных культур. В этой связи необходима всесторонняя оценка взаимного комплексного влияния минеральных удобрений и активаторов роста на состояние почвенной среды и формирование продуктивности растений.

Эффективность применяемых стимуляторов роста во многом определяется уровень плодородия. Многими авторами отмечена активизация стартовых процессов роста и развития растений ярового ячменя, повышение уровня минерального питания при действии этих препаратов [16–18]. Производимые многочисленные биопрепараты разных групп оказывают положительное влияние на процессы фотосинтеза, рост и развитие растений, формирование структуры урожая ярового ячменя [19]. Включение в состав агрохимикатов гуминовых веществ повышает эффективность их применения [20]. В связи с этим цель работы – оценка совместного влияния минеральных удобрений и сложных комплексных стимуляторов роста на плодородие чернозема сегрегационного, продуктивность и качество зерна сортов ярового ячменя.

## МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследование проводили в стационарном опыте, заложенном в 2011 г. на полях НИИСХ ЦЧП им. В.В. Докучаева (Каменная Степь). Период проведения исследования – 2018–2019 гг. Культура – ячмень яровой. Опыт – трехфакторный. Фактор первого порядка – уровни удобрённости севооборота. В схему включены 4 уровня – без удобрений, (NPK)67, (NPK)133 и (NPK)200. Непосредственно под ячмень – без удобрений, N30P30K30, N60P60K60, N90P90K90. Фактор второго порядка – агрохимикаты, примененные в подкормки вегетирующих растений: 1 – без обработки агрохимикатами, 2 – лигногумат в дозе

0.2 кг/га в фазах кушения–начало трубкования и колошения–цветения, 3 – препарат Brentax Triple в дозе 0.4 л/га в фазе кушения–начало трубкования и препарат S. PROGEN growth в дозе 0.4 кг/га в фазе колошения–цветения, 4 – препарат Аквадон-Микро в дозе 3.0 л/га в фазах кушения–начало трубкования и колошения–цветения, 5 – препарат Гуми-20 М Богатый в дозе 1.0 л/га в фазах кушения–начало трубкования и колошения–цветения. Фактор третьего порядка – сорта ячменя: Приазовский 9, Икорец, Таловский 9, 13/14 (перспективная линия), Медикум, Осколец.

Площадь делянок последнего порядка – (3.6 м × 11 м) 39.6 м<sup>2</sup>. Минеральные удобрения вносили осенью под основную обработку почвы (вспашка на глубину 20–22 см).

Фоновая почва опытного участка представлена черноземом сегрегационным (обыкновенным) среднемощным среднегумусным тяжелосуглинистого гранулометрического состава. Содержание гумуса в слое 0–30 см – 6.39%, рН<sub>KCl</sub> 6.0, гидролитическая кислотность – 1.67 мг-экв/100 г, сумма поглощенных оснований – 46.12 мг-экв/100 г почвы, валовое содержание азота – 0.297, фосфора – 0.170, калия – 1.82%. Содержание подвижных форм фосфора и калия менялось соответственно от 70 до 120 и от 65 до 115 мг/кг почвы.

Коэффициент увлажнения рассчитывали по формуле:

$K_{увл} = \Sigma O / I$ , где  $K_{увл}$  – коэффициент увлажнения,  $\Sigma O$  – количество осадков (мм),  $I$  – уровень испаряемости (мм).

Погодные условия в годы проведения исследования характеризовались значительной неравномерностью и отклонением от среднееголетних показателей. Среднегодовая температура воздуха в 2018 и 2019 гг. была выше нормы соответственно на 1.68 и 2.75°C (норма 5.79°C). По количеству выпавших атмосферных осадков за год также можно констатировать их увеличение по отношению к среднееголетним показателям. В 2018 г. годовая сумма осадков составила 508 мм, в 2019 г. – 450 мм (среднееголетние – 438 мм). При этом необходимо отметить такую особенность – увеличение количества осадков было характерно только для холодного периода года.

В период вегетации растений ячменя гидро-термические условия имели свои особенности. Температура воздуха в апреле превышала среднееголетние показатели на 1.84–3.24°C (среднее – 6.66°C). В мае различия были более существенными – на 3.8–2.7°C (среднее 14.4°C), в июне – на 0.9–3.0°C (среднее 18.2°C).

В июле 2018 г. температура воздуха превышала среднесезонные показатели на  $2.3^{\circ}\text{C}$  (среднее  $20.1^{\circ}\text{C}$ ). В 2019 г. температурный фон был понижен. Среднемесячная температура равнялась  $19.4^{\circ}\text{C}$ . За период проведения исследования температура воздуха в августе превышала среднесезонные показатели на  $0.1\text{--}2.7^{\circ}\text{C}$  (среднее  $19.0^{\circ}\text{C}$ ).

Количество атмосферных осадков в течение летнего периода вегетации было ниже среднесезонных показателей, за исключением июля. При средних показателях  $61.7$  мм месячная сумма осадков по годам составила  $135.1\text{--}108.2$  мм. Наиболее критичные условия увлажнения были характерны для первого периода вегетации – мая и июня. При среднесезонных показателях мая  $44.8$  мм в годы проведения исследования сумма осадков равнялась  $19.2$  и  $40.3$  мм, в июне соответственно  $57.0$  мм и  $3.1\text{--}34.2$  мм.

Судя по величине коэффициента увлажнения ( $K_{\text{увл}}$ ), растения ячменя испытывали недостаток влаги и особенно в первый период вегетации. В подтверждение более жестких условий произрастания расчетные величины  $K_{\text{увл}}$  были в основном меньше среднесезонных величин. В апреле при среднем показателе  $K_{\text{увл}}$  на уровне  $0.55$  в годы исследования он равнялся  $0.91$  (2018 г.) и  $0.26$  (2019 г.). Для мая условия увлажнения складывались так же не очень благоприятно:  $K_{\text{увл}}$  отмечен в пределах  $0.14\text{--}0.31$ , что меньше среднесезонного показателя ( $0.41$ ). Аналогично складывались гидротермические условия и в июне.  $K_{\text{увл}}$  составил  $0.02\text{--}0.22$  при средней величине  $0.46$ . В годы проведения исследования июль характеризовался высокой степенью увлажнения на уровне  $0.9\text{--}0.82$ , что превышало существенно среднесезонные показатели ( $0.47$ ).

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Нитраты имеют важное значение в физиологических процессах в растениях, одновременно являясь источником и постоянным поставщиком окиси азота [21]. В нашем исследовании содержание нитратного азота в почве в большей степени определялось дозой внесенных азотных удобрений во всех фазах развития растений. Обработка растений стимуляторами роста оказывала меньшее влияние. Комплексное использование минеральных удобрений в сочетании со стимуляторами роста оказывало на нитратный режим неоднозначное влияние. На неудобренном фоне и при малых (средних) дозах удобрений их применение отмечено незначительным снижением обеспеченности растений азотом (табл. 1). По мере увеличения обеспеченности до  $\text{N90P90K90}$  внекорне-

вая подкормка биопрепаратами способствовала росту содержания в почве азота. Причем данная закономерность была характерна для всех фаз развития растений ярового ячменя.

Максимально высокое количество нитратного азота отмечено в начале вегетационного периода в контрольном варианте без применения агрохимикатов при внесении минеральных удобрений в дозе  $\text{N60P60K60}$ . Более высокая доза  $\text{N90P90K90}$  вызывала ингибирование нитрификационных процессов, и количество доступного азота по отношению к другим фонам обеспеченности ( $\text{N60P60K60}$ ) снижалось. В последующих фазах развития отмечено преимущество удобренных вариантов. В конце вегетации различия в обеспеченности нитратным азотом были незначительными. Сглаживание различий было связано с выносом и потреблением азота на формирование урожая зерна, а также с возможными другими статьями расхода – денитрификацией, выносом сорными растениями, потреблением азота почвенными микроорганизмами.

Минимальное количество нитратного азота было характерно для варианта без удобрений. В среднем в начале вегетации ярового ячменя содержание азота в почве составило  $16.0$  мг/кг. Применение минеральных удобрений положительно отразилось на обеспеченности растений ярового ячменя азотом. На фоне обеспеченности  $\text{N30P30K30}$  в среднем количество доступного растениям азота равнялось  $20.5$ , увеличиваясь до  $24.2$  мг/кг на фоне  $\text{N60P60K60}$  и  $28.2$  мг/кг при внесении  $\text{N90P90K90}$ .

Особый интерес представляют данные изменения обеспеченности азотом при комплексном использовании стимуляторов роста и минеральных удобрений. В неудобренном варианте применение лингогумата и гуми-20 вызывало незначительное изменение содержания нитратного азота. В начале вегетации и в период уборки отмечено снижение его содержания. В фазе колошения при использовании агрохимикатов выявлена тенденция к увеличению количества азота в почве. Комплексное применение минеральных удобрений при малых и средних дозах  $\text{NPK}$  приводило к снижению содержания нитратного азота, максимальная доза, наоборот, стимулировала накопление нитратов в почве.

Причина изменения содержания в почве нитратного азота возможно связана с повышением поглощения  $\text{N-NO}_3$  растениями при обработке гумусовыми веществами (ГВ) [22]. Повышение поглощения нитратов при обработке ГВ объясняется облегчением  $\text{H}^+/\text{NO}$ -симпорта ионов.

**Таблица 1.** Содержание нитратного азота в почве, мг/кг

| Фон удобрения                             | Вариант       | Фазы развития растений |           |                 |
|-------------------------------------------|---------------|------------------------|-----------|-----------------|
|                                           |               | трубкование            | колошение | полная спелость |
| Без удобрений                             | Без обработок | 17.2                   | 15.5      | 15.1            |
|                                           | Лингогумат    | 15.3                   | 17.8      | 14.0            |
|                                           | Гуми-20       | 15.4                   | 17.0      | 13.3            |
|                                           | Среднее       | 16.0                   | 16.8      | 14.1            |
| N30P30K30                                 | Без обработок | 21.2                   | 20.1      | 15.3            |
|                                           | Лингогумат    | 20.0                   | 15.2      | 11.8            |
|                                           | Гуми-20       | 20.2                   | 23.9      | 12.9            |
|                                           | Среднее       | 20.5                   | 19.7      | 13.3            |
| N60P60K60                                 | Без обработок | 31.1                   | 24.5      | 17.4            |
|                                           | Лингогумат    | 18.5                   | 20.7      | 13.6            |
|                                           | Гуми-20       | 22.9                   | 27.2      | 17.1            |
|                                           | Среднее       | 24.2                   | 24.1      | 16.0            |
| N90P90K90                                 | Без обработок | 26.5                   | 25.2      | 17.8            |
|                                           | Лингогумат    | 29.4                   | 38.7      | 19.8            |
|                                           | Гуми-20       | 28.8                   | 23.3      | 18.1            |
|                                           | Среднее       | 28.2                   | 29.1      | 18.6            |
| <i>HCP</i> <sub>05</sub> главных эффектов |               |                        |           |                 |
| удобрения                                 |               | 3.6                    | 2.6       | 1.0             |
| агрохимикаты                              |               | 2.2                    | 1.9       | 0.8             |

ГВ увеличивали поглощение аммонийного азота растениями, при этом увеличивалась активность ферментов малатдегидрогеназы, глутаматдегидрогеназы и фосфоэнолпируваткарбоксилазы [23].

Количество доступного фосфора, особенно в начальные этапы развития ячменя, играет существенную роль в темпах роста растений и формирования вегетативной массы [24, 25]. Обеспеченность растений подвижным фосфором также в большей степени определялась примененными в исследовании минеральными удобрениями и была пропорциональна их внесенным дозам. Во всех фазах роста растений ярового ячменя минимальное количество доступного фосфора было характерно для варианта без удобрений. В среднем в начальный этап вегетации количество  $P_2O_5$  отмечено на уровне 113 мг/кг (табл. 2). При использовании дозы минеральных удобрений N30P30K30 отмечено незначительное увеличение содержания доступного фосфора до 129 мг/кг. Более существенные различия были свойственны вариантам с внесением средней и повышенной дозы удобрений – до 190 и 265 мг/кг соответственно.

Использование гуматсодержащих агрохимикатов в подкормку вегетирующих растений оказало неоднозначное воздействие на обеспечен-

ность растений фосфором. На естественном фоне минерального питания в начале вегетации стимуляторы роста вызывали снижение концентрации доступного фосфора в почве. В дальнейшем по мере развития растений ярового ячменя можно отметить стабилизацию фосфатного режима и некоторое повышение содержания доступного фосфора в почве.

При комплексном использовании стимуляторов на фоне внесения минеральных удобрений можно констатировать их положительную роль в улучшении обеспеченности растений доступным фосфором. При этом данная закономерность была характерна для малых и средних фонов удобрений. Повышение дозы удобрений до N90P90K90, особенно со второй половины вегетации, вызывало снижение содержания фосфора в почве.

Анализ динамики обеспеченности растений обменным калием показал постепенное снижение его содержания в почве по мере развития растений. Максимальное его количество отмечено в начале вегетации. В среднем на удобренных фонах повышение концентрации доступного калия составило от 8 до 50 мг/кг (табл. 3). Улучшение

Таблица 2. Содержание доступного фосфора в почве, мг/кг

| Фон удобрения                             | Вариант       | Фазы развития растений |           |                 |
|-------------------------------------------|---------------|------------------------|-----------|-----------------|
|                                           |               | трубкование            | колошение | полная спелость |
| Без удобрений                             | Без обработок | 141                    | 91        | 99              |
|                                           | Лингогумат    | 93                     | 90        | 103             |
|                                           | Гуми-20       | 106                    | 102       | 115             |
|                                           | Среднее       | 113                    | 94        | 105             |
| N30P30K30                                 | Без обработок | 112                    | 120       | 120             |
|                                           | Лингогумат    | 119                    | 117       | 128             |
|                                           | Гуми-20       | 157                    | 156       | 148             |
|                                           | Среднее       | 129                    | 131       | 132             |
| N60P60K60                                 | Без обработок | 156                    | 173       | 178             |
|                                           | Лингогумат    | 171                    | 175       | 186             |
|                                           | Гуми-20       | 244                    | 178       | 251             |
|                                           | Среднее       | 190                    | 175       | 205             |
| N90P90K90                                 | Без обработок | 278                    | 283       | 255             |
|                                           | Лингогумат    | 302                    | 268       | 220             |
|                                           | Гуми-20       | 214                    | 184       | 183             |
|                                           | Среднее       | 265                    | 245       | 219             |
| <i>HCP</i> <sub>05</sub> главных эффектов |               |                        |           |                 |
| удобрения                                 |               | 14                     | 19        | 11              |
| агрохимикаты                              |               | 12                     | 12        | 8               |

обеспеченности растений калием было пропорционально увеличению доз минеральных удобрений.

К середине вегетации (фаза колошения) отмечена тенденция к снижению содержания калия, связанная с интенсивным потреблением растениями этого элемента. В варианте без удобрений в среднем содержалось доступного калия 76 мг/кг. Внесение минеральных удобрений в дозе N30P30K30 увеличивало его количество до 90 мг/кг. Повышение фона удобрения до N60P60K60 способствовало росту содержания калия до 97 и до 118 мг/кг при внесении N90P90K90. Применение на минеральном фоне стимуляторов роста в большинстве случаев улучшало обеспеченность растений доступным калием. Особенно заметно данная закономерность прослежена при использовании удобрений в малых и средней дозах (N30P30K30 и N60P60K60).

В рамках проведенной работы дана оценка динамики изменения содержания минеральных элементов в вегетативной массе растений ячменя в зависимости от фона удобрения и сортовых различий ярового ячменя. Для начального этапа развития было характерно наиболее высокое их содержание с максимальными показателями в удобренных вариантах. На фоне без удобрений в

фазе трубкования среднее содержание азота составило 2.05% (табл. 4). При использовании удобрений в дозе N90P90K90 содержание азота увеличивалось до 2.16% (на 5.3%). Несколько в большей мере изменялось содержание калия в вегетативной массе: в среднем с 1.78 до 2.13% (на 19.7%). Содержание фосфора в фазе трубкования существенно не менялось в зависимости от фона удобрения.

В большей степени на содержание минеральных элементов в фазе трубкования оказали сортовые особенности культуры. Максимальным количеством азота отличалась Перспективная линия 13/14—2.47% (в варианте без удобрений) и 2.37% (на фоне N90P90K90). Минимальное содержание азота в варианте без удобрений было у сорта Таловский 9 (1.90%), при повышении уровня удобрения до N90P90K90 — у сорта Икорец (1.99%).

Содержание калия в вегетативной массе в варианте без удобрения в зависимости от сорта варьировало от 1.6 до 1.92%: минимальным оно было у сорта Приазовский 9, максимальным — у Перспективной линии 13/14 — (1.92%). На фоне применения минеральных удобрений содержание калия изменялось в более высоких пределах —

**Таблица 3.** Содержание подвижного калия в почве, мг/кг

| Фон удобрения                             | Вариант       | Фазы развития растений |           |                 |
|-------------------------------------------|---------------|------------------------|-----------|-----------------|
|                                           |               | трубкование            | колошение | полная спелость |
| Без удобрений                             | Без обработок | 90                     | 73        | 95              |
|                                           | Лингогумат    | 88                     | 79        | 91              |
|                                           | Гуми-20       | 84                     | 77        | 95              |
|                                           | Среднее       | 87                     | 76        | 94              |
| N30P30K30                                 | Без обработок | 76                     | 84        | 96              |
|                                           | Лингогумат    | 101                    | 90        | 91              |
|                                           | Гуми-20       | 109                    | 95        | 110             |
|                                           | Среднее       | 95                     | 90        | 99              |
| N60P60K60                                 | Без обработок | 94                     | 101       | 111             |
|                                           | Лингогумат    | 106                    | 102       | 107             |
|                                           | Гуми-20       | 160                    | 89        | 127             |
|                                           | Среднее       | 120                    | 97        | 115             |
| N90P90K90                                 | Без обработок | 134                    | 110       | 121             |
|                                           | Лингогумат    | 173                    | 139       | 121             |
|                                           | Гуми-20       | 106                    | 105       | 129             |
|                                           | Среднее       | 137                    | 118       | 124             |
| <i>HCP</i> <sub>05</sub> главных эффектов |               |                        |           |                 |
| удобрения                                 |               | 12                     | 9         | 10              |
| агрохимикаты                              |               | 10                     | 7         | 8               |

**Таблица 4.** Содержание минеральных элементов в растениях ярового ячменя (2018–2019 гг.)

| Фон           | Сорт                      | Трубкование |      |      | Колошение |      |      |
|---------------|---------------------------|-------------|------|------|-----------|------|------|
|               |                           | N           | P    | K    | N         | P    | K    |
| Без удобрений | Приазовский 9             | 2.00        | 0.78 | 1.60 | 1.43      | 0.60 | 1.17 |
|               | Икорец                    | 2.01        | 0.83 | 1.82 | 1.36      | 0.59 | 1.09 |
|               | Таловский 9               | 1.90        | 0.64 | 1.83 | 1.48      | 0.48 | 1.33 |
|               | Перспективная линия 13/14 | 2.47        | 0.78 | 1.92 | 1.64      | 0.65 | 1.25 |
|               | Медиум                    | 1.97        | 0.67 | 1.67 | 1.55      | 0.59 | 1.22 |
|               | Осколец                   | 1.96        | 0.69 | 1.86 | 1.79      | 0.59 | 1.38 |
|               | Среднее                   | 2.05        | 0.73 | 1.78 | 1.54      | 0.58 | 1.24 |
| N90P90K90     | Приазовский 9             | 2.27        | 0.79 | 2.28 | 1.50      | 0.59 | 1.33 |
|               | Икорец                    | 1.99        | 0.74 | 2.02 | 1.42      | 0.60 | 1.44 |
|               | Таловский 9               | 2.06        | 0.67 | 2.16 | 1.50      | 0.57 | 1.34 |
|               | Перспективная линия 13/14 | 2.37        | 0.68 | 2.12 | 1.69      | 0.56 | 1.41 |
|               | Медиум                    | 2.16        | 0.74 | 2.01 | 1.47      | 0.53 | 1.27 |
|               | Осколец                   | 2.13        | 0.74 | 2.23 | 1.56      | 0.51 | 1.32 |
|               | Среднее                   | 2.16        | 0.73 | 2.13 | 1.52      | 0.56 | 1.35 |

от 2.01 до 2.28%. Больше калия накапливал сорт Приазовский 9, меньше – сорт Медиум.

По мере роста и развития растений ярового ячменя отмечено снижение содержания минеральных элементов в вегетативной массе. Можно от-

метить такую особенность, как сглаживание показателей и снижение различий между фонами удобрения. На фоне без минеральных удобрений в фазе колошения содержание азота составило 1.54%, в варианте N90P90K90 – 1.52%, фосфо-

Таблица 5. Качественный состав зерна ячменя (2018–2019 гг.)

| Фон<br>удобрения | Приазовский 9  | Икорец | Таловский 9 | Линия 13/11 | Медиум | Осколец | Среднее |
|------------------|----------------|--------|-------------|-------------|--------|---------|---------|
|                  | Сырой белок, % |        |             |             |        |         |         |
| Без удобрений    | 12.8           | 11.9   | 12.5        | 12.0        | 12.4   | 12.1    | 12.3    |
| N90P90K90        | 13.3           | 13.6   | 13.4        | 12.5        | 13.0   | 11.4    | 12.9    |
|                  | Крахмал, %     |        |             |             |        |         |         |
| Без удобрений    | 53.3           | 55.9   | 56.7        | 56.0        | 54.9   | 56.1    | 55.5    |
| N90P90K90        | 55.3           | 55.9   | 56.0        | 56.2        | 55.1   | 53.1    | 55.3    |

ра и калия соответственно 0.58 и 0.56, 1.24 и 1.35%. При этом по отношению к фазе трубкования в большей степени снизилось содержание калия – на 43.5–57.8%, далее – азота (на 33.1–42.1%) и фосфора (на 25.9–30.4%). Более высокие показатели были отмечены на удобренном фоне. В связи с этим можно предположить снижение темпов накопления минеральных элементов в вегетативной массе по мере роста растений на удобренных фонах (эффект разбавления). К середине вегетации также сохранилась дифференциация в темпах накопления азота, фосфора и калия в зависимости от сортовых особенностей ячменя.

Ячмень относится к важной кормовой культуре. Основными показателями качества зерна является содержание белка и крахмала. Показана главная роль минеральных удобрений в изменении белковости зерна. На содержание крахмала их влияние было выражено в меньшей степени. В среднем за годы исследования на естественном фоне удобрений содержание протеина в зерне варьировало в пределах от 11.9 до 12.8% (табл. 5). Применение минеральных удобрений в дозе N90P90K90 повышало белковость зерна до 12.5–13.6% или на 5.6–15.0%. В зависимости от сорта ячменя наибольшим содержанием белка на фоне без удобрений характеризовался сорт Приазовский 9 (12.8%), у сортов Икорец и Линия 13/11 отмечено его минимальное количество (11.9 и 12.0%).

На фоне внесения N90P90K90 белковость зерна ячменя менялась. Максимальным содержанием белка отличался сорт Икорец – 13.6%, близким было его содержание у сортов Таловского 9 и Приазовского (13.4 и 13.3% соответственно). При этом у сорта Осколец было отмечено снижение белковости зерна на фоне внесения минеральных удобрений – с 12.1 до 11.4%.

Содержание крахмала существенно не изменялось в зависимости от фона минерального питания. Средние показатели в вариантах без удобрений и на минеральных фонах питания были практически равнозначными (55.5 и 55.3%). В наибольшей степени содержание крахмала

определяли генетические сортовые особенности. В варианте без удобрений наибольшее его количество отмечено в зерне сортов Таловский 9, Осколец и Линия 13/11 (56.7, 56.1 и 56.0% соответственно). На фоне N90P90K90 высокое содержание крахмала также было у сортов Таловский 9 и Линия 13/11 (56.0 и 56.2%).

Анализ урожайности зерна ярового ячменя показал на ее значительное варьирование в вариантах опыта. В многофакторных опытах на величину конечного результата, кроме изученных факторов, оказывают влияние множество трудноучитываемых показателей. Оценка главных эффектов показала главную роль условий минерального питания (табл. 6), определяющих максимальную продуктивность ярового ячменя. Самая высокая урожайность отмечена при максимальной дозе минеральных удобрений N90P90K90. Она равнялась 2.45 т/га при уровне урожайности в контроле 1.74 т/га. Прибавка, таким образом, составила 0.71 т/га. При рекомендованной для зоны дозе N60P60K60 увеличение продуктивности составило в среднем 0.48 т/га. Минимальная урожайность при внесении удобрений в дозе N30P30K30 была равна 2.04 т/га (больше контроля на 0.3 т/га).

Вторым по значимости фактором повышения сбора зерна были сортовые особенности. При этом варьирование показателей было намного уже по сравнению с влиянием минеральных удобрений. В среднем наибольшую продуктивность обеспечил сорт Медиум – 2.35 т/га, минимальная урожайность была у сорта Икорец – 2.01 т/га. На втором месте по уровню урожайности была Перспективная линия 13/14–2.21 т/га. Сорта Приазовский 9 и Таловский 9 в этом отношении были на одном уровне – 2.11 т/га.

Существует генетически обусловленная реакция сортов на различные уровни минерального питания [5]. Оценка отзывчивости сорта на уровни минерального питания позволяет констатировать различную их реакцию. В контрольном варианте без удобрения (и без обработки агрохимикатами) наибольшая урожайность отмечена у сорта

Таблица 6. Урожайность зерна ячменя (2018–2019 гг.), т/га

| Фактор А               | Фактор В | Фактор В (сорт) |        |             |                           |        |         | Среднее |                             |                             |
|------------------------|----------|-----------------|--------|-------------|---------------------------|--------|---------|---------|-----------------------------|-----------------------------|
|                        |          | Приазовский 9   | Икорец | Таловский 9 | Перспективная линия 13/14 | Медкум | Осколец | сорт    | НСР <sub>0,5</sub> фактор А | НСР <sub>0,5</sub> фактор В |
| N0P0K0                 | 1        | 1.62            | 1.53   | 1.66        | 1.64                      | 1.80   | 1.47    | 1.62    | 1.7                         | 2.0                         |
|                        | 2        | 1.79            | 1.64   | 1.77        | 1.74                      | 2.12   | 1.58    | 1.62    |                             |                             |
|                        | 3        | 1.84            | 1.73   | 1.99        | 1.89                      | 2.11   | 1.50    | 1.85    |                             |                             |
|                        | 4        | 1.82            | 1.64   | 1.74        | 1.82                      | 1.91   | 1.55    | 1.74    |                             |                             |
|                        | 5        | 2.00            | 1.67   | 2.01        | 1.78                      | 2.46   | 1.61    | 1.83    |                             |                             |
|                        | Среднее  | 1.82            | 1.64   | 1.83        | 1.77                      | 1.98   | 1.54    | 1.76    |                             |                             |
| N30P30K30              | 1        | 1.79            | 1.75   | 1.89        | 2.02                      | 2.17   | 1.80    | 1.90    | 2.0                         |                             |
|                        | 2        | 2.04            | 2.15   | 2.05        | 2.16                      | 2.34   | 1.96    | 2.12    |                             |                             |
|                        | 3        | 1.98            | 1.88   | 2.09        | 2.14                      | 2.43   | 2.13    | 2.06    |                             |                             |
|                        | 4        | 1.99            | 1.87   | 1.91        | 2.02                      | 2.25   | 1.83    | 1.98    |                             |                             |
|                        | 5        | 2.06            | 2.26   | 2.22        | 2.23                      | 2.40   | 1.91    | 2.16    |                             |                             |
|                        | Среднее  | 1.97            | 1.96   | 2.03        | 2.11                      | 2.32   | 1.87    | 1.98    |                             |                             |
| N60P60K60              | 1        | 2.00            | 1.97   | 2.15        | 2.20                      | 2.25   | 1.95    | 2.08    | 2.2                         |                             |
|                        | 2        | 2.25            | 2.26   | 2.08        | 2.47                      | 2.43   | 2.16    | 2.28    |                             |                             |
|                        | 3        | 2.16            | 1.98   | 2.19        | 2.27                      | 2.41   | 2.06    | 2.18    |                             |                             |
|                        | 4        | 2.17            | 2.19   | 2.34        | 2.51                      | 2.48   | 2.10    | 2.29    |                             |                             |
|                        | 5        | 2.23            | 2.25   | 2.27        | 2.47                      | 2.44   | 2.06    | 2.28    |                             |                             |
|                        | Среднее  | 2.16            | 2.13   | 2.20        | 2.38                      | 2.41   | 2.07    | 2.22    |                             |                             |
| N90P90K90              | 1        | 2.16            | 2.06   | 2.31        | 2.43                      | 2.42   | 2.18    | 2.26    | 2.45                        |                             |
|                        | 2        | 2.59            | 2.46   | 2.41        | 2.60                      | 2.48   | 2.34    | 2.55    |                             |                             |
|                        | 3        | 2.70            | 2.41   | 2.52        | 2.71                      | 2.78   | 2.20    | 2.55    |                             |                             |
|                        | 4        | 2.43            | 2.24   | 2.44        | 2.60                      | 2.60   | 2.28    | 2.43    |                             |                             |
|                        | 5        | 2.46            | 2.34   | 2.34        | 2.62                      | 2.70   | 2.22    | 2.45    |                             |                             |
|                        | Среднее  | 2.47            | 2.30   | 2.40        | 2.59                      | 2.67   | 2.25    | 2.45    |                             |                             |
| Среднее для препаратов | 1        | 1.90            | 1.82   | 2.00        | 2.07                      | 2.16   | 1.85    | 1.97    |                             |                             |
|                        | 2        | 2.16            | 2.12   | 2.08        | 2.24                      | 2.46   | 2.01    | 2.14    |                             |                             |
|                        | 3        | 2.17            | 2.00   | 2.17        | 2.25                      | 2.43   | 1.90    | 2.16    |                             |                             |
|                        | 4        | 2.10            | 1.98   | 2.10        | 2.24                      | 2.31   | 1.94    | 2.11    |                             |                             |
|                        | 5        | 2.19            | 2.10   | 2.21        | 2.27                      | 2.37   | 1.95    | 2.18    |                             |                             |
| Среднее фактора В      |          | 2.11            | 2.01   | 2.11        | 2.21                      | 2.35   | 1.93    | 2.12    |                             |                             |

НСР<sub>05</sub> фактор В, т/га = 0.18

Медикум – 1.80 т/га. У сорта Осколец она была минимальной – всего 1.47 т/га, разница составила 0.33 т/га. Применение удобрений в дозе N30P30K30 способствовало росту урожайности. Так же как и в варианте без удобрения сорт Медикум обеспечил получение максимального сбора зерна – 2.17 т/га. Сорта Приазовский 9, Икорец и Осколец обеспечили равную, но низкую продуктивность – 1.79, 1.75 и 1.80 т/га. Но при этом у сортов Перспективная линия 13/14, Медикум и Осколец отзывчивость на удобрения (прибавка урожайности к контролю) в варианте применения N30P30K30 была наибольшей – 0.38, 0.37 и 0.33 т/га соответственно.

Повышение фона удобренности до N60P60K60 способствовало дальнейшему росту урожайности ячменя. Лидерами были сорта Медикум и Перспективная линия 13/14 (2.25 и 2.20 т/га). Прибавка по отношению к неудоברенному варианту составила 0.45 и 0.56 т/га соответственно. Минимальная урожайность была характерна для сортов Осколец и Икорец (1.95 и 1.97 т/га). Но по отзывчивости они не уступали лучшим сортам. Для средней дозы удобрений наименьшая прибавка урожайности зерна отмечена у сорта Приазовский 9.

При внесении N90P90K90 характер формирования урожайности не изменился. Максимальную близкую продуктивность обеспечивали сорта Медикум и Перспективная линия 13/14 (2.42 и 2.43 т/га), у сорта Икорец она была минимальной (2.06 т/га), сорта Осколец и Приазовский 9 занимали промежуточное положение.

Подводя итоги реакции сортов на различные уровни минерального питания, необходимо отметить определенные особенности. Несомненным лидером независимо от фона минерального питания был сорт Медикум. Он обеспечивал высокую урожайность как без применения удобрений, так и при их использовании. Сорта Икорец и Таловский 9 при низкой урожайности в контроле существенно увеличивали свою продуктивность на минеральном фоне питания. В этой связи эти сорта целесообразно возделывать в технологиях с применением удобрений.

Примененные в опыте агрохимикаты оказывали менее заметное воздействие на изменение продуктивности растений ярового ячменя. В среднем в опыте рост урожайности менялся в пределах 0.14–0.21 т/га. Повышение уровня минерального питания в некоторой степени способствовало росту отклика растений ярового ячменя на внекорневую обработку агрохимикатами. Например, в варианте N30P30K30 в сочетании с об-

работкой растений лигногуматом по отношению к абсолютному контролю увеличение урожайности составило 0.50 т/га, в аналогичном варианте обработки на фоне N60P60K60 – соответственно 0.66, при дозе внесения N90P90K90 – 0.93 т/га. При внекорневой обработке препаратом Гуми-20 М Богатый прирост урожайности равнялся 0.54–0.83 т/га.

## ВЫВОДЫ

1. Проведенное исследование эффективного плодородия чернозема сегрегационного позволило выявить влияние удобрений на обеспеченность нитратным азотом, доступным фосфором и калием. Наиболее высокие показатели были отмечены при максимальной дозе внесения удобрений. Содержание нитратного азота в первой половине вегетации при использовании минеральных удобрений увеличивалось на 28.1–76.2% (с 16.0 до 20.5–28.2 мг/кг). Комплексное их применение со стимуляторами роста приводило к снижению содержания азота в почве вследствие его потребления на формирования большей урожайности.

2. Применение минеральных удобрений повышало содержание доступного фосфора на 135–161% по отношению к контролю в первую половину вегетационного периода. Агрохимикаты на фоне малых и средних доз удобрений способствовали увеличению количества  $P_2O_5$  на 36–88 мг/кг по сравнению с контролем.

3. Обеспеченность растений калием под влияние различных доз удобрений повышалась на 5–50 мг/кг. Использование стимуляторов роста в большинстве случаев улучшало обеспеченность растений доступным калием.

4. Минеральные удобрения повышали содержание белка в зерне ячменя с 11.9–12.8 до 12.5–13.6%. При этом отмечена четкая генетически обусловленная дифференциация по накоплению белка в зависимости от сортовых особенностей ярового ячменя. На естественном фоне минерального питания максимальное количество белка в зерне было отмечено для сорта Приазовский 9 (12.8%). На фоне внесения N90P90K90 максимальным содержанием белка отличался сорт Икорец (13.6%). Близкие показатели отмечены у сортов Таловского 9 и Приазовского (13.4 и 13.3 соответственно).

5. В результате применения минеральных удобрений продуктивность ячменя повысилась на 0.3–0.71 т/га. Максимальная урожайность отмечена на фоне применения N90P90K90 – 2.45 т/га (без удобрений – 1.74 т/га). Наиболее отзывчивы-

ми на улучшение условий питания были сорта Медикум, Перспективная линия 13/14.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Войтович Н.В., Сандухадзе Б.И., Чумаченко И.Н., Капранов В.Н.* Плодородие, удобрение, сорт и качество продукции зерновых культур в Нечерноземной зоне России. М.: ЦИНАО, 2002. 196 с.
2. *Чуб М.П., Пронько В.В., Ярошенко Т.М., Климова Н.Ф., Журавлев Д.Ю.* Пищевой режим чернозема южного и продуктивность ярового ячменя (*Hordeum sativum* L.) в условиях длительного стационарного опыта // Пробл. агрохим. и экол. 2015. № 4. С. 20–26.
3. *Шпанев А.М.* Влияние азотных удобрений на фитосанитарное состояние и потери урожая яровой пшеницы от вредных организмов в Северо-Западном регионе // Агрохимия. 2016. № 9. С. 62–69.
4. *Сычев В.Г., Афанасьев Р.А.* Почвенно-агрохимические ресурсы повышения продуктивности земледелия в Приволжском регионе // Плодородие. 2017. № 4. С. 2–6.
5. *Шпанев А.М., Фесенко М.А., Смух В.В.* Эффективность комплексного применения средств химизации при возделывании ярового ячменя на Северо-Западе РФ // Агрохимия. 2019. № 12. С. 47–55. <https://doi.org/10.1134/S0002188119120093>
6. *Шафран С.А., Козеичева Е.С.* Продуктивность ярового ячменя и окупаемость минеральных удобрений в зависимости от содержания элементов питания в основных типах почв России // Агрохимия. 2016. № 3. С. 11–22.
7. *Багринцева В.Н., Ивашенко И.Н.* Влияние погодных условий в Ставропольском крае на эффективность доз азотного удобрения на кукурузе // Агрохимия. 2020. № 2. С. 77–83. <https://doi.org/10.31857/S0002188120020039>
8. *Шулико Н.Н., Хамова О.Ф., Воронкова Н.А., Тукмачева Е.В., Дороненко В.Д.* Влияние комплексного применения удобрений и биопрепаратов на эффективное плодородие чернозема выщелоченного и продуктивность ячменя // Агрохимия. 2019. № 2. С. 13–20. <https://doi.org/10.1134/S0002188119020133>
9. *Державин Л.М.* Применение минеральных удобрений в интенсивном земледелии. М.: Колос, 1992. 272 с.
10. *Завьялова Н.Е., Ковалевская Н.П., Шаравин Д.Ю.* Влияние длительного применения удобрений на экофизиологические показатели микробоценозов дерново-подзолистой почвы Предуралья // Агрохимия. 2020. № 1. С. 3–8. <https://doi.org/10.31857/S0002188120010147>
11. *Артюхова О.А., Гладышева О.В., Свирина В.А.* Влияние элементов технологий возделывания на урожайность новых пивоваренных сортов ярового ячменя // Вестн. Рос. сел.-хоз. науки. 2020. № 2. С. 21–25. <https://doi.org/10.30850/vrsn/2020/2/21-25>
12. *Сычев В.Г., Алиев А.М., Самойлов Л.Н.* Научные основы применения средств химизации при возделывании озимой пшеницы на дерново-подзолистых почвах Центрального Нечерноземья России (рекомендации). М.: ВНИИА, 2014. 44 с.
13. *Алиев А.М., Самойлов Л.Н., Цимбалист Н.И.* Эффективность комплексного применения средств химизации в Нечерноземной зоне (итоги 55 лет исследований в длительном полевом опыте) // Агрохимия. 2016. № 2. С. 20–30.
14. *Кудеяров В.Н.* Агрогеохимические циклы углерода и азота в современном земледелии России // Агрохимия. 2019. № 12. С. 3–15. <https://doi.org/10.1134/S000218811912007X>
15. *Шафран С.А., Кирпичников Н.А.* Научные основы прогнозирования содержания подвижного фосфора и калия в почвах // Агрохимия. 2019. № 4. С. 3–10. <https://doi.org/10.1134/S0002188119040112>
16. *Завалин А.А.* Биопрепараты, удобрения и урожай. М.: ВНИИА, 2005. 302 с.
17. *Осипова Л.В., Верниченко И.В., Ромодина Л.В., Курносова Т.Л., Быковская И.А.* Устойчивость ярового ячменя к абиотическому стрессу в зависимости от уровня минерального питания и предобработки семян селеном и кремнием // Агрохимия. 2019. № 7. С. 67–74. <https://doi.org/10.1134/S000218811907010X>
18. *Шулико Н.Н., Хамова О.Ф., Воронкова Н.А., Тукмачева Е.В., Дороненко В.Д.* Влияние комплексного применения удобрений и биопрепаратов на эффективное плодородие чернозема выщелоченного и продуктивность ячменя // Агрохимия. 2019. № 2. С. 13–20. <https://doi.org/10.1134/S0002188119020133>
19. *Тимаков А.Г., Мамеев В.В., Павловская Н.Е., Яковлева И.В.* Влияние биопрепаратов на фотосинтетическую деятельность растений ярового ячменя и структуру урожая // Агрохимия. 2019. № 8. С. 34–39. <https://doi.org/10.1134/S0002188119080106>
20. *Пищик В.Н., Бойцова Л.В., Воробьев Н.И.* Влияние гуминовых веществ на растения и ризосферные микроорганизмы в растительно-микробных системах // Агрохимия. 2019. № 3. С. 85–95. <https://doi.org/10.1134/S0002188119030116>
21. *Верниченко И.В.* Эндогенное образование нитратов в растительных тканях в различных условиях внешней среды и роль нитратной формы азота в жизни растений // Агрохимия. 2016. № 7. С. 81–95.
22. *Pinton R., Cesco S., Iacoletti G., Astolfi S., Varanini Z.* Modulation of  $\text{NO}_3^-$  uptake by water-extractable humic substances: involvement of root plasma membrane  $\text{H}^+$ -ATPase // Plant Soil. 1999. V. 215. № 2. P. 155–161.

23. *Panuccio M.R., Muscolo A., Nardi S.* Effect of humic substances on nitrogen uptake and assimilation in two species of pinus // *J. Plant Nutr.* 2001. V. 24. № 4–5. P. 693–704.
24. *Блэк К.А.* Растение и почва. М.: Колос, 1973. 504 с.
25. *Назарюк В.М., Калимуллина Ф.Р.* Фосфатное состояние эродированных лугово-черноземных почв и эффективность фосфорных удобрений в условиях Западной Сибири // *Агрохимия.* 2019. № 6. С. 3–13.  
<https://doi.org/10.1134/S0002188119060097>

## Efficiency of Complex Application of Mineral Fertilizers and Growth Stimulators on Spring Barley Crops (*Hordeum sativum* L.)

L. A. Piskareva<sup>a</sup> and A. Yu. Cheverdin<sup>a, #</sup>

<sup>a</sup> *Voronezh V. V. Dokuchaev Federal Agrarian Research Center  
quar. 5, 81, Docuchaev Institute, Talovaya district, Voronezh region 397463, Russia*

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

On the segregational chernozem of the Central Chernozem zone, the effectiveness of various doses of complete mineral fertilizer in the cultivation of spring barley was studied in a stationary experiment. The study was carried out in an 8-field crop rotation. It was found that the use of mineral fertilizers for the main treatment improved the indicators of effective fertility of ordinary chernozem. Their combined use with foliar fertilization of spring barley plants with growth stimulants reduced the content of nitrate nitrogen at small and medium doses of NPK. At the same time, under the same conditions, the availability of available phosphorus and potassium increased. There was an increase in the content of nitrogen and potassium in the vegetative mass of plants when using fertilizers. A clear varietal dependence of the content of mineral elements in plants is shown. The improvement of root nutrition conditions contributed to the increase in productivity and protein content in the grain. The inclusion of agricultural products of various spectrum of action with non-root top dressing in the technology of barley cultivation had a less significant effect on increasing the productivity of barley. The varietal features of barley in response to the conditions of mineral nutrition and applied agricultural products are noted.

*Key words:* mineral fertilizers, growth stimulants, spring barley, chernozem, effective fertility, productivity.

УДК 631.81:635.18

## КОМПЛЕКСНАЯ ОЦЕНКА РАЗЛИЧНЫХ СИСТЕМ УДОБРЕНИЯ В ЭКОЛОГИЧЕСКОМ ОВОЩЕВОДСТВЕ ОТКРЫТОГО ГРУНТА

© 2022 г. В. А. Борисов<sup>1</sup>, И. Ю. Васючков<sup>1</sup>, О. Н. Успенская<sup>1,\*</sup>

<sup>1</sup> *Всероссийский научно-исследовательский институт овощеводства –  
филиал Федерального научного центра овощеводства  
140153 д. Веряя, стр. 500, Московская обл., Раменский р-н, Россия*

\*E-mail: vniioh@yandex.ru

Поступила в редакцию 07.06.2021 г.

После доработки 11.08.2021 г.

Принята к публикации 15.10.2021 г.

В обеспечении населения большинства стран полноценной сельскохозяйственной продукцией существуют две противоположные тенденции. С одной стороны, для сохранения здоровья людей, в мире провозглашен переход к “органическому земледелию”, при котором запрещается применение химических удобрений, генно-модифицированных препаратов, регуляторов роста и пестицидов. С другой стороны, для обеспечения населения достаточным количеством продуктов питания массово применяют интенсивные технологии выращивания овощей, которые позволяют в разы увеличивать урожайность сельскохозяйственных культур. При этом используют минеральные удобрения, иногда измельченные до наночастиц, капельное орошение, фертигацию растворимыми комплексными удобрениями с микроэлементами и аминокислотами и т.п. В настоящее время в России полный переход к чисто органической системе удобрения при выращивании овощей затруднен из-за дефицита высококачественных органических удобрений. Применяют наравне с органической системой удобрения также минеральную, органо-минеральную, минерально-биологическую системы, эффективность которых оценивают величиной урожайности, товарным и биохимическим качеством продукции. В период с 1990 по 2021 г. отдел земледелия и агрохимии ВНИИО – филиал ФНЦО, в содружестве с опытными станциями института проводил исследования в Московской, Воронежской, Ростовской обл., Алтайском и Приморском краях, в основных почвенно-климатических зонах страны, на дерново-подзолистых, аллювиальных луговых, выщелоченных, типичных и обыкновенных черноземах, а также бурых лесных почвах, преимущественно на базе многолетних стационарных опытов. При этом осуществили сравнительную оценку существующих систем удобрения в условиях овоще-кормовых или овоще-сидеральных севооборотов. Выполнили детальные исследования плодородия почв, товарного и биохимического качества продукции, а в Московской обл. учитывали также лежкость овощей при зимнем хранении, поражение их болезнями и изменение основных показателей качества в процессе хранения. Такая детальная оценка различных систем удобрения в российском овощеводстве проведена впервые. На ее основе разработана органо-минерально-биологическая система удобрения овощных культур (НРК + навоз + сидераты), которая позволила дать оценку произведенной продукции по расширенному списку показателей. Кроме урожайности, товарного и биохимического качества учитывали устойчивость продукции к болезням и ее лежкость в период зимнего хранения. Предложенная система удобрения обеспечила увеличение продуктивности овоще-сидерального севооборота на 36–54%, улучшение агрохимических и биологических свойств почвы (плотности, структурного состояния, содержания гумуса, питательных элементов, тяжелых металлов, биологической активности), снижение заболеваемости овощей при хранении. За счет снижения потерь продукции от болезней при зимнем хранении эффективность органо-минерально-биологической системы удобрения может вырасти на 10–14%. Органо-минерально-биологическая система удобрения овощных культур гарантирует экологическую чистоту произведенных овощей, а также охрану плодородия почв и окружающей среды от загрязнения нитратами и другими токсикантами.

*Ключевые слова:* овощи, системы удобрения, органо-минерально-биологическая система, плодородие, качество овощей, лежкость овощей.

DOI: 10.31857/S0002188122010045

### ВВЕДЕНИЕ

В начале XXI века обострилась мировая ситуация обеспечения населения большинства стран

мира полноценной сельскохозяйственной продукцией. Стремительное увеличение населения планеты при значительном ухудшении экологи-

ческой обстановки в мире привели к двум взаимно противоположным тенденциям.

С одной стороны, наиболее богатая часть населения Европы и Северной Америки провозгласила переход к “органическому земледелию”, при котором запрещается применение химических удобрений, генно-модифицированных организмов, регуляторов роста и пестицидов. С другой стороны, массово применяются интенсивные технологии с использованием измельченных до наночастиц удобрений, новых гибридов, капельного орошения, фертигации растворимыми комплексными удобрениями с микроэлементами и аминокислотами, которые позволяют в разы увеличить урожайность сельскохозяйственных культур, особенно овощей. Химическая промышленность России в этой ситуации поставляет в страны с интенсивным земледелием до 90% произведенных минеральных удобрений, оставляя себе только малую часть, несмотря на ухудшение плодородия собственных пахотных земель из-за дефицита удобрений [1–5].

В российском овощеводстве до настоящего времени отсутствуют утвержденные нормативы производства органической продукции. Частично разработана технология получения экологически безопасных овощей, отвечающих требованиям продуктов здорового питания [6, 7].

До настоящего времени оценку произведенной продукции, полученной при применении всех систем удобрения сельскохозяйственных культур, проводили по величине урожайности, товарному и биохимическому качеству продукции.

Отдел земледелия и агрохимии ВНИИО – филиала ФНЦО с 1990 по 2020 г. проводил многолетние стационарные и краткосрочные опыты по изучению различных систем удобрения овощных культур в различных почвенно-климатических зонах страны. Была разработана органо-минерально-биологическая система удобрения овощных культур, которая позволяет дать комплексную оценку произведенной продукции по расширенному списку показателей и сравнить ее с другими системами удобрения. Кроме урожайности, товарного и биохимического качества, необходимо учитывать устойчивость продукции к болезням и ее лежкость в период зимнего хранения. Такая комплексная оценка гарантирует экологическую чистоту произведенных овощей, а также охрану плодородия почв и окружающей среды от загрязнения нитратами и другими токсикантами [7–9]. Предлагаемая детальная оценка различных систем удобрения в российском овощеводстве проведена впервые и позволяет сделать более на-

дежные прогнозы их эффективности. Цель работы – комплексная оценка различных систем удобрения овощных культур для получения высококачественной и лежкой продукции при сохранении высокого уровня плодородия почв.

## МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследование отдела земледелия и агрохимии Всероссийского НИИ овощеводства (с 2016 г. – филиал ФНЦО) было проведено на дерново-подзолистых окультуренных аллювиальных луговых почвах в Московской обл., Воронежской ООС ВНИИО – на типичных черноземах Воронежской обл., Бирючукской ООС ВНИИО – на обыкновенных черноземах Ростовской обл., Западно-Сибирской ООС ВНИИО – на выщелоченных черноземах Алтайского края, Приморской ООС ВНИИО – на бурых лесных почвах Приморского края, т.е. в основных почвенно-климатических зонах страны. Агрохимическая характеристика почв представлена в табл. 1. Работы осуществляли на базе многолетних стационарных и краткосрочных опытов под методическим руководством ВНИИО.

В этом исследовании провели сравнительную оценку минеральной, органической и органо-минеральной систем удобрения овощных культур в условиях овоще-кормовых или овоще-сидеральных севооборотов. Обязательно проводили детальные анализы плодородия почв, товарного и биохимического качества продукции, а в Московской обл. также учитывали лежкость овощей при зимнем хранении, поражение их болезнями и изменение основных показателей качества в процессе хранения. Более подробно методика исследования описана в монографии [7].

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты учета урожайности овощных культур в севооборотах различных почвенно-климатических зон опытных станций ВНИИО за последние 20 лет (табл. 2) показали, что органическая система удобрения увеличивала урожайность на 19–47, минеральная – на 21–47, органо-минеральная – на 19–53%, но наиболее перспективной была органо-минерально-биологическая система (NPK + + навоз + сидераты), которая не только увеличивала продуктивность овоще-сидерального севооборота (на 36–54%), но и оказывала благоприятное действие на агрохимические и биологические свойства почвы.

Обобщение данных многолетних стационаров в Московской, Ростовской обл. и Приморском

**Таблица 1.** Агрохимическая характеристика опытных полей ВНИИО и опытных станций ВНИИО

| Область, край    | Наименование почвы                 | Гранулометрический состав | Мощность гумусового горизонта, см | Средневзвешенные агрохимические свойства |       |            |                               |                  |
|------------------|------------------------------------|---------------------------|-----------------------------------|------------------------------------------|-------|------------|-------------------------------|------------------|
|                  |                                    |                           |                                   | pH <sub>KCl</sub> , ед. рН               | Гумус | Общий азот | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | K <sub>2</sub> O |
|                  |                                    |                           |                                   |                                          |       |            |                               |                  |
| Московская обл.  | Дерново-подзолистая, окультуренная | Средний суглинок          | 25–27                             | 6.2                                      | 2.1   | 0.11       | 210–250                       | 150–160          |
|                  | Аллювиальная луговая насыщенная    |                           | 70–80                             | 6.9                                      | 3.6   | 0.22       | 200–250                       | 110–170          |
| Алтайский край   | Выщелоченный чернозем              | Тяжелый суглинок          | 80–100                            | 6.4                                      | 4.6   | 0.26       | 270–350                       | 190–280          |
| Воронежская обл. | Типичный чернозем                  |                           | 100–120                           | 6.2                                      | 6.6   | 0.38       | 190–210                       | 110–160          |
| Ростовская обл.  | Обыкновенный чернозем              | Глинистая                 | 60–80                             | 6.8                                      | 3.5   | 0.21       | 60–100                        | 250–600          |
| Приморский край  | Бурая лесная                       |                           | 22–25                             | 4.8                                      | 5.5   | 0.30       | 60–100                        | 140–180          |

**Таблица 2.** Действие основного удобрения и подкормок на урожайность и качество моркови сорта Лосиноостровская 13 (2015, 2017 гг.)

| Почва (регион)                                      | Урожайность моркови при разных системах удобрения |              |             |                   |                                |                                      |
|-----------------------------------------------------|---------------------------------------------------|--------------|-------------|-------------------|--------------------------------|--------------------------------------|
|                                                     | без удобрений (контроль)                          | органическая | минеральная | органоминеральная | органоминерально-биологическая | <i>HCP</i> <sub>05</sub> урожайности |
| Дерново-подзолистая окультуренная (Московская обл.) | <u>33.5</u>                                       | <u>39.9</u>  | <u>42.3</u> | <u>42.9</u>       | –                              | <u>3.3</u>                           |
|                                                     | 100                                               | 119          | 126         | 128               | –                              | –                                    |
| Аллювиальная луговая (Московская обл.)              | <u>44.4</u>                                       | <u>54.8</u>  | <u>63.4</u> | <u>66.6</u>       | <u>68.2</u>                    | <u>3.2</u>                           |
|                                                     | 100                                               | 123          | 143         | 150               | 154                            | –                                    |
| Чернозем типичный (Воронежская обл.)                | <u>32.5</u>                                       | <u>38.6</u>  | <u>39.2</u> | <u>39.1</u>       | –                              | <u>4.1</u>                           |
|                                                     | 100                                               | 119          | 121         | 120               | –                              | –                                    |
| Чернозем обыкновенный (Ростовская обл.)             | <u>34.4</u>                                       | –            | <u>44.1</u> | <u>46.2</u>       | <u>49.6</u>                    | <u>3.6</u>                           |
|                                                     | 100                                               | –            | 128         | 134               | 144                            | –                                    |
| Чернозем выщелоченный (Алтайский край)              | <u>31.8</u>                                       | <u>46.7</u>  | <u>46.9</u> | <u>48.5</u>       | –                              | <u>2.8</u>                           |
|                                                     | 100                                               | 147          | 147         | 153               | –                              | –                                    |
| Бурая лесная (Приморский край)                      | <u>30.3</u>                                       | –            | <u>32.0</u> | <u>36.0</u>       | <u>41.3</u>                    | <u>3.9</u>                           |
|                                                     | 100                                               | –            | 106         | 119               | 136                            | –                                    |
| Средние                                             | <u>34.5</u>                                       | –            | <u>44.7</u> | <u>46.6</u>       | –                              | <u>3.5</u>                           |
|                                                     | 100                                               | 127          | 130         | 135               | 144                            | –                                    |

Примечание. Над чертой – т/га, под чертой – % к контролю.

крае показало, что органическая, органоминеральная и органоминерально-биологическая системы удобрения способствовали существенному улучшению агрохимических и биологических

свойств почв. Выяснено, что органическая (навоз) и органоминерально-биологическая (NPK + навоз + сидераты) системы удобрения существенно снижали плотность почвы, улучшали ее

**Таблица 3.** Влияние различных систем удобрения на агрофизические, агрохимические и биологические свойства аллювиальной луговой почвы [6]

| Система удобрения                             | Плотность, г/см <sup>3</sup> | Коэффициент структурности | pH <sub>KCl</sub> | Гумус, % | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (по Чирикову), мг/100 г | K <sub>2</sub> O (по Масловой), мг/100 г | Потери азота от вымывания, % | Биологическая активность (% разложения льняной ткани) |
|-----------------------------------------------|------------------------------|---------------------------|-------------------|----------|-------------------------------------------------------|------------------------------------------|------------------------------|-------------------------------------------------------|
| Без удобрения                                 | 1.15                         | 2.96                      | 6.90              | 3.29     | 14.0                                                  | 13.3                                     | –                            | 56                                                    |
| Минеральная                                   | 1.14                         | 2.00                      | 6.90              | 3.24     | 18.5                                                  | 17.0                                     | 8.2                          | 53                                                    |
| Минерально-биологическая (органо-минеральная) | 1.10                         | 2.90                      | 6.93              | 3.32     | 21.4                                                  | 14.1                                     | 2.6                          | 70                                                    |
| Органическая                                  | 1.01                         | 3.80                      | 6.86              | 3.57     | 17.9                                                  | 16.2                                     | 3.3                          | 64                                                    |
| Органо-минерально-биологическая               | 1.02                         | 3.99                      | 6.89              | 3.63     | 22.3                                                  | 17.3                                     | 2.6                          | 73                                                    |

структурное состояние, сохраняли содержание гумуса на оптимальном уровне, повышали содержание подвижного фосфора и обменного калия, а также способствовали повышению биологической активности почвы (по степени разложения льняной ткани) (табл. 3).

Полученные многолетние экспериментальные данные указали, что только органо-минеральная и органо-минерально-биологическая системы удобрения овощных культур могут одновременно увеличивать урожайность, повышать качество продукции и способствовать высокой сохранности овощей в зимний период. Этому же могло способствовать применение природных регуляторов роста растений, а также таких видов органических удобрений, как древесные опилки, сидераты, солома зерновых культур. Следует отметить, что эти органические удобрения способны существенно изменять баланс гумуса и питательных элементов, а также существенно снижать потери питательных элементов, особенно нитратного азота, от вымывания в грунтовые воды, т.е. они выполняли важную экологическую функцию по защите окружающей среды от нитратного загрязнения почв и водоемов.

В 25-летнем стационарном опыте ВНИИО на аллювиальных луговых почвах выяснено, что при длительном применении одних минеральных удобрений в научно обоснованных дозах не происходило существенного накопления тяжелых металлов (ТМ) в почве. То же подтвердилось при использовании чисто органической системы удобрения (навоз 25 т/га ежегодно). Комплексная органо-минерально-биологическая си-

стема (NPK + навоз + сидераты) способствовала снижению содержания кадмия, цинка, марганца, меди, свинца, то есть всех основных ТМ в почве, что еще раз свидетельствовало о перспективности ее использования в овощных севооборотах. Следует отметить положительную роль таких местных органических удобрений, как солома зерновых культур, в снижении содержания марганца и свинца, древесных опилок – в уменьшении в почве содержания кадмия, цинка, марганца и свинца (табл. 4).

Значительную часть урожая овощной продукции, особенно в центральной и северной части нашей страны, закладывают на хранение до 5–6 мес., поэтому было важно проследить, как различные системы удобрения влияли на лежкость и болезнеустойчивость овощей. В нашем исследовании выяснена положительная роль фосфорно-калийных, а также органических удобрений на сохраняемость и болезнеустойчивость овощей (табл. 5). Выяснено, что использование сидеральных культур при прямом действии, а также в последствии оказывало существенное влияние на снижение заболеваемости овощей при хранении, возможно, за счет поглощения избытка азота сидеральной массой. Например, опыты с капустой поздней белокочанной показали, что фосфорно-калийные удобрения снижали заболеваемость кочанов точечным некрозом по сравнению с неудобренным вариантом в 3 раза, а азотные удобрения оказывали прямо противоположное действие, увеличивая количество больных кочанов в 2 раза по сравнению с вариантами без азота. При применении повышенных доз минеральных удобрений (2 NPK) за-

**Таблица 4.** Влияние 25-летнего применения различных удобрений на содержание тяжелых металлов в аллювиальной луговой почве [7]

| Система удобрения     | Суммарно внесено, т/га |       |         | Содержание в почве, мг/кг |      |     |      |      |
|-----------------------|------------------------|-------|---------|---------------------------|------|-----|------|------|
|                       | НПК                    | навоз | местные | Cd                        | Zn   | Mn  | Cu   | Pb   |
| Без удобрений         | –                      | –     | –       | 0.19                      | 21.9 | 156 | 10.5 | 7.65 |
| НПК                   | 19.4                   | –     | –       | 0.20                      | 16.3 | 135 | 14.4 | 4.37 |
| Навоз                 | –                      | 250   | –       | 0.23                      | 16.8 | 132 | 12.8 | 1.52 |
| НПК + сидерат         | 19.4                   | 150   | –       | 0.17                      | 12.4 | 128 | 12.4 | 0.00 |
| НПК + солома          | 19.4                   | –     | 20      | 0.19                      | 15.8 | 125 | 14.3 | 1.14 |
| НПК + опилки          | 19.4                   | –     | 10      | 0.10                      | 18.1 | 138 | 11.0 | 0.00 |
| НПК + навоз + сидерат | 19.4                   | 250   | 150     | 0.14                      | 13.6 | 135 | 8.8  | 1.00 |
| Навоз + сидерат       | –                      | 250   | 150     | 0.16                      | 12.1 | 124 | 8.9  | 0.00 |

**Таблица 5.** Влияние систем удобрения овощных культур на сохраняемость и болезнеустойчивость овощных культур [7]

| Удобрения                             | Капуста белокочанная |                 | Морковь       |                    | Свекла столовая |                    |
|---------------------------------------|----------------------|-----------------|---------------|--------------------|-----------------|--------------------|
|                                       | сохраняемость        | точечный некроз | сохраняемость | потери от болезней | сохраняемость   | потери от болезней |
|                                       | %                    |                 |               |                    |                 |                    |
| Без удобрений                         | 75.9                 | 31.5            | 85.1          | 7.3                | 80.8            | 9.9                |
| ПК                                    | 80.0                 | 10.5            | 85.1          | 8.6                | 86.2            | 7.0                |
| НПК                                   | 76.8                 | 20.0            | 85.5          | 7.8                | 81.9            | 10.0               |
| 2 НПК                                 | 71.6                 | 63.1            | 84.5          | 8.0                | 83.1            | 10.0               |
| Навоз                                 | 77.8                 | 25.1            | 79.6          | 12.5               | 86.8            | 7.6                |
| НПК + солома                          | 80.1                 | 12.9            | –             | –                  | –               | –                  |
| НПК + опилки                          | 81.2                 | 19.1            | –             | –                  | –               | –                  |
| НПК + сидераты                        | 79.3                 | 28.1            | 89.2          | 4.3                | 85.9            | 8.6                |
| НПК + сидераты + навоз                | 76.0                 | 30.8            | 83.2          | 9.3                | 81.8            | 10.6               |
| НПК + сидераты +<br>+ навоз + известь | 75.8                 | –               | 85.3          | 7.8                | 81.1            | 10.9               |

болевание кочанов некрозом увеличивалось в 2 с лишним раза по сравнению с вариантами без удобрений. Использование соломы и древесных опилок существенно снижали поражаемость капусты точечным некрозом.

В опытах со столовой морковью выяснено, что минеральные удобрения в оптимальном соотношении (N90P60K180) не оказывали существенного влияния на сохраняемость корнеплодов, а применение навоза вызывало большие потери моркови от болезней, особенно от белой гнили (склеротинии). Использование сидератов существенно снижало потери.

В исследованиях со столовой свеклой также было выявлено положительное действие фосфорно-калийных удобрений и сидератов на сохраняемость и болезнеустойчивость корнеплодов свек-

лы при длительном зимнем хранении, а применение навоза в овоще-сидеральном севообороте не оказывало отрицательного влияния на сохраняемость и болезнеустойчивость корнеплодов столовой свеклы.

При оценке эффективности систем удобрения важно, особенно для лежких овощей, проследить весь цикл продуктивности этих систем с учетом урожайности, выхода товарной продукции не только после уборки урожая, но и после хранения.

В овоще-сидеральном севообороте наибольшая продуктивность капусты в стационарных опытах была отмечена при интенсивном применении минеральных удобрений (750(НПК)), что позволило получить урожайность 78 т/га (47% прибавки в среднем в севообороте), при этом орга-

**Таблица 6.** Эффективность различных систем удобрения в овоще-сидеральном севообороте на аллювиальной луговой почве Московской обл. [7]

| Система удобрения в севообороте                                 | Урожайность культур, т/га |                    |         |                    | Комплексная оценка систем удобрений в севообороте |     |                          |     |                             |     |
|-----------------------------------------------------------------|---------------------------|--------------------|---------|--------------------|---------------------------------------------------|-----|--------------------------|-----|-----------------------------|-----|
|                                                                 | капуста<br>среднепоздняя  | капуста<br>поздняя | морковь | свекла<br>столовая | средняя<br>урожайность<br>овощей                  |     | стандартная<br>продукция |     | продукция<br>после хранения |     |
|                                                                 |                           |                    |         |                    | т/га                                              | %   | т/га                     | %   | т/га                        | %   |
| Без удобрений                                                   | 62.8                      | 49.6               | 60.7    | 38.6               | 52.9                                              | 100 | 44.4                     | 100 | 34.9                        | 100 |
| Минеральная (NPK <sub>расч</sub> )                              | 84.2                      | 82.6               | 68.8    | 54.1               | 72.4                                              | 137 | 63.4                     | 143 | 49.7                        | 142 |
| Интенсивная (2 NPK)                                             | 91.2                      | 90.9               | 68.2    | 61.6               | 78.0                                              | 147 | 66.5                     | 150 | 51.0                        | 146 |
| Органическая (навоз)                                            | 72.0                      | 65.6               | 68.4    | 46.0               | 63.0                                              | 119 | 54.9                     | 124 | 44.0                        | 126 |
| Минерально-биологическая (органо-минеральная), (NPK + сидераты) | 85.8                      | 85.1               | 69.7    | 58.2               | 74.7                                              | 141 | 66.6                     | 150 | 53.1                        | 152 |
| Минерально-органо-биологическая (NPK + навоз + сидераты)        | 87.3                      | 89.2               | 71.8    | 59.0               | 76.8                                              | 145 | 68.3                     | 154 | 54.5                        | 156 |

ническая система (навоз в среднем 36.5 т/га) существенно уступала (прибавка урожая 19%) (табл. 6).

Внесение один раз за ротацию севооборота навоза (50 т/га) и заплата сидератов (30 т/га) позволила увеличить общую урожайность на фоне минеральных удобрений на 4, стандартную продукцию – на 7%. При учете сохранности овощей эта прибавка урожая возросла до 10%, а при комплексном использовании минеральных удобрений, сидератов, навоза, а также известки – до 10–14%.

Система удобрения с повышенным применением минеральных удобрений существенно уступала органо-минерально-биологической по выходу продукции после хранения за счет больших потерь продукции от болезней (на 8–10%).

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, при использовании различных систем удобрения в овощных севооборотах следует оценивать их эффективность по продуктивности, товарному и биохимическому качеству, лежкости поздних овощей в период зимнего хранения, а также по влиянию этих систем на агрофизические, агрохимические и биологические свойства почвы. Только такая комплексная оценка может позволить правильно выявить действие различных систем удобрения в овощеводстве на экологическую безопасность продукции и ее питательную ценность.

Показано, что наиболее эффективной системой удобрения в овощеводстве можно считать

разработанную нами органо-минерально-биологическую систему (NPK + навоз + сидераты), которая обеспечивала увеличение продуктивности овоще-сидерального севооборота на 36–54%, улучшение агрохимических и биологических свойств почвы (снижение плотности, улучшение ее структурного состояния, сохранение содержания гумуса на оптимальном уровне, повышение содержания подвижного фосфора и обменного калия, снижение содержания кадмия, цинка, марганца, меди, свинца, повышение биологической активности (по степени разложения льняной ткани) с 56 до 64–73%, а также снижение заболеваемости овощей при хранении, которое происходит, возможно, за счет поглощения избытка азота сидеральной массой. За счет снижения потерь продукции от болезней при зимнем хранении эффективность минерально-органо-биологической системы удобрения могла вырасти на 10–14%.

Предложенная комплексная органо-минерально-биологическая система удобрения гарантирует экологическую чистоту произведенных овощей, а также охрану плодородия почв и окружающей среды от загрязнения нитратами и другими токсикантами.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Борисов В.А. Рациональная система применения удобрений в интенсивном овощеводстве на пойменных почвах центральных районов Нечерно-

- земной зоны: Автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук. Л., 1990. 37 с.
2. Литвинов С.С. Научные основы современного овощеводства. М.: РАСХН, 2008. 776 с.
  3. Гиль Л.С., Дьяченко И.И., Пашковский А.И., Сулима Л.Г. Современное промышленное производство овощей и картофеля с использованием систем капельного полива. Ж.: ЧП "Рута", 2007. 390 с.
  4. Литвинов С.С., Шатилов М.В. Эффективность овощеводства России. М.: ВНИИО, 2015. 140 с.
  5. Круг Г. Овощеводство (пер. с нем. Леунова В.И.). М.: Колос, 2000. 140 с.
  6. Черников В.А., Соколов О.А. Экологически безопасная продукция. М.: Колос, 2009. 438 с.
  7. Борисов В.А. Система удобрения овощных культур. М.: Росинформагротех, 2016. 394 с.
  8. Теньков А.Л. Повышение урожайности, качества овощей и снижение в них содержания тяжелых металлов при длительном применении удобрений на аллювиальных луговых почвах: Автореф. дис. ... с.-х. наук. М., 2005. 21 с.
  9. Борисов В.А., Масловский С.А., Солдатенко А.В., Замятина И.Е. Биологические и технологические аспекты хранения овощей и плодов. М.: РГАУ–МСХА, 2019. 232 с.

## Comprehensive Assessment of Various Fertilizer Systems in Ecological Vegetable Growing of Open Ground

V. A. Borisov<sup>a</sup>, I. Y. Vasyuchkov<sup>a</sup>, and O. N. Uspenskay<sup>a,#</sup>

<sup>a</sup> All-Russian Scientific Research Institute of Vegetable Growing – branch of the Federal Scientific Center of Vegetable Growing d. Vereya 500, Moscow region, Ramenskiy district 140153, Russia

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

There are two opposite trends in providing the population of most countries with full-fledged agricultural products. On the one hand, in order to preserve human health, the transition to "organic farming" has been proclaimed in the world, in which the use of chemical fertilizers, genetically modified drugs, growth regulators and pesticides is prohibited. On the other hand, in order to provide the population with a sufficient number of food products, intensive vegetable growing technologies are massively used, which make it possible to significantly increase the yield of agricultural crops. At the same time, mineral fertilizers are used, sometimes crushed to nanoparticles, drip irrigation, fertigation with soluble complex fertilizers with trace elements and amino acids, etc. Currently, in Russia, a complete transition to a purely organic fertilizer system for growing vegetables is difficult due to a shortage of high-quality organic fertilizers. Mineral, organo-mineral, mineral-biological systems are also used along with the organic fertilizer system, the effectiveness of which is assessed by the amount of yield, commodity and biochemical quality of products. In the period from 1990 to 2021, the Department of Agriculture and Agrochemistry of VNIIO, a branch of the FSCVG, in cooperation with the experimental stations of the Institute conducted research in the Moscow, Voronezh, Rostov region, Altai and Primorsky Territories, in the main soil and climatic zones of the country, on sod-podzolic, alluvial meadow, leached, typical and ordinary chernozems, as well as brown forest soils, mainly on the basis of long-term stationary experiments. At the same time, a comparative assessment of existing fertilizer systems in the conditions of vegetable-feed or vegetable-sideral crop rotations was carried out. Detailed studies of soil fertility, commercial and biochemical quality of products were carried out, and in the Moscow region, the keeping quality of vegetables during winter storage, their diseases and changes in the main quality indicators during storage were also taken into account. Such a detailed assessment of various fertilizer systems in Russian vegetable growing was carried out for the first time. On its basis, an organo-mineral-biological system for fertilizing vegetable crops (NPK + manure + siderates) was developed, which made it possible to evaluate the produced products according to an expanded list of indicators. In addition to yield, commodity and biochemical quality, the resistance of products to diseases and their keeping quality during winter storage were taken into account. The proposed fertilizer system provided an increase in the productivity of the vegetable-sideral crop turnover by 36–54%, improved agrochemical and biological properties of the soil (density, structural condition, humus content, nutrient elements, heavy metals, biological activity), reduced the morbidity of vegetables during storage. By reducing the loss of products from diseases during winter storage, the efficiency of the organo-mineral-biological system of fertilizers can increase by 10–14%. The organo-mineral-biological fertilization system of vegetable crops guarantees the ecological purity of the vegetables produced, as well as the protection of soil fertility and the environment from contamination with nitrates and other toxicants.

*Key words:* vegetables, fertilizer systems, organo-mineral-biological system, fertility, vegetable quality, vegetable keeping.

УДК 633.71:631.811.98:631.547.2:631.559

## ВЛИЯНИЕ РЕГУЛЯТОРА РОСТА ЗЕРЕБРА АГРО С ФУНГИЦИДНЫМИ СВОЙСТВАМИ НА РОСТОВЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ, ПРОДУКТИВНОСТЬ ТАБАКА И КАЧЕСТВО СЫРЬЯ

© 2022 г. Е. М. Тютюнникова<sup>1</sup>, Т. В. Плотникова<sup>1,\*</sup>

<sup>1</sup>Всероссийский научно-исследовательский институт табака, махорки и табачных изделий  
350072 Краснодар, ул. Московская, 42, Россия

\*E-mail: agrotobacco@mail.ru

Поступила в редакцию 11.03.2021 г.

После доработки 18.05.2021 г.

Принята к публикации 15.10.2021 г.

Изучили эффективность применения регулятора роста растений Зеребра агро при возделывании табака. Замачивание семян в 0.00001%-ном водном растворе препарата в течение 3-х ч увеличивало массу проростков на 27%. Посев обработанных семян в защищенный грунт, содержащий 50% оптимально необходимого содержания питательных элементов N35P30K35, с последующей обработкой регулятором роста табачной рассады в фазах развития “ушки” и “годная к высадке” увеличивал длину растений до точки роста на 18, до конца вытянутых листьев – на 15, диаметр стебля – на 31, массу стеблей – на 80, корневой системы – на 85%. Выход стандартной рассады с единицы парниковой площади к оптимальному сроку высадки в поле превысил контроль на 37%. Отмечено отсутствие стеблекорневых инфекций на фоне обработки растений. За счет “продолженного эффекта качественной рассады” в полевых условиях наблюдали усиление темпов роста табака в начальный период на 17, сопровождавшийся увеличением площади листьев на 21% и повышением урожайности культуры на 8.2 ц/га (на 34%). Химический состав табачного сырья показал увеличение содержания водорастворимых углеводов на 67%, что значительно улучшило курительные достоинства пищевкусового продукта.

**Ключевые слова:** табак, семена, рассада, регулятор роста растений Зеребра агро, урожайность, качество табачного сырья.

**DOI:** 10.31857/S0002188122010100

### ВВЕДЕНИЕ

В условиях интенсивного производства сельскохозяйственных культур и возросшей антропогенной нагрузки на окружающую среду внедрение в технологию выращивания табака новых экологически безопасных регуляторов роста растений является приоритетной задачей отрасли.

Достичь данных результатов возможно при применении регулятора роста Зеребра агро, основой которого является коллоидное серебро с выраженным фитопатогенным эффектом (коллоидное серебро 500 мг/л + полигексаметиленбигуанид гидрохлорид 100 мг/л) [1]. Пролонгированный фунгицидный эффект препарата достигается наночастицами серебра, которые подвергаются медленному (в течение 1–2-х мес.) окислительному растворению в непосредственной близости от бактерий и грибов, вызывая их гибель путем нарушения проницаемости клеточной мембраны и метаболизма микробной клетки [2, 3]. Также коллоидное серебро увеличивает количество эн-

догенных ауксинов, гормонов роста в тканях растений за счет ингибирования ферментов, отвечающих за их окисление. Благодаря этому формируется мощная корневая система, усиливается рост и развитие растений [4].

Все эти положительные свойства препарата Зеребра агро проявляются при его применении, о чем свидетельствуют прибавки к урожаю: озимых зерновых – до 44.4, яровых зерновых – до 22.2, подсолнечника – до 11.2% [5]. Отмечена значительная (14.0 т/га) прибавка урожая зеленой массы рапса при внесении регулятора Зеребра агро (в дозе 200 мл/га) на фоне N60P60 при урожае в контроле 17.6 т/га [6].

Повышение урожайности культур может быть достигнуто не только при проявлении ростстимулирующего действия, а также в результате подавления препаратом активности микопатогенной инфекции. Есть данные, что профилактическая обработка или при фактическом проявлении болезни снижает пораженность яровой пшеницы

бурой ржавчиной на 30–52, мучнистой росой – на 20–78% [7, 8]. Отмечено снижение зараженности растений подсолнечника белой гнилью на 69–82% при предпосевной комплексной обработке семян в электромагнитном поле переменного тока промышленной частоты высокого напряжения с регулятором роста Зеребра агро [9].

Имеются сведения об улучшении качественных показателей зерна яровой пшеницы при некорневой подкормке регулятором Зеребра агро растений в фазе бутонизации. При этом наибольшее (13.8 и 25.7%) содержание сырого протеина и клейковины определено в варианте с дозой препарата 50 мл/га, в контроле данные показатели были равны 13.3 и 24.8% соответственно [10]. Применение препарата в дозе 75 мл/т (обработка семян) + 120 мл/га + 120 мл/га (опрыскивание растений) на фоне азотных и фосфорных удобрений обеспечило повышение содержания белка в семенах сои на 2.7, масла – на 2.2% [3].

Исходя из вышесказанного, использование регулятора роста растений Зеребра агро при выращивании табака является безопасной альтернативой минеральным удобрениям, фунгицидам.

В этой связи цель работы – установление оптимальной дозы регулятора роста Зеребра агро и оценка его влияния на снижение поражения стеблекорневыми инфекциями, биометрические параметры рассады, урожайность и качество продукции с возможностью широкого применения препарата при выращивании табака.

## МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследование по определению эффективности влияния регулятора роста Зеребра агро на табак на базе лаборатории агротехнологии ВНИИТТИ проводили в 2018–2019 гг. Влияние регулятора роста Зеребра агро на посевные свойства семян табака сорта Юбилейный новый 142 изучали в лабораторных условиях в широком диапазоне концентраций: от 1–0.00001% и 0.5–0.00005%, время экспозиции – 1, 3, 6, 12 ч. Контролем служили семена, замоченные в воде [11]. В результате были установлены 2 наиболее эффективные концентрации препарата – 0.00001% (3 ч) и 0.0001% (1 ч), которые впоследствии использовали для проведения опрыскивания рассады табака в парниковый период в фазах “ушки” и “годная к высадке рассада” (перед выборкой).

В рассадный период препарат Зеребра агро испытывали на делянках с учетной площадью 1 м<sup>2</sup>, в четырехкратной повторности, расположение делянок рендомизированное. Семена перед посевом замачивали в водных растворах препарата

0.00001% (3 ч) и 0.0001% (1 ч). При появлении на семенах ≈60% ростков в виде белых точек их высевали в парники из расчета 0.3 г/м<sup>2</sup>. Посев и выращивание рассады проводили в соответствии с методическим руководством по проведению агротехнических опытов с табаком в рассадниках [12]. Защищенный грунт с 50%-ной обеспеченностью основными питательными элементами от оптимально необходимого количества (N35P30K35) создавали за счет донесения простых минеральных удобрений на основании агрохимических анализов.

Обработку регулятором Зеребра агро в парнике осуществляли в фазах “ушки” и “годная к высадке рассада” – перед выборкой с помощью лейки в количестве 1 л/м<sup>2</sup> до полного смачивания наземной части растений 0.00001% и 0.0001%-ными водными растворами препарата.

В рассадный период определяли качество технически зрелой рассады по следующим показателям: количество листьев, длина рассады до точки роста и до конца вытянутых листьев, толщина стебля у корневой шейки, сырая масса 25 стеблей растений, сырая масса корней 25 растений, выход стандартной рассады с единицы парниковой площади, поражение растений основными болезнями (рассадными гнилями).

Полевые опыты проводили на опытно-селекционном участке института. Почва – западно-предкавказский чернозем выщелоченный. Повторность четырехкратная, густота стояния растений 70 × 25 см. В поле варианты были расположены в строгом соответствии с парниковым периодом. Закладка опыта, фенологические наблюдения, измерения, учеты проводили в соответствии с методическими указаниями по проведению полевых агротехнических опытов с табаком (*Nicotiana tabacum* L.) [13]. Для характеристики интенсивности роста табака под влиянием регулятора Зеребра агро в поле осуществляли измерение высоты растений через 30 сут после посадки, в фазе интенсивного роста и при цветении 70–85% растений. Для определения средней площади листа на каждой делянке отбирали 50 типичных листьев, каждый лист измеряли по длине от стебля до верхушки пластинки и по ширине – в наиболее широком месте. Площадь листа определяли по таблицам Губенко [14]. Затем взвешивали их, закрепляли на шнуры и высушивали до воздушно-сухого состояния, определяли массу сухих листьев. Далее коэффициент усушки сырья применяли для расчета урожайности табака с учетной площади делянки (28 и 14 м<sup>2</sup>) в сухом весе. При пересчете урожая в варианте на 1 га использовали количество растений в варианте и пересчитывали из расчета 55 тыс. растений/га. Урожай убирали вручную, ломкой, по мере созревания листьев.

**Таблица 1.** Влияние регулятора роста Зеребра агро на массу проростков семян табака (2018 г.)

| Вариант (концентрация раствора регулятора роста) | Масса 12-суточных проростков, г/100 проростков |       |       |       |
|--------------------------------------------------|------------------------------------------------|-------|-------|-------|
|                                                  | время экспозиции, ч                            |       |       |       |
|                                                  | 1                                              | 3     | 6     | 12    |
| Контроль (H <sub>2</sub> O)                      | 0.129                                          | 0.129 | 0.129 | 0.129 |
| 1%                                               | 0.125                                          | 0.126 | 0.102 | 0.110 |
| 0.1%                                             | 0.135                                          | 0.145 | 0.111 | 0.102 |
| 0.01%                                            | 0.120                                          | 0.155 | 0.111 | 0.109 |
| 0.001%                                           | 0.118                                          | 0.147 | 0.128 | 0.110 |
| 0.0001%                                          | 0.147                                          | 0.141 | 0.125 | 0.134 |
| 0.00001%                                         | 0.141                                          | 0.163 | 0.123 | 0.114 |
| 0.5%                                             | 0.130                                          | 0.130 | 0.102 | 0.106 |
| 0.05%                                            | 0.125                                          | 0.122 | 0.096 | 0.104 |
| 0.005%                                           | 0.134                                          | 0.120 | 0.106 | 0.106 |
| 0.0005%                                          | 0.129                                          | 0.114 | 0.135 | 0.117 |
| 0.00005%                                         | 0.114                                          | 0.127 | 0.104 | 0.112 |
| HCP <sub>05</sub>                                | 0.010                                          | 0.014 | 0.012 | 0.011 |

В полученном табачном сырье в лаборатории химии и контроля качества определяли количество никотина, белков, углеводов [15, 16]. Достоверность полученной прибавки к урожаю рассчитывали методами статистической обработки результатов по [17] с применением компьютерной программы однофакторного дисперсионного анализа *Microsoft Excel*.

Погодные условия 2-х вегетационных сезонов можно охарактеризовать как благоприятные для возделывания табака. В 2018 г. отмечено превышение средней многолетней нормы температурного режима на 1.5–5.4°C и по количеству выпавших осадков в мае, июле и сентябре на 41–86 мм. Дефицит осадков наблюдали в апреле в количестве 21, в июне – 60, в августе – 25 мм. В 2019 г. превышение среднемесячной температуры от нормы выявлено в пределах 0.1–6.0°C. Осадков по месяцам выпало больше нормы на 8.2–102.2 мм, кроме мая (дефицит осадков 2.2 мм) и июня (31.6 мм).

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В лабораторных опытах установлено, что наибольшая масса проростков семян табака под действием препарата Зеребра агро достигнута при их замачивании в 0.00001%-ном водном растворе препарата в течение 3-х ч, что составило 0.163 г/100 проростков, что превысило массу проростков в контрольном варианте на 27%. На втором месте по эффективности был вариант опыта с использованием 0.0001%-ной концентрации раствора и времени экспозиции 1 ч (0.147 г/проросток, что в сравнении с контролем больше на

14%). Время пребывания семян табака в растворах регулятора роста Зеребра агро 6 и 12 ч положительного эффекта на массу проростков табака не оказало, а даже наоборот, произошло некоторое ингибирование роста проростков (табл. 1).

Рассада табака под действием стимулятора Зеребра агро лучше росла и развивалась, чем растения без обработки, это отмечено даже при визуальной оценке состояния парниковых опытов. Например, при проведении биометрической оценки качества полученной табачной рассады установлено, что 3-часовое пребывание семян табака в 0.00001%-ном водном растворе препарата и двукратное опрыскивание рассады в фазах “ушки” и “годная к высадке рассада” таким же раствором увеличило длину рассады до точки роста в сравнении с контролем на 18, до конца вытянутых листьев – на 15, диаметр стебля у корневой шейки увеличился на 31, сырая масса стеблей 25 растений увеличилась на 80, корневой системы – на 85% (табл. 2).

Улучшение качества табачного материала способствовало увеличению выхода стандартной рассады табака с хорошо развитой надземной частью и корневой системой. В варианте с использованием препарата Зеребра агро при обработке семян 0.00001%-ным раствором в течение 3-х ч и в фазах “ушки” и “годная к высадке рассада” раствором этой же концентрации этот показатель составил 855 шт. растений/м<sup>2</sup> парниковой площади, что превышало контрольный вариант на 37% (рис. 1). Следует также отметить явно проявленные фунгицидные свойства стимулятора Зеребра агро. Например, на опытных делянках с испытан-

**Таблица 2.** Влияние регулятора роста Зеребра агро на качество стандартной рассады табака (средние 2018–2019 гг.)

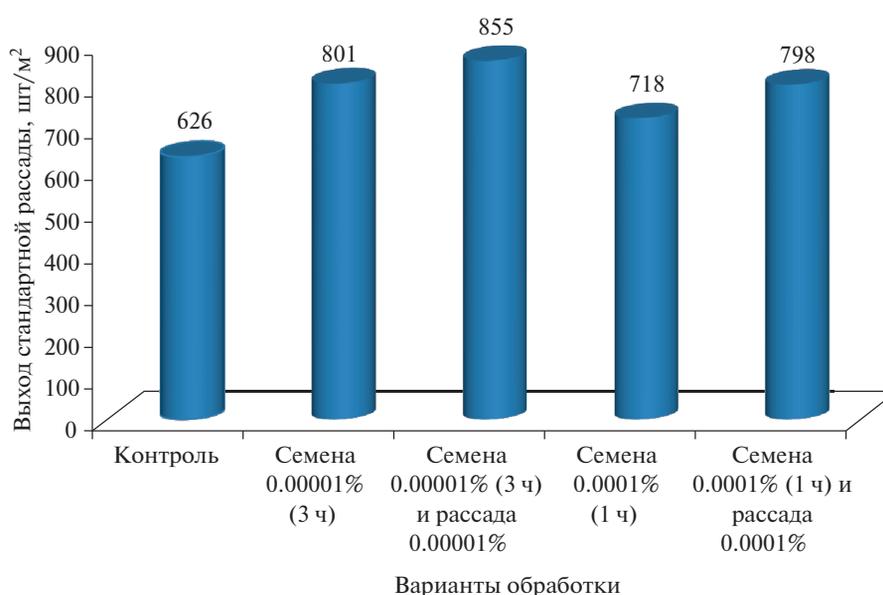
| Вариант                                                                                        | Число листьев, шт. | Высота растений, см |                            | Диаметр стебля у корневой шейки, см | Сырая масса, г/25 растений |        |
|------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|---------------------|----------------------------|-------------------------------------|----------------------------|--------|
|                                                                                                |                    | до точки роста      | до конца вытянутых листьев |                                     | стеблей                    | корней |
| Контроль (H <sub>2</sub> O)                                                                    | 4                  | 9.6                 | 17.9                       | 0.33                                | 56.4                       | 3.3    |
| Семена 0.00001%, 3 ч                                                                           | 4                  | 9.9                 | 19.0                       | 0.39                                | 78.3                       | 5.6    |
| Семена 0.00001%, 3 ч и обработка растений в фазах “ушки” и “годная к высадке рассада” 0.00001% | 4                  | 11.3                | 20.5                       | 0.43                                | 101.2                      | 6.1    |
| Семена 0.0001%, 1 ч                                                                            | 4                  | 9.8                 | 18.9                       | 0.38                                | 73.6                       | 3.9    |
| Семена 0.0001%, 1 ч и обработка растений в фазах “ушки” и “годная к высадке рассада” 0.00001%  | 4                  | 10.3                | 19.4                       | 0.39                                | 94.5                       | 4.3    |

ным стимулятором были получены растения табака без повреждений рассадными гнилями, а в контроле выявлены очаги рассадных гнилей от 4 до 7% (рис. 2).

Ранняя высадка табачных растений в поле (с достаточным количеством влаги в почве), с хорошо сформированной корневой системой под влиянием стимулятора Зеребра агро несомненно определила лучшую приживаемость (до 93%) опытных растений в сравнении с контрольными (до 89%), а период укоренения сократился на 5 сут. Измерение высоты опытных растений уже на 30-е сут после высадки показало, что в варианте с использованием препарата Зеребра агро были

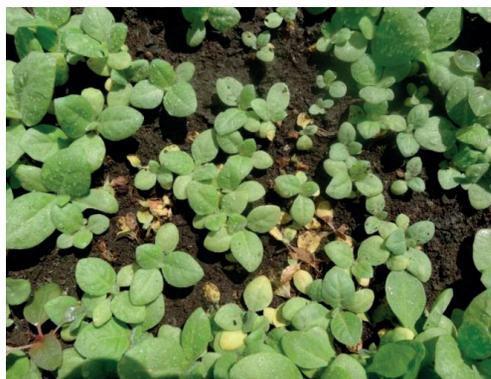
лучшие показатели при замачивании семян в 0.00001%-ном растворе с экспозицией 3 ч и дополнительном опрыскивании рассады таким же раствором препарата (10.4 см), что превышало высоту необработанных растений контроля на 17% (табл. 3). Данный эффект проявлялся за счет так называемого “пролонгированного эффекта качественной рассады”.

Значительный ростстимулирующий эффект препарата Зеребра агро на растения табака наблюдали на протяжении всего вегетационного периода и в его конце (при цветении 75–80% растений). Например, в фазе интенсивного роста высота растений под действием регулятора Зере-

**Рис. 1.** Влияние регулятора роста Зеребра агро на выход стандартной рассады табака.



Вариант опыта с обработкой рассады табака препаратом Зеребра агро



Контрольный вариант опыта

**Рис. 2.** Влияние регулятора роста Зеребра агро на пораженность растений табака рассадными гнилями.

бра агро при замачивании семян и обработке растений 0.00001%-ным водным раствором составила 54 см, что больше контроля на 39%, а в фазе цветения эта разница составила 9% в пользу опытных растений. Площадь листовой поверхности в данном варианте составила 764 см<sup>2</sup>, что было больше в сравнении с контролем на 21%.

Показано (табл. 4), что во всех опытных вариантах получена достоверная прибавка урожайности за 2 года исследования. Явно выделялся вариант, который проявил себя с рассадного периода. Дополнительный урожай за счет полученных более крепких растений, выращенных на фоне, где проводили предпосевную обработку семян в 0.00001%-ном водном растворе препарата в течение 3-х ч и затем проводили 2-кратное опрыскивание растений в рассадный период в основных фазах развития “ушки” и “годная к высадке рассада” 0.00001%-ным раствором препарата в сред-

нем за 2 года составил 8.2 ц/га, т.е. при стоимости сухого табачного сырья 200 руб./кг условный доход (без учета ломки и сушки дополнительного урожая) составлял 164 тыс. руб./га.

В выделившемся варианте опыта отмечено достоверное значительное ( $HCP_{05} = 0.52$ ) увеличение на 67% содержания водорастворимых углеводов в табачном сырье по сравнению с контролем, что свидетельствовало об улучшении его качества (табл. 5). Стоит отметить, что качество табачного сырья определяют по величине углеводно-белкового соотношения или числу Шмука. Если его величина находится в пределах от 1 до 3, то сырье относится к высококачественному. Обработки испытанным стимулятором роста повысили число Шмука на 70%. Количество белков в выделившемся варианте опыта снизилось незначительно.

**Таблица 3.** Влияние регулятора роста Зеребра агро на продуктивность табака в поле (средние 2018–2019 гг.)

| Вариант                                                                                        | Высота растений, см    |                           |               | Площадь листовой поверхности, см <sup>2</sup> |
|------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------|---------------------------|---------------|-----------------------------------------------|
|                                                                                                | 30-е сут после посадки | период интенсивного роста | фаза цветения |                                               |
| Контроль (H <sub>2</sub> O)                                                                    | 8.9                    | 38.8                      | 173           | 632                                           |
| Семена 0.00001%, 3 ч                                                                           | 9.4                    | 52.9                      | 179           | 724                                           |
| Семена 0.00001%, 3 ч и обработка растений в фазах “ушки” и “годная к высадке рассада” 0.00001% | 10.4                   | 54.0                      | 189           | 764                                           |
| Семена 0.0001%, 1 ч                                                                            | 9.3                    | 50.5                      | 176           | 712                                           |
| Семена 0.0001%, 1 ч и обработка растений в фазах “ушки” и “годная к высадке рассада” 0.00001%  | 9.8                    | 51.9                      | 181           | 743                                           |

**Таблица 4.** Влияние регулятора роста Зеребра агро на урожайность табака

| Вариант                                                                                        | Урожайность |         |         | Дополнительный урожай |         |         |
|------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|---------|---------|-----------------------|---------|---------|
|                                                                                                | ц/га        |         |         |                       |         |         |
|                                                                                                | 2018 г.     | 2019 г. | средние | 2018 г.               | 2019 г. | средние |
| Контроль (H <sub>2</sub> O)                                                                    | 21.7        | 27.7    | 24.7    |                       |         |         |
| Семена 0.00001%, 3 ч                                                                           | 26.1        | 30.2    | 28.2    | 4.4                   | 2.5     | 3.4     |
| Семена 0.00001%, 3 ч и обработка растений в фазах “ушки” и “годная к высадке рассада” 0.00001% | 28.9        | 36.8    | 32.9    | 7.2                   | 9.1     | 8.2     |
| Семена 0.0001%, 1 ч                                                                            | 23.3        | 28.8    | 26.1    | 1.6                   | 1.1     | 1.4     |
| Семена 0.0001%, 1 ч и обработка растений в фазах “ушки” и “годная к высадке рассада” 0.00001%  | 27.8        | 35.0    | 31.4    | 6.1                   | 7.3     | 6.7     |
| HCP <sub>05</sub>                                                                              | 2.0         | 2.0     | –       | –                     | –       | –       |

**Таблица 5.** Влияние регулятора роста Зеребра агро на химический состав табачного сырья (2018 г.)

| Вариант                                                                                        | Содержание, % |          |       | Число Шмука |
|------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|----------|-------|-------------|
|                                                                                                | никотин       | углеводы | белки |             |
| Контроль (H <sub>2</sub> O)                                                                    | 1.1           | 4.5      | 5.3   | 0.85        |
| Семена 0.00001%, 3 ч                                                                           | 1.0           | 6.0      | 5.3   | 1.13        |
| Семена 0.00001%, 3 ч и обработка растений в фазах “ушки” и “годная к высадке рассада” 0.00001% | 1.0           | 7.5      | 5.2   | 1.44        |
| Семена 0.0001%, 1 ч                                                                            | 1.0           | 5.3      | 5.3   | 1.00        |
| Семена 0.0001%, 1 ч и обработка растений в фазах “ушки” и “годная к высадке рассада” 0.00001%  | 1.2           | 7.3      | 5.2   | 1.40        |
| HCP <sub>05</sub>                                                                              | –             | 0.52     | –     | –           |

Данная разработка защищена патентом на изобретение “Способ стимулирования роста и защиты растений табака от рассадных гнилей” [18].

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, применение регулятора роста растений Зеребра агро при выращивании рассады табака на 50%-ном фоне от оптимально необходимого количества основных питательных элементов (N35P30K35), было эффективным и экологичным приемом, включавшим замачивание семян в 0.00001%-ном водном растворе препарата в течение 3-х ч и 2-кратную обработку рассады табака в основных фазах ее развития “ушки” и “годная к высадке рассада” раствором препарата с такой же концентрацией 0.00001%. Эти агротехнические приемы позволили значительно улучшить посевные свойства семенного материала, снизить поражение растений рассадными гнилями, повысить качество рассады, увеличив при этом ее выход с единицы

площади на 37%, стимулировать процессы роста табака в условиях поля в высоту и увеличить площадь листовой поверхности на 21%. Урожайность табака при использовании стимулятора Зеребра агро возросла на 34%, что позволило получить экономический эффект (без учета ломки и сушки дополнительного урожая) в размере 164 тыс. руб./га. Значительно улучшился химический состав полученного табачного сырья при повышении в его составе водорастворимых углеводов.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шаповал О.А., Можарова И.П., Крутяков Ю.А. Зеребра агро – регулятор роста нового поколения // Защита и карантин раст. 2017. № 6. С. 35–38.
2. Зеребра агро – стимулятор роста. URL: <https://ximia.ru/stimulyatory/zerebra-agro-agrohimprom>
3. Мухина М.Т. Влияние регуляторов роста растений комплексного действия на фоне азотно-фосфорных удобрений на урожайность и качество в усло-

- виях Краснодарского края: Автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. М.: ВНИИА, 2017. 34 с.
4. Механизм действия Зеребра агро. URL: <https://scs.technology/products/zerebra-agro/action/>
  5. Тугаринов Л.В., Коришунов А.А. Агротехника применения Зеребра агро в растениеводстве // Сб. тр. Международ. научн.-практ. конф. daRostim “Биологически активные препараты для растениеводства”. Минск: БГУ, 2018. С. 186–188.
  6. Борзов В.А., Горючкин К.В., Золотарев Н.В., Кормин В.П. Эффективность применения биостимулятора роста Зеребра агро под яровой рапс на зеленую массу на лугово-черноземной почве Омской области // Сб. тр. I регион. (заочн.) научн.-практ. конф. “Проблемы охраны окружающей среды и рационального использования природных ресурсов”. Омск: ОГАУ им. П.А. Столыпина, 2017. С. 333–339.
  7. Долматова Л.С., Садовникова Н.Н., Пешков С.А. Эффективность использования биологических и химических средств защиты растений на яровой пшенице и сое // Сел. Сибирь. 2020. № 1 (15). URL: <https://sectormedia.ru/articles/effektivnost-ispolzovaniya-biologicheskikh-i-khimicheskikh-sredstv-zashchity-rasteniy-na-yarovoy-psh/>
  8. Доронин В.Г., Ледовский Е.Н., Кривошеева С.В. Препараты и баковые смеси против листостеблевых инфекций в посевах яровой пшеницы // Вестн. Бурят. ГСХА им. В.Р. Филиппова. 2019. № 3 (56). С. 14–23.
  9. Беленков А.И., Аксенов М.П., Юдаев И.В. Влияние предпосевной обработки семян подсолнечника на урожайность // Фермер. 03.12.2018. URL: [http://vfermer.ru/rubrics/zaschita-rasteniy/zaschita-rasteniy\\_44.html](http://vfermer.ru/rubrics/zaschita-rasteniy/zaschita-rasteniy_44.html)
  10. Кормин В.П., Гоман Н.В., Лихоманова Л.М., Склярва М.А., Мельникова С.С. Эффективность применения регулятора роста Зеребра агро на урожайность и качество зерна яровой пшеницы “Дуэт” в условиях лесостепи западной Сибири // Электр. научн.-метод. журн. Омск. ГАУ. 2016. № 3 (6). URL: <http://e-journal.omgau.ru/index.php/en/2016-god/6/30-statya-2016-3/385-00135>
  11. Плотникова Т.В., Алехин С.Н., Саломатин В.А. Методическое руководство по изучению эффективности применения регуляторов роста растений при проращивании табака. Краснодар: ВНИИТТИ, 2013. 29 с.
  12. Алехин С.Н., Плотникова Т.В., Саломатин В.А., Мурзинова И.И., Сидорова Н.В. Методическое руководство по проведению агротехнических опытов с табаком в рассадниках. Краснодар: ВНИИТТИ, 2013. 27 с.
  13. Алехин С.Н., Саломатин В.А., Исаев А.П., Рудоманова В.П., Плотникова Т.В., Мурзинова И.И., Шулика Н.Г., Писклов В.П., Ларькина Н.И. Методическое руководство по проведению полевых агротехнических опытов с табаком (*Nicotiana tabacum* L.). Краснодар: ВНИИТТИ, 2011. 42 с.
  14. Губенко Ф.П. Таблицы площадей листьев (группа третья). Симферополь: Гос. изд-во Крымской АССР, 1936. 45 с.
  15. Мохначев И.Г., Писклов В.П., Шерстяных Н.А. Методы анализа табака и табачного дыма. Краснодар, 1976. 83 с. Деп. в ВНИИТИ.
  16. ГОСТ 30038-93. Табак и табачные изделия. Определение алкалоидов в табаке. Спектрофотометрический метод. Введ. 1995-01-01. М.: Изд-во стандартов, 1995. 11 с.
  17. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта. М.: Агропромиздат, 1985. 351 с.
  18. Плотникова Т.В., Саломатин В.А., Тютюнникова Е.М. Способ стимулирования роста и защиты растений табака от рассадных гнилей: Пат. 2740812, РФ / Б.И. 2021. № 3. С. 8.

## Effect of Growth Stimulator Zerebra Agro which Has Fungicidal Properties on Growing Indicators, Tobacco Productivity and Quality of Cured Tobacco

E. M. Tutunnikova<sup>a,\*</sup> and T. V. Plotnikova<sup>a</sup>

<sup>a</sup>All-Russian Research Institute of Tobacco, Makhorka and Tobacco Products  
ul. Moskovskay 42, Krasnodar 350072, Russia

\*E-mail: [agrotobacco@mail.ru](mailto:agrotobacco@mail.ru)

The effectiveness of the use of the plant growth regulator Zerebra agro in tobacco cultivation was studied. Soaking seeds in 0.00001% aqueous solution of the drug for 3 hours increased the weight of seedlings by 27%. Sowing of treated seeds in protected soil containing 50% of the optimally required content of nutrients N35P30K35, followed by treatment with a growth regulator of tobacco seedlings in the development phases “ears” and “fit for planting” increased the length of plants to the point of growth by 18, to the end of the elongated leaves – by 15, the diameter of the stem – by 31, and the thickness of the stems – by 80, the root system – by 85%. The yield of standard seedlings from a unit of greenhouse area by the optimal time of planting in the field exceeded the control by 37%. The absence of stem-root infections against the background of plant treatment was noted. Due to the “prolonged effect of high-quality seedlings” in the field, an increase in tobacco growth rates in the initial period was observed by 17, accompanied by an increase in leaf area by 21% and an increase in crop yield by 8.2 c/ha (by 34%). The chemical composition of tobacco raw materials showed an increase in the content of water-soluble carbohydrates by 67%, which significantly improved the smoking advantages of the food-flavored product.

*Key words:* tobacco, seeds, seedling, plant growth stimulator Zerebra agro, productivity, quality of cured tobacco.

УДК 631.811.98:635.64:632.78

## ВЛИЯНИЕ ОБРАБОТКИ РЕГУЛЯТОРОМ РОСТА ФЛОРОКСАН В КОМПЛЕКСЕ С РАСТИТЕЛЬНЫМ ЭКСТРАКТОМ НА СОСТОЯНИЕ ЛИСТЬЕВ ТОМАТОВ (*Solanum lycopersicum*), ЗАРАЖЕННЫХ ТОМАТНОЙ МИНИРУЮЩЕЙ МОЛЬЮ<sup>1</sup>

© 2022 г. Р. П. Закирова<sup>1,\*</sup>, С. М. Тураева<sup>1</sup>, Э. Р. Курбанова<sup>1</sup>,  
Н. Д. Чкаников<sup>2</sup>, С. С. Халиков<sup>2,\*\*</sup>

<sup>1</sup>Институт химии растительных веществ АН Республики Узбекистан  
100170 Ташкент, ул. М. Улугбека, 77, Республика Узбекистан

<sup>2</sup>Институт элементоорганических соединений им. А.Н. Несмеянова РАН  
119991 Москва, ул. Вавилова, 28, Россия

\*E-mail: ranozakirova@mail.ru

\*\*E-mail: salavathalikov@mail.ru

Поступила в редакцию 18.08.2021 г.

После доработки 30.08.2021 г.

Принята к публикации 15.10.2021 г.

Представлены результаты новых испытаний отечественного регулятора роста флороксан, а именно, изучена биологическая активность его композиции с растительным экстрактом растения *Haplophyl- lum perforatum* (композиция КФл) на томатах *Solanum lycopersicum*, зараженных личинками томатной минирующей моли *Tuta absoluta*. Установлена высокая эффективность применения композиции КФл в период вегетации, которая проявилась в увеличении содержания фотосинтетических пигментов, повышении площади листовой поверхности. При этом отмечено снижение численности вредителя.

**Ключевые слова:** регулятор роста растений флороксан, томаты, минирующая моль *Tuta absoluta*, хло- рофилл, биологическая эффективность.

**DOI:** 10.31857/S0002188122010124

### ВВЕДЕНИЕ

Томатная минирующая моль *Tuta absoluta* Меурик является опасным вредителем пасленовых культур. Насекомое, естественным ареалом которого являются страны Южной Америки, получило широкое распространение в странах Африки и Европы. В настоящее время минирующая моль зарегистрирована в странах ближнего зарубежья, в том числе и в Узбекистане. Она обладает высоким потенциалом опасности, повреждает и уничтожает растения и плоды семейства пасленовых как в открытом, так и в закрытом грунте, причем, растения повреждаются с момента высадки рассады и до плодоносящего состояния [1].

Разработано множество препаратов для борьбы с томатной молью и другими видами минеров. При этом процедуру опрыскивания в условиях

закрытого грунта приходится проводить до 6-ти раз. Частое использование инсектицидных препаратов приводит к тому, что у насекомых вырабатывается устойчивость к ним [2]. Также известно, что пестициды могут в значительной степени изменять интенсивность метаболических процессов растений, в частности фотосинтеза, что снижает их продуктивность и качество урожая [3].

Для снижения последствий фитотоксичности пестицидов применение регуляторов роста растений является одним из основных элементов современных агротехнологий, и было показано, что отечественный регулятор роста флороксан при предпосевной обработке семян хлопчатника способствовал лучшему прорастанию семян, ускорял прохождение основных фаз вегетации растений и увеличивал урожайность культуры [4].

Одним из перспективных направлений современных исследований считается разработка препаратов, создаваемых на основе вторичных мета-

<sup>1</sup> Научно-практическая работа по подготовке препаратов на основе Флороксана выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования РФ.

**Таблица 1.** Динамика общей площади листовой поверхности (см<sup>2</sup>/растение) томата под воздействием композиции КФл

| Вариант                | Фаза интенсивного роста<br>14.05.2020 | Фаза бутонизации<br>10.06.2020 | Фаза цветения<br>30.06.2020 | Фаза плодообразования<br>14.07.2020 | Фаза созревания плодов<br>10.08.2020 |
|------------------------|---------------------------------------|--------------------------------|-----------------------------|-------------------------------------|--------------------------------------|
| Контроль без обработки | 45                                    | 60                             | 99                          | 310                                 | 440                                  |
| Проклейм 0.4 кг/га     | 49                                    | 89                             | 125                         | 615                                 | 780                                  |
| Экстракт 0.4 кг/га     | 55                                    | 105                            | 255                         | 650                                 | 850                                  |
| КФл 0.4 кг/га          | 57                                    | 100                            | 258                         | 645                                 | 880                                  |

болитов высших растений и их синтетических аналогов. Возрос интерес к выделению из растений новых веществ и их оценке, как возможных экологически безопасных биопестицидов, которые могут найти применение в практике, где используются биологические агенты и ограничено применение традиционных пестицидов [5–7]. Ранее нами была выявлена высокая токсическая активность экстракта растения *Haplophyllum perforatum* в отношении ряда насекомых-вредителей [8]. Цель работы – исследование влияния обработки растений комплексом на основе флороксана и экстракта растения *Haplophyllum perforatum* (КФл) на физиологические показатели растений томата при их заражении томатной минирующей молью (*Tuta absoluta*).

#### МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследование проводили в 2020 г. в тепличном хозяйстве Кибрайского р-на Ташкентской обл. (почва – серозем среднесуглинистый). В одном варианте высаживали 50 шт. растений согласно методике [9]. Обработку растений томатов сорта Барлос проводили опрыскиванием растений на раннем этапе заражения (1–2-я стадия развития личинок *Tuta absoluta*) в фазе начала цветения по следующей схеме: 1 – контрольный вариант (растения обрабатывали водой), 2 – растения обрабатывали растительным экстрактом *H. perforatum* (0.4 кг/га), 3 – растения обрабатывали композицией КФл (Флороксан 0.2 кг/га + экстракт 0.4 кг/га), 4 – растения обрабатывали препаратом Проклейм (0.4 кг/га) (инсектицидный контроль).

В процессе развития растений изучили токсическое действие препаратов на личинки томатной моли и на содержание фотосинтетических пигментов в листьях томатов. Учеты численности вредителя в опытных вариантах проводили перед обработкой растений препаратами (предварительный учет), затем на 3-и, 7-е и 14-е сут после обработки согласно методике [10]. Расчет биологической эффективности выполняли по формуле

Эббота, модернизированной Хендерсоном и Тильтоном [11]. Определение содержания фотосинтетических пигментов проводили спектрофотометрическим методом [12]. Общую площадь листовой поверхности определяли весовым методом [13].

Математическую обработку полученных данных и расчет статистических параметров проводили с использованием пакета компьютерных программ Microsoft Excel 2016.

#### РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Известно, что для снятия негативного влияния стрессовых факторов и пестицидов на растения необходимо применение стимуляторов роста [14]. Ввиду уникальных свойств атома фтора [15] представляет интерес препарат Флороксан, являющийся оригинальной разработкой ИНЭОС РАН на основе фторпроизводного фенилуксусной кислоты [16].

Исследования показали, что во время первых учетов после обработки растений экстрактом *H. perforatum* и его композицией (КФл), показатели площади листовой поверхности в этих вариантах были практически на одном уровне. Во время учета в начале плодообразования (10.07.2020) показатели достигали максимумов (табл. 1). В этот период развития наиболее интенсивные темпы нарастания листовой поверхности происходили в варианте с применением композиции (880 см<sup>2</sup>/растение). Это происходило за счет снижения численности личинок вредителя при воздействии токсических веществ экстракта, а увеличение количества листьев и их размеров – за счет влияния препарата Флороксан. В варианте с применением экстракта площадь листьев составила 850 см<sup>2</sup>/растение. В контроле площадь листовой поверхности была практически в 2 раза меньше (440 см<sup>2</sup>/растение).

*Влияние обработки растений на содержание хлорофиллов.* Известно, что величина содержания хлорофилла корреляционно зависит от степени

**Таблица 2.** Влияние композиции КФл на содержание хлорофиллов в листьях томата, зараженных *Tuta absoluta*

| Хлорофилл                      | Варианты               |                    |                    |               |
|--------------------------------|------------------------|--------------------|--------------------|---------------|
|                                | контроль без обработки | Проклейм 0.4 кг/га | экстракт 0.4 кг/га | КФл 0.4 кг/га |
| Хлорофилл <i>a</i>             | 0.52                   | 0.88               | 1.06               | 1.11          |
| Хлорофилл <i>b</i>             | 0.21                   | 0.40               | 0.38               | 0.47          |
| Сумма хлорофиллов <i>a + b</i> | 0.92                   | 1.24               | 1.37               | 1.54          |

**Таблица 3.** Биологическая эффективность КФл в борьбе с личинкой *Tuta absoluta* в посевах томата

| Вариант                | Биологическая эффективность, % |      |      |         |      |      |          |      |      |
|------------------------|--------------------------------|------|------|---------|------|------|----------|------|------|
|                        | 3-и сут                        |      |      | 7-е сут |      |      | 14-е сут |      |      |
|                        | 1                              | 2    | 3    | 1       | 2    | 3    | 1        | 2    | 3    |
| Контроль без обработки | –                              | –    | –    | –       | –    | –    | –        | –    | –    |
| Проклейм 0.4 кг/га     | 78.0                           | 76.0 | 77.0 | 87.0    | 70.0 | 81.0 | 84.1     | 66.3 | 77.6 |
| Экстракт 0.4 кг/га     | 81.0                           | 83.6 | 82.0 | 87.1    | 77.5 | 83.0 | 82.3     | 74.2 | 78.7 |
| КФл 0.4 кг/га          | 70.6                           | 72.0 | 70.2 | 81.3    | 82.0 | 75.0 | 82.0     | 66.0 | 75.5 |

Примечание. В графе 1 – личинки 1–2-го возраста, 2 – личинки 3–4-го возраста, 3 – всего.

повреждения листьев личинкой *Tuta absoluta*. Результаты опытов показали, что максимальные концентрации хлорофиллов наблюдали после опрыскивания комплексом КФл (табл. 2). Содержание хлорофилла *a* (1.11 мг/мл) и *b* (0.47 мг/мл) превышали контроль соответственно на 114 и 124%, их сумма (1.54 мг/мл) – на 67.4%.

Экстракт *H. perforatum* также способствовал увеличению содержания фотосинтетических пигментов, но уступал варианту применения комплекса КФл: содержание хлорофилла *a* в листьях растений томатов (1.06 мг/мл) было больше контроля на 104%, хлорофилла *b* (0.38 мг/мл) – на 80.9%, их сумма (1.37 мг/мл) – на 48.9%.

Обработка инсектицидом Проклейм способствовала увеличению содержания хлорофилла *a* (0.88 мг/мл) на 69.2%, хлорофилла *b* (0.40 мг/мл) – на 90.4%, суммы (1.24 мг/мл) – на 34.7%.

Оценка биологической эффективности композиции КФл в отношении личинок *Tuta absoluta*. С целью определения эффективности исследованных экстрактов опрыскивание растений проводили в фазе начала цветения томата при наличии на них вредителя с численностью не меньше экономического порога вредоносности (ЭПВ). На фоне увеличения численности вредителя в контроле сравнительно высокую эффективность (Э) экстракта *H. Perforatum* отметили на 7-е сут после обработки растений в фазе начала цветения в отношении личинок 1–2-го (Э = 87.1%) и 3–4-го возраста (Э = 71.9%). После обработки композицией эф-

фективность на 7-е сут составляла 84.1% в отношении личинок 1–2-го возраста, 70.0% – в отношении личинок 3–4-го возраста. Показано, что значительно более высокую эффективность отметили в отношении личинок 1–2-го возраста. Это возможно было связано с тем, что на ранней стадии развития личинки более восприимчивы к примененным инсектицидам. По эффективности экстракт был на уровне эталона Проклейм (Э = 87.0%) в отношении личинок 1–2-го возраста (табл. 3). Установлено, что снижение численности вредителя на 14-е сут после применения экстрактов было несколько меньше, чем на 3-и и 7-е сут после обработки.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Продолжая изучение новых свойств отечественного регулятора роста Флороксан, проведены исследования биологической активности его композиции с экстрактом растения *H. perforatum* (КФл) в период вегетации томатов на фоне их заражения томатной минирующей молью (*Tuta absoluta*). При этом выявлена его высокая эффективность, а именно, опрыскивание композицией КФл способствовало увеличению содержания фотосинтетических пигментов, повышению площади листовой поверхности, при одновременном снижении численности вредителя.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Жармухамедова Г.А., Шляхтич В.А. Томатная моль – опасный вредитель закрытого грунта Казахстана // Защита и карантин раст. 2017. № 4. С. 36–38.
2. Сухорученко Г.И. Резистентность вредных объектов к пестицидам XX столетия // Защита и карантин раст. 2001. № 6. С. 23–24.
3. Лушникова Т.А., Толчинская В.Е., Клявлиня Е.Н. Влияние обработки инсектицидами на некоторые физиолого-биохимические характеристики картофеля // Вестн. Курган. гос. ун-та. 2010. № 2. С. 10–11.
4. Курбанова Э.Р., Закирова Р.П., Спиридонов Ю.Я., Халиков С.С., Чкаников Н.Д. Влияние регулятора роста флороксан на рост и урожайность хлопчатника // Агрохимия. 2019. № 6. С. 37–43.
5. Berenbaum M. Phototoxicity of plant secondary metabolites: Insect and mammalian perspectives // Arch. Insect. Biochem. Physiol. 1995. V. 29. № 2. P. 119–134.
6. Табатадзе Е.С., Лопадзе З.П. Нимацаль-Т/С против кокцидий // Защита растений. 2002. № 12. С. 30.
7. Степанычева Е.А., Черменская Т.Д., Чакаева А.Ш. Влияние биологически активных веществ *Ailanthus altissima* (Mill.) Swingle (Simarubaceae) на паутинового клеща *Tetranychus urticae* Koch (Acari: Tetranychidae) // Агрохимия. 2011. № 4. С. 52–59.
8. Тураева С.М., Мамарозиков У.Б., Хидирова Н.К., Закирова Р.П. Возможность применения растительного экстракта *Haplophyllum perforatum* в качестве инсектицидного средства // Защита и карантин раст. 2019. № 7. С. 47–48.
9. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта. М.: Агропромиздат, 1985. 351 с.
10. Новожилов К.В. Методические указания по испытанию инсектицидов, акарицидов, и моллюскоцидов в растениеводстве. М.: Госагропром СССР, 1986. 279 с.
11. Henderson C.F., Tilton E.W. Tests with acaricides against the brow wheat mite // J. Economic. Entomol. 1955. V. 48. P. 157–161.
12. Третьяков Н.Н. Практикум по физиологии растений. М.: Агропромиздат, 1990. 271 с.
13. Гавриленко В.Ф., Ладыгина М.Е., Хандобина Л.М. Большой практикум по физиологии растений. М.: Высш. шк., 1975. 392 с.
14. Савченко А.А. Урожайность и качество зерна яровой пшеницы под влиянием фунгицидов и регуляторов роста // Вестн. КрасГАУ. 2007. № 2. С. 324–326.
15. Аничкина Н.В. Исследования биогеохимии фтора в компонентах геосистем // Научн. обозрение. Биол. науки. 2016. № 3. С. 5–23.
16. Чкаников Н.Д., Свиридов В.Д., Кадыров А.А., Спиридонов Ю.Я. Композиция для обработки семян, обладающая рострегулирующим действием: Пат. 2369094, РФ // Б.И. 2009. № 28. С. 30.

## Influence of Treatment with a Growth Regulator Floroxan in a Complex with a Vegetable Extract on the State of Tomato Leaves (*Solanum lycopersicum*) Infected with Tomato Mining Mother

R. P. Zakirova<sup>a,#</sup>, S. M. Turaeva<sup>a</sup>, E. R. Kurbanova<sup>a</sup>, N. D. Chkanikov<sup>b</sup>, and S. S. Khalikov<sup>b,##</sup>

<sup>a</sup>S. Yu. Yunusov Institute of Chemistry of Plant Substances of Uzbekistan Academy of Sciences  
M. Ulugbek str. 77, Tashkent 100170, Republic of Uzbekistan

<sup>b</sup>A.N. Nesmeyanov Institute of Organoelement Compounds of RAS  
ul. Vavilova 28, Moscow 119991, Russia

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

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

The results of new tests of the domestic growth regulator Floroxan are presented, namely, the biological activity of its composition with a plant extract of the plant *Haplophyllum perforatum* (the composition is designated as “CFI”) on tomatoes *Solanum lycopersicum* infected with larvae of the tomato mining moth *Tuta absoluta* has been studied. The high efficiency of the use of the CFI composition during the growing season was established, which manifested itself in an increase in the content of photosynthetic pigments, an increase in the area of the leaf surface. At the same time, a decrease in the pest population was noted.

**Key words:** plant growth regulator Floroxan, tomatoes, mining moth *Tuta absoluta*, chlorophyll, biological efficiency.

## АГРОХИМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ХИМИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПЕСТИЦИДОВ

© 2022 г. В. А. Захаренко

*Федеральный исследовательский центр “Немчиновка”*

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

*E-mail: zwa@mosniish.ru*

Поступила в редакцию 29.07.2021 г.

После доработки 09.08.2021 г.

Принята к публикации 15.10.2021 г.

На основе материалов V Международной конференции “Актуальные научно-технические вопросы химической безопасности” (ASTICS-2020) Казань, 6–8 октября 2020 г., относящихся к агрохимической тематике в области фундаментальных и междисциплинарных исследований проблем химической безопасности, защиты здоровья человека и окружающей среды от воздействия опасных химических факторов, рассмотрены наиболее значимые технологические решения для создания систем анализа состояния окружающей среды.

*Ключевые слова:* пестициды, химическая безопасность, нанопрепаративные формы пестицидов, антитоды, методы тестирования, особо опасные пестициды, антибиотики.

**DOI:** 10.31857/S0002188122010112

Важным направлением оптимизации химической безопасности пестицидов является создание и использование нанопрепаратов, позволяющих в минимальных нормах расхода обеспечивать высокую эффективность сдерживания рисков опасности потерь продуктивности культурных растений от вредных организмов (вредителей, возбудителей болезней растений и сорных растений), а также антитодов пестицидов.

В сообщении в качестве нового поколения средств защиты растений повышенной безопасности и эффективности рассмотрены формы пестицидов и лекарственных средств. Представлен материал об успехах создания нового поколения нанопрепаративных форм пестицидов и лекарственных средств на основе применения методов супрамолекулярной химии. Наноразмерные системы доставки лекарств позволяют повысить биодоступность и безопасность различных препаратов при использовании водорастворимых носителей (наночастиц, липосом, полимеров, мицелл и т.п.) для увеличения растворимости и проницаемости малорастворимых молекул лекарств. Аналогично происходит доставка пестицидов в форме наноразмерных систем с контролируемым высвобождением полимерных наночастиц из разных материалов, в частности амфифильных водорастворимых полимеров и

мицелл в форме наноконтейнеров. Наконтейнеры обеспечивают инкапсулирование гидрофобных молекул внутри гидрофобных матриц, окруженных гидрофильной оболочкой, улучшают растворимость пестицидов при диспергировании препаратов в воде, защиту нестабильных органических молекул от воздействия агрессивных сред: от УФ-излучения, активных форм кислорода и высокой температуры. В результате происходит повышение активности и возможное значительное уменьшение количества используемых пестицидов, продление действия, улучшение контролируемого высвобождения, повышение фотостабильности, биологической активности, эффективности действия, снижаются остаточные количества пестицидов и загрязнение окружающей среды. Получены продукты защиты растений с улучшенными экологическими свойствами при использовании полисахарида арабиногалактана, глицериновой кислоты и ее динатриевой соли, при использовании их в качестве соединений, образующих наноразмерные супрамолекулярные системы, состоящие из молекул пестицидов. Обнаружено заметное увеличение проникновения протравителей в зерно в присутствии средств доставки, в частности, с наибольшим эффектом арабиногалактана. Продemonстрирована высокая эффективность этих продуктов в лабора-

торных и полевых условиях в сдерживании развития патогенной микрофлоры при обработке семян яровой пшеницы и ячменя для подавления корневых гнилей, положительного влияния на урожайность этих культур [1].

Рассмотрен новый физико-химический подход, объясняющий специфические свойства сильно разбавленных водных растворов биологически активных соединений. Такие растворы способны к самоорганизации, с образованием дисперсной фазы (наноассоциатов), размер и  $\zeta$ -потенциал которой изменяется немонотонно при разбавлении. Это приводит к согласованному изменению физико-химических и биологических свойств систем. Показана связь процесса самоорганизации с динамическим и электрофоретическим рассеянием света, с физико-химическими свойствами (удельной электропроводностью, поверхностным натяжением, УФ- и флуоресцентными спектрами многокомпонентных дисперсных систем) на основе N-(фосфонометил) глицинового гербицида и янтарной кислоты, а также влияние этих систем в низких концентрациях на гидробионты и корни пшеницы. Результаты, полученные в данной работе, впервые позволили установить связь между немонотонными концентрационными зависимостями размера дисперсной фазы (наноассоциатов) и физико-химическими свойствами (удельной электропроводностью, рН и интенсивностью флуоресценции ( $\lambda_{ex}$  при 225,  $\lambda_{em}$  при 340–350 нм) многокомпонентной дисперсной системы. Выявлено, что когерентные изменения интенсивности флуоресценции, физико-химических свойств и биологических эффектов связаны с перестройкой наноассоциатов во время разбавления систем. Отмеченная согласованность между спектральными свойствами изученных систем и параметрами наноассоциатов позволила сделать вывод, что флуоресцентные характеристики могут быть использованы в качестве потенциальных маркеров самоорганизации и биологических эффектов сильно разбавленных водных систем [2].

Разработан метод биотестирования, количественной оценки суммарного токсического действия веществ, образующихся в результате преобразования исходных опасных химических средств на основе исследований N-(фосфонометил) глицина (глифосата) – активного ингредиента часто используемого гербицида в мире и опасного для человека. Получены результаты изучения изменения степени токсичности глифосата в результате его обработки резким УФ-излучением с помощью ртутной лампы ДРШ-1000 ( $\lambda = 250–600$  нм) в сочетании с озоном, полученного в смеси с кис-

лородом 2.5%. В качестве тест-системы при этом использовали препарат лиофилизированных люминесцентных (светящихся) бактерий серии Ecolum. Выявлено снижение интенсивности биолюминесценции пропорционально токсическому эффекту. Некоторые образцы вызывали активацию светового излучения тест-системы и регистрировали отрицательную величину индекса токсичности. В этом случае индекс Т принимали равным нулю, а образец считался нетоксичным. Количественная оценка параметра тестовой реакции выражена в виде индекса токсичности следующим образом:  $T = 100 (I_0 - I) / I_0$ , %, где  $I_0$  и  $I$  – показатели интенсивности биолюминесценции бактерий контрольного и тестового образца соответственно. Токсические эффекты испытанного образца определяли в течение 5- и 30-минутного периода воздействия на раствор глифосата до и после УФ-облучения. Выявлено, что токсичность исходного образца сохранялась и при 1000-кратном разбавлении чистой водой исходного образца, и его отнесли к III классу опасности для объектов окружающей среды (умеренная опасность). Токсичность облученного образца сохранялась до 100-кратного разбавления чистой водой, облученный образец отнесли к IV классу опасности для объектов окружающей среды (малоопасный). Применение комбинации УФ-облучения и процедуры озонирования приводило к снижению токсичности глифосата: снижался класс опасности для объектов окружающей среды с III класса (умеренная опасность) до IV (низкая опасность). Сделан вывод, что предложенный подход вместе с процедурой биотестирования достаточно эффективен для оценки детоксикации органических химикатов, используемых в сельском хозяйстве, и соответствующего контроля опасностей [3].

В результате исследований определено, что вода представляет безопасный и недорогой растворитель для количественной оценки токсичных соединений в экологически безвредных продуктах, отвечающий требованиям экологической химии. Многие химические военные газы, медленно разлагаемые пестициды, представляющие гидрофобные сложные эфиры фосфора, при их разложении в процессе дефосфорилирования и гидролиза обычно нерастворимы в воде, а водные поверхностно-активные вещества могут служить реакционной средой для разложения этих веществ. Особый интерес представляют поверхностно-активные вещества Gemini (**GS**) как молекулы-хозяева, которые представляют уникальные соединения, обладающие рядом необычных физико-химических свойств: чрезвычайно низ-

кой критической концентрацией мицелл, высокой эффективностью адсорбции и др. Экономическая привлекательность поверхностно-активных веществ Gemini заключается также в том, что такие поверхностно-активные вещества обеспечивают более высокое ускорение эстеролитических реакций, снижение концентрации ПАВ и регулирование скорости и направления химических процессов. Обоснованы подходы к созданию высокоэффективных окислительно-нуклеофильных систем щелочного гидролиза 2-х фосфорорганических соединений (NPDEPN и NPDEP) как модельных аналогов экотоксикантов со структурой катионных поверхностно-активных веществ (ПАВ). Период полураспада NPDEPN при pH = 10.0 в воде составляет ~800 мин, в растворе бромида цетилтриметиламмония – 30 мин, в мицеллах GS – всего лишь 4 мин. Разнообразие окислительно-нуклеофильных систем для разложения экотоксикантов показано в исследованиях соединений с реактивным противоионным дибромброматом [Br-Br-Br] в воде и в мицеллярных растворах. Стадия нуклеофильного разложения NPDEPN может быть значительно ускорена, до ~20 с. Сделан вывод, что функционализированные наноразмерные сборки перспективны для разработки систем, эффективность которых, как и у аналогов ферментов, на несколько порядков больше: ~4 с, чем у нефункционализированных аналогов. Использование рассмотренных подходов может обеспечить высокие скорости разложения низкорекреационных электрофильных субстратов в мягких условиях (температура, pH, низкие концентрации) [4].

Рассмотрена точка зрения, в соответствии с которой остатки почвенных гербицидов в почве могут наносить непоправимый вред растениям, которые будут выращивать в поле в следующем году, а в некоторых случаях и позже. В последние годы проблема загрязнения почвы остатками высокоактивных гербицидов приобрела угрожающие масштабы и усугубляется тем, что снижение урожайности происходит незаметно, без выявления реальных причин. В отношении почвенных гербицидов показано, что опасность можно преодолевать путем уменьшения концентрации фитотоксичных гербицидов в почве методами интенсификации их разложения и сорбции. Одним из ключевых элементов соответствующей защитной технологии является применение антидотов, защищающих посевы от действия фитотоксикантов (гербицидов группы сульфонилмочевин). Имеющаяся информация свидетельствует о том, что высокий эффект защиты растений демонстрируется при использовании 1.8-нафталиново-

го ангидрида (NA) при предпосевной обработке семян. Высокую антидотную активность в низких концентрациях проявляли синтезированные фторсодержащие производные мочевины. Промышленный антидот фурилазол с высокой антидотной активностью апробирован как заменитель NA в составе комплексного протравителя. Было показано, что фурилазол, хотя и проявлял антидотное действие в гораздо более низких концентрациях, чем NA, но при этом не обеспечивал полной защиты растений от отрицательного действия сульфонилмочевин. В качестве другого объекта испытывали промышленный антидот изоксадифен-этил (IDE). Этот современный антидот оценивали для сдерживания отрицательного действия гербицидов группы сульфонилмочевин при прополке посевов кукурузы и риса. Сделан вывод, что использование антидотов в комплексных препаратах позволяет при предпосевной обработке существенно преодолевать угнетающее действие остатков гербицидов сульфонилмочевин в почве [5].

Проведено изучение кинетики фотохимического разложения N-(фосфонометил) глицина – гербицида Раундап – наиболее широко используемого средства борьбы с сорняками в мире. Однако при высокой эффективности подавления сорных растений, ряд исследований показал его значительную потенциальную опасность для живых организмов и человека. В 2015 г. Международное агентство ВОЗ по изучению рака включило глифосат в группу 2А, соответствующую веществам, вероятно канцерогенным для человека. В связи с этим возникает актуальная задача – детоксикация загрязненных Раундапом почв и воды, а также уничтожение запасов этого гербицида как высокотоксичного, стойкого и экологически опасного химического соединения. Проведены исследования изменения концентрации N-(фосфонометил) глицина (I) в зависимости от времени УФ-облучения: 1 – продувка озоном, лампа ДРШ1000, 2 – без обдува под воздействием солнечных лучей. Изучено фотохимическое окисление водного раствора (I) под действием УФ-излучения в кварцевом реакторе объемом 500 мл, который был установлен на расстоянии 2 см от источника излучения, в качестве которого использовали лампу марки ДРШ-1000 с длинами волн излучения в диапазоне 250–600 нм. Начальная концентрация 147 (I) составляла  $6.68 \times 10^{-2}$  М, объем пробы 100 мл. Озон выделялся из озонатора в виде смеси с кислородом с содержанием 2.5% или 3.35 ммоль/ч, или 160.8 мг озона/ч. Озонирование раствора (I) проводили через тефлоновую трубку диаметром 1 мм. Текущую концентрацию

измеряли в полосе  $\lambda = 212$  нм на спектрофотометре Perkin Elmer UV-VIS Spectrometer Lambda EZ 210, изготовленном в США. По электронным спектрам, зарегистрированным при разложении (*I*), прослежены периоды образования промежуточных соединений. После 3 ч 47 мин облучения идентифицировали пик  $\lambda_4 = 258$  нм, который присутствовал в образцах до 8 ч и 7 мин наблюдения. Пик  $\lambda_5 = 238$  нм был идентифицирован один раз через 5 ч 28 мин. Пик на  $\lambda_3 = 286$  нм появлялся через 2 ч 78 мин, затем через 60 мин он исчезал и снова появлялся в образце из записи времени 11 ч 28 мин и также его больше не идентифицировали. Эти результаты указали на сложный многоступенчатый процесс разложения, учитывая кинетическую кривую изменения концентрации в зависимости от времени воздействия на гербицид. Выявлено, что разложение не происходило в воздухе под прямыми солнечными лучами в течение 14 ч 28 мин. Однако, концентрация гербицида снижалась до  $1.0 \times 10^{-3}$  М за тот же период времени под действием озона и УФ-излучения. Реакция протекала со скоростью 0.406 М/ч, демонстрируя нулевой порядок по отношению к основному соединению. Таким образом, было показано, что метод фотохимического разложения может быть успешно использован для практических целей разложения гербицида Раундап [6].

Выявили интенсивность образования наночастиц серебра с участием метанотрофных бактерий. Исследована возможность синтеза наночастиц серебра метанооксиляющими бактериями *Methylococcus capsulatus* (*M*), способными использовать метан в качестве единственного источника углерода и энергии при культивировании в условиях непрерывной перфузии в ферментере Анкум 2М на стандартной минеральной среде при 42 С и рН 5.6. Биомассу микроорганизмов отделяли от питательной среды центрифугированием в течение 10 мин при 7000 об./мин и переносили в растворы нитрата серебра различной концентрации с содержанием ионов  $\text{Ag}^+$  в диапазоне 5–1000 мг/л. Инкубация проходила при комнатной температуре в течение 5-ти сут. Результаты показали внеклеточное образование наночастиц серебра бактериями, которое наблюдали спектрофотометрическим методом. Помимо наночастиц серебра и наряду с ними серебра также образовывались микрочастицы диаметром в несколько микрон. Сделан вывод, что серебро не токсично для метанооксиляющих бактерий *Methylococcus capsulatus*, а бактерии способны образовывать наночастицы серебра на минеральной среде при утилизации метана [7].

На основе исследований бактерицидной и фунгицидной активности растительных компонентов и метаболитов выявили возможности потенциального использования в качестве биопестицидных ресурсов семейств цветковых растений, представленных более 23000 видов. Отдельные растения обладают значительным терапевтическим потенциалом и их активно используют в традиционной медицине, Экстракты растений рода *Centaurea* L. (*C. cyanus* L., *C. ajacea* L. и *C. scabiosa* L.), полученные мацерацией воздушно-высушенной и измельченной биомассы наземных растений в этаноле, обладают антимикробной активностью и подавляют рост бактерий (*Clavibacter michiganensis* и *Xanthomonas arboricola*) и грибов (*Alternaria solani*) в минимальных бактерицидных и фунгицидных концентрациях, вызывающих гибель клеток микроорганизмов. При этом использовали методы серийных разведений биомассы растений в эталоне. Минимальные ингибирующие концентрации отмечены в диапазоне 0.0625–1%. Бактерицидное действие экстрактов в отношении фитопатогенных бактерий выявлено в диапазоне концентраций 0.0625–2%. Минимальные фунгицидные концентрации менялись в пределах 0.1178–0.5%. Самая высокая активность обнаружена у *Centaurea scabiosa* L., самая низкая – у *Centaurea jacea* L. Патоген *Clavibacter michiganensis* проявлял наибольшую чувствительность к компонентам растительных экстрактов *Centaurea scabiosa* L., которую предложено использовать для создания экологически чистых препаратов для защиты растений семейства Solanaceae (томатов, баклажанов, картофеля и др.) [8].

Существующее состояние и перспективы опасности антибиотиков группы тетрациклинов рассмотрено в связи с процессами накопления веществ в почвах и транслокации в растения. В растениеводстве антибиотики (АБ) применяют в составе фунгицидных и инсектицидных средств. Подчеркнуто, что антибиотики выводятся из организма человека и животных в окружающую среду до 90% в неизменном виде или в виде их метаболитов. АБ попадают в почву с навозом, используемым как органическое удобрение, а также со стоками животноводческих комплексов. Содержание АБ в почвах ряда стран достигает 900–1500 мг/кг. Кроме этого, антибиотики попадают в поверхностные воды со стоками сельхозугодий, сточными водами животноводческих комплексов и жилищно-коммунального хозяйства. Концентрации различных групп АБ, обнаруженные в стоке и поверхностных водах в Азии, Европе и США, варьируются в диапазоне от 8 нг/л до 11 мг/л. Анализ литературных данных позволил

выделить наиболее часто используемые типы АБ в животноводстве и ветеринарии: группа тетрациклинов, макролиды, группа пенициллина и группа АБ левомецетина (хлорамфеникола). Соединения тетрациклина – одни из наиболее широко используемых антибиотиков в ветеринарии. В Европе в 2014 г. они были самыми потребляемыми ветеринарными АБ, на долю которых пришлось 33.4% от общего объема продаж. От 65 до 90% антибиотиков группы тетрациклинов выводятся из организма животных с мочой и калом в зависимости от их физических и химических свойств, характеристик их всасывания и распределения. Стабильность и накопление тетрациклинов в окружающей среде зависит от ряда факторов и их исследовали в ряде опытов в связи с сорбционной способностью в почвах под влиянием рН среды, ионообменной способности, содержания органических веществ, типа почвы и синергетического эффекта других загрязнителей, таких как тяжелые металлы. В результате действия этих факторов время распада антибиотика может составлять от 8 до 180 сут. Ежегодно группы АБ тетрациклинов локально обнаруживают в почвах в концентрациях до 300–500 мг/кг. Большинство исследований направлено на изучение воздействия антибиотиков на сельскохозяйственные растения, их рост и развитие отдельных органов (корней, листьев, стеблей) и всего растения как целого. В отдельных исследованиях обнаружено, что АБ группы тетрациклинов способны накапливаться в разных органах растений (в корнях, листьях и стеблях: в шпинате – от 4.8 до 6.3, моркови – 23.0, салате-латуке – 7.2, сельдерее – от 3.10 до 12.6, кориандре – до 532, капусте – от 6 до 10, кукурузе – 6.6, редисе – до 57 нг/г. Отмечено, что большинство этих показателей превышало допустимую дозу остаточного содержания тетрациклинов группы АБ в мясных и молочных продуктах (10 нг/г). Авторы считают, что одна из первоочередных задач исследования – экспериментальное обоснование кумулятивного действия АБ [9].

Институт почвоведения, агрохимии и защиты почв (Кишинев, Молдова) в рамках педологического (почвоведение) исследования, периодического агрохимического картирования (каждые 5 лет) и многолетних наблюдений в динамике на полевых опытных станциях провел оценку изменения плодородия сельскохозяйственных почв в связи с потерями гумуса и питательных веществ, а также количественного изменения содержания тяжелых металлов (ТМ) и остатков пестицидов. Анализ содержания ТМ и остатков пестицидов в почвах проводили в Центре мониторинга каче-

ства почв Государственной гидрометеорологической службы на основе оценки образцов 20-ти ключевых полигонов, расположенных во всех педоклиматических зонах. Подвижные формы ТМ (меди, цинка, свинца) и остатки хлорорганических пестицидов (альфа-ГХГ, бета-ГХГ, гамма-ГХГ, 4,4'-ДДЭ, 4,4'-ДДД, 4, 4'-ДДТ) определяли с помощью атомно-абсорбционной спектрофотометрии и прибора SOLAAR. Отмечено, что неконтролируемое применение удобрений и пестицидов при выращивании сельскохозяйственных культур вызывало ухудшение качества выращиваемых овощей в результате накопления элементов и веществ сверх допустимых для пользователей пределов. В большинстве случаев загрязнение растений ТМ происходило более интенсивно из-за негативных последствий, вызываемых периодическими высокими выбросами оксидов серы и азота сверх ПДК. Подвижные формы ТМ в почвах составили: Cu – 3, Zn – 23, Pb – 6 мг/кг почвы. При уровнях содержания, не превышающих ПДК, остатки ТМ не могут быть опасными для окружающей среды. Пестициды, использованные в прошлом в сельскохозяйственных технологиях (некоторые стойкие инсектицидные и гербицидные вещества), все еще присутствуют в почвах и в растительных продуктах. В настоящее время хлорорганические инсектициды (на основе гексахлорциклогексана (ГХГ) и дихлордифенилтрихлорэтана (ДДТ)), фосфорорганические пестициды (этил- или метилпаратион, малатион, мевинфос) из-за их высокой стойкости в почвах и продукции растениеводства полностью заменены менее опасными инсектицидами и гербицидами. Определение остаточных количеств пестицидов в почвах Молдовы было приостановлено в 1970 г. Однако высокая степень устойчивости пестицидов и высокая миграция ΣДДТ и ΣГХГ в почве еще обнаруживается при следующих пределах определения: альфа-ГХГ, бета-ГХГ, 4,4'-ДДЭ, 4,4'-ДДД – 0.0004, γ-ГХГ – 0.0001, 4,4'-ДДТ – 0.0008 мг/кг. По результатам оценок этих пестицидов установлено, что содержание ΣДДТ и ΣГХГ в исследованных образцах почвы было незначительным и не превышало ПДК. Содержание ДДТ варьировалось от  $0.0013 \times 10^{-6}$  (0.01 ПДК) до  $0.0604 \times 10^{-6}$  (0.60 ПДК). Большая часть общего содержания ΣДДТ в почве приходится на его метаболит ДДЭ. Максимальное содержание ГХЦГ в почве составило  $0.0012 \times 10^{-6}$  (0.01 ПДК) с преобладанием изомеров α-ГХГ и γ-ГХГ. Содержание изомера β-ГХГ было меньше предела обнаружения использованного прибора (<0.0004), за исключением одной пробы (типичный чернозем, после полива сточными водами животноводче-

ских комплексов), который содержал  $0.008 \times 10^{-6}$  соединения. Выявлено, что для уменьшения эффекта загрязнения предпочтительно использовать пестициды с наименьшим временем их удержания в окружающей среде (в том числе в почвах). Необходимо, чтобы пестициды, используемые в последовательных обработках (особенно широко распространенных в виноградарстве и фруктовых садах), могли разлагаться в почве от одной обработки к другой без накопления загрязняющих остатков. В целом содержание ТМ и остаточных количеств пестицидов в почвах Молдовы оказалось низким и не превышало ПДК. Предложено использование пестицидов и неконтролируемых удобрений регулировать в той степени, в которой содержание остаточных веществ соотносится с уровнями риска для людей и животных. Следовательно, для каждого пестицидного продукта должны быть известны следующие конкретные показатели: доза без эффекта, переносимая суточная доза, допустимое количество остатков, предел остатков, максимально допустимый предел, допустимая суточная доза для человека, уровень переносимости, максимально допустимый предел загрязнения и максимальная суточная доза, разрешенная для человека. Меры по обезвреживанию (реабилитации) должны быть направлены не только на удаление опасных источников, но и включать все меры по восстановлению затронутых агрохимических показателей и возвращению почвам их основного свойства — плодородия [10].

Несмотря на относительно благополучное состояние агроценозов в отдельных регионах бывших союзных республик СССР при широком использовании пестицидов, и содержание их остатков в почвах меньше предельно допустимых уровней (ПДК), научно обоснованное применение пестицидов в настоящее время требует сохранения внимания в части организации мониторинга и упреждающих мер сдерживания рисков химического загрязнения почв и продукции растениеводства. Приведены свидетельства о важности мероприятий в связи с химической безопасностью пестицидов, морально устаревших и новых, недостаточно изученных, на основании обобщения биологических аспектов и статистических показателей рисков опасности применения пестицидов как высокотоксичных химических загрязнителей окружающей среды, представляющих опасность для человека и полезной фауны и флоры.

Исследователи Института проблем химической физики РАН, (г. Чернологовка) высказали точку зрения, что в настоящее время проблема

токсичности пестицидов широко обсуждается во всем мире и со своей стороны привели результаты исследований, проведенных в течение более 30 лет. Результаты этой работы раскрыли механизмы воздействия пестицидов на здоровье человека и окружающую среду. Впервые показано, что в клетках живых организмов образуются бидентатные комплексы 8-ми пестицидов. Пестициды и их комплексы с металлами проявляют острую и хроническую токсичность на живые организмы. Комплексы пестицидов с металлами почти не разлагаются микроорганизмами и УФ-составляющей солнечного света. Впервые доказано, что пестициды и их металлокомплексы взаимодействуют с моно-, ди- и полинуклеотидами. Образование комплексов пестицидов с аденозинтрифосфорной кислотой (АТФ) приводит к дефициту энергии в клетках организмов. Выявлена прямая корреляция константы комплексообразования со способностью пестицидов образовывать комплексы с металлами.

Комплексы вызывали подавление прорастания зерна и замедление роста растений, индуцировали некрозы вегетирующих растений и снижали образование хлорофилла в листьях как двудольных и так и злаковых растений. Таким образом, исследованные препараты не обладали селективным действием. Константы комплексообразования с АТФ коррелировали с показателями уменьшения роста популяций микроартропод (коллембол *Folsomia candida* и *Xenyllagrisea* sp.) и с уменьшением популяции гидробионтов (*Tetrahymena pyriformis*). Угнетение энергетического обмена вызывало энергетический дефицит клетки, что приводило к токсичности пестицидов и их комплексов с металлами по отношению к многоклеточным организмам.

Показано, что пестициды/их комплексы с металлами одновременно подавляли активность нескольких ферментных систем в организмах, таких как транспортные системы переноса Са–Mg и К–Na-АТФ-азы. Ферментативная активность окислительной системы НАДН-оксидоредуктазы ингибировалась, во-первых, за счет комплексообразования с динуклеотидом (коферментом) НАДН, во-вторых, за счет образования непродуктивного комплекса фермент–пестицид в активном центре фермента. Проявлялись разные типы торможения. Активность увеличивалась в ряду: ион металла < пестицид < комплекс пестицида и металла. Подавление окислительно-восстановительного потенциала ферментативных систем пестицидами и их металлокомплексами нарушало процессы жизнедеятельности, выполняемые ферментами; система окисления ксенобиотиков

блокировалась, и организм не мог выводить токсины.

Основная причина токсических свойств пестицидов и их комплексов с металлами по отношению к растениям, одноклеточным организмам очевидно связана с подавлением энергетического обмена и появлением дефицита энергии клетки из-за образования комплексов пестицидов с АТФ. Энергетические процессы и цепи переноса электронов разрываются, и цикл трикарбоновых кислот и фотосинтетические процессы блокируются в результате действия пестицидов на нуклеотидное “разветвление” (разветвление направлений действия техногенных токсикантов внутри клетки). Действие комплекса пестицид–металл воздействует на процессы синтеза мононуклеотида АТФ, динуклеотида НАДН и полинуклеотидов ДНК и РНК.

Пестициды и комплексы металлов подавляют окислительно-восстановительные ферментные системы. В этом метаболическом цикле “ферментативное разветвление” имеет место, что выражено в связывании пестицида с металлами, которые составляют свободный пул внутри клетки и необходимы для синтеза металлосодержащих ферментов, в образовании комплексов пестицида с коферментами (НАДН, АТФ) и в прямом ингибировании активности фермента(ов). Таким образом, механизм формирования токсичности пестицидов и их металлокомплексов заключается в ингибировании окислительно-восстановительных процессов, т.е. блокировании цепи переноса электронов.

Пестициды и их комплексы с металлами способны к комплексному образованию с ДНК и РНК. В этом случае выделяются “генетическое ветвление” токсического действия пестицидов и их комплексов с металлами: природа двойной ДНК-спирали нарушается из-за комплексообразования, проявляется прямое мутагенное действие (показано для штамма TA98 *Salmonella typhimurium*, что индуцируются мутации типа сдвига рамки считывания) [11].

Коллектив авторов отметил, что статистические результаты свидетельствуют об опасности пестицидов в мировом сообществе, которое все больше осознает риски для здоровья человека и окружающей среды, связанные с использованием особо опасных пестицидов (ООП), последствия которого могут подорвать здоровье человека и влиять на будущие поколения. Рассмотрены результаты первого комплексного исследования производства и использования ООП в Армении, Казахстане, России, Украине и Узбекистане. Они показали тревожную тенденцию к увеличению

использования этих очень опасных химических веществ. В России на начало 2020 г. Государственный каталог пестицидов и агрохимикатов, разрешенных к применению на территории Российской Федерации, содержал 652 пестицидных препарата (индивидуальных и смешанных по действующему веществу), значительно больше, чем разрешалось использовать в предыдущие годы. При этом подчеркнуто, что 106 применяемых в России пестицидов (по действующим веществам) включены в список особо опасных пестицидов по критериям Pesticide Action Network (PAN). Из них 38 ООП не зарегистрированы или запрещены в разных странах. Кроме того, отмечено, что длительное использование ООП в России привело к загрязнению сельскохозяйственных угодий и лесов вредными веществами.

Обеспечение экологической безопасности осложняется отсутствием эффективного государственного надзора за безопасным обращением с пестицидами и агрохимикатами в сельскохозяйственном производстве. Например, более 60% пестицидов, разрешенных к применению законодательством Армении, принадлежат ООП. Из них 1/3 классифицируется ВОЗ и Международным агентством по изучению рака как канцерогены или возможные канцерогены. Это тревожная информация в контексте роста онкологических заболеваний и связанной с ними смертности в Армении. Большая часть импортируемых пестицидов поступает из Китая и Индии, и их количество ежегодно увеличивается.

По состоянию на март 2019 г. в Казахстане было зарегистрировано и используется 1021 торговое наименование пестицидов, из которых 386 (38% от общего количества) содержат один или несколько активных ингредиентов из списка ООП, запрещенных в других странах, но которые продолжают использовать в Казахстане. В Узбекистане разрешено использование 59 ООП, 34 из которых запрещены в других странах, но продолжают использоваться. Анализ ситуации на Украине показал, что по состоянию на декабрь 2019 г. около 1/3 (1125 составов) пестицидов и агрохимикатов, разрешенных к применению в этой стране, содержат 1–3 действующих вещества из списка ООП.

В результате исследований были выработаны рекомендации по сокращению и, в конечном итоге, ликвидации ООП в Восточной Европе, на Кавказе и в Центральной Азии. Информация о безопасной замене ООП, включая использование экосистемного подхода и традиционных знаний в сельском хозяйстве, внесет вклад в инициативы по освобождению от пестицидов в этих странах.

Стороны Стокгольмской конвенции из группы стойких органических загрязнителей исключили эндосульфат, один из ООП, заменив его безопасными альтернативами и экосистемным подходом к борьбе с сельскохозяйственными вредителями. Другой пример – это инициативы многих стран по отказу от использования глифосфата, который может вызывать неблагоприятные последствия для здоровья человека. Уроки, извлеченные из этого процесса, могут быть собраны региональными координационными центрами Стокгольмской конвенции по стойким органическим загрязнителям, а затем переданы национальным властям для облегчения перехода от ООП к более безопасным альтернативам.

Исследования проведены при финансовой поддержке Международной сети по ликвидации загрязнителей (IPEN) [12]. Список литературы представлен в соответствии с опубликованным сборником материалов конференции (УДК 504.054 ББК 20.18 V<sup>th</sup> International Conference “Actual Scientific & Technical Issues of Chemical Safety” (ASTICS-2020) Kazan, October 6–8, 2020 / Eds. A.V. Roshchin, E.G. Raevskaya. 350 p. ISBN 978-5-4465-2932-2. DOI:10.25514/CHS.2020.05.7755

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Polyakov N.E., Selyutina O.Yu., Khalikov S.S., Dushkin A.V., Malyuga A.A., Vlasenko N.G. Anopesticides – a new generation of plant protection products with increased safety and effectiveness. P. 42–44.
2. Sharapova D.A., Sharapova I.S., Murtazina L.I., Sergeeva S.Yu., Kostina L.A., Shevelev M.D., Konovalov A.I. Interconnection of fluorescent intensity and bioeffects of self-organized aqueous systems of herbicide based on N-(phosphonomethyl)glycine and succinic acid in low concentration range. P. 149–151.
3. To.Y.V. Vakhterova, E.V. Shtamm, V.O. Sydkiy, E.A. Saratovskikh. Toxicity of glyphosate photochemical decomposition products determined by changes in bioluminescence intensity of bacterial test system. P. 202–204
4. Prokop'eva T.M., Mirgorodskaya A.B., Belousova I.A., Turovskaya M.K., Zubareva T.M., Panchenko B.V., Mikhailov V.A. Modern approaches to organized surfactant-based nanosystems for organophosphorus compounds decomposition. P. 307–309.
5. Chkanikov N.D., Spiridonov Yu. Ya. Protection of crops from herbicide residues in soils using antidotes. P. 113–115.
6. Vakhterova Y.V., Saratovskikh E.A., Avdeeva L.V. Kinetics of photochemical decomposition of N-(phosphonomethyl)glycine – Roundup herbicide. P. 147–149.
7. Avdeeva L.V., Tukhvatullin I.A. ethanotrophic bacteria-mediated formation of silver nanoparticles. P. 177–178.
8. Belov T.G., Terenzhev D.A., Lyubina A.P., Gumerova S.K., Shatalina E.E. Biopesticides based on extracts of some plants of the genus *Centaurea* L. P. 178–180.
9. Antropova N.S., Ushakova O.V. Prospects for studying tetracycline group antibiotics in the process of their accumulation in soils and translocation into plants. P. 104–106.
10. Leah T.Gh. monitoring of polluted soils: impact of agricultural system on content of heavy metals and pesticide residues in soils. P. 284–286.
11. Saratovskikh E.A. Pesticides as highly toxic chemical pollutants of the environment. P. 53–55.
12. Speranskaya O.A., Tsitser O.Yu., Manvelian E.V., Mustafina V.V., Dushkina Y.N., Domuladjanov I.H., Pavlovsky D.A., Tsyguleva O.M. Production and use of highly hazardous pesticides in Russia and some countries in Eastern Europe, Caucasus and Central Asia: trends and perspectives for transition to safe alternatives. P. 326–328.

## Agrochemical Aspects of Chemical Safety of Pesticides

V. A. Zakharenko

Federal Research Center “Nemchinovka”  
ul. Agrochimikov 6, Moscow region, Odintsovsky district, r.p. Novoivanovskoe 143026, Russia

E-mail: zwa@mosniish.ru

Based on the materials of the V International Conference “Actual scientific and Technical issues of chemical safety” (ASTICS-2020) Kazan, October 6–8, 2020, related to agrochemical topics in the field of fundamental and interdisciplinary research of chemical safety problems, protection of human health and the environment from the effects of hazardous chemical factors, the most significant technological solutions for the creation of environmental analysis systems are considered.

*Key words:* pesticides, chemical safety, nano-preparative forms of pesticides, antidotes, testing methods, especially dangerous pesticides, antibiotics.

УДК 633.14:631.811

## ИЗМЕНЕНИЕ ФРАКЦИОННОГО СОСТАВА ЗЕРНА ОЗИМОЙ РЖИ, ВЫРАЩЕННОГО НА ФОНЕ ВОЗРАСТАЮЩИХ УРОВНЕЙ МИНЕРАЛЬНОГО ПИТАНИЯ

© 2022 г. А. В. Пасынков<sup>1</sup>, Е. Н. Пасынкова<sup>1,\*</sup>

<sup>1</sup>Ленинградский научно-исследовательский институт сельского хозяйства  
“Белогорка” – филиал “ФИЦ картофеля им. А.Г. Лорха”  
188338 п. Белогорка, Гатчинский р-н, Ленинградская обл., Россия

\*E-mail: pasynkova.elena@gmail.com

Поступила в редакцию 07.04.2021 г.

После доработки 27.04.2021 г.

Принята к публикации 10.08.2021 г.

Представлены экспериментальные данные изменения фракционного состава зерна озимой ржи, выращенного на фоне возрастающих уровней минерального питания. Показано, что в контрастные по увлажнению годы изменение урожайности зерна озимой ржи происходило за счет перераспределения относительной доли фракций. При этом относительная доля фракций в урожае зерна (%) озимой ржи в текущем (конкретном) году не зависела от уровня минерального питания. С увеличением толщины зерновки от ее минимальных величин относительная доля фракции в урожае зерна возрастала, однако каждое последующее возрастание толщины зерновки замедляло темпы ее роста и, достигнув точки экстремума, она начинала снижаться. Урожайность (ц/га) всех фракций увеличивалась с усилением уровня минерального питания и возрастанием толщины зерновки, однако темпы роста урожайности каждой фракции существенно различались в зависимости от толщины зерновки. При этом минимальные прибавки урожая зерна по сравнению с предыдущей дозой минеральных удобрений отмечены у самой мелкой и самой крупной фракций, максимальные – у средней фракции зерна 2.2–2.4 мм.

*Ключевые слова:* озимая рожь, уровень минерального питания, фракционирование, решета, относительная доля фракций, урожайность фракций.

DOI: 10.31857/S0002188121110119

### ВВЕДЕНИЕ

Известно, что возможности фракционирования зерна по толщине зерновки на стандартных решетках с продолговатыми отверстиями традиционных для Нечерноземья России зерновых культур довольно широки и позволяют разделить зерновую массу на 6, 7 и более фракций. Следует отметить, что выполненные ранее исследования по выявлению эффективности фракционирования зерна для целей семеноводства [1–9] и получения зерна целевого назначения (продовольственной ржи, пшеницы и тритикале, а также пивоваренного ячменя) проводились на одном уровне минерального питания [10–17]. Не претендуя на полноту изложения экспериментальных данных, имеющих в научной литературе по данному вопросу, было сделано предположение, что вопросы изменения фракционного состава зерновых культур и, в частности, озимой ржи, остаются малоизученными, особенно в плане выяснения их

изменений, происходящих под действием возрастающих уровней минерального питания и изменяющихся гидротермических условий в период вегетации. Выяснение зависимостей урожайности от относительной доли фракций и уровня минерального питания при возделывании озимой ржи позволит существенно повысить выравненность зерна, а также оптимизировать дозы минеральных удобрений и азотных подкормок в период вегетации. При этом появляется реальная возможность сознательно управлять в желаемом направлении величиной основных показателей качества зерна, т.к. известно, что различные фракции зерна озимой ржи существенно различаются по биохимическому составу (содержанию белка и величине показателя “число падения”) и технологическим качествам (массе 1000 зерен и натуре) [14]. Цель работы – выявить особенности изменения фракционного состава зерна озимой

**Таблица 1.** Гидротермический коэффициент (ГТК) в период проведения опыта

| Год       | ГТК (по Г.Т. Селянинову) в период вегетации |      |      |      |       |
|-----------|---------------------------------------------|------|------|------|-------|
|           | П–ОВ                                        | ВВ–Т | Т–Ц  | Ц–ПС | ВВ–ПС |
| 2004–2005 | 1.84                                        | 1.52 | 2.12 | 1.02 | 1.38  |
| 2005–2006 | 1.56                                        | 1.78 | 1.01 | 1.14 | 1.29  |
| 2006–2007 | 1.69                                        | 1.56 | 1.38 | 0.75 | 1.13  |

Примечание. П – посев, ОВ – окончание осенней вегетации, ВВ – возобновление весенней вегетации, Т – трубкование, Ц – цветение, ПС – полная спелость.

ржи, выращенного на фоне возрастающих уровней минерального питания.

### МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Для исследования было использовано зерно допущенного к использованию короткостебельного сорта озимой ржи Фаленская 4 (совместной селекции Зонального НИИСХ Северо-Востока и Фаленской государственной селекционной станции), выращенное в лаборатории агрохимии Зонального НИИСХ Северо-Востока на дерново-подзолистой среднесуглинистой почве и внесении возрастающих доз минеральных удобрений. Предшественник озимой ржи – чистый пар. За единицу доз основных элементов минерального питания под озимую рожь приняты следующие величины: 000 – без удобрений, 111 – (NPK)30, 222 – (NPK)60, 333 – (NPK)90, 444 – (NPK)120 и 555 – (NPK)150. Фосфорно-калийные и азотные удобрения в дозах N30 и N60 вносили до посева, а в вариантах с внесением доз азота N90, N120 и N150 дробно: в 2 срока – N90 (N60 до посева + N30 весной) и в 3 срока – N120 (N60 до посева + N30 весной + N30 трубкование), N150 (N60 до посева + N60 весной + N30 трубкование). Образцы зерна озимой ржи, полученные в перечисленных выше 6-ти вариантах опыта, были использованы при проведении фракционирования. После обмолота зерно высушивали при мягких семенных режимах до влажности <12% и охлаждали до температуры окружающего воздуха. Затем образцы зерна подвергали первичной очистке на малогабаритной семяочистительной машине с установленными на ней нижними решетками с продолговатыми отверстиями размером 1.5 и верхними – 3.0 мм. Размер верхних решет (через которые должна проходить вся зерновая масса) определяли экспериментально и во все годы он составлял 3.0 мм. Размер нижних решет регламентируется ГОСТом 30483-97 “Методы определения ... содержания мелких зерен ...”. Затем зерно подвергали разделению на этой же машине на 7 фракций. Более подробно условия и методика

проведения полевого опыта, откуда отбирали образцы зерна озимой ржи для фракционирования, опубликованы ранее в работе [18].

Гидротермические условия в летне-осенние периоды (посев – окончание вегетации) существенно не различались и характеризовались избыточным увлажнением (табл. 1). Во все годы растения озимой ржи уходили в зимовку в хорошем состоянии. Гидротермические условия, сложившиеся в весенне-летние периоды вегетации, наоборот, существенно различались. Например, в первый год период возобновление весенней вегетации–цветение характеризовался избытком влаги и недостаточным увлажнением в период формирования и налива зерна. Во 2-й год период возобновление весенней вегетации–трубкование был избыточно увлажненным, а последующий период (от фазы трубкования и вплоть до полной спелости) – засушливым. Период весенне-летней вегетации в 3-й год проведения исследования характеризовался избыточным и относительно равномерным выпадением осадков в вегетативный (возобновление весенней вегетации–цветение) и недостаточным увлажнением в репродуктивный период (цветение–полная спелость).

Статистическая обработка полученных экспериментальных данных проведена методом множественного регрессионного анализа (линейного, полинома половинной степени и 2-го порядка) с использованием пакета статистических программ “Statistica 6” (Stat-Soft Inc., США). Критерием оценки точности полученных уравнений регрессии являлась величина коэффициента детерминации ( $R^2$ ) [19].

### РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Максимальная урожайность зерна получена в первый год проведения опыта, весенне-летний период которого характеризовался благоприятным увлажнением. Второй и третий годы опыта практически не различались по величине урожайности. Прибавки урожайности зерна от приращения возрастающих доз минеральных удобрений

**Таблица 2.** Урожайность зерна озимой ржи в вариантах опыта, ц/га

| Вариант | 2005 г.    | 2006 г.    | 2007 г.    | Средние за 3 года | Прибавка урожая | Окупаемость 1 кг NPK зерном, кг |
|---------|------------|------------|------------|-------------------|-----------------|---------------------------------|
| 000     | 24.3 ± 2.0 | 19.7 ± 2.4 | 19.2 ± 1.6 | 21.1 ± 2.4        | —               | —                               |
| 111     | 32.5 ± 1.6 | 30.0 ± 1.0 | 25.6 ± 1.8 | 29.1 ± 1.8        | +8.0            | 8.9                             |
| 222     | 36.2 ± 1.5 | 33.7 ± 1.9 | 34.0 ± 1.2 | 34.6 ± 1.4        | +13.5           | 7.5                             |
| 333     | 48.6 ± 1.9 | 40.8 ± 2.1 | 38.9 ± 1.7 | 42.8 ± 1.6        | +21.7           | 8.0                             |
| 444     | 51.6 ± 1.9 | 43.3 ± 2.2 | 50.1 ± 2.5 | 48.3 ± 1.5        | +27.2           | 7.6                             |
| 555     | 53.4 ± 2.0 | 44.6 ± 2.1 | 49.9 ± 2.8 | 49.3 ± 1.4        | +28.2           | 6.3                             |
| Средние | 41.1       | 35.3       | 36.3       | 37.6              | —               | —                               |

Примечание. Представлены средние ± ошибка средних.

**Таблица 3.** Относительная доля фракций зерна в урожае (средние за 2005–2007 гг.), %

| Вариант | Фракция, мм |         |         |         |         |         |         |
|---------|-------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
|         | 1.5–1.7     | 1.7–2.0 | 2.0–2.2 | 2.2–2.4 | 2.4–2.6 | 2.6–2.8 | 2.8–3.0 |
| 000     | 2.3         | 14.3    | 16.9    | 33.4    | 21.8    | 9.8     | 1.5     |
| 111     | 2.5         | 13.1    | 16.5    | 31.5    | 22.9    | 11.8    | 1.7     |
| 222     | 1.8         | 11.3    | 16.5    | 33.6    | 24.5    | 11.1    | 1.3     |
| 333     | 1.7         | 11.4    | 14.7    | 32.5    | 22.4    | 15.4    | 1.9     |
| 444     | 1.6         | 10.7    | 17.2    | 31.9    | 23.2    | 13.5    | 1.9     |
| 555     | 1.7         | 11.5    | 15.2    | 31.8    | 23.8    | 13.9    | 2.1     |
| Средние | 1.9         | 12.0    | 16.2    | 32.4    | 23.1    | 12.6    | 1.7     |
| 2005 г. | 1.1         | 6.3     | 9.0     | 24.4    | 31.9    | 24.3    | 3.0     |
| 2006 г. | 1.9         | 10.8    | 14.5    | 33.2    | 26.4    | 11.7    | 1.6     |
| 2007 г. | 2.8         | 19.0    | 25.1    | 39.7    | 11.1    | 1.7     | 0.6     |

ний при возделывании озимой ржи составили 8.0–28.2 ц/га при урожае в контроле 21.1 ц/га (табл. 2).

Фракционирование зерна озимой ржи на стандартных решетках с продолговатыми отверстиями показало, что варьирование урожая зерна озимой ржи по годам исследования происходило за счет перераспределения фракций. Например, в первый (относительно высокоурожайный) год были высокими доли 3-х фракций 2.2–2.4, 2.4–2.6 и 2.6–2.8 мм (24.4, 31.9 и 24.3% соответственно), что в сумме составило 80.6% (табл. 3, рис. 1). Во второй, менее урожайный год (2006 г.) по сравнению с предыдущим отмечено увеличение доли мелких (1.7–2.0 и 2.0–2.2, что в сумме составляло 25.3%) и средней фракции (2.2–2.4) с 24.4 до 33.2% при существенном снижении доли крупных фракций 2.4–2.6 и 2.6–2.8 мм (с 31.9 и 24.3 до 26.4 и 11.7% соответственно). В третий год по сравнению с двумя предыдущими было отмечено, что доли фракций 1.7–2.0 и 2.0–2.2 мм в сумме составили 44.1%, доля средней фракции (2.2–2.4) достигала 39.7% при дальнейшем существенном снижении, как и в предыдущий год, до-

ли обеих крупных фракций 2.4–2.6 и 2.6–2.8 мм уменьшились до 11.1 и 1.7% соответственно.

Максимальная доля в урожае зерна в первый год отмечена у фракции 2.4–2.6, в остальные годы – у фракции 2.2–2.4 мм. Доли самой мелкой (1.5–1.7) и самой крупной фракции (2.8–3.0 мм) составляли в урожае не более 3% (1.1–2.8 и 0.6–3.0% соответственно) и существенного значения в его формировании не имели.

Аналогично доле фракций в урожае изменялась по годам и урожайность зерна различных фракций с единицы площади (рис. 2). При этом необходимо отметить ее существенную зависимость от уровня минерального питания: с его усилением урожайность фракций возрастала (табл. 4, рис. 3).

В среднем за годы проведения исследования минимальные прибавки урожая по сравнению с предыдущей дозой минеральных удобрений отмечены у самой мелкой и самой крупной фракций, максимальные – у средней фракции 2.2–2.4 мм. Например, при внесении N30 урожайность фракции 2.2–2.4 возрастала по сравнению с вариантом без внесения удобрений на 2.2, N60 – на 2.5 ц/га по сравнению с внесением N30. Дальнейшее повышение уровня минерального питания приво-

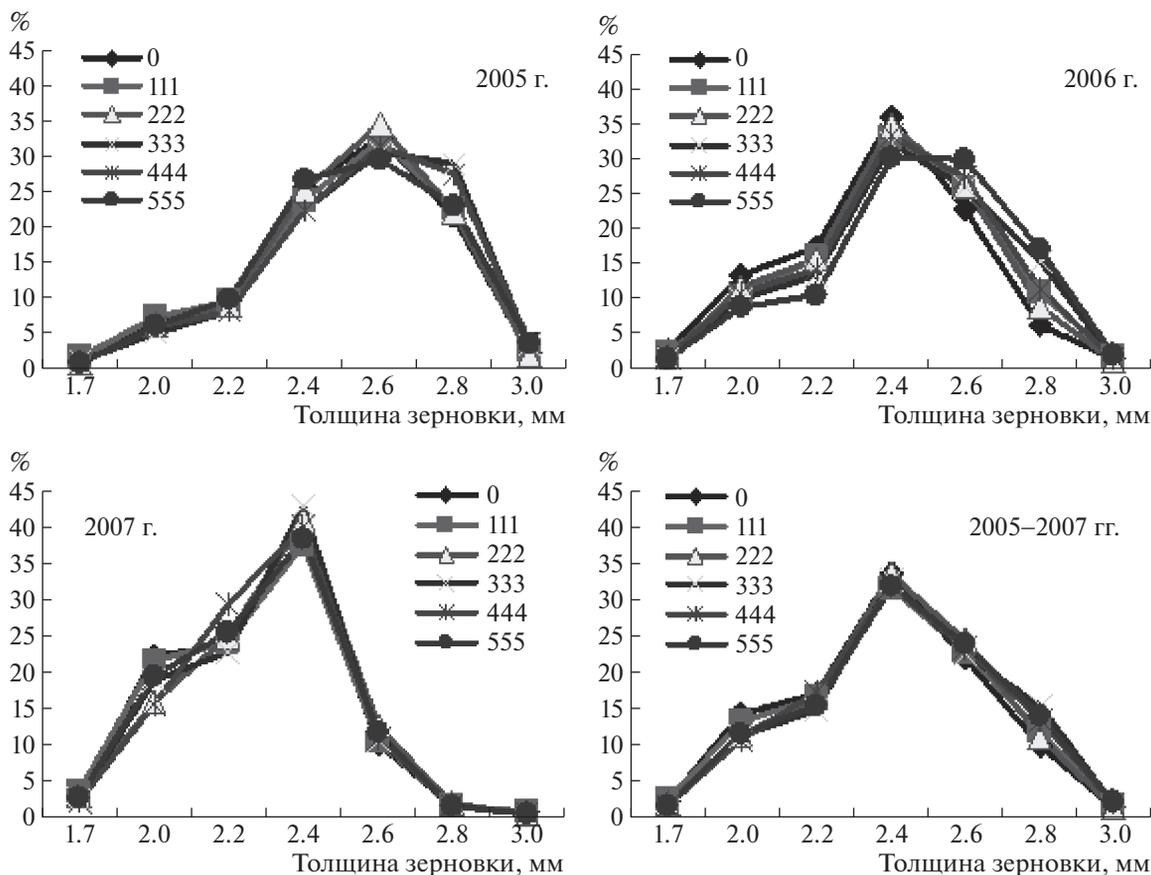


Рис. 1. Относительная доля фракций в урожае зерна озимой ржи, %.

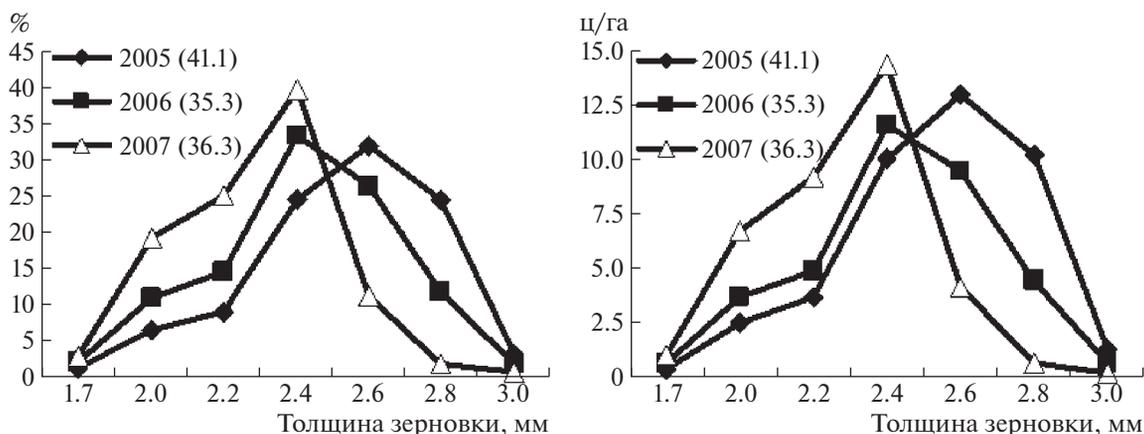


Рис. 2. Доля фракций зерна (%) в урожае (а) и урожайность (ц/га) различных фракций зерна озимой ржи (б) (средние в 6-ти вариантах опыта); (41.1 ц/га) – средняя урожайность в опыте.

дило к уменьшению прибавок урожая зерна по сравнению с предыдущей дозой: при внесении N90 дробно, в два срока урожайность фракции 2.2–2.4 возрастала по сравнению с предыдущей дозой на 2.0, N120 по сравнению с N90 – на 1.7 и N150 по сравнению с N120 – всего лишь на 0.3 ц/га.

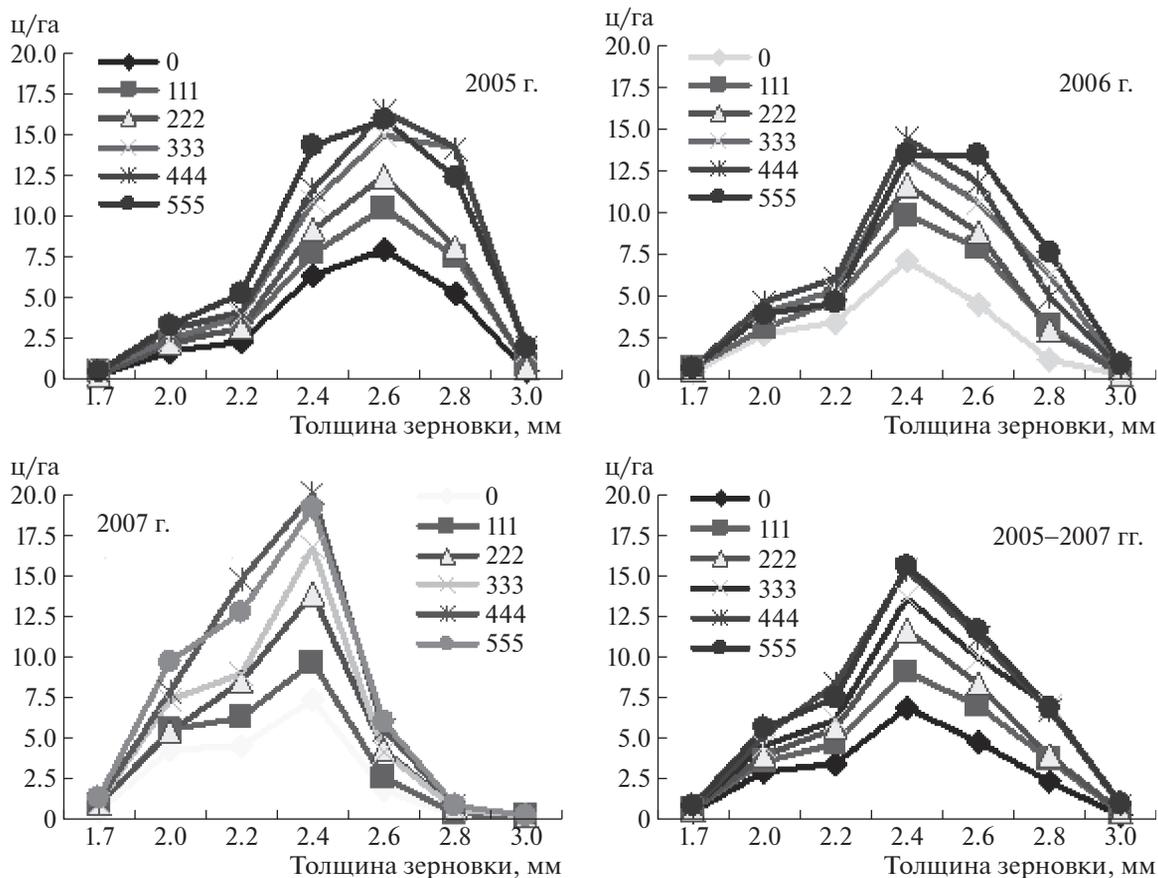
Статистическая обработка методом множественного регрессионного анализа показала, что во все годы опыта и в среднем за годы его проведения уровень минерального питания не оказывал достоверного влияния на относительную долю фракций в урожае (%), но оказывал существенное влияние на урожайность зерна различных фрак-

**Таблица 4.** Урожайность различных фракций зерна (средние за 2005–2007 гг.), ц/га

| Вариант | Фракция, мм |         |         |         |         |         |         |
|---------|-------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
|         | 1.5–1.7     | 1.7–2.0 | 2.0–2.2 | 2.2–2.4 | 2.4–2.6 | 2.6–2.8 | 2.8–3.0 |
| 000     | 0.5         | 2.9     | 3.4     | 6.9     | 4.8     | 2.3     | 0.3     |
| 111     | 0.6         | 3.6     | 4.7     | 9.1     | 7.0     | 3.7     | 0.4     |
| 222     | 0.6         | 3.9     | 5.7     | 11.6    | 8.4     | 3.9     | 0.5     |
| 333     | 0.7         | 4.6     | 6.1     | 13.6    | 9.9     | 7.0     | 0.9     |
| 444     | 0.7         | 5.2     | 8.3     | 15.3    | 11.2    | 6.7     | 0.9     |
| 555     | 0.9         | 5.7     | 7.5     | 15.6    | 11.7    | 6.9     | 1.0     |
| Средние | 0.7         | 4.3     | 6.0     | 12.0    | 8.8     | 5.1     | 0.7     |
| 2005 г. | 0.4         | 2.5     | 3.7     | 10.0    | 13.0    | 10.2    | 1.3     |
| 2006 г. | 0.6         | 3.7     | 4.9     | 11.6    | 9.5     | 4.4     | 0.6     |
| 2007 г. | 1.0         | 6.7     | 9.2     | 14.4    | 4.1     | 0.6     | 0.2     |

ций (ц/га). При этом максимально точно (по величине коэффициента детерминации –  $R^2$ ) зависимости доли фракций в урожае и урожайности зерна различных фракций от возрастающих уровней минерального питания и толщины зерновки отражают уравнения 2-го порядка (табл. 5, рис. 4, 5).

Рассмотрим зависимость относительной доли фракций в урожае зерна озимой ржи ( $Y$ , %) от толщины зерновки ( $X_2$ , мм). С увеличением толщины зерновки от ее минимальных величин доля фракции в урожае зерна возрастала ( $+X_2$ ). Однако каждое последующее увеличение толщины зер-

**Рис. 3.** Урожайность различных фракций зерна озимой ржи, ц/га.

**Таблица 5.** Зависимость относительной доли фракций зерна в урожае ( $Y$ , %) и урожайности зерна различных фракций ( $Y$ , ц/га) от возрастающих уровней минерального питания ( $X_1$ , код. ед.) и толщины зерновки ( $X_2$ , мм)

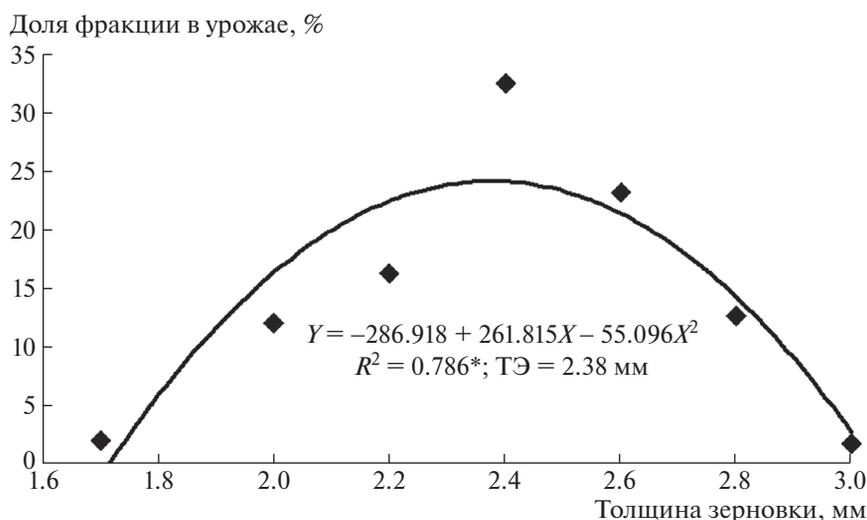
| Год                                       | Уравнение регрессии ( $n = 42$ )                        | $R^2$  | ТЭ   |
|-------------------------------------------|---------------------------------------------------------|--------|------|
|                                           | Относительная доля фракций зерна в урожае, %            |        |      |
| 2005                                      | $Y = -250.603 + 219.988X_2 - 44.250X_2^2$               | 0.561* | 2.49 |
| 2006                                      | $Y = -296.323 + 269.101X_2 - 56.455X_2^2$               | 0.702* | 2.38 |
| 2007                                      | $Y = -313.824 + 296.434X_2 - 64.582X_2^2$               | 0.666* | 2.30 |
| 2005–2007                                 | $Y = -286.918 + 261.815X_2 - 55.096X_2^2$               | 0.786* | 2.38 |
| Урожайность зерна различных фракций, ц/га |                                                         |        |      |
| 2005                                      | $Y = -101.953 + 0.384X_1X_2 + 88.382X_2 - 17.942X_2^2$  | 0.559* | –    |
| 2006                                      | $Y = -104.252 + 0.302X_1X_2 + 93.718X_2 - 19.776X_2^2$  | 0.680* | –    |
| 2007                                      | $Y = -115.192 + 0.370X_1X_2 + 107.736X_2 - 23.656X_2^2$ | 0.611* | –    |
| 2005–2007                                 | $Y = -107.101 + 0.352X_1X_2 + 96.583X_2 - 20.452X_2^2$  | 0.754* | –    |

Примечание.  $n = 42$  – общее число наблюдений, 0.561\* – статистически значимо при  $p < 0.05$ ,  $X_1$  (код. ед.) 0 – без удобрений, 1 – (NPK)30, 2 – (NPK)60, 3 – (NPK)90, 4 – (NPK)120, 5 – (NPK)150; ТЭ – точка экстремума толщины зерновки. То же на рис. 4.

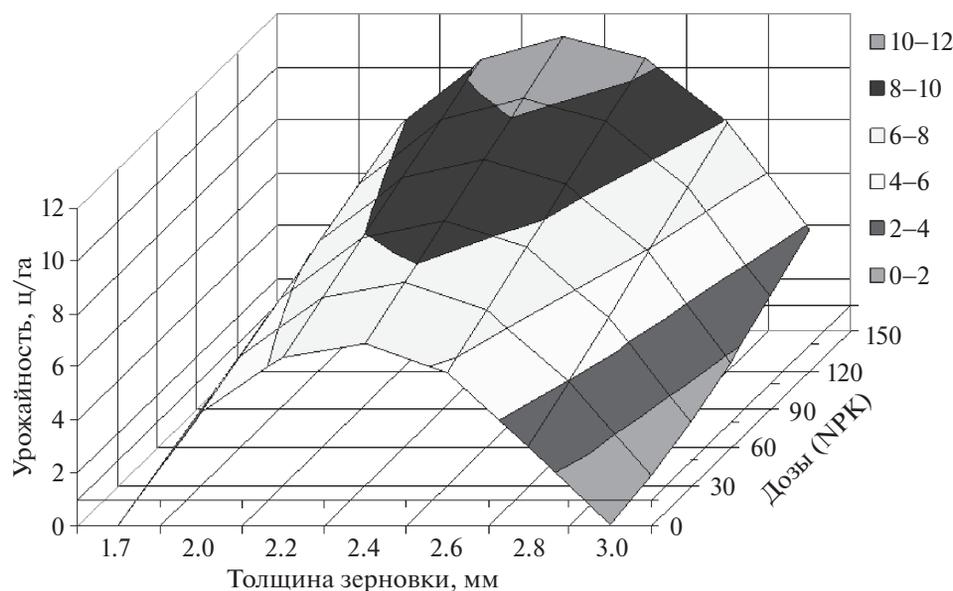
новки замедляло темпы ее роста ( $+X_2 - X_2^2$ ) и достигнув точки экстремума (во все годы находящейся в пределах полученных экспериментальных данных), относительная доля фракции в урожае зерна начинала снижаться. При этом каждое последующее увеличение толщины зерновки более точки экстремума приводило к большему снижению доли фракции в урожае по сравнению с предыдущей. Следует отметить, что во 2-й и 3-й годы опыта с практически равной урожайностью точка экстремума находилась в интервале толщи-

ны зерновки 2.2–2.4 мм, а в первый, более урожайный год – 2.4–2.6 мм.

С усилением уровня минерального питания ( $X_1$ ) и возрастанием толщины зерновки ( $X_2$ ) урожайность всех фракций увеличивалась ( $+X_1 - X_2$ ). Однако темпы роста урожайности каждой фракции существенно различались в зависимости от толщины зерновки (табл. 5, рис 5). При этом минимальные прибавки урожая по сравнению с предыдущей дозой удобрений отмечены у самой мелкой и самой крупной фракций, максимальные – у средней фракции зерна 2.2–2.4 мм.



**Рис. 4.** Зависимость относительной доли фракций зерна в урожае ( $Y$ , %) от толщины зерновки ( $X$ , мм) (средние за 2005–2007 гг.).



**Рис. 5.** Зависимость урожайности зерна ( $Y$ , ц/га) различных фракций от уровня минерального питания и толщины зерновки (средние за 2005–2007 гг.).

С увеличением толщины зерновки от ее минимальных величин урожайность зерна (ц/га) всех фракций возрастала ( $+X_2$ ). Однако каждое последующее возрастание толщины зерновки (как и в случае с относительной долей фракций) замедляло темпы роста урожайности ( $+X_2 - X_2^2$ ) и достигнув максимальных величин при толщине зерновки 2.2–2.4 мм, урожайность зерна начинала снижаться. При этом каждое последующее увеличение толщины зерновки более точки экстремума приводило к большему снижению урожайности зерна озимой ржи по сравнению с предыдущей. То есть в изменении урожайности различных фракций зерна озимой ржи в зависимости от толщины зерновки наблюдали тенденции, аналогичные зависимостям величины доли фракций от толщины зерновки. Следует отметить, что определить точку экстремума по толщине зерновки в данном случае не представлялось возможным, т.к. в уравнении существует значимое положительное взаимодействие независимых переменных ( $+X_1 - X_2$ ).

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В контрастные по увлажнению годы изменение урожайности зерна озимой ржи происходило за счет перераспределения относительной доли фракций. При этом относительная доля фракций в урожае зерна озимой ржи в текущем (конкретном) году существенно зависела от толщины зерновки и не зависела от уровня минерального питания. С увеличением толщины зерновки от ее

минимальных величин относительная доля фракций в урожае зерна возрастала, однако каждое последующее возрастание толщины зерновки замедляло темпы роста доли и, достигнув точки экстремума, она начинала снижаться. При этом каждое последующее увеличение толщины зерновки более точки экстремума приводило к большему снижению доли фракции в урожае по сравнению с предыдущей. Урожайность всех фракций увеличивалась с усилением уровня минерального питания и возрастанием толщины зерновки, однако темпы роста урожайности каждой фракции существенно различались в зависимости от толщины зерновки. При этом минимальные прибавки урожая зерна по сравнению с предыдущей дозой минеральных удобрений отмечены у самой мелкой и самой крупной фракций, максимальные – у средней фракции зерна 2.2–2.4 мм.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Предко И.Г., Шаповал И.С. Влияние минеральных удобрений на урожай и качество зерна озимой пшеницы по занятому пару на выщелоченном черноземе // *Агрохимия*. 1972. № 3. С. 63–67.
2. Кизилова Е.Г. Разнокачественность семян и ее агрономическое значение. Киев: Урожай, 1974. 216 с.
3. Коданев И.М. Повышение качества зерна. М.: Колос, 1976. С. 288–290.
4. Грязнов А.А. Ячмень карабалыкский (корм, крупа, пиво). Кустанай: Кустан. печатный двор, 1996. С. 244–294.
5. Кондратьев М.Н., Слипчик А.Ф., Ларикова Ю.С. Морфофизиологическая разнокачественность

- зерновок колосьев у озимой пшеницы // Изв. ТСХА. 1998. Вып. 2. С. 155–164.
6. *Калимуллин А.Н.* Научные основы производства семян зерновых культур в Среднем Поволжье. Самара: Самар. НИИСХ, 1999. С. 112–116.
  7. *Мухин В.П., Гущина Е.О.* Реакция разнокачественных семян яровой пшеницы на разный уровень минерального питания // Изв. ТСХА. 2000. Вып. 2. С. 57–80.
  8. *Исмагилов Р.Р., Нехороших М.С.* Полевая всхожесть и параметры растений озимой ржи в зависимости от размера семян // Межотраслевой ин-т науки и образования. 2014. № 5. С. 39–41.
  9. *Исмагилов Р.Р., Нехороших М.С.* Качество семян озимой ржи в зависимости от места его формирования в колосе // Совр. пробл. науки и образования. 2014. № 6. С. 16–28.
  10. *Колмаков Ю.В., Капис В.И., Распутин В.М.* Эффективность зернопроизводства пшеницы в Омской области при контроле качества зерна и продуктов его переработки. Омск: ООО ИПЦ “Сфера”, 2004. С. 86–93.
  11. *Личко Н.М., Личко А.К.* Фракционирование по аэродинамическим свойствам — один из путей улучшения технологических достоинств зерна озимой пшеницы // Изв. ТСХА. 2007. Вып. 4. С. 82–92.
  12. *Лантева Н.К.* Фракционная технология подработки озимой ржи для формирования партий зерна с улучшенными хлебопекарными свойствами или с повышенным содержанием крахмала // Аграрн. вестн. Юго-Востока, 2009. № 3. С. 26–28.
  13. *Пасынкова Е.Н., Пасынков А.В., Андреев В.Л., Завалин А.А.* Изменение показателей качества зерна яровой пшеницы при его фракционировании // Агрофизика. 2012. № 4 (8). С. 25–33.
  14. *Пасынков А.В., Андреев В.Л., Завалин А.А., Пасынкова Е.Н.* Изменение показателей качества зерна озимой ржи при его фракционировании // Достиж. науки и техн. АПК. 2013. № 9. С. 36–40.
  15. *Magliano P.N., Pristupa P., Gutierrez-Boem F.H.* Protein content of grains of different size fractions in malting barley // J. Inst. Brew. 2014. № 120. P. 347–352. <https://doi.org/10.1002/jib.161>
  16. *Пасынков А.В., Завалин А.А., Пасынкова Е.Н., Скоробогатых Н.А.* Изменение показателей качества зерна пивоваренного ячменя при его фракционировании // Рос. сел.-хоз. наука. 2017. № 4. С. 12–16.
  17. *Liubych V., Novikov V., Zheliezna V., Petrenko V.* Improving the process of hydrothermal treatment and dehulling of different triticale grain fractions in the production groats // East.-Europ. J. Enterprise Technol. 2020. V. 3/11(105). P. 55–65.
  18. *Пасынков А.В., Светлакова Е.В., Котельникова Н.В.* Влияние длительного применения минеральных удобрений на плодородие дерново-подзолистой почвы, продуктивность севооборота и качество зерна // Агрохимия. 2016. № 10. С. 38–47.
  19. *Иванова Т.И.* Прогнозирование эффективности удобрений с использованием математических моделей. М.: Агропромиздат, 1989. 235 с.

## Change in the Fractional Composition of Winter Rye Grain, Grown on the Background of Growing Mineral Nutrition Levels

A. V. Pasyнков<sup>a</sup> and E. N. Pasynkova<sup>a, #</sup>

<sup>a</sup> *Leningrad Scientific Research Institute of Agriculture “Belogorka” — Branch of Federal Research Centre of Potato Named after A.G. Lorch  
Gatchinsky district, Leningrad region, p. Belogorka 188338, Russia*

<sup>#</sup> *E-mail: pasynkova.elena@gmail.com*

Experimental data on the change in the fractional composition of winter rye grain grown against the background of increasing levels of mineral nutrition are presented. It is shown that in years contrasting in moisture, the change in the grain yield of winter rye occurred due to the redistribution of the relative proportion of fractions. At the same time, the relative proportion of fractions in the grain yield (%) of winter rye in the current (specific) year did not depend on the level of mineral nutrition. With an increase in the thickness of the caryopsis from its minimum values, the relative proportion of the fraction in the grain yield increased, however, each subsequent increase in the thickness of the caryopsis slowed down its growth rates and, having reached the extreme point, it began to decrease. The yield (c/ha) of all fractions increased with an increase in the level of mineral nutrition and an the thickness of the caryopsis; however, the growth rates of the yield of each fraction differed significantly depending on the thickness of the caryopsis. At the same time, the minimum increase in grain yield compared to the previous dose of mineral fertilizers was noted in the smallest and largest fractions, the maximum — in the average grain fraction of 2.2–2.4 mm.

*Key words:* winter rye, level of mineral nutrition, fractionation, sieves, relative proportion of fractions, yield of fractions.

УДК 632.4:633.11“324”

## ПРОГРЕССИРУЮЩЕЕ НАКОПЛЕНИЕ ОПАСНЫХ ФУЗАРИЕВ НА ЗЕРНЕ ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ В ХОЗЯЙСТВАХ ЮГА РОССИИ (2014–2020 гг.)

© 2022 г. Н. И. Будынков<sup>1,\*</sup>, С. Н. Михалева<sup>1</sup><sup>1</sup> Всероссийский научно-исследовательский институт фитопатологии  
143050 Московская обл., Одинцовский р-н, пос. Большие Вяземы, ул. Институт, влад. 5, Россия

\*E-mail: oranzar@yandex.ru

Поступила в редакцию 06.08.2021 г.

После доработки 16.08.2021 г.

Принята к публикации 15.10.2021 г.

Многолетний мониторинг микробиоты семенного и продовольственного зерна озимой пшеницы в хозяйствах юга России показал, что их в основном колонизирует ограниченный круг опасных микробиот: доминирующие патогены – *Alternaria alternata*, *Fusarium moniliforme*, значительно реже на зерне присутствуют *Bipolaris sorokiniana*, *F. semitectum*, *F. solani*, *F. cerealis*, *F. heterosporum*, *F. gibbosum*, *Ascochyta gramionicola*, *Epicoccum* sp. и др., часто встречаются патогены-токсиканты – *F. sporotrichiella*, реже – *F. poae*, часто отмечены возбудители плесени зерна – *Mucor* spp., *Rhizopus nigricans*, *Penicillium* spp., *Aspergillus niger*, *Aspergillus glaucus*, *Aspergillus flavus*, реже – *Cladosporium herbarum*. За период 2014–2020 гг. отмечено нарастание уровня зараженности зерна опасным патогенным грибом *F. moniliforme*, продуцентом микотоксинов из группы фумонизинов, возбудителем корневых и прикорневых гнилей: в Курской обл. – 2.3-кратное (до уровня 7%), в Волгоградской – 3.7-кратное (до уровня 11%), в Ростовской обл. – 8.7-кратное (до уровня 22–26%), в Ставропольском крае – 5.4-кратное (до уровня 25–27%). Весьма вероятные последствия этого – накопление микотоксинов на продовольственном и фуражном зерне и серьезные фитосанитарные проблемы во время вегетации пшеницы при развитии гнилей и сосудистых заболеваний. Наименьший уровень колонизации зерна *F. sporotrichiella* отмечен в Волгоградской обл. – на уровне 1–2% в течение всего 7-летнего периода. Аналогичная тенденция прослежена до 2016 г. в Ростовской обл., но затем наблюдали 2-летнее повышение колонизации в 2.0–2.5 раза, и относительная стабилизация в 2019–2020 гг. на уровне 2–3%. Наибольшую нестабильность колонизации зерна грибом *F. sporotrichiella* с амплитудой 1–6% наблюдали в Ставропольском крае: к 2015 г. отмечено 4-кратное увеличение уровня колонизации в сравнении с уровнем 2014 г., в 2015–2017 гг. – стабилизация на уровне 3–4%, затем – резкое уменьшение показателя с 4 до 1% в 2017–2018 гг., 6-кратный рост к 2019 г. и уменьшение до 4% к 2020 г. Стабильно высоким (7–8%) за период 2014–2020 гг. был уровень колонизации зерна грибом *F. sporotrichiella* в Курской обл. Вероятно, этот регион может быть критическим по загрязненности зерна озимой пшеницы Т-2 токсином. Учет максимальных уровней колонизации зерна озимой пшеницы грибами *F. moniliforme* и *F. sporotrichiella* еще более реально продемонстрировал наличие опасной ситуации с патогенами и, потенциально, микотоксинами на озимой пшенице в регионах юга России. Максимальная колонизация отдельных партий зерна грибами *F. moniliforme* за годы изучения достигала 7% в Курской обл., 46 – в Волгоградской, 65 – в Ростовской и 57% – в Ставропольском крае. Судя по уровню колонизации зерна озимой пшеницы продуцентом, вероятность получения загрязненных Т-2 токсином (продуцент *F. sporotrichiella*) партий зерна в Волгоградской обл. гораздо меньше, чем в Курской, Ростовской обл. и Ставропольском крае. Судя по литературным данным, с 2004 по 2020 г. на юге России произошло многократное нарастание зараженности зерна озимой пшеницы опасными фузариями *F. moniliforme* и *F. sporotrichiella*, возросла опасность развития сосудистых заболеваний и гнилей, а также загрязненности зерна микотоксинами из группы фумонизинов и Т-2 токсином.

**Ключевые слова:** озимая пшеница, культура-предшественник, факультативные паразиты грибной природы, колонизация, патогены, возбудители болезней, микотоксины, севооборот, агроценоз.

DOI: 10.31857/S0002188122010057

### ВВЕДЕНИЕ

Технологические и агрохимические изменения в процессе выращивания растений, минимизация обработки почвы, в частности, прекра-

щение пахоты, увеличение доз удобрений и пестицидной нагрузки на посевы дали сильный толчок к изменениям структуры полевых агроценозов и далеко не всегда позитивным. Скорость

развития многих негативных процессов относительно невысокая, но, если своевременно не проводить компенсирующих мероприятий, — стабильная. В итоге — эпифитотии фузариоза колоса озимой пшеницы развивались в 2014, 2016, 2017 гг. на Северном Кавказе, эпифитотии вирусных болезней озимой пшеницы в 2018–2020 гг. в Нижнем Поволжье и на Северном Кавказе, практически повсеместно — гнили, листовые пятнистости яровой и озимой пшеницы, ячменя, фузариоз, пероноспороз и аскохитоз зернобобовых культур во всех зонах выращивания, спорадические вспышки бурой, желтой, стеблевой ржавчины на пшенице, горохе и других культурах. В почве и на растительных остатках происходило накопление опасной микробиоты — факультативных паразитов грибной природы, которая была источником заражения полевых культур, ежегодно вызывала их активное заболевание, что являлось существенным фактором снижения урожайности пшеницы, ячменя, сои, нута на юге России, значительного ухудшения качества продукции — продовольственного, семенного, фуражного зерна. На зерне озимой пшеницы традиционно встречались возбудители пыльной и твердой, иногда — карликовой головни, которые в отсутствие должного контроля при нескольких посевах наносили значительный ущерб посевам, снижали качество продукции [1]. Нежелательным повсеместно было присутствие в партиях зерна зерновок с “черным зародышем”.

В разных регионах Евразии особо опасными считаются возбудители головневых заболеваний [2]. Пристальное внимание в Европе уделяют также фузариевым болезням колоса и зерна, возбудители которых *Fusarium graminearum*, реже — *F. culmorum*, *F. poae*, *F. avenaceum*, *F. tritinctum* [3–6] являются также продуцентами микотоксинов — дезоксиниваленола, Т-2 токсина, монилиформина и др.

В более засушливых условиях российского Среднего Поволжья данные фузариевые патогены для колоса и зерна менее опасны и, помимо головневых, при фитоэкспертизе семян внимание обращают на различные менее опасные виды фузариев (*Fusarium* spp.), виды альтернарии и ризоктонии [7]. Для Казахстана и российской Восточной Сибири наиболее часто встречающимися на семенах пшеницы опасными патогенами считаются *Bipolaris sorokiniana*, *Alternaria* spp. — возбудители “черного зародыша”, черни, а также — виды фузариев (*Fusarium* spp.) [2, 8].

В условиях стран Южной Азии (Непал, Индия, Пакистан) на зерне доминирует *Bipolaris sorokiniana*, уступают ему по встречаемости

*F. moniliforme*, *F. graminearum*, не менее вредоносные [9, 10], а также возбудители головневых заболеваний [11]. При более тщательном изучении плесневых грибов, наряду с *Bipolaris sorokiniana* здесь были в значительном количестве обнаружены высокопатогенные для злаков виды *Curvularia lunata* и *Drechslera australiensis* [10].

В Юго-Западной Азии опасными, переносимыми на зерне грибными патогенами являются, помимо головневых, *F. graminearum*, *Bipolaris sorokiniana*, *Microdochium nivale*, *F. culmorum*, *Curvularia* spp., *Alternaria* spp., *Fusarium* spp. [12–14].

Зараженное факультативными паразитами грибной природы из рода *Fusarium* зерно накапливает микотоксины, опасные для потребителей зернопродукции, а также является звеном в передаче инфекции посевам последующих вегетационных сезонов. По этой причине мониторинг опасной микробиоты, контроль болезней зерновых культур, восстановление микробиологической структуры полевых агроценозов должны стать важнейшими звеньями выращивания полевых культур [15, 16]. Только уровень колонизации зерна пшеницы микотоксикантами и патогенами, загрязненности микотоксинами, оцененный с помощью микробиологических и приборных токсикологических анализов, должен быть показателем его пригодности для пищевых и фуражных целей, а также в качестве семенного материала.

Цель работы — оценка результатов мониторинга многолетней динамики возбудителей болезней и микотоксикантов из рода *Fusarium* на зерне озимой пшеницы в хозяйствах Нижнего Поволжья, Черноземной зоны, Северного Кавказа, оценка опасности и причин сложившихся негативных тенденций, возможности их контроля.

## МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследование проводили на образцах зерна озимой пшеницы, выращенной на производственных полях Волгоградской, Курской, Ростовской обл. и Ставропольского края в лаборатории ВНИИФ в 2014–2020 гг. Образцы зерна отбирали на токах и из зернохранилищ хозяйств.

Микробиологические анализы в условиях лаборатории ВНИИФ проводили по методике с использованием искусственной питательной среды Чапека [1, 16, 18]. Зерновки озимой пшеницы закладывали на питательную среду с целью оценки уровня их колонизации микроорганизмами грибной природы. Анализ видового состава микробиоты *in vitro* проводили на 7-е сут инкубации. Видовую принадлежность образующихся на питательной среде колоний микромицетов опреде-

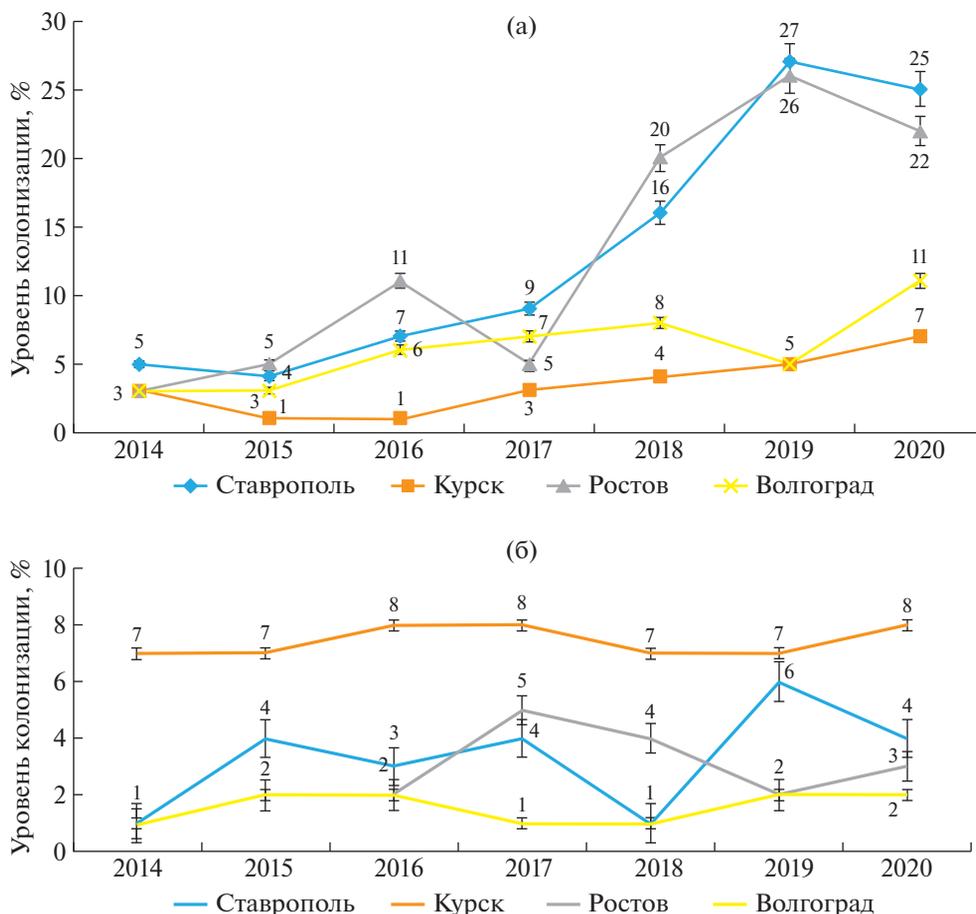


Рис. 1. Уровень колонизации зерна озимой пшеницы патогенными грибами в регионах России: (а) – *Fuzarium moniliforme*, (б) – *F. sporotrichiella*.

ляли по форме органов споруляции (конидиеносцев, конидий, асков, спор и др.) под микроскопом [1, 16–18].

Учитывали количество колоний микроорганизмов разных видов, выделенных *in vitro*, далее вычисляли долю (в %) каждого выделенного микроорганизма относительно числа зерновок, размещенных на питательной среде, проводили также подсчет доли зерновок с колонизацией тем или иным микроорганизмом. При обработке результатов учитывали также количество образцов зерна без инфицирования доминирующими патогенами и токсикантами.

В статье приведены результаты оценки уровня колонизации зерна наиболее часто встречающимися опасными грибными патогенами пшеницы: *Fusarium moniliforme* (sin. *F. verticillioides*) – сильный патоген, возбудитель гнилей, сосудистых заболеваний, продуцент микотоксинов из группы фумонизинов, а также *F. sporotrichiella* (sin. *F. sporotrichioides*) – относительно слабый патоген, продуцент Т-2 микотоксина.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Ежегодные оценки микробиоты семенного и продовольственного зерна озимой пшеницы в хозяйствах юга России показали, что их в основном колонизировал ограниченный круг опасных микробиот. Это доминирующие патогены *Alternaria alternata*, *Fusarium moniliforme*, значительно реже на зерне присутствовали *Bipolaris sorokiniana*, *F. semitectum*, *F. solani*, *F. cerealis*, *F. heterosporum*, *F. gibbosum*, *Ascochyta gramionicola*, *Epicoccum* sp. и др. Часто встречались патогены-токсиканты – *F. sporotrichiella*, реже – *F. poae*, возбудители плесени зерна – *Mucor* spp., *Rhizopus nigricans*, *Penicillium* spp., *Aspergillus niger*, *Aspergillus glaucus*, *Aspergillus flavus*, реже – *Cladosporium herbarum*.

Лабораторная оценка колонизации зерна озимой пшеницы грибным патогеном *Fusarium moniliforme* в 2014–2020 гг. в зернопроизводящих хозяйствах Северного Кавказа (Ставропольский край, Ростовская обл.), Черноземной зоны (Курская обл.) и Нижнего Поволжья (Волгоградская обл.) показала следующие результаты (рис. 1а).

Наиболее стабильной и относительно позитивной ситуация оказалась в Курской обл. Частоты встречаемости *F. moniliforme* на зерне в период 2014–2017 гг. находились в этом случае в пределах 1–3%. В 2018–2019 гг. отмечено ежегодное увеличение частот на ~1% – до 5, в 2020 г. – до 7%. В итоге, с 2014 по 2020 гг. в хозяйствах Курской обл. произошло заметное увеличение частоты встречаемости зерна, колонизированного *F. moniliforme* – в 2.3 раза.

В условиях Волгоградской обл. исходный уровень колонизации зерна *F. moniliforme* (2014 г.) также был на уровне, близком к 3%. Таким он сохранялся и в 2015 г. В 2016 г. произошло удвоение количества зерновок с данным патогеном. В 2017–2018 гг. наблюдали ежегодное ~1%-ное нарастание количества колонизированных зерен. Повышение инфицированности зерна, возможно, было обусловлено небывалым для области количеством осадков за вегетационный период и увеличением с 2016 г. массы растительных остатков – субстрата для накопления инфекции [16]. Острая засуха в период налива зерна в 2019 г. сопровождалась заметным снижением уровня патогенной колонизации. На фоне относительно благополучной ситуации с осадками, в сезоне 2020 г. снова был отмечен скачок встречаемости *F. moniliforme* – с 5 в 2019 г. до 11% в 2020 г. За 7 лет (2014–2020 гг.) уровень колонизации зерна озимой пшеницы данным патогеном в Волгоградской обл. вырос в 3.7 раза.

Стартовая точка зараженности зерна озимой пшеницы в Ростовской обл. находилась в 2014 г. также на ~3%-ном уровне. Однако в 2015 и 2016 гг. наблюдали резкое повышение уровня колонизации зерна грибом *F. moniliforme* – до 5 и 11% соответственно. В 2017 г. отмечено более чем 2-кратное снижение встречаемости патогена на зерне, а затем его многократный рост: в 2018 г. по сравнению с 2017 г. – в 4 раза, в 2019 г. – в 5.2 раза, до 26%. Таким образом, в 2020 г. инфекция *F. moniliforme* присутствовала в среднем на каждом 4-м зерне, в связи с этим следовало ожидать заметного накопления на фуражном и продовольственном зерне пшеницы микотоксинов из группы фумонизинов, продуцентом которых данный гриб является, а в случае использования такого зерна в качестве семенного – поражения растений гнилью на узле кущения и гибели продуктивных стеблей на развивающихся растениях озимой пшеницы, снижения урожая на 13–15% только из-за сильной зараженности семенного материала данным опасным фузариумом. За 7 лет (2014–2020 гг.) уровень колонизации зерна озимой пшеницы грибом *F. moniliforme* в Ростовской обл. вырос в 7 раз.

В хозяйствах Ставропольского края в 2014–2017 гг. шло относительно плавное нарастание уровня колонизации зерна данным патогеном с 5 до 11%, а затем с 2017 по 2019 г. отмечен экспоненциальный рост уровня колонизации – с 9 до 27%. В 2020 г. выявлено некоторое снижение уровня колонизации зерна грибом *F. moniliforme*, но он продолжал оставаться недопустимо высоким. За 7 лет (2014–2020 гг.) данный показатель для озимой пшеницы в Ставропольском крае вырос в 5.0–5.4 раза.

Таким образом, за период 2014–2020 гг. отмечено нарастание уровня зараженности зерна опасным патогенным грибом *F. moniliforme*, продуцентом микотоксинов из группы фумонизинов, возбудителем корневых и прикорневых гнилей: в Курской обл. – 2.3-кратное, в Волгоградской – 3.7-кратное, в Ростовской – 8.7-кратное, в Ставропольском крае – 5.4-кратное. Весьма вероятные последствия этого – накопление фумонизиновых микотоксинов на продовольственном и фуражном зерне и серьезные фитосанитарные проблемы во время вегетации пшеницы по причине развития фузариозных корневых и прикорневых гнилей, гибели продуктивных стеблей [16]. Уровень колонизации зерна озимой пшеницы относительно слабым патогеном, но опасным микотоксикантом *Fusarium sporotrichiella*, был в период исследования во всех регионах меньше, чем *F. moniliforme*, и в среднем за год не превышал 8% (рис. 16).

Наименьшая колонизация зерна *F. sporotrichiella* отмечена в Волгоградской обл. – она стабильно находилась на уровне 1–2% в течение всего 7-летнего периода мониторинга. Аналогичная тенденция прослежена до 2016 г. и в Ростовской обл., но затем наблюдали 2-летнее увеличение колонизации в 2.0–2.5 раза и относительную стабилизацию этого процесса в 2019–2020 гг. на уровне 2–3%. Наибольшая нестабильность колонизации зерна грибом *F. sporotrichiella* с амплитудой 1–6% отмечена в Ставропольском крае: к 2015 г. произошло 4-кратное увеличение уровня колонизации в сравнении с 2014 г., в 2015–2017 гг. – стабилизация на уровне 3–4%, затем – резкое уменьшение показателя с 4 до 1% в 2017–2018 гг., затем 6-кратный рост в 2019 г. и его уменьшение до 4% к 2020 г. Стабильно высоким (7–8%) за период 2014–2020 гг. был уровень колонизации зерна грибом *F. sporotrichiella* в Курской обл. Вероятно, этот регион можно считать критическим по загрязненности зерна озимой пшеницы T-2 токсином.

При прорастании зерновок семенного материала, колонизированных *F. moniliforme* и другими возбудителям корневой и прикорневой гнили, часть семян остается непроросшей, часть – прорастает, но затем происходит гибель проростков и

**Таблица 1.** Максимальные показатели уровня колонизации зерна озимой пшеницы грибами *F. moniliforme* и *F. sporotrichiella* (2014–2020 гг.)

| Уровень колонизации зерна фузариями, % |                       |         |                           |         |
|----------------------------------------|-----------------------|---------|---------------------------|---------|
| Год                                    | <i>F. moniliforme</i> |         | <i>F. sporotrichiella</i> |         |
| Ставропольский край                    |                       |         |                           |         |
|                                        | максимум              | средние | максимум                  | средние |
| 2014                                   | 20                    | 5       | 27                        | 1       |
| 2015                                   | 13                    | 4       | 17                        | 4       |
| 2016                                   | 20                    | 7       | 26                        | 3       |
| 2017                                   | 38                    | 9       | 20                        | 4       |
| 2018                                   | 40                    | 16      | 12                        | 1       |
| 2019                                   | 57                    | 27      | 30                        | 6       |
| 2020                                   | 53                    | 25      | 16                        | 4       |
| Курская обл.                           |                       |         |                           |         |
| 2014                                   | 16                    | 3       | 29                        | 7       |
| 2015                                   | 4                     | 1       | 21                        | 7       |
| 2016                                   | 5                     | 1       | 23                        | 8       |
| 2017                                   | 5                     | 3       | 8                         | 8       |
| 2018                                   | 4                     | 4       | 13                        | 7       |
| 2019                                   | 7                     | 5       | 14                        | 7       |
| 2020                                   | 7                     | 7       | 17                        | 8       |
| Ростовская обл.                        |                       |         |                           |         |
| 2014                                   | 9                     | 3       | 5                         | 1       |
| 2015                                   | 17                    | 5       | 12                        | 2       |
| 2016                                   | 18                    | 11      | 10                        | 2       |
| 2017                                   | 17                    | 5       | 10                        | 5       |
| 2018                                   | 56                    | 20      | 13                        | 4       |
| 2019                                   | 65                    | 26      | 17                        | 2       |
| 2020                                   | 61                    | 22      | 24                        | 3       |
| Волгоградская обл.                     |                       |         |                           |         |
| 2014                                   | 8                     | 3       | 4                         | 1       |
| 2015                                   | 7                     | 3       | 7                         | 2       |
| 2016                                   | 17                    | 6       | 7                         | 2       |
| 2017                                   | 20                    | 7       | 2                         | 1       |
| 2018                                   | 19                    | 8       | 4                         | 1       |
| 2019                                   | 11                    | 5       | 8                         | 2       |
| 2020                                   | 46                    | 11      | 7                         | 2       |

молодых растений, на развивающихся растениях главный побег зачастую оказывается колонизированным данным патогеном и без адекватной фунгицидной защиты нередко отмирает. Боковые продуктивные стебли (подгоны) обычно при невысокой продуктивной кустистости формируют меньше половины урожая растения [19]. Таким образом, судя по уровню колонизации зерна *F. moniliforme* 22–27%, в Ростовской обл. и Ставропольском крае при планировании выращивания озимой пшеницы без фунгицидной защиты в

фазе кущения, еще до посева следует учитывать вероятность снижения с 2019 г. урожая на 10–15% и загрязнения зерна будущего урожая фумонизинами. В Курской и Волгоградской обл. этот показатель вероятен на уровне 4–6%.

Выше были приведены средние уровни колонизации зерна озимой пшеницы патогенными грибами *F. moniliforme* и *F. sporotrichiella* в 4-х регионах Юга России за 2014–2020 гг. Разброс показателей колонизации образцов для каждого региона и для каждого года был широким – от нуля и до нескольких десятков процентов в наиболее зараженных образцах, уровень колонизации образцов с наибольшим заражением мог в несколько раз превосходить средние показатели за год.

В табл. 1 приведены ежегодные максимальные и средние показатели колонизации зерна указанными патогенами в 4-х регионах России. Между максимальными и средними показателями колонизации отмечены значительные различия для обоих патогенов во всех 4-х регионах. Например, в условиях Ставрополя за 2014–2020 гг. уровень колонизации зерна грибом *Fusarium moniliforme* по величине средних показателей составлял 4–27%, максимальных – 13–57% (рис. 2а, табл. 1). Основные тенденции многолетней динамики сохранялись. Наименьший уровень (13–20%) для максимальных и 4–7% – для средних показателей приходился на 2014–2017 гг., наибольший (53–57% и 25–27% соответственно) – на 2019–2020 гг.

Больше половины зерновок в отдельных образцах зерна озимой пшеницы были колонизированы высокопатогенным грибом *Fusarium moniliforme*. Это следует учитывать при использовании данных партий зерна в качестве семян из-за опасности развития фузариозных гнилей и сосудистых заболеваний и в качестве.

Средний уровень колонизации зерна грибом *Fusarium sporotrichiella* в 2014–2020 гг. составлял в Ставрополье 1–6, максимальный – 12–30% (рис. 2б). Основные тенденции многолетней динамики средних и максимальных показателей колонизации в этом случае заметно отличались. Наименьшие величины (12, 17 и 16%) максимальных показателей приходились соответственно на 2018, 2015 и 2020 гг., наибольшие (27, 26 и 30%) – на 2016, 2014 и 2019 гг. Нередко рост среднего показателя между годами сопровождался снижением его максимальных величин. Например, в 2014–2015 гг. отмечали некоторый рост средних величин колонизации зерна грибом *Fusarium sporotrichiella* и 10%-ное снижение максимальных. В 2015–2016 гг. выявлено некоторое снижение средних показателей и 9%-ный рост – максимальных. Не совпадали данные тенденции в период 2016–2017 гг. и лишь в 2017–2020 гг. на Став-

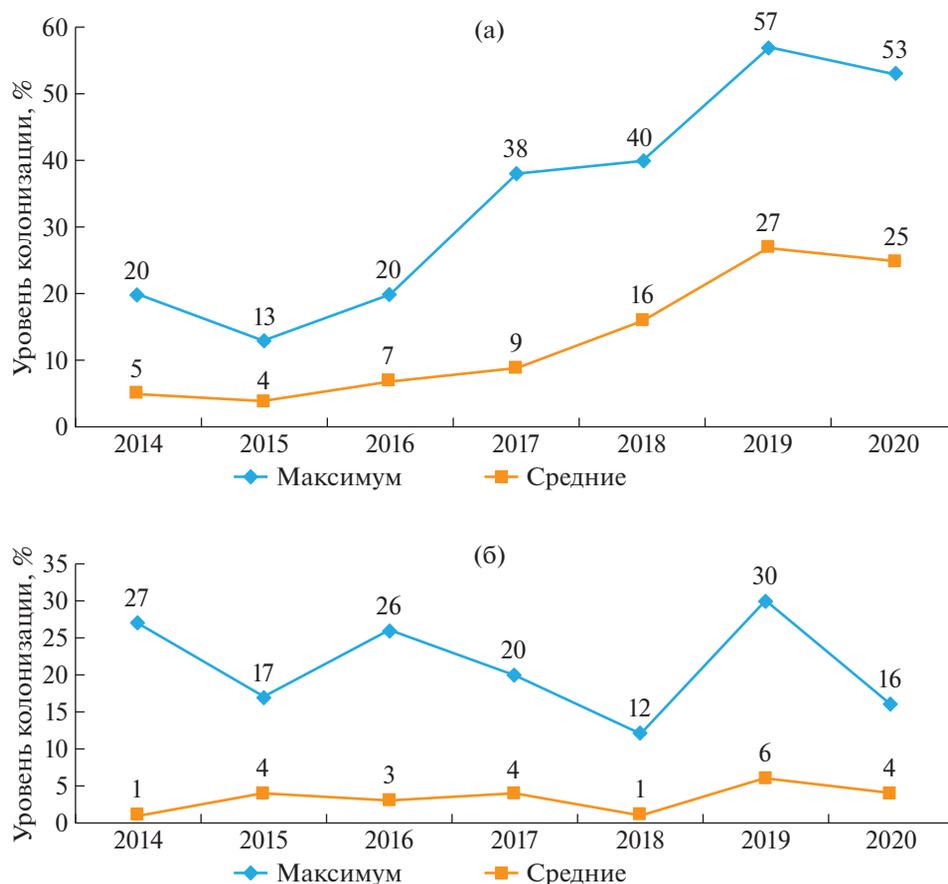


Рис. 2. Уровень колонизации зерна озимой пшеницы патогенными грибами в Ставропольском крае: (а) – *Fusarium moniliforme*, (б) – *F. sporotrichiella*.

рополье отмечали совпадение роста–снижения показателей колонизации зерна *F. sporotrichiella*.

В условиях Курской обл. за 2014–2020 гг. средний уровень колонизации зерна грибом *Fusarium moniliforme* составил 3–7, максимальный – 4–16% (рис. 3а). Основные тенденции многолетней динамики в основном сохранялись. Наименьшие уровни колонизации (4–5%) для максимальных показателей и 1–4% – для средних приходились на 2015–2018 гг., наибольшие – 7 и 16% соответственно – на 2019–2020 и 2014 гг. Масштаб заражения зерновок в образцах озимой пшеницы высокопатогенным грибом *Fusarium moniliforme* в 2015–2020 гг. был относительно невысоким: опасность накопления фумонизинов в этом случае видимо была гораздо ниже, чем на Ставрополье, но протравливание семян противофузариевыми протравителями было также необходимо, чтобы избежать распространения болезни от источника инфекции – семян.

Средний уровень колонизации зерна грибом *Fusarium sporotrichiella* в 2014–2020 гг. в Курской обл. составлял 7–8, максимальный – 8–29% (рис. 3б, табл. 1). Средние многолетние уровни

колонизации отличались довольно высокой стабильностью, в то же время максимальные показатели уменьшались с 2014 до 2016 г. относительно не сильно (с 29 до 23%), а с 2016 по 2017 г. – резко (с 23 до 8%). В 2017 г. начался плавный рост показателя с 8 до 17% в 2020 г (рис. 3б). Учитывая высокий уровень токсичности Т-2 токсина, в Курской обл. следует обратить серьезное внимание на микотоксикологическую оценку зерна озимой пшеницы и контроль токсиканта.

В условиях Ростовской обл. за 2014–2020 гг. средний уровень колонизации зерна грибом *Fusarium moniliforme* составлял 3–26, максимальный – 9–65% (рис. 4а). Основные тенденции к изменению многолетней динамики средних и максимальных показателей сохранялись: наименьшие величины (9–17%) максимальных и 3–11% – средних показателей приходились на 2014–2017 гг., наибольшие – 56–65 и 20–26% соответственно – на 2018–2020 гг. Больше половины зерновок в отдельных образцах зерна озимой пшеницы было колонизировано в 3 последних года высокопатогенным грибом *Fusarium moniliforme*. Это следует учитывать при использовании данных партий

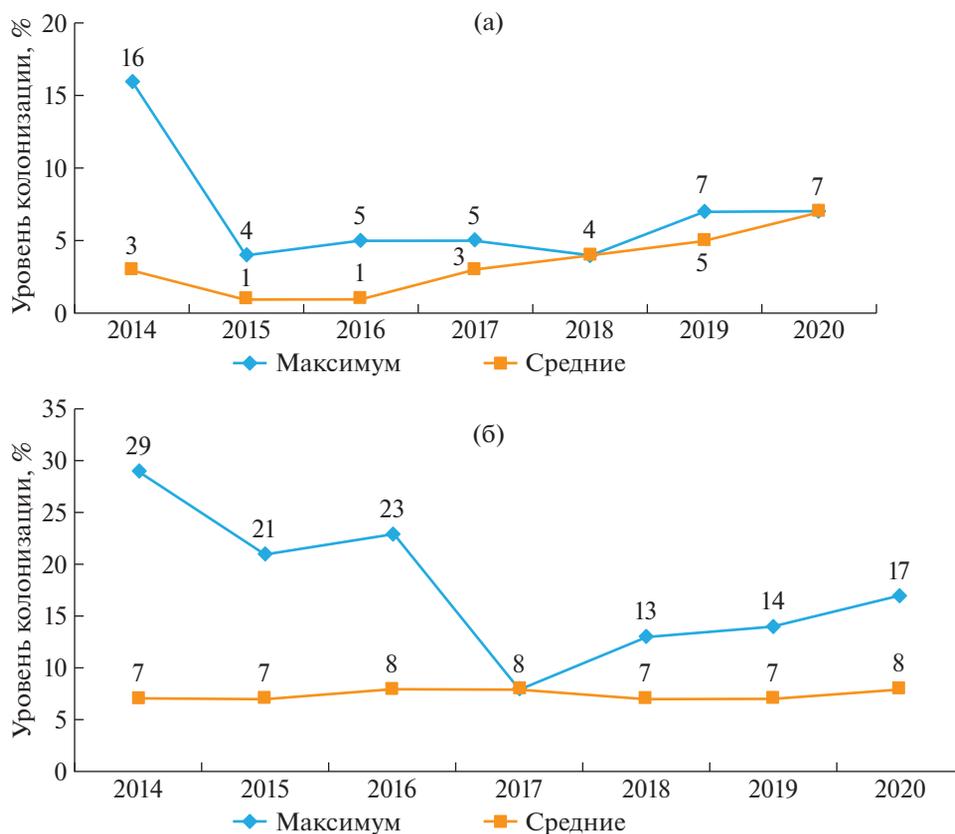


Рис. 3. Уровень колонизации зерна озимой пшеницы патогенными грибами в Курской обл.: (а) – *Fusarium moniliforme*, (б) – *F. sporotrichiella*.

зерна в качестве семян из-за опасности развития на полях, засеянных подобными семенами, фузариозных гнилей и сосудистых заболеваний, и в качестве продовольствия – из-за угрозы накопления фумонизинов.

Средний уровень колонизации зерна грибом *Fusarium sporotrichiella* в 2014–2020 гг. в Ростовской обл. составил 1–5, максимальный – 5–24% (рис. 4б). Основные тенденции многолетней динамики средних и максимальных уровней колонизации в этом случае зачастую не совпадали. Наименьший уровень (5%) максимальных показателей приходился на 2014 г., наибольший (17 и 24%) – на 2019 и 2020 гг. Не совпадали тенденции роста–снижения уровня колонизации в 2015–2019 гг. Лишь в 2019–2020 гг. отмечали общий их рост на 1% – средних и на 7% – максимальных уровней.

В условиях Волгоградской обл. за 2014–2020 гг. средний уровень колонизации зерна грибом *Fusarium moniliforme* составил 3–11%, максимальный – 7–46% (рис. 5а). Основные тенденции многолетней динамики роста–уменьшения уровней средней и максимальной колонизации в этом случае совпадали: наименьшие величины (7–8%) макси-

мальных и 3% – средних показателей приходились на 2014–2015 гг., наибольшие (17–46 и 6–11% соответственно) – на 2019–2020 гг. Почти половина зерновок в отдельных образцах зерна озимой пшеницы в 2020 г. была колонизирована высокопатогенным грибом *Fusarium moniliforme*. Возможно, это было связано с острой засухой, на фоне которой не были проведены противофузариевые фунгицидные обработки в завершающие этапы вегетации растений озимой пшеницы. Высокие уровни колонизации зерна высокопатогенным грибом *F. moniliforme* следует учитывать при использовании партий зерна в качестве семян из-за опасности развития фузариозных гнилей и сосудистых заболеваний, в качестве продовольствия и фуража – из-за угрозы накопления фумонизинов. Однозначна целесообразность проведения токсикологической оценки подобных партий зерна перед использованием их в качестве продовольствия и фуража.

Средний уровень колонизации зерна грибом *Fusarium sporotrichiella* в 2014–2020 гг. в Волгоградской обл. составил 1–2, максимальный – 2–8% (рис. 5б). Основные тенденции многолетней динамики средних и максимальных уровней коло-

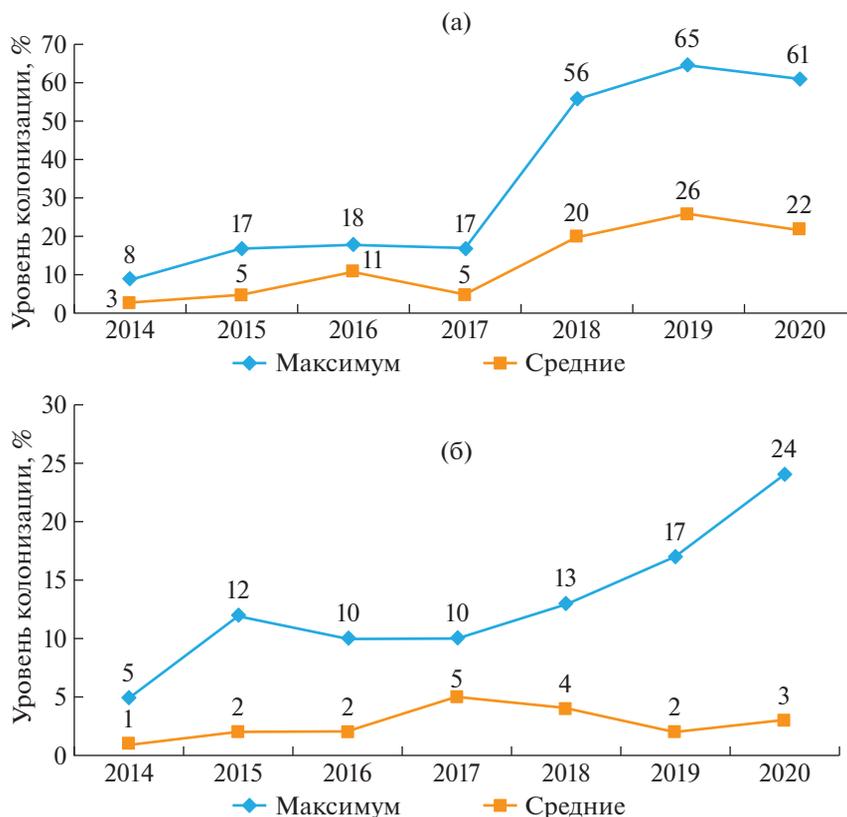


Рис. 4. Уровень колонизации зерна озимой пшеницы патогенными грибами в Ростовской обл.: (а) — *Fuzarium moniliforme*, (б) — *F. sporotrichiella*.

низации в этом случае также зачастую совпадали. Наименьшая величина (2%) максимальных показателей приходилась на 2017 г., наибольшая — 7–8% — на 2015, 2016, 2019 и 2020 гг. Судя по уровню колонизации зерна озимой пшеницы продуцентом Т-2 токсина *F. sporotrichiella*, вероятность получения загрязненных данным микотоксином партий зерна в Волгоградской обл. гораздо меньше, чем в Курской, Ростовской обл. и Ставропольском крае.

Данные о зараженности зерна пшеницы в регионах России, представленные сотрудниками ВИЗР [20] за 2004–2006 гг., заметно отличались от полученных данных в 2014–2020 гг. как по средним, так и по максимальным показателям (табл. 2).

По величине средней зараженности (10–18%) в 2004–2006 гг. лидировали Воронежская и Ленинградская обл., Хабаровский край, Республика Северная Осетия, по максимальной — те же регионы с показателями 28–41%. Волгоградская, Ростовская обл. и Ставропольский край заметно отставали от них со средней зараженностью соответственно 0, 1, 1 и максимальной — 0, 2, 2%.

За последующие 10–17 лет произошли заметные изменения зараженности зерна фузариями

(табл. 3). В Волгоградской обл. при нулевой зараженности зерна всем комплексом фузариевых грибов в 2004–2006 гг. отмечен рост средних уровней зараженности *F. moniliforme* до 6, максимальных уровней — до 18% за 2014–2020 гг., максимальных за 2020 г. — до 46%, *F. sporotrichiella*: средних — до 2, максимальных — до 5, максимальных за 2020 г. — до 7%.

В Ростовской обл. при 1–2%-ной зараженности зерна всем комплексом фузариевых грибов в 2004–2006 гг. отмечен рост средних уровней зараженности *F. moniliforme* до 12, максимальных — до 35% за 2014–2020 гг., максимальных за 2020 г. — до 61%, *F. sporotrichiella*: средних — до 3, максимальных — до 13, максимальных за 2020 г. — до 24%.

В Ставропольском крае при 1–2%-ной зараженности зерна всем комплексом фузариевых грибов в 2004–2006 гг. отмечен рост средних уровней зараженности *F. moniliforme* до 13, максимальных — до 34% за 2014–2020 гг., максимальных за 2020 г. — до 53%, *F. sporotrichiella*: средних — до 3, максимальных — до 21, максимальных за 2020 г. — до 16%.

В Курской обл. при 2–5%-ной зараженности зерна всем комплексом фузариевых грибов в 2004–2006 гг. отмечен рост среднего уровня зара-

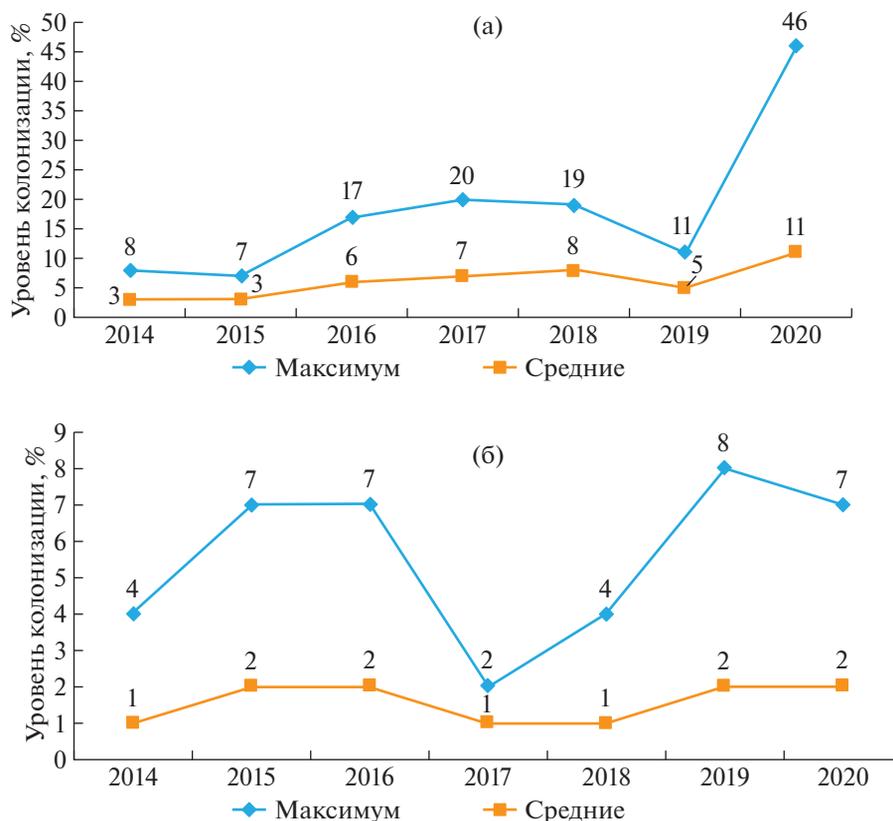


Рис. 5. Уровень колонизации зерна озимой пшеницы патогенными грибами в Волгоградской обл.: (а) – *Fuzarium moniliforme*, (б) – *F. sporotrichiella*.

женности *F. moniliforme* до 3, максимального – до 7%, в 2020 г. максимального – до 7%: *F. sporotrichiella*: в 2014–2020 гг. среднего – до 8%, максимального – до 18%, максимального – до 17%.

Таким образом, в большинстве зернопроизводящих регионов юга европейской территории России наблюдали многократное усиление зараженности зерна озимой пшеницы опасными фузариевыми грибами *F. moniliforme* и *F. sporotrichiella* – патогенами и микотоксикантами.

Также изучили зараженность зерна наиболее распространенными в последние годы видами фузариев. При оценке сравнительной опасности грибов *F. moniliforme* и *F. sporotrichiella*, надо учитывать высокую патогенность первого и способность продуцировать фумонизины. В то же время ПДК фумонизина, продуцируемого *F. moniliforme*, составляет 2 мг/кг зерна, Т-2 токсина, продуцируемого *F. sporotrichiella* – 100 мкг/кг, т.е. в 20 раз меньше. Для Ставропольского края, Ростовской и Волгоградской обл., видимо, в настоящее время большую опасность для озимой пшеницы представляет широко распространенный *F. moniliforme*, для Курской обл., где распространение *F. moniliforme* пока не очень сильное, но стабильно высока многолетняя зараженность зерна

*F. sporotrichiella*, есть опасения, что он опаснее, особенно для продовольствия и фуража, в связи с очень высокой опасностью Т-2 токсина.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, многолетний мониторинг микробиоты семенного и продовольственного зерна озимой пшеницы в хозяйствах юга России показал, что их в основном колонизирует ограниченный круг опасных микромицетов: доминирующие патогены – *Alternaria alternata*, *Fusarium moniliforme*, значительно реже на зерне присутствуют *Bipolaris sorokiniana*, *F. semitectum*, *F. solani*, *F. cerealis*, *F. heterosporum*, *F. gibbosum*, *Ascochyta gramionicola*, *Epicoccum* sp. и др., часто встречающиеся патогены-токсиканты – *F. sporotrichiella*, реже – *F. Poae*, часто встречающиеся возбудители плесени зерна – *Mucor* spp., *Rhizopus nigricans*, *Penicillium* spp., *Aspergillus niger*, *Aspergillus glaucus*, *Aspergillus flavus*, реже – *Cladosporium herbarum*.

За период 2014–2020 гг. отмечено нарастание уровня зараженности зерна опасным патогенным грибом *F. moniliforme*, продуцентом микотоксинов из группы фумонизинов, возбудителем корневых

**Таблица 2.** Зараженность зерна пшеницы грибами р. *Fusarium* в областях РФ в 2004–2006 гг.

| Область (край)                | Число<br>анализированных<br>образцов (шт.) | Доля образцов<br>с фузариозной<br>инфекцией (%) | Средняя<br>зараженность (%) | Пределы<br>зараженности (%) |
|-------------------------------|--------------------------------------------|-------------------------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| Центральный регион            |                                            |                                                 |                             |                             |
| Тульская                      | 17                                         | 35                                              | 2                           | 1–10                        |
| Рязанская                     | 17                                         | 71                                              | 4                           | 1–14                        |
| Брянская                      | 15                                         | 71                                              | 5                           | 1–20                        |
| Орловская                     | 37                                         | 89                                              | 6                           | 1–23                        |
| Липецкая                      | 3                                          | 33                                              | 1                           | 1–2                         |
| Тамбовская                    | 6                                          | 50                                              | 2                           | 1–6                         |
| Курская                       | 6                                          | 50                                              | 2                           | 1–5                         |
| Московская                    | 31                                         | 84                                              | 5                           | 1–25                        |
| Центрально-Черноземный регион |                                            |                                                 |                             |                             |
| Воронежская                   | 11                                         | 91                                              | 10                          | 1–28                        |
| Белгородская                  | 10                                         | 40                                              | 1                           | 1–5                         |
| Поволжский регион             |                                            |                                                 |                             |                             |
| Саратовская                   | 19                                         | 31                                              | 1                           | 1–4                         |
| Волгоградская                 | 2                                          | 0                                               | 0                           | 0                           |
| Северо-Кавказский регион      |                                            |                                                 |                             |                             |
| Северная Осетия               | 14                                         | 100                                             | 15                          | 3–41                        |
| Краснодарский                 | 18                                         | 72                                              | 2                           | 1–7                         |
| Ростовская                    | 12                                         | 42                                              | 1                           | 1–2                         |
| Ставропольский                | 5                                          | 40                                              | 1                           | 1–2                         |

**Таблица 3.** Максимальные и средние показатели уровня колонизации зерна озимой пшеницы фузариями (2004–2006 и 2014–2020 гг.)

| Регион              | Организация | Патоген                   | Зараженность, % |              |                           |
|---------------------|-------------|---------------------------|-----------------|--------------|---------------------------|
|                     |             |                           | средняя         | максимальная | максимальная<br>в 2020 г. |
| Волгоградская обл.  | ВИЗР*       | Все фузарии               | 0               | 0            | –                         |
|                     | ВНИИФ**     | <i>F. moniliforme</i>     | 6               | 18           | 46                        |
|                     | ВНИИФ**     | <i>F. sporotrichiella</i> | 2               | 5            | 7                         |
| Ростовская обл.     | ВИЗР        | Все фузарии               | 1               | 2            | –                         |
|                     | ВНИИФ       | <i>F. moniliforme</i>     | 12              | 35           | 61                        |
|                     | ВНИИФ       | <i>F. sporotrichiella</i> | 3               | 13           | 24                        |
| Ставропольский край | ВИЗР*       | Все фузарии               | 1               | 2            | –                         |
|                     | ВНИИФ**     | <i>F. moniliforme</i>     | 13              | 34           | 53                        |
|                     | ВНИИФ**     | <i>F. sporotrichiella</i> | 3               | 21           | 16                        |
| Курская обл.        | ВИЗР*       | Все фузарии               | 2               | 5            | –                         |
|                     | ВНИИФ**     | <i>F. moniliforme</i>     | 3               | 7            | 7                         |
|                     | ВНИИФ**     | <i>F. sporotrichiella</i> | 8               | 18           | 17                        |

\*2004–2006 гг. \*\*2014–2020 гг.

и прикорневых гнилей: в Курской обл. отмечено 2.3-кратное (до уровня 7%) увеличение, в Волгоградской обл. – 3.7-кратное (до уровня 11%), в Ростовской обл. – 8.7-кратное (до уровня 22–

26%), в Ставропольском крае – 5.4-кратное (до уровня 25–27%). Весьма вероятные последствия этого – накопление микотоксинов в продовольственном и фуражном зерне и серьезные фитоса-

нитарные проблемы во время вегетации пшеницы по причине развития гнилей и сосудистых заболеваний.

Наименьшие уровни колонизации зерна *F. sporotrichiella* отмечены в Волгоградской обл. — на уровне 1–2% в течение всего 7-летнего периода исследования. Аналогичная тенденция прослежена до 2016 г. в Ростовской обл., но затем наблюдали 2-летнее увеличение колонизации в 2.0–2.5 раза и ее относительную стабилизацию в 2019–2020 гг. на уровне 2–3%.

Наибольшая нестабильность колонизации зерна грибом *F. sporotrichiella* с амплитудой 1–6% отмечена в Ставропольском крае: к 2015 г. показано 4-кратное увеличение уровня колонизации в сравнении с 2014 г., в 2015–2017 гг. — стабилизация на уровне 3–4%, затем — резкое уменьшение показателя с 4% до 1% в 2017–2018 гг., шестикратный рост к 2019 г. и уменьшение до 4% к 2020 г.

Стабильно высоким (7–8%) за период 2014–2020 гг. был уровень колонизации зерна грибом *F. sporotrichiella* в Курской обл. Вероятно, этот регион может быть критическим по загрязненности зерна озимой пшеницы Т-2 токсином.

Учет максимальных уровней колонизации зерна озимой пшеницы грибами *F. moniliforme* и *F. sporotrichiella* еще более реально демонстрировал наличие опасной ситуации с патогенами и потенциально — микотоксинами зерна озимой пшеницы в регионах юга России. Максимальные уровни колонизации отдельных партий зерна грибами *F. moniliforme* за годы исследования достигали 7% в Курской обл., 46% — в Волгоградской, 65% — в Ростовской и 57% — в Ставропольском крае. Судя по уровню колонизации зерна озимой пшеницы продуцентом, вероятность получения загрязненных Т-2 токсином (продуцент *F. sporotrichiella*) партий зерна в Волгоградской обл. гораздо меньше, чем в Курской, Ростовской обл. и Ставропольском крае.

Судя по литературным данным, с 2004 по 2020 г. на юге России произошло многократное нарастание зараженности зерна озимой пшеницы опасными фузариями *F. moniliforme* и *F. sporotrichiella*, возросла опасность развития сосудистых заболеваний и гнилей растений, а также загрязненности зерна микотоксинами из группы фумонизинов и Т-2 токсином.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Наумова Н.А. Анализ семян на грибную и бактериальную инфекцию. М., 1951. 140 с.
2. Койшыбаев М. Болезни пшеницы. Анкара: ФАО, 2018. 366 с.

3. Rózewicz M., Wyzinska M., Grabinski J. The Most important fungal diseases of cereals — problems and possible solutions // *Agronomy*. 2021. V. 11. № 714. P. 2–12. <https://doi.org/10.3390/agronomy11040714>, <https://www.mdpi.com/journal/agronomy> 3
4. Timmermans B.D.H., Osman A.M. Differences between spring wheat cultivars emergence and early development after seed infection with *Fusarium culmorum* // 3<sup>rd</sup> QLIF Congress, Hohntntim, Germany, March 20–23, 2007. Archived at [http://orgrprints.org/view/projects/int\\_conf\\_qlif2007.html](http://orgrprints.org/view/projects/int_conf_qlif2007.html) 4
5. Majumder D., Rajesh T., Suting E.G., Debbarma A. Detection of seed borne pathogens in wheat: recent trends // *Austral. J. Crop. Sci. (AJCS)*. 2013. № 7 (4). P. 500–507.
6. Nedelnik J., Moravcova H., Hajslova J., Lancova K., Vanova M., Salava J. *Fusarium* spp. in wheat grain in the Czech Republic analysed by PCR method // *Plant Protect Sci.* 2007. V. 43. P. 135–137.
7. Кинчарова М.Н., Кинчаров А.И., Абдряев М.Р., Маслова Г.Я., Шаранов И.И., Константинова П.Н. Фитозэкспертиза семян в селекционном процессе озимой пшеницы // *Inter. J. Humanit. Nat. Sci. (Сел.-хоз. науки)*. 2019. V. 11–2 (38). P. 120–124.
8. Торопова Е.Ю., Чулкина В.А., Стецов Г.Я., Павлова О.И. Эпи-фитотиологические основы эффективного применения фунгицидов в Сибири // *Защита и карантин растений*. 2009. № 4. С. 20–23.
9. Adhikari P., Khatri-Chhetri G.B., Shrestha S.M., Marahatta S. *In vitro* study on prevalence of mycoflora in wheat seeds // *J. Inst. Agric. Anim. Sci.* 2015. V. 33–34. pp. 27–34.
10. Pathak N., Zaidi R.K. Fungi associated with wheat seed discolouration and abnormalities in *in vitro* study // *Agricult. Sci.* 2013. V. 4. № 9. P. 516–520. <https://doi.org/10.4236/as.2013.49069>
11. Rangaswamy G., Mahadevan A. *Diseases of crop plants in India*. 4<sup>th</sup> ed. New Delhi: Prentice Hall of India Pvt. Ltd.; 2008. 607 p.
12. Hajihassani M., Hajihassani A., Khaghani S. Incidence and distribution of seed-borne fungi associated with wheat in Markazi Province, Iran // *Afric. J. Biotechnol.* 2012. V. 11. № 23. P. 6290–6295. DOI: <http://www.academicjournals.org/AJB> <https://doi.org/10.5897/AJB11.3838>
13. Shahidul Islam Md., Islam Sarker Md.N., Arshad Ali Md. Effect of seed borne fungi on germinating wheat seed and their treatment with chemicals // *Inter. J. Nat. Soc. Sci.* 2015. V. 2. P. 28–32.
14. Khazaei F., Alikhani M. A., Zare L., Mobasser S., Ali Mohammad S., Sanavy M., Mokhtassi-Bidgoli Ali, Hashemi-fesharaki S. Seed borne disease in formal and informal wheat (*Triticum aestivum* L.) seed production systems in three provinces of Iran // *Inter. J. Biosci.* 2014. V. 5. № 1. P. 381–388. <http://www.innspub.net>
15. Будынков Н.И., Михалева С.Н., Проскурин А.В. Микробиологическая деградация агроценозов и возможность ее предотвращения. Растительные остатки // Эволюция и деградация почвенного покрова. Сб. научн. ст. по мат-лам V Международ.

- научн. конф. 19–22 сентября 2017 г., Ставрополь: Ставрополь. ГАУ, 2017. С. 10–13.
16. Будынков Н.И., Михалева С.Н., Проскурин А.В. Динамика факультативных паразитов грибной природы в полевых агроценозах с минимальной обработкой почвы в западной части Волгоградской области // *Агрохимия*. 2021. № 1. С. 64–71.
  17. Кузьмичев А.А., Монастырская Э.И., Соколова Н.К., Фиссюра Н.И. Рекомендации по снижению вредности фузариоза колоса озимой пшеницы. Краснодар: ВНИИБЗР, 1993. 16 с.
  18. Будынков Н.И., Михалева С.Н. Болезни нута на юге европейской территории России. Семенная инфекция // *Достиж. науки и техн. АПК*. 2018. Т. 32. № 7. С. 31–35.
  19. Рейтц Л.П., Моррис Е.Р., Сирс Э.Р. Пшеница и ее улучшение. М.: Колос, 1970. 520 с.
  20. Гагкаева Т.Ю., Гаврилова О.П., Левитин М.М., Новожилов К.В. Фузариоз зерновых культур // *Защита и карантин раст.* Прилож. к журн. серии “Библиотечка по защите растений”. 2011. № 5. С. 70–120.

## Progressive Accumulation of Dangerous Fusariums on Winter Wheat Grain in Farms in the South of Russia (2014–2020)

N. I. Budynkov<sup>a,#</sup> and S. N. Mikhaleva<sup>a</sup>

<sup>a</sup>All-Russian Research Institute of Phytopathology  
ul. Institut, vlad. 5, Moscow region, Odintsovo district, p. Bolshye Vyazemy 143050, Russia

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

Long-term monitoring of the microbiota of seed and food grains of winter wheat in farms in southern Russia has shown that they are mainly colonized by a limited range of dangerous micromycetes: the dominant pathogens are *Alternaria alternata*, *Fusarium moniliforme*, much less often *Bipolaris sorokiniana*, *F. semitectum*, *F. solani*, *F. cerealis*, *F. heterosporum*, *F. gibbosum*, *Ascochyta gramionicola*, *Epicoccum* sp. and others, pathogenotoxicants are often found – *F. sporotrichiella*, less often – *F. poae*, grain mold pathogens are often noted – *Mu-cor* spp., *Rhizopus nigricans*, *Penicillium* spp., *Aspergillus niger*, *A. glaucus*, *A. flavus*, less often – *Cladosporium herbarum*. During the period 2014–2020, an increase in the level of grain contamination with the dangerous pathogenic fungus *F. moniliforme*, a producer of mycotoxins from the group of fumonisins, a causative agent of root and root rot was noted: in the Kursk region – 2.3-fold (up to 7%), in the Volgograd region – 3.7-fold (up to 11%), in the Rostov region – 8.7-fold (up to 22–26%), in the Stavropol Territory – 5.4-fold (up to 25–27%). Very likely consequences of this are the accumulation of mycotoxins on food and feed grains and serious phytosanitary problems during the growing season of wheat with the development of rot and vascular diseases. The lowest level of colonization of *F. sporotrichiella* grain was observed in the Volgograd region – at the level of 1–2% during the entire 7-year period. A similar trend was traced until 2016 in the Rostov region, but then a 2-year increase in colonization by 2.0–2.5 times was observed, and relative stabilization in 2019–2020 at the level of 2–3%. The greatest instability of grain colonization by mushroom *F. sporotrichiella* with an amplitude of 1–6% was observed in the Stavropol Territory: by 2015, there was a 4-fold increase in the level of colonization compared to the level of 2014, in 2015–2017, stabilization at the level of 3–4%, then a sharp decrease from 4 to 1% in 2017–2018, a 6-fold increase by 2019 and a decrease to 4% by 2020. The level of colonization of grain by the fungus *F. sporotrichiella* in the Kursk region was consistently high (7–8%) for the period 2014–2020. Probably, this region can be critical for the contamination of winter wheat grain with T-2 toxin. Taking into account the maximum levels of colonization of winter wheat grains by fungi *F. moniliforme* and *F. sporotrichiella* even more realistically demonstrated the presence of a dangerous situation with pathogens and, potentially, mycotoxins on winter wheat in the regions of southern Russia. The maximum colonization of individual grain batches by *F. moniliforme* mushrooms over the years of study reached 7% in the Kursk region, 46% – in the Volgograd region, 65% – in the Rostov Region and 57% – in the Stavropol Territory. Judging by the level of colonization of winter wheat grains by the producer, the probability of obtaining contaminated T-2 toxin (producer *F. sporotrichiella*) grain shipments in the Volgograd region are much smaller than in the Kursk, Rostov region and Stavropol Territory. Judging by the literature data, from 2004 to 2020 in the south of Russia there was a multiple increase in the contamination of winter wheat grain with dangerous fusariums *F. moniliforme* and *F. sporotrichiella*, the risk of vascular diseases and rot increased, as well as grain contamination with mycotoxins from the fumonisin group and T-2 toxin.

**Key words:** winter wheat, precursor crop, facultative parasites of fungal nature, colonization, pathogens, pathogens, mycotoxins, crop rotation, agroecology.

УДК 631.415:631.445.4:631.821

## АЦИДОГЕННАЯ ДЕГРАДАЦИЯ ЧЕРНОЗЕМНЫХ ПОЧВ И АДАПТИВНЫЕ ПРИЕМЫ ЕЕ ПРЕОДОЛЕНИЯ

© 2022 г. А. В. Ивойлов

Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва  
430005 Саранск, ул. Большевикская, 68, Россия

E-mail: [ivoilov.av@mail.ru](mailto:ivoilov.av@mail.ru)

Поступила в редакцию 08.07.2021 г.

После доработки 08.08.2021 г.

Принята к публикации 15.10.2021 г.

Рассмотрен вопрос ацидизации черноземных почв и факторов, оказывающих влияние на этот процесс. Показано, что интенсивность подкисления почв в естественных условиях вполне соизмерима с интенсивностью ацидизации почв в результате антропогенной деятельности. Предложены адаптивные приемы преодоления повышенной кислотности черноземных почв, включающие агрохимические, агротехнические и селекционно-генетические мероприятия.

*Ключевые слова:* кислотности почв, ацидизация черноземов, адаптивные приемы преодоления кислотности, скрининг растений, устойчивость к рН и  $Al^{3+}$ .

DOI: 10.31857/S0002188122010070

### ВВЕДЕНИЕ

Кислотность почвы — значимый фактор почвенного плодородия, оказывающий существенное влияние на формирование продуктивности сельскохозяйственных культур [1]. Это одно из важнейших проявлений процессов почвообразования в гумидной и полугумидной зонах Земли, приводящих к возникновению конкретной организации почвенного профиля и к его разделению на горизонты [2]. Кислотность является одним из основных показателей почвенного плодородия, который сильно влияет на подвижность макро- и микроэлементов в почвах, эффективность удобрений, количество и качество урожая сельскохозяйственных культур. Величина данного параметра зависит от особенностей климата и почвообразовательного процесса, степени развития эрозионных процессов, влияния антропогенных факторов [3, 4].

На территории Российской Федерации общая площадь пашни с избыточной кислотностью составляет ≈35 млн га и охватывает большую часть почв тундровой, таежной и лесостепной зон, бурые лесные почвы, солоды и некоторые другие почвы. За послереформенный период (1990–2019 гг.) доля кислых земель в пахотном фонде страны увеличилась на 2%, что связано с резким уменьшением площади известкования и с естественными процессами ацидизации почв [5]. Без оптимизации реакции среды в почве нельзя создать высокопродуктивное земледелие и лугопастбищное

хозяйство, решить продовольственную и экологическую проблемы, обеспечить эффективность факторов интенсификации земледелия [1, 6–8].

Кислотность, обусловленная наличием ионов водорода в почвенном растворе, а также обменных ионов водорода и алюминия в почвенном поглощающем комплексе (ППК), и количественно характеризующие ее агрохимические показатели — кислотность активную, обменную и гидролитическую широко исследуют и обсуждают в научной литературе, т.к. это имеет не только теоретическое, но и практическое значение [8–16]. По мнению специалистов, на кислых почвах уменьшается эффективность внесенных удобрений на 30–40% [8, 16–19].

Настоящий обзор посвящен вопросу подкисления черноземных почв и адаптивным приемам ее преодоления.

### АЦИДИЗАЦИЯ ЧЕРНОЗЕМНЫХ ПОЧВ

В последние десятилетия в ЦЧО, Поволжье и Волго-Вятском экономическом районе, в Алтайском крае наблюдается подкисление черноземных почв, вызванное как выщелачиванием карбонатов из пахотного слоя почвы и выносом их урожаем культур, так и в результате применения физиологически кислых минеральных удобрений, снижения содержания гумуса в пахотном слое почвы, выпадения кислотных дождей [20–33]. Напри-

мер, в пределах Центрального Черноземья доля кислых почв составляет от 28.2 (в Воронежской обл.) до 76.0% (в Тамбовской обл.) [34].

Для пахотных почв лесостепной зоны России в процессе длительного сельскохозяйственного использования присущ устойчивый тренд к подкислению. Основная естественная причина этого – жизнедеятельность растений и микроорганизмов с продуцированием в процессе метаболизма органических кислот и выделением  $\text{CO}_2$ , который в почвенном растворе образует угольную кислоту [14, 35–37], процессы гумификации [38, 39] и выщелачивание (вымывание) осадками кальция и магния из пахотного слоя [33, 40], а главная антропогенная причина – интенсивное использование почв в земледелии: отчуждение урожаем ионов кальция, магния (известно, например, что урожаями злаковых зерновых культур ежегодно отчуждается 20–40 кг СаО, гороха, вики, льна – 40–60 кг, картофеля, сахарной свеклы, кукурузы – 60–120 кг, клевера, люцерны, подсолнечника 120–250 кг, капусты – 300–500 кг) [6], а также применение физиологически кислых минеральных удобрений [41–46]. Известно, например, что на кальциевый режим чернозема выщелоченного влияет агрогенез. Например, длительное использование почвы сопровождается снижением валового содержания кальция, преимущественно в результате сокращения резервных неэкстрагируемых соединений. Применение минеральных удобрений способствует активизации этого процесса, повышению содержания водорастворимых и обменно поглощенных форм элемента, а также активности  $\text{Ca}^{2+}$  и кальциевого потенциала [47]. Вблизи крупных промышленных центров на подкисление почв может влиять выпадение кислотных осадков (рН 3.0–4.0) [14, 33, 44].

Следует добавить, что интенсивность подкисления почв в естественных условиях вполне соизмерима с интенсивностью ацидизации почв в результате антропогенной деятельности (исключая экстремальные катастрофические ситуации) [14, 48, 49].

Повышение кислотности почв сопровождается ухудшением их физических свойств, состава почвенной биоты и изменением доступности растениям элементов питания (макро- и микроэлементов) [1, 6, 8, 42, 50, 51].

#### АДАПТИВНЫЕ ПРИЕМЫ ПРЕОДОЛЕНИЯ ПОВЫШЕННОЙ КИСЛОТНОСТИ ЧЕРНОЗЕМНЫХ ПОЧВ

Кардинальным способом нейтрализации генетически- и антропогенно обусловленной кислотности почв является их известкование. Теоретические и практические положения известкования

как приема химической мелиорации кислых почв Нечерноземной зоны достаточно хорошо обоснованы [1, 6, 8, 42, 50, 51]. Имеются также многочисленные работы, свидетельствующие о необходимости и целесообразности известкования кислых черноземных почв при систематическом применении минеральных удобрений [45, 52–71].

В то же время опубликованы экспериментальные данные, констатирующие и о слабой результативности химической мелиорации черноземов выщелоченных и оподзоленных, и даже о снижении от известкования продуктивности возделываемых культур [72–84]. Имеются сведения, что незначительное повышение кислотности черноземов под влиянием применения минеральных удобрений не всегда сопровождается ухудшением питательного режима почв и снижением урожайности растений. Подкисляющее действие минеральных удобрений на выщелоченных и оподзоленных черноземах, в отличие от дерново-подзолистых и светло-серых лесных почв, рассматривают как положительный момент, т.к. при этом нередко увеличивается подвижность фосфорных и азотных соединений почвы [85–90].

Недостаточная самообеспеченность современного сельского хозяйства России материальными и энергетическими ресурсами привела в последние двадцать лет к резкому снижению объемов химической мелиорации кислых почв [91–93]. Это обстоятельство, а также неоднозначность экспериментальных данных эффективности известкования кислых и слабокислых черноземных почв, начиная с работ школы Д.Н. Прянишникова в 1900-х гг. [94], создали условия для широкой проработки и применения в сельскохозяйственном производстве адаптивных приемов преодоления их повышенной кислотности. К тому же еще в 30-х годах XX века высказывали соображения, что решение этой проблемы внесением больших количеств известковых материалов для устранения повышенной кислотности почв нельзя признать единственно правильным путем [95, 96].

Исходя из концепции адаптивной интенсификации сельского хозяйства [97, 98] и позиций системного подхода [99–101], была предложена система адаптивных приемов преодоления повышенной кислотности черноземных почв, включающая комплексное использование агрохимических, агротехнических и селекционно-генетических мероприятий [81, 102–105] (рис. 1).

Блок агрохимических мероприятий по устранению и/или преодолению повышенной кислотности, наряду с внесением известковых удобрений, включает хорошо известные в агрономической практике приемы, увеличивающие устойчивость растений к повышенному содержанию в почве ионов  $\text{H}^+$  и  $\text{Al}^{3+}$ : внесение органических удобрений

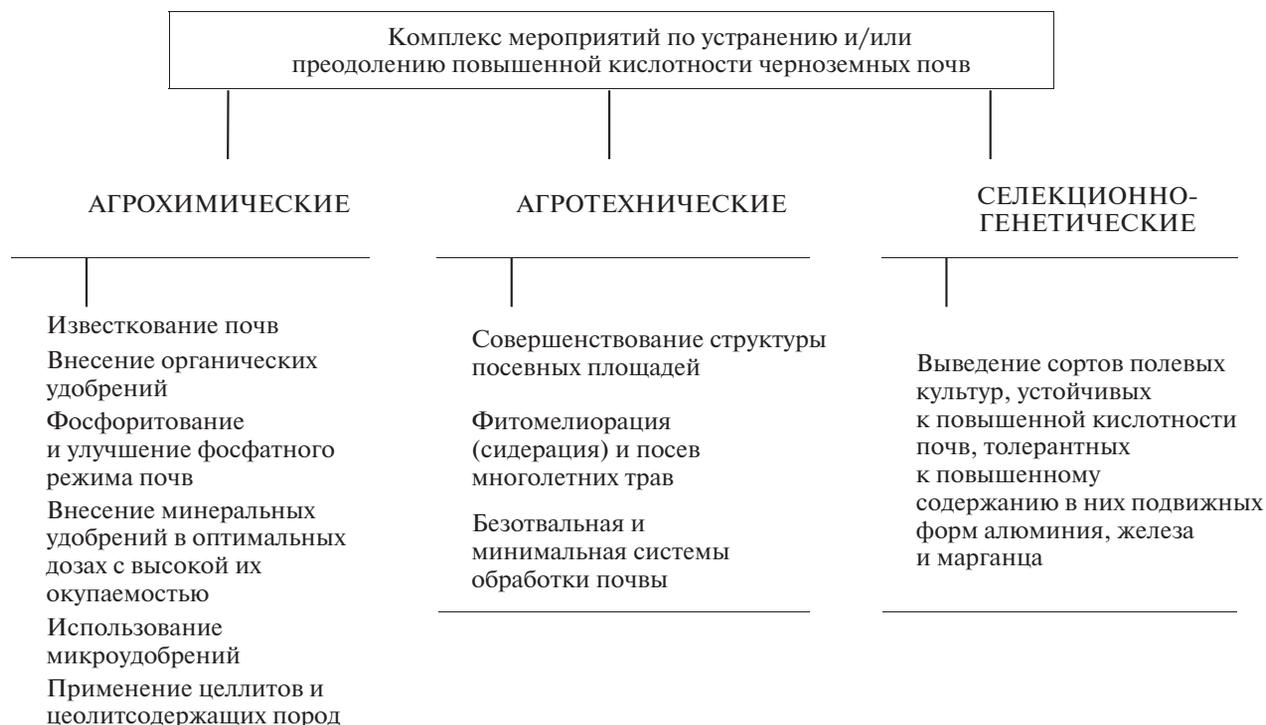


Рис. 1. Комплекс мероприятий по устранению и/или преодолению повышенной кислотности черноземов.

ний в высоких дозах (6–12 т/га севооборотной площади в год), улучшение фосфатного режима почв, применение минеральных удобрений в оптимальных дозах, внесение природных цеолитов, применение микроудобрений.

Известно, что гуминовые кислоты и фульвокислоты играют существенную роль в снижении или полной ликвидации вредного влияния алюминия на растения [106, 107], поэтому применение органических удобрений способствует сдерживанию их вредного влияния на рост и развитие растений. По мере повышения содержания органического вещества в почве, осаждение фитотоксичных соединений сдвигается в более кислый диапазон. Поэтому на высокогумусированных почвах оптимальная величина pH находится в более кислой области [108].

Кроме этого, еще в 80-х гг. XX в. было установлено, что не кальций почвенно-поглощающего комплекса удерживает гумус в соответствующем горизонте почвы, а, напротив, черные гуминовые кислоты, содержащиеся в большом количестве в черноземах (до 35% от общего углерода гумуса), прочно связывают и удерживают  $\text{Ca}^{2+}$ , тем самым, сдерживая подкисление почвы [109]. При этом процессы подкисления, декальцинации и дегумификации тесно связаны между собой [110]. При повышенном (150–250 мг/кг) содержании подвижных фосфатов в почве оптимум  $\text{pH}_{\text{KCl}}$  для конкретных культур снижается на

0.3–0.5 ед. [44]. На высоких фосфатных фонах при внесении фосфорных удобрений фитотоксичность кислой почвы снижается [108], и известкование не оказывает существенного влияния на продуктивность полевого севооборота [111]. К снижению кислотно-основных показателей почвы приводит использование карбонатных цеолитсодержащих пород [112–114].

Блок агротехнических приемов предусматривает для конкретных землепользований совершенствование структуры посевных площадей путем подбора и возделывания культур, сортов и гибридов, устойчивых к повышенной кислотности почв [101], использование безотвальных и минимальной систем обработок почвы, снижающих темпы дегумификации и декальцинации обрабатываемого слоя [115, 116], проведение фитомелиорации (сидерации) и возделывание многолетних бобовых трав и бобово-злаковых травосмесей [101, 117]. Например, под многолетними травами потери кальция, магния, серы, азота снижаются на 30–40% по сравнению с зерновыми и пропашными культурами [40].

Совершенствование структуры посевных площадей в современных условиях является определяющим и организующим моментом комплекса мер по преодолению повышенной кислотности в конкретных хозяйствах, разработки всех звеньев системы земледелия для конкретных землепользований. Общеизвестно, что сельскохозяйствен-

ные культуры имеют различную чувствительность к кислотности почвы, содержанию в почве карбонатов, подвижных форм алюминия и марганца, отзывчивость на известкование [1, 6, 8, 17, 42, 50, 51, 101]. Кроме того, известна сортовая специфичность растений в устойчивости к  $H^+$  и  $Al^{3+}$ -ионам, которая нередко более сильная, чем видовая [16, 118–121]. Поэтому улучшение структуры посевных площадей путем подбора и возделывания культур, сортов и гибридов, устойчивых к повышенной кислотности, проведение внутрихозяйственного землеустройства, выделение и организация севооборотов должны базироваться на дифференцированном размещении культивируемых видов и сортов в агроландшафтах и с учетом кислотности почвы. Например, на участках с повышенной кислотностью целесообразно размещать и возделывать сельскохозяйственные растения, устойчивые к повышенной кислотности почвы, вводить и осваивать севообороты, насыщенные рожью, овсом, просом, гречихой, картофелем и др.

Селекционно-генетический блок направлен на скрининг и выведение сортов и гибридов полевых культур, устойчивых к кислотности почв и толерантных к повышенному содержанию в них подвижного алюминия [122–132]. Этому способствует наличие как огромных площадей кислых почв в России, так и удорожание работ по известкованию почв. Получение сортов с комплексной устойчивостью к неблагоприятным почвенно-климатическим условиям возделывания актуально особенно в селекции зерновых культур и альтернативно к химической мелиорации для преодоления алюмотоксичности кислых почв [133].

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложенный комплекс взаимосвязанных мероприятий отвечает требованиям экономической целесообразности, технической осуществимости, социальной оправданности и экологической допустимости.

Устранение вредного влияния повышенной кислотности черноземных почв комплексом взаимосвязанных агрохимических, агротехнических и селекционно-генетических мер будет способствовать сохранению и росту эффективного плодородия почв, снижению энергетических и материальных затрат на проведение известкования (экономию известковых материалов до 20–40% и более).

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шильников И.А., Сычёв В.Г., Зеленов Н.А., Аканова Н.И., Федотова Л.С. Известкование как

фактор урожайности и почвенного плодородия. М.: ВНИИА, 2008. 339 с.

2. Кокотов Ю.А., Сухачева Е.Ю., Апарин Б.Ф. Анализ показателей кислотности почвенного профиля и их связи с процессом почвообразования // Почвоведение. 2016. № 1. С. 3–10.
3. Плодородие черноземов России / Под ред. Н.З. Милашенко. М.: Агроконсалт, 1998. 688 с.
4. Аbrukова В.В., Букреев Д.А., Васенев И.И., Васенева Э.Г., Володин В.М., Дайнеко Е.К., Дудкин В.М., Ермаков В.В., Козловский Ф.И., Коновалов С.Н., Крупеников И.А., Лобков В.Т., Масютенко Н.П., Овечкин С.В., Панина Н.А., Проценко А.А., Рожков А.Г., Савин И.Ю., Сотников И.Н., Хижняк Т.А., Шульга П.С., Шульга С.А., Щеглов Д.И., Щербаков А.П. Агроэкологическое состояние почв ЦЧО / Под ред. А.П. Щербакова, И.И. Васенева. Курск: ВНИИЗЗПЭ, 1996. 326 с.
5. Иванов А.Л., Столбовой В.С., Гребенников А.М., Оглезнев А.К., Петросян Р.Д., Шилов П.М. Ранжирование кислых почв по приоритетности проведения известкования в Российской Федерации // Бюл. Почв. ин-та им. В.В. Докучаева. 2020. Вып. 103. С. 168–187.
6. Известкование кислых почв / Под ред. Н.С. Авдонина, А.В. Петербургского, С.Г. Шедерова. М.: Колос, 1976. 304 с.
7. Юлушев И.Г. Почвенно-агрохимические основы адаптивно-ландшафтной организации систем земледелия ВКЗП. М.: Академический проект; Киров: Константа, 2005. 368 с.
8. Небольсин А.Н., Небольсина З.П. Теоретические основы известкования почв. СПб.: ЛНИИСХ, 2005. 252 с.
9. Чернов В.А. О природе почвенной кислотности. М.—Л.: Изд-во АН СССР, 1947. 187 с.
10. Thomas G.W., Hargrove W.L. The Chemistry of soil acidity. in soil acidity and liming / Ed. F. Adams. Madison: Agronomy Monograph. Am. Soc. Of Agronomy, 1984. 274 p.
11. Donald L. Environmental soil chemistry. Elsevier: Academic Press. 2003. 352 p.
12. Handbook of Soil Acidity / Ed: Zelenko Rengel. CRC Press, Marsel Dekker, 2003. 496 p.
13. Воробьева Л.А., Авдонькин А.А. Потенциальная кислотность. Понятия и показатели // Почвоведение. 2006. № 4. С. 421–431.
14. Соколова Т.А., Толпешта И.И., Трофимов С.Я. Почвенная кислотность. Кислотно-основная буферность почв. Соединения алюминия в твердой фазе почвы и почвенном растворе. Тула: Гриф и К, 2012. 124 с.
15. Khan Towhid Osman. Forest Soils. Properties and Management. Springer, 2013. 217 p.
16. Небольсин А.Н., Небольсина З.П. Известкование почв (результаты 50-летних полевых опытов). СПб.: ЛНИИСХ РАСХН, 2010. 254 с.
17. Шильников И.А., Аканова Н.И. Значение известкования и потребность в известковых удобрениях // Агрохим. вестн. 2008. № 6. С. 28–31.

18. Якушев В.П., Осипов А.И., Миннулин Р.М., Воскресенский С.В. К вопросу об известковании кислых почв России // *Агрофизика*. 2013. № 2 (10). С. 18–22.
19. Державин Л.М. Методология проектирования применения удобрений и других средств химизации в ресурсосберегающих агротехнологиях при модернизации земледелия // *Агрохимия*. 2013. № 8. С. 18–29.
20. Кузнецов А.В., Павлихина А.В. Кислотность пахотных почв Российской Федерации // *Вопросы известкования почв* / Под ред. И.А. Шильникова, Н.И. Акановой. М.: Агроконсалт, 2002. С. 109–112.
21. Алиев Ш.А., Нуриев С.Ш., Шакиров В.З. Проблемы известкования кислых почв в Республике Татарстан // *Там же*. С. 21–22.
22. Ивойлов А.В. Основные результаты исследований и проблемы известкования выщелоченных черноземов Республики Мордовия // *Вопросы известкования почв* / Под ред. И.А. Шильникова и Н.И. Акановой. М.: Агроконсалт, 2002. С. 74–78.
23. Соловichenко В.Д., Азаров В.Б., Авраменко П.М., Смык А.В., Акулов П.Г., Азаров Б.Ф., Шелганов И.И. Кислотно-основное состояние черноземов юго-западной части ЦЧЗ и факторы, ее определяющие // *Там же*. С. 175–180.
24. Лукин С.В., Авраменко П.М. Изменение кислотности почв Белгородской области в процессе сельскохозяйственного использования // *Агрохимия*. 2006. № 12. С. 11–15.
25. Есаулко А.Н. Пути оптимизации систем удобрений в севооборотах Центрального Предкавказья. Ставрополь: Агрус, 2006. 304 с.
26. Сискевич Ю.И. Мониторинг кислотности сельхозугодий Липецкой области // *Плодородие*. 2007. № 1. С. 4–5.
27. Чекмарев П.А., Лукин С.В., Сискевич Ю.И., Юмашев Н.П., Корчагин В.И., Хижняков А.Н. Мониторинг кислотности пахотных почв Центрально-Черноземного района // *Достиж. науки и техн. АПК*. 2011. № 7. С. 6–8.
28. Чекмарев П.А., Лукин С.В. Мониторинг плодородия пахотных почв Центрально-Черноземных областей России // *Агрохимия*. 2013. № 4. С. 11–22.
29. Чевердин Ю.И., Титова Т.В., Беспалов В.А., Порошков И.Ф. Известкование кислых почв Воронежской области // *Земледелие*. 2014. № 6. С. 5–7.
30. Чекмарев П.А. Агрохимическое состояние пахотных почв ЦЧО России // *Достиж. науки и техн. АПК*. 2015. № 9. С. 17–20.
31. Назарова И.В., Даммер В.А. Динамика плодородия пахотных почв Алтайского края // *Земледелие*. 2017. № 8. С. 11–14.
32. Корчагин В.И., Куницин Д.А., Кошелев Ю.А., Мишуков С.В., Зэфирис В.К., Фирсов А.В., Жабин М.А. Эколого-агрохимический мониторинг плодородия почв Воронежской области // *Земледелие*. 2017. № 7. С. 10–15.
33. Сискевич Р.Ю., Корчагин Е.В., Косикова Н.А. Химическая мелиорация земель сельскохозяйственного назначения // *Земледелие*. 2021. № 2. С. 14–17.
34. Лукин С.В. Мониторинг плодородия пахотных почв юго-западной части Центрально-Черноземного района России // *Агрохимия*. 2021. № 3. С. 3–14.
35. Добровольская Т.Г. Структура бактериальных сообществ почв. М.: Академкнига, 2002. 283 с.
36. Ehrlich H.L. Geomicrobiology. N.Y., Basel: Marcel Dekker Inc., 2002. 768 p.
37. Звягинцев Д.Г., Бабьева И.П., Зенова Г.М. Биология почв. М.: Изд-во МГУ, 2005. 445 с.
38. Орлов Д.С. Гуминовые кислоты почв и общая теория гумификации. М.: Изд-во МГУ, 1990. 325 с.
39. Тейт Р. Органическое вещество почвы: Биологические и экологические аспекты / пер. с англ. О.Д. Масаловой, Д.С. Орлова. М.: Мир, 1991. 400 с.
40. Шильников И.А., Сычѳв В.Г., Шеуджен А.Х., Аканова Н.И., Бондарева Т.Н., Кизинѳк С.В. Потери элементов питания растений в агробиологическом круговороте веществ и способы их минимизации. М.: ВНИИА, 2012. 351 с.
41. Жукова Л.М. Влияние систематического применения удобрений на физико-химические свойства различных почв // Влияние длительного применения удобрений на плодородие почвы и продуктивность севооборотов. М.: Колос, 1980. С. 41–60.
42. Шильников И.А., Лебедева Л.А. Известкование почв. М.: Агропромиздат, 1987. 171 с.
43. Мартынович Л.И., Мартынович Н.Н. Влияние 50-летнего применения органических и минеральных удобрений на плодородие чернозема оподзоленного в центральной лесостепи Правобережья Украины. Сообщ. 5. Влияние систематического применения удобрений в зерносевообороте на некоторые агрохимические свойства почвы // *Агрохимия*. 1992. № 9. С. 53–62.
44. Хомяков Д.М. Изменение кислотности природной среды и известкование почв в регионах с гумидным климатом // *Агрохимия*. 2000. № 3. С. 81–91.
45. Надежкин С.М., Лебедева Т.Б., Надежкина Е.В. Экологические аспекты известкования черноземов. М.: Агроконсалт, 2005. 276 с.
46. Шеуджен А.Х., Онищенко Л.М., Исупова Ю.А. Плодородие и физикохимические свойства чернозема выщелоченного Западного Предкавказья при длительном применении минеральных удобрений // *Почвовед. и агрохим.* 2012. № 2 (49). С. 233–239.
47. Шеуджен А.Х., Бочко Т.Ф., Онищенко Л.М., Бондарева Т.Н., Осипов М.А., Есипенко С.В. Содержание и формы соединений кальция в черноземе выщелоченном Западного Предкавказья в условиях агрогенеза // *Научн. журн. КубГАУ*. 2015. № 105 (01). С. 1–12. <http://ej.kubagro.ru/2015/01/pdf/035.pdf>
48. De Vries W., Breeuwsma A. Relative importance of natural and anthropogenic proton sources in soils in the Netherlands // *Water Air Soil Pollut.* 1986. № 28. P. 173–184.
49. De Vries W., Breeuwsma A. The relation between soil acidification and element cycling // *Water Air Soil Pollut.* 1987. № 35. P. 293–310.
50. Корнилов М.Ф., Небольсин А.Н., Семенов В.А., Козловский Е.В., Зяблов В.А. Известкование кислых

- почв Нечерноземной полосы СССР / Под ред. Н.А. Сапожникова. Л.: Колос, 1971. 256 с.
51. *Козловский Е.В., Небольсин А.Н., Алексеев Ю.В., Чуриков П.А.* Известкование почв. Л.: Колос, 1983. 286 с.
  52. *Бровкина Е.А.* Известкование почв в Лесостепи УССР и Центрально-Черноземной полосе РСФСР: Автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук. Киев: ВНИИС, 1967. 40 с.
  53. *Бровкина Е.А.* Известкование почв в районах свеклопосевания. Киев: Урожай, 1976. 88 с.
  54. *Бесков И.Х.* Известкование черноземов и серых лесных почв. Воронеж: Центр.-Чернозем. кн. изд-во, 1967. 67 с.
  55. *Бесков И.Х.* Об эффективности известкования черноземных почв // Вестн. сел.-хоз. наук. 1970. № 3. С. 11–17.
  56. *Мещанов В.Н.* Известкование кислых почв: Из опыта передовых хозяйств и агрохимической службы ТАССР. М.: Россельхозиздат, 1982. 64 с.
  57. *Андрюанов А.А.* Эффективность сочетания доз извести и минеральных удобрений на дерново-подзолистых, серых лесных и черноземных почвах Чувашской АССР: Автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. М., ВИУА, 1985. 26 с.
  58. *Ивойлов А.В.* Влияние известкования и минеральных удобрений на продуктивность зернопропашного севооборота и плодородие выщелоченного чернозема: Автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. М., ВИУА, 1988. 20 с.
  59. *Богомазов Н.П.* Эффективность сочетания минеральных удобрений с известкованием на выщелоченном черноземе: Автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. М.: ВИУА, 1988. 20 с.
  60. *Вислобокова Л.Н., Бодров В.П.* Известкование чернозема и урожайность ячменя // Земледелие. 1988. № 7. С. 41.
  61. *Бодров В.П., Вислобокова Л.Н.* Эффективность известкования средневщелоченного чернозема // Химизация сел. хоз-ва. 1988. № 3. С. 66–68.
  62. *Вислобокова Л.Н.* Эффективность сочетания минеральных удобрений с известкованием на выщелоченном черноземе: Автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. М., ВИУА, 1993. 22 с.
  63. *Бурганов Ф.Г.* Оптимизация известкования дерново-подзолистых, серых лесных, выщелоченных и оподзоленных черноземов в условиях Татарстана: Автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. М., ВИУА, 1993. 27 с.
  64. *Гришин Г.Е.* Эффективность известкования выщелоченных и оподзоленных черноземов в сочетании с минеральными удобрениями в условиях лесостепи Среднего Поволжья: Автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. М.: ВИУА, 1995. 22 с.
  65. *Лебедева Т.Б., Гришин Г.Е.* Влияние доломитовой муки и минеральных удобрений на кислотность черноземов выщелоченного и оподзоленного лесостепи Среднего Поволжья // Агрохимия. 1996. № 10. С. 65–69.
  66. *Мязин Н.Г.* Влияние применения удобрений и мелиорантов на показатели почвенного плодородия // Агрохимия. 1997. № 2. С. 26–30.
  67. *Надежкин С.М., Лебедева Т.Б., Арефьева М.В.* Влияние известкования и применения удобрений на плодородие чернозема выщелоченного и продуктивность зернопропашного севооборота // Агрохимия. 2006. № 10. С. 5–14.
  68. *Лукманов А.А., Нуриев С.Ш., Гайров Р.Р., Муратов М.Р.* Эффективность известкования черноземов Республики Татарстан // Пробл. агрохим. и агроэкол. 2011. № 4. С. 3–7.
  69. *Нечаев Л.А., Коротеев В.И.* Известкование почв в Орловской области // Земледелие. 2012. № 7. С. 11–13.
  70. *Чевердин Ю.И., Титова Т.В., Беспалов В.А., Порошков И.Ф.* Известкование кислых почв Воронежской области // Земледелие. 2014. № 6. С. 5–7.
  71. *Абдуллин М.М., Мустафина Л.Р.* Влияние известкования выщелоченных черноземов на продуктивность люцерны // Аграрн. наука. 2016. № 10. С. 2–5.
  72. *Орлов В.П., Князева Л.Д.* Влияние известкования на подвижность фосфатов в выщелоченном черноземе // Бюл. НТИ ВНИИ зернобоб. и круп. культур. Т. 20. Орел, 1978. С. 63–67.
  73. *Орлов В.П., Князева Л.Д.* Влияние известкования выщелоченного чернозема на подвижность фосфатов в почве и урожай растений // Агрохимия. 1980. № 1. С. 35–38.
  74. *Леплявченко Л.П.* Влияние систематического применения удобрений на плодородие выщелоченного чернозема Кубани: Автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. Краснодар, 1985. 25 с.
  75. *Бровкин В.И.* Влияние извести на урожай культур на выщелоченных черноземах северной лесостепи европейской части СССР // Агрохимия. 1985. № 5. С. 67–72.
  76. *Бровкин В.И.* Применение извести и фосфоритной муки на черноземах северной лесостепи // Химия в сел. хоз-ве. 1985. № 5. С. 11–12.
  77. *Ивойлов А.В., Бессонова М.Н.* Сравнительная эффективность различных систем удобрения в полевом севообороте на черноземе выщелоченном тяжелосуглинистом // Агрохимия. 1992. № 11. С. 50–57.
  78. *Богомазов Н.П.* Эколого-агрохимическая эффективность удобрений на выщелоченных черноземах: Автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук. М., 1994. 45 с.
  79. *Бровкин В.И.* Влияние удобрений на продуктивность культур и свойства почвы в третьей ротации зернового севооборота на выщелоченном черноземе Тульской области // Агрохимия. 1996. № 11. С. 61–68.
  80. *Нетребенко Н.Н.* Эффективность удобрений на выщелоченных черноземах юго-западной части ПЧЗ России: Автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. М., 1996. 23 с.
  81. *Ивойлов А.В.* Эколого-агрохимическая оценка удобрений на выщелоченных черноземах лесостепи: Автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук. М., 1997. 44 с.
  82. *Бровкин В.И.* Влияние известкования на урожай сельскохозяйственных культур и свойства чернозема выщелоченного Тульской области // Агрохимия. 2000. № 2. С. 54–58.

83. *Небытов В.Г.* Влияние известкования на агрохимические показатели чернозема выщелоченного, урожайность культур в севообороте при применении минеральных удобрений // *Агрохимия*. 2004. № 9. С. 48–55.
84. *Бровкин В.И.* Влияние удобрений на продуктивность культур в пятой ротации зернового севооборота на выщелоченном черноземе Тульской области // *Агрохимия*. 2008. № 4. С. 52–58.
85. *Соболев Ф.Е., Чернецкий А.И.* Действие различных доз и сочетаний навоза и минеральных удобрений в свекловичном севообороте // Влияние длительного применения удобрений на плодородие почвы и продуктивность севооборота. Вып. 1. М.: Сельхозгиз, 1960. С. 126–143.
86. *Гупало М.Г., Кудзин Ю.К., Ремесло В.Н., Сухобрус С.В.* Влияние длительного применения удобрений на продуктивность некоторых культур при бесменном посеве и на агрохимические свойства черноземной почвы лесостепи УССР // Влияние длительного применения удобрений на плодородие почвы и продуктивность севооборотов. М.: Колос, 1964. Вып. II. С. 251–281.
87. *Кудзин Ю.К., Губенко В.А.* Влияние 55-летнего систематического применения удобрений на запасы и формы минеральных фосфатов в черноземной почве // *Агрохимия*. 1968. № 10. С. 3–8.
88. *Адерихин П.Г.* Фосфор в почвах и земледелии ЦЧЗ. Воронеж: Изд-во ВГУ, 1970. 248 с.
89. *Кудзин Ю.К., Губенко В.А., Попова В.Т., Ярошевич И.В.* Мобилизация запасов фосфора в черноземе и зафосфачивание при длительном применении удобрений // *Агрохимия*. 1970. № 7. С. 31–37.
90. *Минакова О.А., Александрова Л.В., Подвигина Т.Н.* Изменение физикохимических свойств чернозема выщелоченного и урожайности сахарной свеклы при длительном применении удобрений в ЦЧР // *Агрохимия*. 2021. № 2. С. 37–46.
91. *Державин Л.М.* Современное состояние использования удобрений в России // *Агрохимия*. 1998. № 1. С. 5–12.
92. *Державин Л.М.* Роль химизации и биологизации земледелия в отечественном производстве сельскохозяйственной продукции и обеспечение продовольственной безопасности Российской Федерации // *Агрохимия*. 2010. № 9. С. 3–18.
93. *Сычев В.Г., Шафран С.Г., Виноградова С.Б.* Плодородие почв России и пути его регулирования // *Агрохимия*. 2020. № 6. С. 3–13.
94. *Прянишников Д.Н.* К вопросу об известковании (по данным вегетационных опытов) // *Избр. произвед.* В 3-х тт. Т. 3. Общие вопросы земледелия и химизации. М.: Колос, 1965. С. 593–605.
95. *Люддегорд Г.* Влияние климата и почвы на жизнь растений / пер. с нем. М.: Сельхозгиз, 1937. 387 с.
96. *Вильямс В.Р.* Основы земледелия. М.: Сельхозгиз, 1945. С. 168–170.
97. *Жученко А.А.* Стратегия адаптивной интенсификации сельского хозяйства (концепция). Пушкино: ОНТИ ПНЦ РАН, 1994. 148 с.
98. *Жученко А.А.* Обеспечение продовольственной безопасности России в XXI веке на основе адаптивной стратегии устойчивого развития АПК (теория и практика). Киров: НИИСХ Северо-Востока, 2009. 274 с.
99. *Образцов А.С.* Системный метод: применение в земледелии. М.: Агропромиздат, 1990. 303 с.
100. *Литвак Ш.И.* Системный подход к агрохимическим исследованиям. М.: Агропромиздат, 1990. 220 с.
101. *Кирюшин В.И.* Экологические основы земледелия. М.: Колос, 1996. 367 с.
102. *Ивойлов А.В.* Адаптивные приемы преодоления повышенной кислотности черноземных почв // XXVI Огаревские чтения: Тез. докл. науч. конф. Саранск, 1997. С. 27.
103. *Ивойлов А.В.* Преодоление повышенной кислотности почв в условиях адаптивного земледелия // Современные аспекты адаптивного земледелия: мат-лы Международ. научн.-практ. конф. Йошкар-Ола, 1998. С. 201–203.
104. *Ивойлов А.В.* Основные результаты исследований и проблемы известкования выщелоченных черноземов Республики Мордовия // 60 лет Географической сети опытов с удобрениями. Бюл. ВИУА. № 114. М., 2001. С. 98–99.
105. *Ивойлов А.В.* Эффективность удобрения и известкования выщелоченных черноземов: Монография. Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 2015. 264 с.
106. *Тотев Т.П.* К вопросу о токсичности Al, Mn и Fe в светло-серой лесной (псевдоподзолистой) почве // *Агрохимия*. 1979. № 1. С. 95–102.
107. *Палавеев Т., Тотев Т.* Кислотность почв и методы ее устранения / перевод с болг. Е.И. Григорьева, А.П. Смирнова. М.: Колос, 1983. 165 с.
108. *Осипов А.И., Минин В.Б., Небольсин А.Н.* Как выбрать оптимальную дозу известки // *Агрохим. вестн.* 1998. № 5–6. С. 35–36.
109. *Пономарева В.В.* Некоторые свойства гуминовых кислот, их значение для земледелия и мелиорации // *Агрохимия*. 1979. № 1. С. 77–84.
110. *Алексеева Т.Н., Безденежных Л.А.* Повышение кислотности почв сельскохозяйственных земель // *Экологічна безпека*. 2010. № 1 (9). С. 43–46.
111. *Кирпичников Н.А., Адрианов С.Н.* Действие и последствия фосфорных удобрений на дерново-подзолистой тяжелосуглинистой почве при различной степени известкования // *Агрохимия*. 2007. № 10. С. 14–23.
112. *Ахметов Ш.И., Ивойлов А.В., Новиков В.В.* Изменение основных агрохимических показателей чернозема выщелоченного тяжелосуглинистого под влиянием возрастающих доз цеолита // XXVIII Огаревские чтения (Естественные и технические науки). Саранск, 1999. С. 181–182.
113. *Ахметов Ш.И., Ивойлов А.В., Новиков В.В.* Влияние возрастающих доз цеолита на физико-химические показатели чернозема выщелоченного тяжелосуглинистого // Критические технологии в регионах с недостатком природных ресурсов: Мат-лы регион. научн.-практ. конф. Саранск, 2000. С. 93–94.
114. *Ахметов Ш.И., Новиков В.В., Ивойлов А.В.* Результаты агрохимической и экологической оценки

- природных цеолитов Мордовии // Проблемы фосфора и комплексное использование нетрадиционного минерального сырья в земледелии: сб. науч. тр. М.: ВНИПТИХИМ, 2000. С. 357–363.
115. *Ивоилов А.В.* Изменение агрохимических свойств чернозема выщелоченного тяжелосуглинистого под влиянием удобрений и различных способов основной обработки почвы // *Агрохимия*. 1992. № 4. С. 64–68.
  116. *Рогожин Д.О.* Состояние органического вещества и физические свойства черноземов обыкновенных и южных при переходе от традиционной к нулевой обработке: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. М., 2020. 21 с.
  117. *Чуян О.Г.* Комплексное влияние агрогенных факторов на кислотность чернозема типичного на склонах // 60 лет Географической сети опытов с удобрениями. Бюл. ВИУА. № 114. М., 2001. С. 181–182.
  118. *Климашевский Э.Л.* О неодинаковой устойчивости разных сортов кукурузы к кислотности питательного раствора // *Агрохимия*. 1966. № 4. С. 98–106.
  119. *Климашевский Э.Л.* О некоторых аспектах повышения эффективности удобрений // *Агрохимия*. 1976. № 10. С. 141–150.
  120. *Климашевский Э.Л.* Теория агрохимической эффективности растений // *Агрохимия*. 1990. № 1. С. 131–148.
  121. *Климашевский Э.Л.* Генетический аспект минерального питания растений. М.: Агропромиздат, 1991. 415 с.
  122. *Южанина Е.Н., Лисицин Е.М., Рубцова Н.Е.* Оценка относительной кислотоустойчивости сортов овса и ячменя методом водной культуры // Эколого-агрохимические, технологические аспекты развития земледелия Среднего Поволжья и Урала: тез. докл. конф. Казань: Изд-во Казанск. ун-та, 1995. С. 117.
  123. *Шуплецова О.Н., Щенникова И.Н.* Результаты клеточной селекции ячменя на устойчивость к алюмокислородному стрессу // Пути решения проблем повышения адаптивности, продуктивности и качества зерновых и кормовых культур: мат-лы Международ. научн.-практ. конф. Самара, 2003. С. 12–13.
  124. *Баталова Г.А.* Адаптивная селекция зерновых культур на Евро-Северо-Востоке России // Там же. С. 16–17.
  125. *Щенникова И.Н., Шуплецова О.Н., Бутакова О.И.* Оценка сортов ярового ячменя на кислотоустойчивость ( $Al^{3+}$ ) // Тр. по прикл. бот., ген. и селекции. 2009. Т. 165. С. 174–177.
  126. *Широких И.Г., Шуплецова О.Н., Щенникова И.Н.* Получение *in vitro* форм ячменя, устойчивых к токсическому действию алюминия в кислых почвах // Биотехнология. 2009. № 3. С. 40–48.
  127. *Баталова Г.А., Широких И.Г., Тулякова М.В., Шевченко С.Н., Русакова И.И., Абубакирова Р.И., Жуйкова О.А.* Некоторые результаты и вопросы методологии селекции овса на устойчивость к эдафическому стрессу // *Аграрн. наука Евро-Северо-Востока*. 2015. № 4 (47). С. 9–15.
  128. *Шуплецова О.Н., Щенникова И.Н.* Результаты использования клеточных технологий в создании новых сортов ячменя, устойчивых к токсичности алюминия и засухе // *Вавилонский журн. генет. и селекции*. 2016. № 20 (5). С. 623–628.
  129. *Широких И.Г., Ашихмина Т.Я.* Повышение толерантности к алюминию на кислых почвах методами биотехнологии (обзор) // *Теор. и прикл. техн.* 2016. № 2. С. 12–19.
  130. *Шуплецова О.Н., Щенникова И.Н.* Среодообразующая активность корневой системы регенерантов ячменя в условиях токсичности кислых почв // *Аграрн. наука Евро-Северо-Востока*. 2018. № 4 (65). С. 42–48.
  131. *Шуплецова О.Н.* Селективные системы *in vitro* для получения генотипов ячменя с комплексной устойчивостью к почвенным стрессовым факторам: Автореф. дис. ... д-ра биол. наук. М., 2019. 46 с.
  132. *Носкова Е.Н., Зайцева И.Ю.* Оценка устойчивости сортов ярового ячменя к токсичности алюминия // *Методы и технологии в селекции растений и растениеводстве: мат-лы V Международ. научн.-практ. конф.* Киров: ФАНЦ Северо-Востока, 2019. С. 105–108.
  133. *Неттевич Э.Д.* Избр. тр. Селекция и семеноводство яровых зерновых культур. М.: НИИСХ ЦРНЗ, 2008. 348 с.

## Acidogenic Degradation of Black Carth Soils and Adaptive Methods of Its Overcoming

A. V. Ivoilov

Ogarev Mordovia State University, Bolshevistskaya ul. 68, Saransk 430005, Russia

E-mail: ivoilov.av@mail.ru

The review considers the issue of acidization of chernozem soils and factors that influence this process. It is shown that the intensity of soil acidification under natural conditions is quite comparable with the intensity of soil acidification as a result of anthropogenic activity. Adaptive methods of overcoming the increased acidity of chernozem soils are proposed, including agrochemical, agrotechnical and selection-genetic measures.

**Key words:** soil acidity, acidization of chernozems, adaptive methods for overcoming acidity, screening of plants, resistance to pH and  $Al^{3+}$ .

УДК 632.122.1:635.18

**АККУМУЛЯЦИЯ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ОВОЩНЫХ КУЛЬТУРАХ**© 2022 г. В. Н. Башкин<sup>1,\*</sup>, Р. А. Галиулина<sup>2</sup><sup>1</sup> Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН  
142290 Пущино, Московская обл., ул. Институтская, 2, Россия<sup>2</sup> Институт фундаментальных проблем биологии РАН  
142290 Пущино, Московская обл., ул. Институтская, 2, Россия

\*E-mail: vladimirbashkin@yandex.ru

Поступила в редакцию 03.08.2021 г.

После доработки 18.08.2021 г.

Принята к публикации 15.10.2021 г.

Рассмотрены подходы к оценке риска накопления тяжелых металлов (ТМ) в овощных культурах, выращиваемых в открытом и защищенном грунте, в том числе в условиях гидропоники. Показаны агрохимические, биохимические, биогеохимические и медицинские аспекты аккумуляции этих металлов в овощной продукции. Оценено, что по сравнению с органическими удобрениями минеральные удобрения играют сугубо подчиненную роль как источник ТМ для овощных культур. Ситуация усложняется при выращивании этих культур в условиях гидропоники, поскольку возможно накопление вредных элементов в товарной части продукции вследствие постоянного контакта корней растений с питательным раствором, содержащим микропримеси ТМ. Показано, что управление риском накопления ТМ в овощных культурах возможно с помощью различных штаммов микроорганизмов, вносимых в ризосферу и способствующих как иммобилизации этих металлов в почве или питательном растворе, так и препятствующих их поступлению в товарную часть овощной продукции.

*Ключевые слова:* овощные культуры, тяжелые металлы, агрохимические, биохимические, биогеохимические, санитарно-гигиенические аспекты, ассоциативные микроорганизмы.

DOI: 10.31857/S0002188122010033

**ВВЕДЕНИЕ**

При ежедневном употреблении  $\approx 2$  кг пищи возможно удовлетворение потребности человека в белках, жирах, углеводах, витаминах, микроэлементах, кислотах и солях. На долю растительных продуктов должно приходиться  $>60\%$ , из них в рационе питания овощи должны составлять по рекомендациям ВОЗ 600 г на человека в день. В России в большинстве регионов нормы потребления овощей должны достигать  $\geq 400$  г, что особенно важно в осенне-зимний период [1].

Российский рынок сборов фруктов и овощей растет со средними темпами 1.1% в год, и объем производимой на территории страны плодоовощной продукции достиг в 2020 г.  $\approx 50$  млн т. На картофель приходится почти половина (48.4%) всех сборов плодоовощных культур, 20% относится на долю моркови, капусты и лука,  $\approx 30\%$  сборов составляют другие овощи открытого и закрытого грунтов [2, 3]. Нужно подчеркнуть, что за 11 лет (2010–2021 гг.) отечественное производство овощей закрытого грунта выросло в 2.3 раза.

В настоящее время фактическое потребление овощей в России составляет 109 кг на душу населения в год. Это на 24% меньше рекомендованной Минздравом нормы. Планируется, что потребление свежих овощей в России будет увеличиваться примерно на 1% ежегодно и достигнет 115 кг на душу населения к 2028 г. за счет дальнейшего увеличения объемов производства тепличных овощей, в том числе в условиях гидропоники [4, 5].

В условиях роста потребления овощей возникает вопрос о качестве овощной продукции. Вопросы качества нормируются как с точки зрения полезности продукта (содержания витаминов, сахаров, углеводов, белков), так содержания нежелательных примесей – вредных веществ (нитратов, пестицидов, тяжелых металлов). При этом содержание нитратов и пестицидов контролируется в нужной степени, в меньшей степени это относится к тяжелым металлам (ТМ). Цель работы – анализ агрохимических, биохимических, биогеохимических и медицинских аспектов накопления ТМ в овощных культурах. При этом рассмот-

**Таблица 1.** Среднее содержание и пределы варьирования количества тяжелых металлов в органических удобрениях, мг/кг (по данным [10])

| Вид удобрения                                | Cd            | As            | Ni            | Hg              | Pb          | Cr            |
|----------------------------------------------|---------------|---------------|---------------|-----------------|-------------|---------------|
| Стоки навозные (2.22% сухого вещества)       | 0.008 ± 0.001 | 0.005 ± 0.001 | 0.172 ± 0.035 | 0.0011 ± 0.0001 | 0.13 ± 0.01 | 0.066 ± 0.016 |
| Компост соломопометный (56% сухого вещества) | 0.151 ± 0.021 | 0.089 ± 0.009 | 1.53 ± 0.50   | 0.0044 ± 0.0006 | 1.46 ± 0.22 | 2.75 ± 0.38   |
| Навоз КРС (25% сухого вещества)              | 0.084 ± 0.016 | 0.137 ± 0.042 | 2.77 ± 0.74   | 0.0066 ± 0.0018 | 0.96 ± 0.23 | 2.39 ± 0.38   |
| Дефекат (87% сухого вещества)                | 0.203 ± 0.061 | 2.30 ± 0.52   | 8.2 ± 2.5     | 0.0187 ± 0.0064 | 3.69 ± 1.20 | 11.8 ± 2.5    |

рены условия как открытого, так и закрытого грунта, а также гидропонике.

### АГРОХИМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ АККУМУЛЯЦИИ ТМ В ОВОЩНЫХ КУЛЬТУРАХ

Минеральные удобрения, производимые в России, не являются в настоящее время источниками поступления ТМ в почвы. Например, по данным [6–10], содержание кадмия в аммиачной селитре составляет 0.04 мг/кг, в азофоске – 0.10 мг/кг, содержание мышьяка – 0.34 и 0.94 мг/кг соответственно, что меньше, чем его валовое содержание в почвах. Для никеля эти величины равны 0.31 и 0.89 мг/кг, ртути – 0.005 и 0.028 мг/кг, свинца – 0.16 и 0.24 мг/кг, хрома – 1.13 и 1.32 мг/кг.

Значимыми источниками ТМ для почв агроэкосистем являются органические удобрения (табл. 1). При внесении дозы навоза КРС 40 т/га поступление валового хрома составляет 96 г/га, компоста соломопометного в дозе 20 т/га – 55 г/га, стоков навозных 70 т/га – 4.6 г/га. Аналогичные величины для свинца составляют 38.4, 29.2 и 9.1 г/га, ртути – соответственно 0.264, 0.088 и 0.077 г/га, тогда как никеля – 111, 61 и 12 г/га. Поступление мышьяка относительно невелико – 5.48, 1.78 и 0.35 г/га, так же как и кадмия – 3.36, 3.02 и 0.56 г/га.

Для характеристики поглощения овощами ТМ используют коэффициент биологического поглощения (**КБП**) – как соотношение содержания элемента в золе растения к его содержанию в пахотном слое почвы.

Известно, что уровень загрязнения растениеводческой (в частности, овощеводческой) продукции ТМ оценивают на основе утвержденных МДУ для кормов и ДУ для продовольственного сырья и пищевых продуктов. При этом, например, МДУ свинца в 10 раз превосходит соответствующие величины ДУ. Загрязнение клубней

картофеля происходило при содержании в почве подвижного свинца >50 мг/кг (табл. 2). Установлено, что картофель наиболее устойчив к загрязнению почв кадмием. При увеличении уровня загрязнения почвы подвижными формами кадмия с 0.35 до 2.5 мг/кг концентрация этого металла в клубнях картофеля возрастала с 0.082 до 0.353 мг/кг, однако в ботве эти величины были в 8–11 раз больше. На основании экспериментальных и мониторинговых данных предложены уравнения линейной регрессии для связи накопления ТМ в клубнях картофеля, в частности, для Cd:  $y = 0.037 + 0.091 \text{ Cd}$  ( $R = 0.97$ ) [8, 9]. Также отмечено, что “для определения уровня содержания Cd в почве, при котором наступает загрязнение продукции выше ПДК, установленных для продовольственных культур, и МДУ, установленных для кормов, целесообразно ориентироваться не на валовые формы металла, а на концентрацию его подвижных форм – 0.7 мг Cd/кг (вытяжка ААБ рН 4.8)” [10, с. 77].

В то же время подчеркивается, что в настоящее время в пахотных почвах Белгородской обл., так же как и в других областях ЦЧЗ, содержание ТМ не представляет опасности для получения экологически безопасной сельскохозяйственной продукции, включая овощи. Практически не отмечено превышений МДУ и ДУ в кормах и пищевой овощной продукции.

### БИОХИМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ

*Оценка воздействия ТМ на растения. Механизмы транспорта.* ТМ, такие как кадмий, медь, свинец, хром и ртуть, являются основными загрязнителями окружающей среды, особенно в районах с высокой антропогенной нагрузкой. Накопление ТМ в почвах является неблагоприятным фактором, в частности, проявляется фитотоксичность ТМ для растений и почвенных орга-

**Таблица 2.** Влияние уровня загрязнения почвы (мг/кг) на содержание ТМ в овощных культурах (по данным [10])

| Культура                                                                    | Продукция  | Подвижные формы |      |     | Валовое содержание |      |     |
|-----------------------------------------------------------------------------|------------|-----------------|------|-----|--------------------|------|-----|
|                                                                             |            | Pb              | Zn   | Cd  | Pb                 | Zn   | Cd  |
| Пищевые продукты                                                            |            |                 |      |     |                    |      |     |
| Превышение ПДК для клубней картофеля – 0.12 мг/кг абсолютно сухого вещества |            |                 |      |     |                    |      |     |
| Картофель                                                                   | Клубни     | 51              | >180 | 0.7 | 293                | >707 | 1.8 |
| Корма                                                                       |            |                 |      |     |                    |      |     |
| Превышение МДУ для кормов – 1.2 мг/кг абсолютно сухого вещества             |            |                 |      |     |                    |      |     |
| Кормовая свекла                                                             | Корнеплоды | >73             | >180 | 2.2 | >411               | >707 | 6.6 |
|                                                                             | Ботва      | >73             | >180 | 1.2 | >411               | >707 | 3.6 |

низмов. Также опасно накопление ТМ в продукции, особенно в овощеводческой.

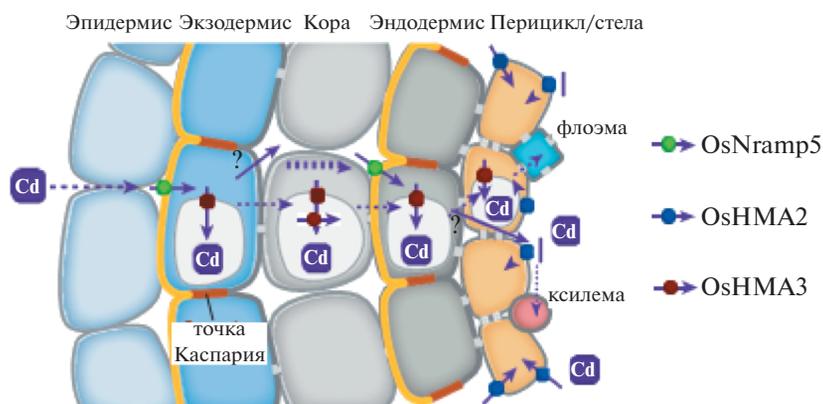
Растения, произрастающие на загрязненных почвах, демонстрируют измененный метаболизм, снижение роста и биомассы, в которой происходит избыточное накопление металлов. ТМ влияют на различные физиологические и биохимические процессы в растениях. Современные исследования токсичности и толерантности растений, подверженных воздействию ТМ, вызваны растущим загрязнением окружающей среды металлами. Однако некоторые металлы, в том числе медь, марганец, кобальт, цинк и хром, необходимы для метаболизма растений в следовых количествах. Поэтому, лишь тогда, когда металлы присутствуют в биодоступных формах и в чрезмерных количествах, они могут стать токсичными для растений. Необходимо учитывать воздействие цинка, меди, ртути, хрома, мышьяка, кобальта, никеля, марганца и железа. Но для ряда ТМ, таких как кадмий, свинец, биохимические и физиологические потребности не известны, и они считаются токсичными элементами в любых количествах. Токсичность других ТМ, например, мышьяка, зависит от его валентности и формы нахождения в организмах – токсичность пятивалентного As неизвестна, тогда как трехвалентный – токсичен [11].

Мышьяк, кадмий, свинец и ртуть являются токсичными элементами, и они почти повсеместно присутствуют в низких концентрациях в окружающей среде из-за антропогенного воздействия. Пищевое потребление продуктов растительного происхождения составляет основную долю потенциально опасного для здоровья человека воздействия ТМ, особенно мышьяка и кадмия. В интересах повышения безопасности пищевых продуктов важно уменьшить накопление токсичных элементов в сельскохозяйственных культурах. Понимание молекулярных механизмов, ответственных за их накопление, может поз-

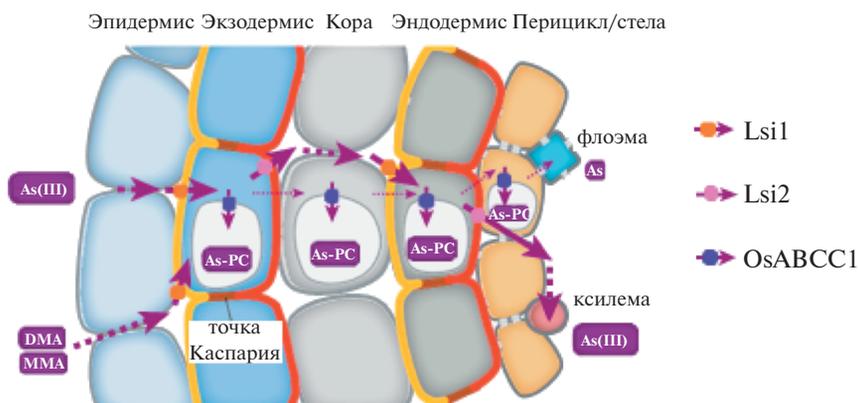
волить создать сорта сельскохозяйственных культур с сильно сниженной концентрацией токсичных элементов в их съедобных частях. Считается, что в настоящее время эти механизмы достаточно известны для мышьяка (As) и кадмия (Cd), но еще недостаточно исследованы в отношении свинца (Pb) и ртути (Hg). Основные результаты были получены для риса и других модельных растений, тогда как для овощных культур таких исследований явно не хватает. Были идентифицированы белки, ответственные за поглощение кадмия и мышьяка, и в настоящее время достаточно изучена биотрансформация мышьяка (рис. 1, 2). Также были выявлены факторы, контролирующие эффективность транслокации от корня к побегу и распределение токсичных элементов, в частности, через так называемый корневой узел [12].

*Токсичность ТМ для растений и человека.* Установлено, что мышьяк, кадмий, свинец и ртуть являются высокотоксичными как для растений, так и для человека в их ионных формах, As и Hg также токсичны в их метилированных формах [13, 14]. Как уже упоминалось выше, в то время как метилированный As, по крайней мере в пятивалентном состоянии, обычно считается менее токсичным, чем As(III) и As(V), метилированная Hg более токсична, чем Hg(II) для большинства организмов [15, 16].

Основные мишени токсичности для этих элементов неизвестны, и таких мишеней может и не быть, эти элементы могут повреждать как различные клеточные структуры, так и различные ткани и органы. Одной из основных причин токсичности является сильное взаимодействие с сульфидрильными группами, другой причиной является воздействие на гомеостаз основных элементов. Высокая реактивность тиоловых форм может ухудшать функционирование белков и опосредствованно вызывать окислительный стресс. Известно, что Cd влияет на метаболизм кальция (Ca) у млекопитающих, вызывая болезнь Итай-



**Рис. 1.** Транспортёры, участвующие в поглощении и транслокации Cd от корня к побегу. OsNramp5, локализованный на дистальной стороне как экзодермы, так и эндодермы (выделен желтым цветом), отвечает за транспорт Cd из апопласта в клетки корня. OsHMA3 в тонопласте секвестрирует Cd в вакуоли, и предполагается, что OsHMA2 на плазматической мембране клеток перичикла транспортирует Cd из апопласта в симпласт для облегчения транслокации через флоэму. Пунктирные стрелки указывают на возможную пассивную диффузию Cd. OsNramp5 – транспортер, важный для поглощения марганца (Mn), представляет собой основной путь проникновения Cd в корни (по данным [12]).



**Рис. 2.** Боковой перенос мышьяка в корнях растений. As(III) транспортируется к сте́ле двумя транспортерами Si, Lsi1 и Lsi 2, локализованный на дистальной (выделено желтым цветом) и проксимальной (выделено красным цветом) сторонах экзодермиса и эндодермиса. OsABCC1 в тонопласте секвестрирует As-фитохелатин (As-PC) в вакуолях и тем самым ограничивает доступность As(III) для перемещения по корню. Пунктирные стрелки указывают на возможную пассивную диффузию As; толщина стрелки отражает относительный вклад в общий перенос. Дополнительные сокращения: DMA, диметиларсиновая кислота; MMA, монометиларсоновая кислота (по данным [12]).

Итай при сильном воздействии. Как кадмий, так и свинец могут замещать цинк (Zn) в белках. Арсенат нарушает фосфатный обмен из-за химического сходства двух анионов. Кадмий и неорганические соединения мышьяка классифицируются как канцерогены. Воздействие низких доз, значительно меньше пороговых величин острой токсичности, может вызвать заболевание из-за длительной биоаккумуляции в организме человека. Медленное отравление из-за хронического воздействия Cd и As связано с общим увеличением смертности и целым рядом заболеваний, включая различные виды рака и сердечно-сосудистые заболевания в случае As, повреждение почек и остеопороз в случае Cd [17].

Известна нейротоксичность свинца, связанная с его негативным воздействием на интеллектуальные способности детей даже при низких уровнях воздействия [15]. Точно так же нейроны являются основными мишенями токсичности метилртути [18].

В отношении мышьяка и кадмия достигнут консенсус в том, что их потребление с растительной пищей в значительной степени способствует усилению вредного воздействия на человека [19–23].

### БИОГЕОХИМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ

Влияние растений и их метаболической активности определяет биогеохимическое перераспре-

деление ТМ в системе воздух–вода–почва. При этом важно оценить как спектр ТМ, так и их токсичность для растений. Токсичность металлов влияет на экологическую систему, где растения являются неотъемлемым компонентом. При этом важно оценить перемещение ТМ по биогеохимическим пищевым цепям, которые в целом можно охарактеризовать как взаимоотношения между организмами, через которые в экосистеме происходит трансформация вещества и энергии. В рассматриваемых работах речь идет о перемещении ТМ.

Растения поглощают из почвы ряд элементов, некоторые из которых, как отмечено выше, не имеют известной биологической функции, а некоторые токсичны в низких концентрациях. Поскольку растения составляют основу пищевой цепи, имеются опасения по поводу возможности переноса токсичных концентраций некоторых элементов из растений на более высокие уровни пищевой цепи, к растительоядным организмам, включая человека. Особое внимание уделяется механизмам поглощения и биотрансформации, происходящим в растениях, и их роли в биоаккумуляции и воздействии на конечных консументов, особенно на человека [24]. Хотя в этом обзоре особое внимание уделяется накоплению ТМ в овощных растениях, можно отметить и исследования, связанные с дикорастущими растениями. Кроме того, в современных исследованиях рассматривается поглощение растениями таких токсичных элементов как мышьяк, кадмий, хром, ртуть, свинец и их возможный перенос по пищевой цепи. Эти элементы привлекают особое внимание, поскольку хорошо известна их токсичность для живых организмов, включая их воздействие на человека. Известно, что мышьяк способствует развитию рака мочевого пузыря, легких и кожи и может накапливаться в организме, например, при употреблении риса, загрязненного As. Кадмий может поражать почки, печень, кости, а также влиять на женскую репродуктивную систему. Хром может вызывать рак, и люди могут подвергаться его воздействию при употреблении овощей, содержащих Cr. Свинец и ртуть — хорошо известные нейротоксины, которые поступают в организм человека, в частности, с овощами.

В качестве примера рассмотрим миграцию кадмия по пищевым биогеохимическим цепям. Показано, что ТМ окружающей среды, такие как Cd, мобилизуются в пищевой цепи от растений до человека [25]. Чтобы оценить важность параметров окружающей среды для биодоступности ТМ, исследователи разработали такие показатели, как

факторы биоаккумуляции, определяемые соотношением концентрации химического вещества в организме и концентрации ТМ в почве. Однако на факторы биоконцентрации влияет ряд параметров окружающей среды. В эксперименте с потреблением растительного корма, имевшего возрастающие концентрации кадмия в интервале 0–100 мкг/г, первичный потребитель (улитка *Helix aspersa*) и вторичный потребитель (личинки жука *Chrysocarabus splendens*) показали коэффициенты биоаккумуляции Cd 1.87–3.90 у *H. aspersa* и <1 мкг/г у *C. splendens*, вторичного хищника [26, 27]. Исследование также показало, что воздействие Cd-обогащенных улиток привело к гибели 31% личинок жуков, что продемонстрировало потенциальную токсичность перемещения Cd в пищевой цепи. Scheifler et al. [27] также сообщили, что улитки могут поглощать Cd из почвы, а не только из растений. Показано, что Cd переносится от растений к улиткам в зависимости от концентрации [28], что подтвердило потенциальную опасность растений-гипераккумуляторов Cd. Еще один аспект, который следует рассмотреть, — влияние Cd на метаболизм хищников растений. Например, у *Neochetina eichhorniae* (долгоносиков водяного гиацинта), которых кормили листьями растений, обработанных в течение недели 100 мг Cd/кг, Cd снижал в яичниках насекомых содержание белка примерно на 70–80%, липидов — на 8–20%, [29]. Однако, по данным Veltman et al. [25], усвоение Cd из растительной (овощной) пищи является низким, что в ряде случаев затрудняет поступление этого ТМ в организм человека.

## МЕДИЦИНСКИЕ АСПЕКТЫ

*Санитарно-гигиенические аспекты.* Принципы здорового питания подразумевают употребление экологически чистых и биологически полноценных продуктов. Правильное питание означает грамотное сочетание растительной и животной пищи в соответствии с возрастом, состоянием здоровья, характером труда. При этом выращивание овощей как в открытом грунте, так и закрытых условиях, требует постоянного контроля качества получаемой продукции [5].

Прежде всего овощи анализируют на содержание нитратов. В нашей стране эти анализы начали массово проводить с середины 1980-х гг. [30]. Поскольку овощные культуры потребляют большое количество питательных веществ, то агротехника их выращивания основана на применении различных минеральных и органических удобрений, вносимых в высоких дозах. В них зачастую в качестве примесей присутствуют различные ТМ, осо-

**Таблица 3.** Величины ПДК тяжелых металлов в овощных и фруктовых продуктах питания, мг/кг

| Продукты                                                      | Свинец   | Кадмий | Мышьяк | Ртуть | Медь | Цинк |
|---------------------------------------------------------------|----------|--------|--------|-------|------|------|
| Овощи, ягоды, фрукты свежие и свежемороженые                  | 0.04–0.5 | 0.03   | 0.2    | 0.02  | 5.0  | 10.0 |
| Овощи, ягоды, фрукты и изделия из них в сборной жестяной таре | 1.0      | 0.05   | 0.2    | 0.02  | 5.0  | 10.0 |

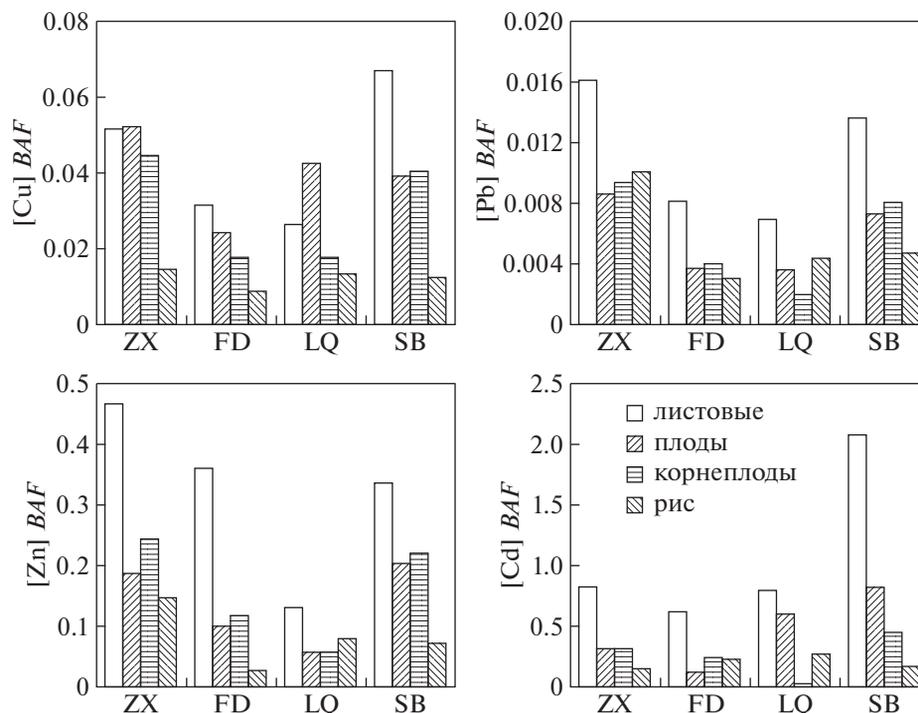
бенно в фосфорных и органических удобрениях. Из почвы и/или гидропонных субстратов эти ТМ могут поступать в овощные растения и накапливаться в растительной массе. Их содержание также нормируется (табл. 3).

Также рассчитывают фактор биоконцентрации. Коэффициент биоконцентрации (bio-concentration factor, *BCF*) может быть выражен как отношение концентрации химического вещества в организме к концентрации химического вещества в окружающей среде. *BCF* выражается в единицах на л/кг (отношение мг химического вещества на кг организма к мг химического вещества на л воды или кг почвы).

*Оценка поглощения ТМ с пищей.* У многих групп населения поглощение с пищей, например, Cd превышает предварительные допустимые еженедельные уровни потребления (Provisional Tolerable Weekly Intake, *PTWI*), определенные Продовольственной и сельскохозяйственной организацией ООН (ФАО) и Всемирной организацией здравоохранения (ВОЗ) [22]. При этом следует подчеркнуть, что имеющиеся данные заставили эпидемиологов усомниться в установленных величинах *PTWI* [31]. Например, группа экспертов европейского управления по безопасности пищевых продуктов (European Food Safety Authority, *EFSA*) по загрязняющим веществам в пищевой цепи призвала снизить уровень *PTWI* с 5.8 до 2.5 мкг/кг массы тела [32], близкий к среднему потреблению во всем мире [33]. Отмечено, что использование *PTWI*, величина которого, согласно недавним анализам [31], для Pb превышена, например, в некоторых регионах Китая, было признано нецелесообразным в свете имеющихся эпидемиологических данных [22, 31]. Соответственно, объединенный комитет экспертов ФАО/ВОЗ по пищевым добавкам даже пришел к выводу, что нынешний уровень *PTWI* для свинца должен быть снижен, поскольку этот уровень воздействия связан с измеримым нарушением развития нервной системы детей [34].

В целом, по данным [25], усвоение Cd из пищи является низким. Продовольствие является важ-

ным путем для ряда ТМ, особенно для населения, потребляющего регионально загрязненные продукты питания. По данным [35], население, которое ограничивает свой рацион продуктами местного производства, например, фермеры, ведущие натуральное хозяйство, особенно подвержено риску загрязнения почвы, поскольку Cd в их рационе не разбавляется продуктами питания из других незагрязненных районов, как это происходит в большинстве развитых стран мира. В связи с этим предложено рассчитывать риск воздействия токсичных элементов через пищу, используя коэффициент, называемый целевым коэффициентом опасности (target hazard quotient, *THQ*) [36]. Величины *THQ* включают, в частности, частоту воздействия и концентрацию загрязняющего вещества. Считается, что, когда *THQ* < 1, уровень ежедневного воздействия на человеческую популяцию может быть безопасным. Используя индекс *THQ*, авторы работ [37, 38] пришли к выводу, что “жители, живущие в 500–1000 м от цинкового завода Хулудао в Китае, имели величины *THQ* при потреблении овощей >1, что свидетельствовало о риске токсичности Cd. Кроме того, показано, что в бассейне р. Верхний У Цзян (провинция Гуандун, Китай) растения риса, орошаемые неочищенными сточными водами горнодобывающей промышленности, содержали до 1.15 мкг Cd/г в неочищенном зерне, а потребление Cd с пищей по расчетам составляло 2.2 и 1.5 мкг Cd/кг массы тела в день для 60-кг взрослого и 40-кг ребенка соответственно” ([39], с. 151). Эти показатели превышали предварительное допустимое потребление кадмия с пищей, установленное ФАО/ВОЗ, которое составило 1 мкг Cd/кг массы тела. Хотя рис потребляется в качестве основного продукта питания в провинции Гуандун и, следовательно, вносит большую часть в общее ежедневное потребление пищи, существуют и другие источники потребления Cd, такие как молочные продукты и овощи, которые должны рассматриваться так же как существенные факторы риска (рис. 3, 4). При этом, по данным [40], потребле-



**Рис. 3.** Коэффициент биоаккумуляции (BAF), отношение концентрации тяжелых металлов в съедобной части листовых, плодовых, корнеплодных овощей и риса к концентрации в соответствующей почве в 4-х загрязненных деревьях (ось абсцисс) в окрестностях рудного месторождения Дабаошань, Китай [по данным 37, 38, 41]. По оси абсцисс указаны сокращенные наименования 4 населенных пунктов. То же на рис. 4.

ние овощей в ряде случаев было основным источником Cd для человека.

Очевидно, что для уменьшения риска в связи с потреблением ТМ с растительной пищей, в частности, с овощами, необходимо снизить их содержание в рационе питания. В ряде случаев речь уже идет о нулевых величинах содержания ТМ в овощной продукции.

### ПРЕДОТВРАЩЕНИЕ ПОСТУПЛЕНИЯ ТМ В РАСТЕНИЯ

Таким образом, ТМ нарушают комплекс процессов в растении и индуцируют множество специфических и неспецифических реакций живых организмов, прежде всего человека как конечного консумента в пищевой цепи [41–43]. Поскольку, как было показано выше, значительное количество ТМ потребляется с овощами, необходимо управление риском поступления этих металлов в растения. Такое управление возможно с использованием штаммов ряда микроорганизмов.

Известно, что микроорганизмы обладают полезными для растений свойствами, благоприятное сочетание которых может оказывать в стрессовой ситуации аддитивный или синергический эффект. Например, инокуляция бобовых расте-

ний устойчивыми к ТМ и эффективными штаммами клубеньковых бактерий существенно улучшала образование и функционирование азотфиксирующего симбиоза. Показано, что почвенные бактерии (бактериальные препараты азотобактерин, фосфобактерин и кремнебактерин на основе ризобактерий *Azotobacter* и *Bacillus*) способствуют накоплению в овощных растениях (моркови, свекле, картофеле) биофильных элементов (K, Mg, Ca, Na, S, Si) и некоторых металлов (Pb, Zn, Ni, Cr), но последние накапливались преимущественно в кожуре. В то же время не отмечено аккумуляции Cd, Hg, и лишь отчасти – Cr [44].

В последнее десятилетие значительно возрос интерес к использованию ризосферных бактерий для стимуляции роста и регуляции поступления ТМ в растения из загрязненных почв, что отражено в серии обзорных статей. Например, производственные штаммы ассоциативных бактерий *Arthrobactermysorens* 7 и *Flavobacterium* sp. Л30 снижали подвижность Cd в почве [45], а инокуляция ими растений ячменя улучшала рост и препятствовала поступлению ТМ в зерно [46, 47].

Показана также способность псевдомонад, ассоциированных с эктомикоризными грибами, усиливать иммобилизацию Cd, Zn и Pb микросим-

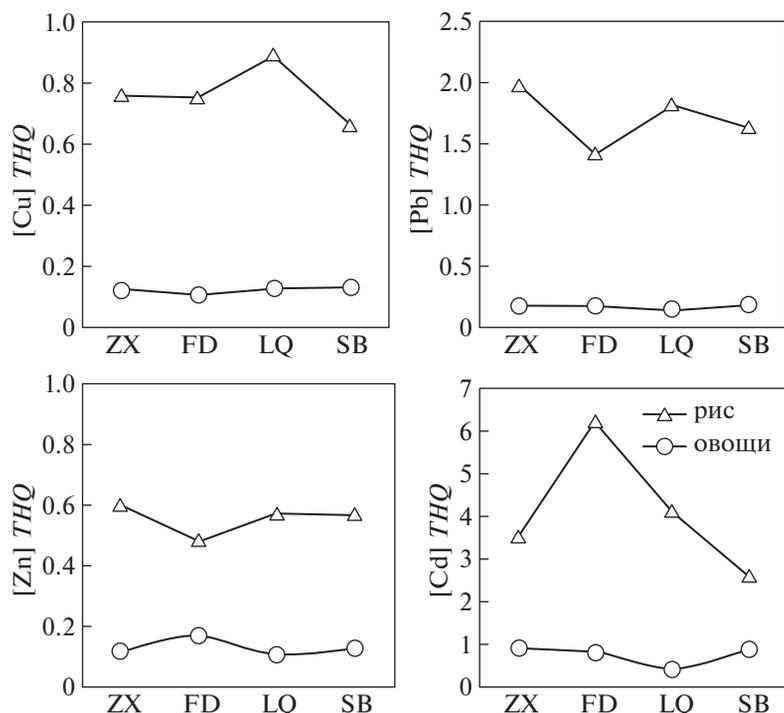


Рис. 4. Величины THQ для различных ТМ (Zn, Cu, Cd, Pb) при их поглощении с рисом и овощами в окрестностях рудного месторождения Дабаошань, Китай (по данным [29, 30, 41]).

бионтом в корнях и предотвращать поступление этих металлов в надземную часть растений [48].

Иммобилизация металлов может происходить благодаря образованию малорастворимых комплексов с бактериальными сидерофорами, полисахаридами и другими веществами. Однако бактериальные сидерофоры и их Fe-содержащие комплексы поглощаются растениями, поэтому в некоторых случаях возможно усиление поступления ТМ в последние [49].

Имеются данные об одновременной стимуляции роста и выноса никеля горчицей сарептской (*Brassica juncea*) при инокуляции штаммом *Bacillus subtilis* SJ-101, продуцирующим ауксины и растворяющим фосфаты [50].

Получены результаты по динамике численности биоконтрольных с антифугальной активностью штаммов *Pseudomonas chlororaphis* SPB1217 и *Pseudomonas fluorescens* SPB2137, способных приживаться в ризосфере растений огурца, выращенных в минеральном субстрате гидропонным способом в условиях промышленных теплиц. При этом численность грибов в контроле была в 2 раза больше, чем в варианте с инокуляцией штаммом SPB2137 [51].

Обобщенные данные по инактивации (поглощению, адсорбции) различными микроорганизмами ТМ показаны в табл. 4 (по данным [52]).

В этих и многих других исследованиях изменение поглощения токсичных металлов происходило без негативных последствий для роста растения, что указывает на способность бактерий повышать гомеостаз микробно-растительной системы [53].

Также следует упомянуть и другие подходы для устранения угнетающего действия ТМ на овощные культуры. Например, отмечено положительное влияние синтетического регулятора роста тиадиазурона на устойчивость проростков огурца, выращиваемых в условиях гидропоники, при воздействии сублетальных доз ионов свинца и меди, а также охлаждения [54].

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, на основании обширного материала рассмотрены подходы к оценке накопления тяжелых металлов (ТМ) в овощных культурах, выращиваемых в открытом и защищенном грунте, в том числе, в условиях гидропоники. Показаны агрохимические, биохимические, биогеохимические и медицинские аспекты аккумуляции этих ТМ в овощной продукции. Оценено, что по сравнению с органическими удобрениями минеральные удобрения играют сугубо подчиненную роль как источник ТМ для овощных культур. Ситуация усложняется при выращивании этих

**Таблица 4.** Поглощение микроорганизмами тяжелых металлов

| Микроорганизм                              | ТМ       | Поглощение (адсорбция), % на сухую массу |
|--------------------------------------------|----------|------------------------------------------|
| <i>Streptomyces</i> sp. 12, 15             | Уран     | 2–14                                     |
| <i>Citrobacter</i> sp. 2s, 26, 2v          | Свинец   | 34–40                                    |
|                                            | Кадмий   | 13.5                                     |
|                                            | Серебро  | 25                                       |
| <i>Thiobacillus ferrooxidans</i> 2, 22, 31 | Серебро  | 25                                       |
| <i>Bacillus cereus</i> 2, 22, 34           | Кадмий   | 3.9–8.9                                  |
| <i>Escherichia cobz</i> 22, 34             | Кадмий   | 0.16–0.98                                |
| <i>Zoogloea</i> sp. 2,1 s, 22, 31          | Кобальт  | 25                                       |
|                                            | Медь     | 34                                       |
|                                            | Никель   | 13                                       |
|                                            | Золото   | 10                                       |
| <i>Chlorella vulgaris</i> b 19             | Уран     | 15                                       |
| <i>Chlorella regularis</i> b ~9            | Уран     | 0.39                                     |
| <i>Chlorella regularis</i> 2s'29           | Марганец | <0.8                                     |
| <i>Scenedesmus obliquus</i> 15, 28         | Кадмий   | 0.3                                      |
|                                            | Серебро  | 2                                        |
| <i>Phoma</i> sp. is, 2s                    | Медь     | 1.6                                      |
| <i>Rhizopus arrhizus</i> 33, 36, 37        | Уран     | 19.5                                     |
|                                            | Свинец   | 10.4                                     |
|                                            | Торий    | 9.7                                      |
|                                            | Кадмий   | 0.24–3.12                                |
|                                            | Цинк     | 0.45                                     |
| <i>Saccharomyces cerevisiae</i> t s        | Уран     | 10–15                                    |
|                                            | Торий    | 11.6                                     |

культур в условиях гидропоники, поскольку возможно накопление вредных элементов в товарной части продукции вследствие постоянного контакта корней растений с питательным раствором, содержащим микропримеси ТМ. Показано, что управление риском накопления ТМ в овощных культурах возможно с помощью различных штаммов микроорганизмов, внесенных в ризосферу, и способствующих как иммобилизации этих металлов в почве, так и препятствующих их поступлению в товарную часть овощной продукции.

Следовательно, необходимо разрабатывать природоподобные технологии, в частности, биогеохимические технологии, способные предотвращать поступление ТМ в овощные растения. Разработка таких технологий для выращивания овощей в почвенных условиях может быть основана на результатах исследований, проанализированных выше.

Также следует отметить, что в современной литературе еще крайне недостаточно исследований оценки риска накопления ТМ при выращивании овощных культур в условиях гидропоники.

Гидропоника быстро развивается и необходимы знания о вероятности поступления ТМ в товарную часть продукции и оценке соответствующих величин риска.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Солдатенко А.В., Разин А.Ф., Шатилов М.В., Иванова М.И., Разин О.А., Россинская О.В., Башкиров О.В. Межрегиональный обмен в контексте выравнивания потребления овощей в субъектах Федерации // Овощи России. 2018. № 6. С. 41–46.
2. Мамедов М.И. Перспективы защищенного грунта в России // Овощи России. 2014. № 4 (25). С. 4–9.
3. Анализ рынка фруктов и овощей. Центр экономики рынков. 18.08.2020. <https://zen.yandex.ru/media/id/5dd01bd9a28a2f180f2b7c29/analiz-rynka-frukto-ov-i-ovoscei-5f3aee818936fc6e4ac03127>
4. Центр отраслевой экспертизы Россельхозбанка. Производство тепличных овощей в РФ // 26.11.2020. <https://tass.ru/ekonomika/10108435>
5. Пинчук Е.В., Беспалько Л.В., Козарь Е.Г., Балашова И.Т., Сирота С.М., Шевченко Т.Е. Ценная овощная зелень на гидропонике для круглогодичного потребления // Овощи России. 2019. № 3. С. 45–53.

6. Лукин С.В., Мирошникова Ю.В., Авраменко П.М. Мониторинг содержания тяжелых металлов в почвах Белгородской области // *Агрохимия*. 2002. № 8. С. 86–91.
7. Лукин С.В., Явтушено В.Е., Солдат И.Е. Накопленные кадмия в сельскохозяйственных культурах в зависимости от уровня загрязнения почвы // *Агрохимия*. 2000. № 2. С. 73–77.
8. Лукин С.В., Солдат И.Е., Пендюрин Е.А. Закономерности накопления цинка в сельскохозяйственных растениях // *Агрохимия*. 1999. № 2. С. 79–82.
9. Lukin S.V., Yevtushenko V.E., Soldat I.E. Accumulation of cadmium in agricultural crops depending on the level of soil contamination // *Euras. Soil Sci.* 2000. V. 33. Supl. 1. P. S91–S95.
10. Лукин С.В. Агроэкологическое состояние и продуктивность почв Белгородской области. Белгород: Константа, 2016. 343 с.
11. Nagajyoti P.C., Lee K.D., Sreekanth T.V.M. Heavy metals, occurrence and toxicity for plants: a review // *Environ. Chem. Lett.* 2010. № 8. P. 199–216.
12. Clemens S., Ma J.F. Toxic heavy metal and metalloid accumulation in crop plants and foods // *Annu. Rev. Plant Biol.* 2016. V. 67. P. 489–512.
13. Goyer R.A. Toxic and essential metal interactions // *Annu. Rev. Nutr.* 1997. V. 17. P. 37–50.
14. Kopitke P.M., Blamey F.P.C., Asher C.J., Menzies N.W. Trace metal phytotoxicity in solution culture: a review // *J. Exp. Bot.* 2010. V. 61. P. 945–954.
15. Hughes M.F. Arsenic toxicity and potential mechanisms of action // *Toxicol. Lett.* 2002. V. 133. № 1. P. 1–16.
16. Li W.C., Tse H.F. Health risk and significance of mercury in the environment // *Environ. Sci. Pollut. Res.* 2015. V. 22. P. 192–201.
17. Jarup L., Akesson A. Current status of cadmium as an environmental health problem // *Toxicol. Appl. Pharmacol.* 2009. V. 238 (3). P. 201–208.
18. Canfield R.L., Henderson C.R., Cory-Slechta D.A., Cox C., Jusko T.A., Lanphear B.P. Intellectual impairment in children with blood lead concentrations below 10 µg per deciliter // *N. Engl. J. Med.* 2003. V. 348. P. 1517–1526.
19. Mergler D., Anderson H.A., Chan L.H.M., Mahaffey K.R., Murray M. Methylmercury exposure and health effects in humans: a worldwide concern // *Ambio*. 2007. V. 36. P. 3–11.
20. Meharg A.A., Norton G., Deacon C., Williams P., Adomako E.E. Variation in rice cadmium related to human exposure // *Environ. Sci. Technol.* 2013. V. 47. P. 5613–5618.
21. Akesson A. Barregard L., Bergdahl I.A., Nordberg G.F., Nordberg M., Skerfving S. Non-renal effects and the risk assessment of environmental cadmium exposure // *Environ. Health Perspect.* 2014. V. 122. P. 431–438.
22. EFSA (Eur. Food Saf. Auth.). Scientific opinion of the Panel on Contaminants in the Food Chain on a request from the European Commission on cadmium in food // *EFSA J.* 2009. V. 980. P. 1–139.
23. Clemens S., Aarts M.G.M., Thomine S., Verbruggen N. Plant science: the key to preventing slow cadmium poisoning // *Trends Plant Sci.* 2013. V. 18. P. 92–99.
24. Peralta-Videa J.R., Lopez M.L., Narayana M., Saupea G., Gardea-Torresdey J. The biochemistry of environmental heavy metal uptake by plants: Implications for the food chain // *Inter. J. Biochem. Cell Biol.* 2009. V. 41. P. 1665–1677.
25. Veltman K., Huijbregts M.A.J., Hendriks A.J. Cadmium bioaccumulation factors for terrestrial species: application of mechanistic bioaccumulation model OMEGA to explain field data // *Sci. Total Environ.* 2008. V. 406. P. 413–418.
26. Scheifler R., Gomot-de Vaufleury A., Toussaint M.-L., Badot P.-M. Transfer and effects of cadmium in an experimental food chain involving the snail *Helix aspersa* and the predatory carabid beetle *Chrysocarabus splendens* // *Chemosphere*. 2002. V. 48. P. 571–579.
27. Scheifler R., de Vaufleury A., Coeurdassier M., Crini N., Badot P.-M. Transfer of Cd, Cu, Ni, Pb, and Zn in a soil–plant–invertebrate food chain: a microcosm study // *Environ. Toxicol. Chem.* 2006. V. 25. P. 815–822.
28. Gimbert F., Mench M., Coeurdassier M., Badot P.-M., de Vaufleury A. Kinetic and dynamic aspects of soil–plant–snail transfer of cadmium in the field // *Environ. Pollut.* 2008. V. 152. P. 736–745.
29. Jamil K., Hussain S. Biochemical variations in ovaries of water hyacinth weevils *Neochetina eichhorniae* // *Ind. J. Exp. Bot.* 1993. V. 31. P. 36–40.
30. Башкин В.Н. Агрогеохимия азота. Пушино: ОНТИ НЦБИ, 1987. 270 с.
31. Zhao F.-J., Ma Y., Zhu Y.-G., Tang Z., McGrath S.P. Soil contamination in China: current status and mitigation strategies // *Environ. Sci. Technol.* 2015. V. 49. P. 750–759.
32. EFSA (Eur. Food Saf. Auth.). Scientific opinion on lead in food // *EFSA J.* 2010. V. 8. P. 1570.
33. EFSA (Eur. Food Saf. Auth.). Scientific opinion on the risk for public health related to the presence of mercury and methylmercury in food // *EFSA J.* 2012. V. 10. P. 2985.
34. FAO (Food Agric. Organ. UN), WHO (World Health Organ.). Evaluation of certain food additives and contaminants: seventy-third report of the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives. WHO Tech. Report Ser. 960, WHO, Geneva, Switz. 2010. [http://whqlibdoc.who.int/trs/WHO\\_TRS\\_960\\_eng.pdf](http://whqlibdoc.who.int/trs/WHO_TRS_960_eng.pdf)
35. Chary N.S., Kamala C.T., Raj D.S.S. Assessing risk of heavy metals from consuming food grown on sewage irrigated soils and food chain transfer // *Ecotoxicol. Environ. Safe.* 2008. V. 69. P. 513–524.
36. Chien L.-C., Hung T.-C., Choanga K.-Y., Yeha C.-Y., Mengc P.-J., Shiehd M.-J. Daily intake of TBT, Cu, Zn, Cd and As for fishermen in Taiwan // *Sci. Total Environ.* 2002. V. 285. P. 177–185.
37. Zheng N., Wang Q., Zheng D. Health risk of Hg, Pb, Cd, Zn, and Cu to the inhabitants around Huludao Zinc Plant in China via consumption of vegetables // *Sci. Total Environ.* 2007. V. 383. P. 81–89.
38. Zheng N., Wang Q.C., Zheng D.M. Transfer characteristics of mercury, lead, cadmium, zinc and cuprum from soil to vegetable around zinc smelting plant // *Huan Jing Ke Xue*. 2007. V. 6. P. 1349–1354.
39. Yang Q.W., Lan C.Y., Wang H.B., Zhuang P., Shu W.S. Cadmium in soil–rice system and health risk associated

- with the use of untreated mining wastewater for irrigation in Lechang, China // *Agric. Water Manag.* 2006. V. 84. P. 147–152.
40. *Millis P., Ramsey M.H., John E.A.* Heterogeneity of cadmium concentration in soil as a source of uncertainty in plant uptake and its implications for human health risk assessment // *Sci. Total Environ.* 2004. V. 326. P. 49–53.
  41. *Zhiyuan Li Zh., Ma Z., der Kuijp T.J., Yuan Z., Huang L.* A review of soil heavy metal pollution from mines in China: Pollution and health risk assessment // *Sci. Total Environ.* 2014. 15 January. P. 468–469, 843–853.
  42. *Bashkin V.N.* Modern biogeochemistry: Environmental risk assessment. 2<sup>d</sup> edit. Springer Publishers, 2006. 444 p.
  43. *Белоголова Г.А., Соколова М.Г., Пройдакова О.А.* Влияние почвенных бактерий на поведение химических элементов в системе почва–растение // *Агрохимия.* 2011. № 9. С. 68–76.
  44. *Pishchik V.N., Vorobyev N.I., Chernyaeva I.I., Timofeeva S.V., Kozhemyakov A.P., Alexeev Y.V., Lukin S.M.* Experimental and mathematical simulation of plant growth promoting rhizobacteria and plant interaction under cadmium stress // *Plant Soil.* 2002. V. 242. P. 173–186.
  45. *Белимов А.А., Кунакова А.М., Сафронова В.И. Степанок В.В., Юдкин Л.Ю.* Использование ассоциативных бактерий для инокуляции ячменя в условиях загрязнения почвы свинцом и кадмием // *Микробиология.* 2004. № 73. С. 118–125.
  46. *Шаббаев В.П., Бочарникова Е.А., Остроумов В.Е.* Ремедиация загрязненной кадмием почвы при применении стимулирующих рост растений ризобактерий и природного цеолита // *Почвоведение.* 2020. № 6. С. 733–760
  47. *Шаббаев В.П.* Эффективность применения азотфиксирующей бактерии при выращивании растений в различных почвенных условиях // *Агрохимия.* 2020. № 11. С. 41–52.
  48. *Krupa P., Kozdrój J.* Ectomycorrhizal fungi and associated bacteria provide protection against heavy metals in inoculated pine (*Pinus sylvestris* L.) seedlings // *Water Air Soil Pollut.* 2007. V. 182. P. 83–90.
  49. *Awad F., Romheld V.* Mobilization of heavy metals from contaminated calcareous soils by plant born, microbial and synthetic chelators and their uptake by wheat plants // *J. Plant Nutr.* 2000. V. 23. P. 1847–1855.
  50. *Zaidi S., Usmani S., Singh B.R., Musarrat J.* Significance of *Bacillus subtilis* strain SJ-101 as a bioinoculant for concurrent plant growth promotion and nickel accumulation in *Brassica juncea* // *Chemosphere.* 2006. V. 64. P. 991–997.
  51. *Кравченко Л.В., Шапошников А.И., Макарова Н.М., Азарова Т.С., Тихонович И.А.* Динамика численности антифугальных штаммов *Pseudomonas* в ризосфере огурцов, выращиваемых в условиях гидропонии на минеральном тепличном субстрате // *Микробиология.* 2006. Т. 75 (3). С. 404–409.
  52. *Gadd G.M.* Heavy metal accumulation by bacteria and other microorganisms // *Experientia.* CH-4010 Basel/Switzerland: Birkhauser Verlag, 1990. № 46. P. 834–840.
  53. *Белимов А.А., Тихонович И.А.* Микробиологические аспекты устойчивости и аккумуляции тяжелых металлов у растений (обзор) // *Сел.-хоз. биол.* 2011. № 3. С. 10–15.
  54. *Лукаткин А.С., Башмаков Д.И., Кипайкина Н.В.* Протекторная роль обработки тидиазуроном проростков огурца при действии тяжелых металлов и охлаждения // *Физиология растений.* 2003. Т. 50 (3). С. 246–348.

## Accumulation of Heavy Metals in Vegetable Crops

V. N. Bashkin<sup>a,#</sup> and R. A. Galiulina<sup>b</sup>

<sup>a</sup> *Institute of Physicochemical and Biological Problems of Soil Science of the RAS  
ul. Institutskaya 2, Pushchino 142290, Russia*

<sup>b</sup> *Institute of Fundamental Problems of Biology of the RAS  
ul. Institutskaya 2, Pushchino 142290, Russia*

<sup>#</sup> *E-mail: vladimirbashkin@yandex.ru*

Based on the extensive material, approaches to assessing the risk of accumulation of heavy metals (HM) in vegetable crops grown in open and protected ground, including in hydroponic conditions, are considered. Agrochemical, biochemical, biogeochemical and sanitary-hygienic aspects of the accumulation of these metals in vegetable products are shown. It is estimated that in comparison with organic fertilizers, mineral fertilizers play a purely subordinate role as a source of TM for vegetable crops. The situation becomes more complicated when growing these crops in hydroponic conditions, since it is possible to accumulate harmful elements in the commercial part of the product due to the constant contact of plant roots with a nutrient solution containing micro-admixtures of TM. It is shown that the risk of accumulation of HM in vegetable crops can be managed with the help of various strains of microorganisms introduced into the rhizosphere, which contribute both to the immobilization of these metals in the soil or nutrient solution and prevent their entry into the marketable part of vegetable products.

**Key words:** vegetable crops, heavy metals, agrochemical, biochemical, biogeochemical and sanitary-hygienic aspects, associative microorganisms.