

# СОДЕРЖАНИЕ

---

---

Номер 11, 2022

---

---

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ СТАТЬИ Плодородие почв

- Изменение содержания форм серы в почвах полевых опытов в Западной Сибири  
*В. Н. Якименко, В. С. Бойко* 3
- Особенности формирования солевого профиля сезонно переувлажненных почв  
Каменной степи  
*Ю. И. Чеве́рдин, В. А. Беспалов, Т. В. Титова* 13
- Индивидуальные органические соединения дерново-подзолистой супесчаной почвы  
при внесении биоугля  
*Л. В. Бойцова, Е. Я. Рижия, В. Е. Вертебный* 26
- 

## Удобрения

- Влияние удобрений на содержание микроэлементов  
в мортмассе лугово-черноземной почвы  
*Н. А. Воронкова, В. А. Волкова, Н. Ф. Балабанова, Н. А. Цыганова* 33
- Применение минеральных удобрений и растительных остатков  
для регулирования фосфатного питания и продуктивности зерновых культур  
*В. М. Назарюк, Ф. Р. Калимуллина* 40
- 

## Пестициды

- Формирование ассортимента гербицидов в России  
*Т. А. Маханькова, В. И. Долженко, А. С. Голубев* 50
- 

## Агроэкология

- Азот в питании различных сортов ячменя  
в условиях склона (длительные исследования с  $^{15}\text{N}$ )  
*А. А. Завалин, Н. Я. Шмырева, Д. А. Соколов, О. А. Соколов* 62
- Влияние соломы в сочетании с минеральными,  
органическими и сидеральными удобрениями  
на биологическую активность почвы  
*А. Г. Дзюин* 72
- 

## МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

- Унифицированный образец гуминовых кислот чернозема:  
изготовление, внутри- и межлабораторная метрологическая характеристика состава  
*А. С. Фрид, В. А. Холодов, И. В. Перминова, Н. В. Ярославцева,  
Н. А. Куликова, Ю. Р. Фарходов, Б. М. Козут* 80
- 

- Правила для авторов 94
- 
-

# Contents

---

---

No. 11, 2022

---

---

## EXPERIMENTAL ARTICLES

### Soil Fertility

- Changes in the Content of Sulfur Forms in Soils of Field Experiments in Western Siberia  
*V. N. Yakimenko, V. S. Boyko* 3
- Features of the Formation of the Salt Profile of Seasonally Waterlogged Soils of the Stone Steppe  
*Yu. I. Cheverdin, V. A. Bespalov, T. V. Titova* 13
- Nonspecific Organic Compounds in Sandy Loam Spodosol with Biochar  
*L. V. Boitsova, E. Y. Rizhiya, V. E. Vertebniy* 26
- 

### Fertilizers

- Effect of Fertilizers on the Content of Trace Elements in the Mortmass of Meadow-Chernozem Soil  
*N. A. Voronkova, V. A. Volkova, N. F. Balabanova, N. A. Tsyganova* 33
- Application of Mineral Fertilizers and Plant Residues for Regulation of Phosphate Nutrition and Productivity of Grain Crops  
*V. M. Nazariuk, F. R. Kalimullina* 40
- 

### Pesticides

- Formation of an Assortment of Herbicides in Russia  
*T. A. Makhankova, V. I. Dolzhenko, A. S. Golubev* 50
- 

### Agroecology

- Nitrogen in the Nutrition of Different Varieties of Barley under Slope Conditions (Long-Term Studies with <sup>15</sup>N)  
*A. A. Zavalin, N. Ya. Shmyreva, D. A. Sokolov, O. A. Sokolov* 62
- Effect of Straw in Combination with Mineral, Organic and Sideral Fertilizers on the Biological Activity of the Soil  
*A. G. Dzyuin* 72
- 

## RESEARCH METHODS

- Unified Sample of Humic Acids of Chernozem: Production, Intra- and Inter-Laboratory Metrological Characteristics of the Composition  
*A. S. Frid, V. A. Kholodov, I. V. Perminova, N. V. Yaroslavtsev, N. A. Kulikov, Yu. R. Farkhodov, B. M. Kogut* 80
- 
- Rules for authors 94
- 
-

## ИЗМЕНЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ ФОРМ СЕРЫ В ПОЧВАХ ПОЛЕВЫХ ОПЫТОВ В ЗАПАДНОЙ СИБИРИ<sup>1</sup>

© 2022 г. В. Н. Якименко<sup>1,\*</sup>, В. С. Бойко<sup>2</sup>

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

<sup>2</sup>Омский аграрный научный центр  
644012 Омск, просп. Королева, 26, Россия

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

Поступила в редакцию 03.04.2022 г.

После доработки 11.05.2022 г.

Принята к публикации 12.08.2022 г.

В стационарных длительных полевых опытах в лесостепи Западной Сибири показано, что многолетний дефицитный баланс серы в агроценозах приводил к истощению почвенного фонда этого элемента. Содержание подвижной серы (экстрагируемой 1 М КСl) в почвах при дефицитном ее балансе могло снижаться, не изменяться или повышаться – в зависимости от выращиваемой культуры и уровня агротехники. Почвенное содержание минеральной серы (экстрагируемой 0.2 М HCl) в условиях перманентного дефицита баланса существенно снижалось в пахотном и подпахотном слоях почв, независимо от агротехнических факторов. При положительном балансе серы в агроценозе содержание ее форм в почве значительно возрастало. Снижение почвенного содержания серы не лимитировало урожайность выращиваемых культур при ее уровне в опытах, но могло негативно отражаться на качестве товарной продукции.

*Ключевые слова:* почва, агроценоз, баланс серы, подвижная сера, минеральная сера, Западная Сибирь.

**DOI:** 10.31857/S0002188122110114

### ВВЕДЕНИЕ

Сера относится к необходимым и незаменимым элементам минерального питания растений, играя важную роль в физиологических процессах, прежде всего синтезе и регуляции количества и качества белка, продуцируемого растительным организмом [1]. Д.Н. Прянишников отмечал [2], что сера по своему физиологическому и агрохимическому значению стоит в одном ряду с основными макроэлементами – азотом, фосфором и калием, однако внимание ей уделяется гораздо меньше. Очевидно, что изучение цикла серы, наряду с другими элементами-биофилами, в естественных и антропогенно преобразованных экосистемах является обоснованным и целесообразным [3–5].

Содержание общей серы в почвах, обусловленное составом почвообразующих пород, типом почвообразования и др. факторами, варьирует в очень широких пределах; в верхних горизонтах

минеральных незасоленных почв оно меняется от менее 20 мг до 2000 мг/кг и более. В большинстве сельскохозяйственных земель валовое содержание серы находится в пределах 50–1000 мг/кг в пахотном слое почвы [5–8]. В ряду зональных почв содержание серы, как правило, увеличивается от дерново-подзолистых к черноземам и красноземам. Следует сказать, что наиболее доступная растениям сульфатная форма серы чаще всего составляет лишь 10–20% от ее общего содержания; вниз по профилю почвы доля минеральной серы обычно возрастает. В проведенных исследованиях показана тесная связь содержания серы с рядом почвенных свойств – количеством гумуса, гранулометрическим составом, величиной pH и др., а также существенная сезонная и многолетняя динамичность содержания ее минеральных форм [6–11].

При сельскохозяйственном освоении и распашке целинных почв происходят значительные потери серы вследствие интенсификации процессов минерализации органического вещества. По данным [5], потери серы из верхних горизон-

<sup>1</sup> Работа выполнена в рамках государственного задания ИПА СО РАН и Омского аграрного научного центра.

тов почвы в результате ее окультуривания происходят независимо от того, применялись ли серные удобрения или нет; установлено, что снижение содержания серы в почве постоянного пара происходит быстрее, чем при выращивании сельскохозяйственных культур, что связано с усиленной минерализацией органической серы в сульфаты, мигрирующие в нижние почвенные горизонты.

В то же время, в ряде исследований [10–19], выполненных в различных российских регионах, содержание серы в почвах агроценозов – с внесением удобрений или без них – изменялось неоднозначно, увеличиваясь, снижаясь или оставаясь без изменений как в пахотном слое, так и в нижележащих почвенных горизонтах. Противоречивость литературных данных по трансформации почвенного фонда серы в агроценозах обусловлена, вероятно, различиями почвенно-климатических и агротехнических условий проведения опытов. Отметим, что имеющиеся сведения о валовом содержании серы в почвах Западной Сибири представлены в основном в работах географогенетической направленности [7], а данные по изменению почвенного уровня форм серы в условиях агроценозов очень немногочисленны [20, 21]. Проведенные мониторинговые агрохимические исследования [8, 22, 23] как в целом в стране, так и в отдельных ее регионах показали нарастающий дефицит сульфатной серы на значительных площадях сельскохозяйственных угодий, что может существенно ограничивать урожайность выращиваемых культур и снижать качество растительной продукции. Учитывая важность оптимизации режима серы в агроценозах, проведение дальнейших исследований по этой проблематике с учетом региональной специфики представляется весьма актуальным.

Цель работы – в многолетних стационарных полевых опытах оценить влияние сельскохозяйственного использования почв на изменение почвенного фонда серы в агроценозах лесостепи Западной Сибири.

#### МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Объектами исследования послужили почвы лесостепной зоны Западной Сибири – лугово-черноземная (южная лесостепь) и серая лесная (северная лесостепь).

Полевой опыт на исходно целинной лугово-черноземной тяжелосуглинистой почве был заложен в 1978 г. на научно-исследовательском стационаре СибНИИСХоза (Омская обл., Омский р-н). На одном участке почвы выращивали преимуще-

ственно многолетние травы, параллельно на другом, в севообороте – зерновые и зернобобовые культуры [24]. В данном сообщении рассмотрены 2 наиболее контрастных варианта опытов – без удобрений и NP; в связи с очень высоким содержанием калия в исследованной почве (обменного – 60 мг/100 г) калийные удобрения не применяли. Азотные и фосфорные удобрения вносили в форме  $N_{aa}$  и  $P_{cd}$  ежегодно, с учетом потребности конкретной выращиваемой культуры. Побочную продукцию зерновых и зернобобовых культур – солому при уборке разбрасывали по полю с последующим запахиванием.

Полевой опыт на исходно целинной серой лесной среднесуглинистой почве был заложен в 1988 г. на научно-исследовательском стационаре ИПА СО РАН (Новосибирская обл., Искитимский р-н). Выращивали овощные культуры в севообороте до 2000 г., а затем картофель в монокультуре. В опыте изучали влияние интенсивности калийного баланса на эколого-агрохимическое состояние агроценозов [25, 26]. В настоящем сообщении рассмотрены наиболее контрастные варианты данного опыта: без удобрений, NP и NPK. Минеральные удобрения вносили ежегодно в форме  $N_{aa}$ ,  $P_{cd}$  и  $K_x$  под планируемую урожайность культуры [25]; с 2013 г. в части опыта калийные удобрения стали использовать в форме сульфата калия ( $K_c$ ). В опытах учитывали и отчуждали с делянок как основную, так и побочную продукцию выращенных культур.

Закладку и проведение опытов осуществляли по общепринятой методике [27], повторность в опытах четырехкратная. Почвенные образцы вариантов опытов и расположенных рядом целинных участков отобрали осенью 2021 г., после уборки урожая. Агрохимические анализы почвы проводили общепринятыми, стандартными методами [28, 29]: гумус определяли по Тюрину, содержание физической глины – по Качинскому, рН – потенциометрическим методом, подвижный фосфор – по Чирикову. Почвенные формы серы определяли: водорастворимую – в водной вытяжке, подвижную – в вытяжке 1 М раствора KCl, минеральную – в вытяжке 0.2 М HCl.

#### РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Оптимизация минерального питания культур в вариантах опытов способствовала существенно-му росту их продуктивности (табл. 1). На лугово-черноземной почве, обладающей достаточно высоким уровнем естественного плодородия, среднегодовая урожайность выращенных культур в контрольных вариантах (без удобрений) состави-

**Таблица 1.** Общая урожайность культур, поступление макроэлементов с минеральными удобрениями и хозяйственный баланс серы в длительных полевых опытах в лесостепи Западной Сибири

Вариант	Общая урожайность, ц к.е./га	Внесено с удобрениями, кг д.в./га			**Сера, кг/га		
		азот	фосфор	калий	внесено	вынос	баланс
Лугово-черноземная почва							
Многолетние травы (1978–2021 гг.)							
Без удобрений	1610	–	–	–	–	2.5	–2.5
NP	2200	2830	3390	–	0.9	3.3	–2.4
Зерновые и зернобобовые культуры (1978–2021 гг.)							
Без удобрений	1470	–	–	–	–	1.8	–1.8
NP	2210	3230	2900	–	0.8	2.6	–1.8
Серая лесная почва							
Овощные культуры и картофель (1988–2021 гг.)							
Без удобрений	2030	–	–	–	–	5.3	–5.3
NP	2370	4020	2300	–	0.7	7.7	–7.0
NPК <sub>х</sub>	3630	4020	2300	6300	0.7	10.1	–9.4
*NPК <sub>с</sub>	649	900	540	1080	49.9	13.4	36.5

\*Опыт проводят с 2013 г.

\*\*Для лугово-черноземной почвы среднегодовые данные за 1978–2021 гг., для серой лесной – за 2013–2021 гг.

ла 34–37 ц к.е./га, тогда как при внесении научно обоснованных доз азотно-фосфорных удобрений – 53–55 ц к.е./га.

Одностороннее внесение NP-удобрений в опыте на серой лесной почве слабо отражалось на продуктивности овощных культур и картофеля (среднегодовая урожайность в вариантах опыта контроль и NP – 65 и 76 ц к.е./га соответственно), очевидно, в связи с перманентным нарастающим дефицитом калия. Сбалансированное применение минеральных удобрений в варианте NPK обеспечивало значительное увеличение урожая – до 115 ц к.е./га. Следует отметить, что ранее проведенные в данном опыте исследования эффективности разных форм калийных удобрений показали [30] более высокую прибавку урожая картофеля от внесения хлористого калия по сравнению с его сульфатом, особенно в относительно засушливые годы; в то же время, качество клубней (содержание сухого вещества, крахмала, кулинарные свойства) было выше при использовании сернокислого калия.

Очевидно, что результаты проведенных длительных полевых опытов подтвердили безальтернативность научно обоснованного применения минеральных удобрений в агроценозах для оптимизации как продуктивности культур, так и агрохимических свойств почвы.

Интенсивность использования удобрений в агроценозах существенным образом влияет на ба-

ланс элементов минерального питания растений, в т.ч. и серы [8, 11, 15, 18, 19]. Расчет баланса элементов-биофилов имеет важное значение для определения текущего состояния и тренда трансформации составляющих почвенного плодородия.

В приходную часть полного (экологического или биологического) баланса серы входит ее поступление в агроэкосистему с удобрениями и мелиорантами, посадочным материалом (семенами, клубнями, рассадой) и из атмосферы (с осадками, непосредственное поглощение почвой и растениями из воздуха). Расходная часть включает вынос элемента отчуждаемой растительной продукцией, потери с поверхностным стоком, инфильтрацией и испарением. Например, по данным [31], атмосферные осадки в лесостепи Западной Сибири (вне промышленных территорий) содержат 4–6 мг сульфат-ионов/л, а в испаряющейся с поверхности почвы влаге их концентрация составляет 4 мг/л. Учитывая, что среднегодовая сумма осадков в регионе равна 400–500 мм, испаряемость – 500–600 мм [25], можно полагать, что ежегодный приход серы находится в пределах 16–30 кг/га, а расход – 20–24 кг, т.е. данные статьи баланса примерно уравнивают друг друга. В случае выпадения обильных осадков, определенная часть сульфатов может мигрировать в нижнюю часть почвенного профиля и за его пределы. Следует сказать, что из указанных статей

полного баланса не все могут быть адекватно учтены с помощью современных методов и оборудования. Поэтому в большинстве случаев – и в научных исследованиях, и в практическом земледелии – используют хозяйственный баланс, предусматривающий учет поступления элемента в почву с удобрениями в сопоставлении с его выносом урожаем.

Хозяйственный баланс серы, сформировавшийся в многолетних опытах, представлен в табл. 1. Приходную часть баланса обеспечивала сера, содержащаяся во внесенных минеральных удобрениях (двойной суперфосфат – 0.5%, сульфат калия – 18%), а расходную – в отчуждаемой растительной продукции. Во всех вариантах опытов (кроме варианта с  $K_2$ ) складывался перманентно отрицательный баланс серы с ежегодным дефицитом в пределах от 2 до 10 кг/га. Многолетние травы по величине выноса серы несколько превосходили зерновые культуры. Относительно повышенный вынос серы в опыте на серой лесной почве был связан с учетом и удалением с участка не только основной продукции выращиваемых культур, но и побочной (ботвы). При ежегодном внесении калийного удобрения в форме сульфата 120 кг д.в./га баланс серы формировался с большим профицитом.

На интенсивность и направленность трансформации фонда серы в почвах агроценозов, помимо ее баланса, оказывают влияние в той или иной степени и изменения физико-химических почвенных свойств, неизбежно происходящие при длительном сельскохозяйственном использовании. В ряде проведенных исследований [3, 6, 8, 15] показана тесная положительная корреляционная зависимость между почвенным содержанием серы и гумуса, а также, хотя и в меньшей степени, с гранулометрическим составом. Сера является важным компонентом почвенного органического вещества, пропорции в котором C : N : S для почв сельскохозяйственных угодий в среднем составляют 130 : 10 : 1.3 (для естественных биоценозов – 200 : 10 : 1) [3], в таком же соотношении изменяется содержание этих элементов в почвах при минерализации органической компоненты. Сорбционная способность почвы по отношению к сульфатам зависит как от ее минералогического состава, так и от величины pH – с уменьшением pH поглощение серы обычно возрастает. Адсорбированные сульфаты могут достаточно интенсивно замещаться фосфатами, в связи с чем внесение фосфорных удобрений зачастую сопровождается вытеснением серы из верхнего почвенного слоя.

Изменение ряда почвенных свойств в вариантах рассмотренных длительных опытов относительно исходной целины показано в табл. 2. Сельскохозяйственное использование почв привело к некоторому утяжелению их гранулометрического состава, особенно заметному в пахотном слое удобренных вариантов. Увеличение содержания физической глины в почвах интенсивных агроценозов происходило в основном за счет интенсификации процессов дробления мелкопесчаной фракции [25].

Почвенное содержание гумуса, равно как и азота, в результате многолетнего сельскохозяйственного использования лугово-черноземной почвы изменилось мало, что связано, вероятно, со значительной долей орошаемых трав и бобовых культур в структуре посевов и соответственно поступлением в почву большого количества корневых и пожнивных остатков. В то же время содержание гумуса и общего азота в вариантах опыта на серой лесной почве резко снизилось по сравнению с целиной, что, вероятно, было обусловлено перманентной минерализацией почвенного органического вещества при небольшом поступлении растительного материала. При этом, в варианте NPK содержание гумуса и азота было существенно больше, чем в контроле, что связано, очевидно, с более высокой урожайностью (табл. 1) при оптимизированном питании культур и соответственно относительно повышенным поступлением в почву растительных остатков.

Величина pH в лугово-черноземной почве в результате ее сельскохозяйственного использования несколько повысилась (табл. 2), вероятно, из-за влияния оросительной воды, содержащей в своем составе определенное количество соединений Ca и Mg. В серой лесной почве, напротив, произошло небольшое подкисление реакции среды, очевидно в результате длительного внесения аммонийной селитры. Изменение содержания подвижного фосфора в обеих почвах было подчинено общей закономерности: без использования фосфорных удобрений этот показатель заметно снижался, а при систематическом их внесении – существенно возрастал. Выявленные изменения почвенных свойств, произошедшие при длительном сельскохозяйственном использовании почв, наряду с балансом серы, сложившемся в вариантах опытов, были способны повлиять на трансформацию ее соединений.

Следует сказать, что валовое содержание серы в зональных почвах Западной Сибири отличается высокой вариабельностью; в аккумулятивном горизонте черноземов и серых лесных почв оно меняется от 0.10 до 0.24% [7]. Установлено, что этот

**Таблица 2.** Изменение свойств почв при сельскохозяйственном использовании

Вариант	Слой почвы, см	Почвенные свойства				
		физическая глина, %	гумус, %	общий азот, %	pH <sub>H<sub>2</sub>O</sub> , ед. pH	подвижный фосфор, мг/100 г
Лугово-черноземная почва						
Целина (исходное)	0–20	43.8	6.5	0.32	6.8	14.3
	20–40	42.2	5.4	0.26	6.8	11.9
Многолетние травы (1978–2021 гг.)						
Без удобрений	0–20	42.5	6.2	0.31	7.1	13.7
	20–40	44.2	5.6	0.27	7.1	11.4
NP	0–20	46.3	6.6	0.32	7.0	19.3
	20–40	43.4	5.2	0.26	6.9	12.9
Зерновые культуры (1978–2021 гг.)						
Без удобрений	0–20	42.1	6.4	0.32	7.0	13.2
	20–40	43.2	5.5	0.28	6.8	12.7
NP	0–20	45.3	6.7	0.33	7.2	27.1
	20–40	44.1	5.6	0.28	7.0	22.5
<i>HCP</i> <sub>05</sub>		3.4	0.3	0.06	0.2	2.1
Серая лесная почва						
Целина (исходное)	0–20	30.8	4.9	0.21	7.3	18.3
	20–40	31.4	2.4	0.08	7.2	16.0
Овощные культуры и картофель (1988–2021 гг.)						
Без удобрений	0–20	32.5	3.0	0.11	7.1	9.6
	20–40	31.7	1.7	0.05	7.1	11.6
NP	0–20	33.6	3.1	0.13	6.7	47.6
	20–40	32.8	1.3	0.06	7.0	33.8
NPK <sub>x</sub>	0–20	33.7	3.4	0.12	6.8	49.3
	20–40	32.7	1.6	0.06	6.9	29.2
<i>HCP</i> <sub>05</sub>		2.7	0.4	0.03	0.2	2.4

показатель в большей степени определялся особенностями почвообразующей породы, чем типом почвообразования. Исследования изменений содержания валовой серы в почвах при их сельскохозяйственном использовании очень немногочисленны. Например, в опытах на выщелоченном черноземе [14] за 3 ротации 11-польного зернотравянопропашного севооборота почвенное содержание общей серы в пахотном слое снизилось на 6–8, в подпахотном – на 2–6%. В то же время показано [7, 14], что основная часть серы в изученных почвах (до 94–96%) не извлекается солевыми и слабокислотными растворами, т.е. сосредоточена в так называемой резервной форме – прочно закреплена в составе органического вещества или нерастворимых сульфатов. В этой связи основное внимание должно быть уделено изучению и оценке почвенного фонда мобильных

соединений серы, определяющего главным образом условия питания выращиваемых культур этим элементом.

Основной формой неорганической серы в аэробных почвах являются сульфаты, которые встречаются в виде: 1 – водорастворимых солей, 2 – ионов, адсорбированных с различной прочностью связи на почвенных коллоидах, и 3 – в составе нерастворимых соединений [3].

Уровень содержания водорастворимых сульфатов в почвах вообще и в пахотных, в частности, существенно варьировал в зависимости от сезона в связи с поглощением растениями, интенсивностью мобилизационных и миграционных процессов. В верхнем 0–20 см слое целинной серой лесной почвы содержание водорастворимых сульфатов менялось в среднем в пределах 1–2, в лугово-черноземной – ≈3 мг/кг (табл. 3). При длитель-

Таблица 3. Изменение содержания форм серы в почве длительных полевых опытов

Вариант	Слой почвы, см	Содержание серы, мг/кг почвы		
		водорастворимая	подвижная	минеральная
Лугово-черноземная почва				
Целина (исходное)	0–20	3.17	4.2	12.8
	20–40	1.93	2.9	8.1
Многолетние травы (1978–2021 гг.)				
Без удобрений	0–20	2.16	3.8	8.1
	20–40	2.05	3.5	6.8
NP	0–20	1.85	2.1	7.2
	20–40	1.64	2.0	6.1
Зерновые и зернобобовые культуры (1978–2021 гг.)				
Без удобрений	0–20	2.46	5.6	9.0
	20–40	1.95	5.1	6.7
NP	0–20	2.06	2.9	8.0
	20–40	1.94	2.6	6.1
<i>HCP</i> <sub>05</sub>		0.33	0.4	1.3
Серая лесная почва				
Целина (исходное)	0–20	1.23	2.7	15.2
	20–40	0.44	1.3	10.5
Овощные культуры и картофель (1988–2021 гг.)				
Без удобрений	0–20	0.83	1.6	12.3
	20–40	0.43	1.3	8.0
NP	0–20	0.85	1.4	14.0
	20–40	0.41	1.2	9.8
NPK <sub>x</sub>	0–20	0.82	1.5	11.8
	20–40	0.41	1.3	9.3
NPK <sub>c</sub>	0–20	4.93	13.7	24.6
	20–40	1.64	3.3	11.5
<i>HCP</i> <sub>05</sub>		0.23	0.4	1.4

ном сельскохозяйственном использовании серой лесной почвы без применения серосодержащих удобрений содержание сульфатов в почвенном растворе пахотного горизонта существенно снизилось, тогда как в подпахотном слое – осталось без изменений. Очевидно, что основное потребление серы растениями происходило из верхнего, наиболее корнеобитаемого слоя почвы. Систематическое применение сернокислого калия способствовало значительному повышению содержания почвенных водорастворимых сульфатов. В пахотном слое лугово-черноземной почвы содержание водорастворимой серы также заметно снизилось, причем под многолетними травами в большей степени, чем под зерновыми культурами. Интенсификация продукционного процесса выращиваемых культур (варианты NP) способ-

ствовала снижению содержания мобильной серы в почве.

Значительное уменьшение запасов наиболее подвижной фракции серы в почвах интенсивных агроценозов свидетельствовало о снижении способности данных агропочв поддерживать оптимальный уровень сульфат-иона в почвенном растворе, что могло негативно отразиться на продукционном процессе выращиваемых культур. Это обстоятельство обуславливало очевидную необходимость контроля за серным состоянием почв при их интенсивном сельскохозяйственном использовании.

Оценка обеспеченности пахотных почв доступной для растений серой производится, как правило, по содержанию ее так называемой подвижной (сульфатной) формы – почвенной



фракции серы, экстрагируемой 1М раствором КС1. Для дерново-подзолистых и серых лесных почв содержание подвижной серы <6, а для черноземов – <12 мг/кг свидетельствует о низкой обеспеченности выращиваемых культур этим элементом [32]. В работе [20] выявлено, что содержание сульфатной серы в разных типах зональных почв Новосибирского Приобья не превышает 7 мг/кг. По результатам агрохимического обследования почв 1990 г. установлено, что 41% пахотных почв Западной Сибири имеют низкое содержание серы, к 2004 г. дефицит элемента существенно возрос – 87% западносибирских агропочв остро нуждались во внесении серосодержащих удобрений [8]. В исследовании [18] показано, что на юге Восточной Сибири (Минусинская лесостепь) преобладают почвы (88.8%) с низкой обеспеченностью подвижной серой при среднем ее содержании 2.8 мг/кг, за период наблюдений (1999–2016 гг.) содержание сульфатной серы в пахотном слое почв снизилось в 2.3 раза.

Содержание подвижной серы в исследованных целинных почвах по имеющимся стандартным грациям [8, 32] можно охарактеризовать как низкое – 2.7–4.2 мг/кг (табл. 3). Обеспеченность этим элементом более тяжелой и гумусированной лугово-черноземной почвы была закономерно больше, чем серой лесной.

Длительное сельскохозяйственное использование почв по-разному отразилось на почвенных запасах подвижной серы (табл. 3), в зависимости от агротехники и выращиваемых культур. Отчуждение надземной биомассы выращиваемых трав с 2–3-мя укосами способствовало некоторому снижению содержания подвижной серы (с 4.2 до 3.8 мг/кг) в пахотном слое лугово-черноземной почвы в контрольном варианте опыта, хотя значительное количество корневых остатков и нивелировало в определенной степени этот процесс. Систематическое внесение NP-удобрений существенно повлияло на почвенный фонд подвижной серы: значительно возросшая урожайность культур обуславливала и повышенный вынос серы, а заметное увеличение содержания в почве подвижного фосфора способствовало, вероятно, вытеснению адсорбированной серы из верхних горизонтов почвы и ее миграции вниз по профилю; как результат – содержание подвижной серы в пахотном и подпахотном слоях лугово-черноземной почвы при выращивании удобряемых трав достоверно снизилось примерно до 2 мг/кг.

Многолетнее выращивание зерновых и зернобобовых культур без использования удобрений привело к заметному увеличению содержания подвижной серы в верхних слоях лугово-чернозем-

ной почвы – с 3–4 до 5–6 мг/кг. Вероятно, это было обусловлено биогенной аккумуляцией серы, в связи с ежегодным запахиванием всей побочной продукции (соломы) культур; с урожаем основной продукции отчуждалось лишь небольшое количество серы, потребленное растениями за вегетационный период. В то же время систематическое применение минеральных удобрений под зерновые культуры, как и в случае с травами, привело к существенному снижению почвенного содержания подвижной серы.

В длительном опыте на серой лесной почве содержание подвижной серы во всех вариантах (кроме NPK<sub>c</sub>) изменилось одинаково: в пахотном слое существенно снизилось (с 2.7 до 1.5 мг/кг), в подпахотном – осталось на уровне целины. В данном опыте основное влияние на фонд сульфатной серы оказало, очевидно, ежегодное отчуждение основной и побочной продукции выращиваемых культур (и соответственно серы), что нивелировало действие других возможных факторов (содержание в почве гумуса, фосфора и т.п.).

Отметим, что содержание подвижной серы в почве вариантов опытов с дефицитным ее балансом, снизившись за ряд лет до определенного уровня (2–3 мг/кг в лугово-черноземной и 1.5–2.0 – в серой лесной), в дальнейшем с годами практически не изменялось. Достигнутый стабильно низкий уровень содержания сульфатной серы был, вероятно, характерным для конкретной почвы в сформировавшихся условиях агроценоза и поддерживался как за счет ее мобилизации из прочносвязанных минеральных резервов и почвенного органического вещества, так и процессов влаго- и солепереноса.

Использование в качестве калийного удобрения сернокислого калия существенно интенсифицировало баланс серы в варианте NPK<sub>c</sub> опыта на серой лесной почве и способствовало значительному увеличению содержания подвижной серы в почве с 2.7 до 13.7 мг/кг. Поступившая с удобрениями сера аккумулировалась в основном в пахотном слое почвы, оставаясь доступной для выращиваемых культур даже с относительно слабо развитой корневой системой, например, картофеля; однако часть внесенных сульфатов мигрировала и накапливалась в подпахотных почвенных горизонтах.

Следует сказать, что сформировавшийся уровень содержания подвижной серы в почве вариантов опытов с дефицитным балансом этого элемента, видимо, не являлся фактором, лимитирующим продукционный процесс различных выращенных культур (табл. 1, 3), по крайней мере

при полученной в опытах урожайности. Например, при одинаковом содержании подвижной серы в почве вариантов опыта на серой лесной почве (без удобрений —  $NP - NPK_x$ ), продуктивность картофеля между этими вариантами различалась очень существенно, в то же время, при значительной разнице уровней содержания сульфатной серы в почве вариантов  $NPK_x$  и  $NPK_c$  урожайность клубней была практически одинаковой. По мнению [20], дефицит серы в питании сельскохозяйственных культур носит относительный характер, т.е. он полностью зависит от того, насколько культура обеспечена азотом. Заметим, что в ранее проведенных исследованиях [11], внесенные за 15 лет в составе суперфосфата 300 кг серы/га не оказали влияние на урожайность полевых культур.

Тем не менее, можно полагать, что снижение запасов подвижной серы в почвах интенсивных агроценозов будет негативно отражаться не только на урожайности выращиваемых культур, но и прежде всего на качестве продукции (в т.ч. кулинарных свойствах [30]), особенно нормируемой по содержанию белка.

Фракция почвенной серы, экстрагируемая 0.2 М раствором  $HC1$ , классифицируется как минеральная сера, более прочно адсорбированная почвенным поглощающим комплексом, по сравнению с подвижной формой этого элемента. Адсорбционная способность почв в отношении минеральной серы и соответственно ее почвенное содержание определяется гранулометрическим и минералогическим составом почв, количеством полоторных окислов и другими факторами [3].

По данным ряда авторов [11, 12, 14, 17], содержание минеральной серы в почвах сельхозугодий разных регионов России варьирует от 10–11 до 21–26 мг/кг. Установленное снижение содержания этой формы серы в почвах при их сельскохозяйственном использовании может свидетельствовать об определенном ее участии в питании растений [14, 17]. Например, длительное выращивание культур на выщелоченном черноземе привело к снижению содержания минеральной серы в почве с 20.8–22.8 до 17.1–18.0 мг/кг [14]; при возделывании культур на каштановых почвах в условиях орошения и применения удобрений содержание минеральной серы снизилось с 26.3 до 21.3–22.5 мг/кг даже при внесении серных удобрений в дозах 15–30 кг д.в./га [17].

Содержание минеральной серы в исследованных целинных почвах составляло 13–15 мг/кг (табл. 3). В результате многолетнего сельскохозяйственного использования лугово-черноземной почвы уровень содержания минеральной се-

ры в ней достоверно снизился в пахотном (с 13 до 7–9 мг/кг), и в подпахотном (с 8 до 6–7 мг/кг) слоях, независимо от выращиваемых культур и применения удобрений. Можно полагать, что изменение этой почвенной формы элемента лучше отражало влияние длительного дефицитного баланса серы в агроценозе на ее фонд по сравнению с подвижной фракцией. Вероятно, снижение уровня содержания ионов минеральной серы обусловлено как их потреблением (в определенной степени) растениями непосредственно с занимаемых специфических почвенных позиций, так и участием (в результате различных мобилизационных процессов) в восполнении уменьшающихся запасов в почве наиболее подвижных соединений этого элемента.

В опыте на серой лесной почве при общем снижении содержания минеральной серы в вариантах с дефицитным ее балансом характер этих изменений различался. В варианте без внесения удобрений (и соответственно с невысокой урожайностью) уровень содержания минеральной серы в почве существенно снизился в пахотном и подпахотном слоях (с 10–15 до 8–12 мг/кг). В то же время при сопоставимой продуктивности культур в варианте  $NP$ , но в условиях систематического поступления некоторого количества серы с внесенным  $P_{сд}$  уменьшение почвенного фонда ее минеральной формы проявлялось лишь в виде тенденции (с 15 до 14 мг/кг). Резкий рост продуктивности культур в варианте  $NPK_x$  способствовал достоверному снижению содержания минеральной серы в пахотном слое почвы (с 15 до 12 мг/кг) и в меньшей степени — в подпахотном. Заметим, что выращивание культур с относительно слабо развитой корневой системой (например, картофеля) обуславливало и слабое их влияние на подпахотные слои почвы агроценоза в сравнении с мятликовыми культурами. При многолетнем профиците баланса серы в варианте  $NPK_c$  произошло значительное повышение почвенного содержания минеральной формы серы в пахотном слое (т.е. непосредственно в зоне внесения удобрений) и некоторое увеличение — в подпахотном.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исследования, проведенные в длительных стационарных полевых опытах в лесостепи Западной Сибири, выявили специфику изменения фонда серы в почвах при их сельскохозяйственном использовании. В агроценозах без внесения серных удобрений формировался дефицитный баланс серы, независимо от выращиваемых культур, уровня их урожайности и применения других

видов удобрений. При отчуждении из агроценоза только товарной части урожая выращиваемых культур, наличии большого количества пожнивных и корневых остатков, ежегодный дефицит баланса серы составлял  $\approx 2-3$  кг/га. В условиях уборки с участка и основной, и побочной растительной продукции дефицит баланса серы мог достигать 7–10 кг/га в год. Использование в агроценозах удобрений, содержащих значительное количество серы (например, сульфат калия – 18% серы), обуславливало профицитный баланс этого элемента, зависящий от внесенных доз.

Дефицитный баланс серы приводил в целом к истощению ее почвенного фонда, но изменение содержания разных форм серы подчас неодинаково отражало этот процесс. Содержание подвижной серы в верхних слоях почв экстенсивных агроценозов могло и увеличиваться при дефицитном балансе, вероятно, в результате биогенной аккумуляции. Однако систематическое внесение минеральных удобрений, сопровождавшееся ростом урожайности, приводило к существенному снижению почвенного содержания этой формы как за счет возрастающего выноса элемента, так и вытеснения сульфатов из почвенного поглощающего комплекса фосфатами.

Изменения содержания минеральной серы в почвах безальтернативно отражали влияние ее дефицитного баланса в агроценозах – почвенный фонд этой фракции серы значительно истощался, независимо от выращиваемой культуры, уровня урожайности и агротехники. Полагаем, что ионы серы, входящие в минеральную фракцию, могли как непосредственно поглощаться растениями в условиях ее дефицита, так и расходоваться на восполнение снижающегося почвенного уровня содержания более мобильных соединений этого элемента. Очевидно, что диагностика серного состояния почв должна основываться на комплексном использовании показателей, отражающих как содержание наиболее мобильных фракций серы, так и более прочносвязанных ее форм – потенциальных источников питания растений этим элементом.

Обеспечение положительного баланса серы в агроценозе посредством систематического внесения серосодержащих удобрений обуславливало существенное накопление в почве всех форм этого элемента. Почвенный уровень доступных для растений форм серы, снизившийся за годы сельскохозяйственного использования почв, не являлся фактором, лимитирующим урожайность культур в наших опытах. Тем не менее, перманентное истощение фонда серы в агропочвах может иметь негативные последствия, и, вероятнее

всего, не столько для величины урожая, сколько для его качества (содержания белка, аминокислотного состава, кулинарных свойств и др.). В этой связи мониторинг изменения фонда серы пахотных почв представляется весьма целесообразным, а учет выявленных в представленном исследовании особенностей его трансформации будет способствовать уточнению оценок серного состояния почв и научно обоснованному его регулированию.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Алехина Н.Д., Балконин Ю.В., Гавриленко В.Ф.* Физиология растений. М.: Академия, 2005. 640 с.
2. *Прянишников Д.Н.* Избранные труды. М.: Наука, 1976. 591 с.
3. Глобальный биогеохимический цикл серы и влияние на него деятельности человека. М.: Наука, 1984. 424 с.
4. *Ковда В.А.* Биогеохимические циклы в биосфере. М.: Наука, 1976. 357 с.
5. *Кудяров В.Н., Семенов В.М.* Оценка современного вклада удобрений в агрогеохимический цикл азота, фосфора и калия // Почвоведение. 2004. № 12. С. 1440–1446.
6. *Айдинян Р.Х.* Содержание и формы соединений серы в различных почвах СССР и ее значение в обмене веществ между почвой и растением // Агрохимия. 1964. № 10. С. 3–16.
7. *Маслова И.Я., Изерская Л.А.* Сера // Агрохимические свойства почв и эффективность удобрений. Новосибирск: Наука, 1989. С. 71–82.
8. *Аристархов А.Н.* Агрохимия серы. М.: ВНИИА, 2007. 272 с.
9. *Панников В.Д., Минеев В.Г.* Почва, климат, удобрение и урожай. М.: Агропромиздат, 1987. 512 с.
10. *Алексеева Е.Н.* Миграция подвижной серы по профилю чернозема при внесении удобрений // Агрохимия. 1975. № 6. С. 93–95.
11. *Янишевский Ф.В., Фомина О.Г., Фомин П.И., Безуглая Ю.М.* Формы серы в почве и баланс в многолетнем полевом опыте при внесении двойного и простого суперфосфатов // Агрохимия. 1976. № 7. С. 24–31.
12. *Вальников И.У.* Действие серосодержащих удобрений на агрохимические свойства серых лесных почв и выщелоченных черноземов // Агрохимия. 1981. № 8. С. 58–63.
13. *Голов В.И., Теплякова С.В.* Сера и основные микроэлементы в почвах Дальнего Востока при многолетнем применении удобрений // Агрохимия. 2000. № 10. С. 20–27.
14. *Шеуджен А.Х., Слюсарев В.Н., Бондарева Т.Н.* Валовое содержание серы и ее формы в черноземе выщелоченном Западного Предкавказья в условиях агроценоза // Плодородие. 2014. № 4. С. 29–30.
15. *Панасин В.И., Новикова С.И., Рымаренко Д.А.* Сера в земледелии Калининградской области // Плодородие. 2016. № 3. С. 6–8.

16. Цховребов В.С., Умаров А.Б., Никифорова А.М., Калугин Д.В. Влияние фосфогипса и серосодержащих удобрений на урожайность и качество зерна озимой пшеницы на черноземе // *Агрехим. вестн.* 2018. № 4. С. 21–23.
17. Убугунов Л.Л., Меркушева М.Г. Удобрение картофеля. Новосибирск: СО РАН, Наука, 2019. 264 с.
18. Волошин Е.И., Сергеев А.П., Юферова Е.В. Сера в почвах Минусинской лесостепи Красноярского края // *Вестник. КрасГАУ.* 2021. № 2. С. 56–64.
19. Новоселов С.И., Иванова А.В., Толмачев Н.И., Ефремов В.В. Влияние минеральных удобрений на баланс серы в севооборотах с различными видами паров // *Агрехимия.* 2016. № 6. С. 16–19.
20. Маслова И.Я. Диагностика и регуляция питания яровой пшеницы серой. Новосибирск: Наука, 1993. 124 с.
21. Маслова И.Я., Якушева Т.Г., Шарков И.Н. Особенности пополнения фонда доступной растениям серы в почвах с разной консервативностью гумуса // *Агрехимия.* 2008. № 3. С. 5–14.
22. Аристархов А.Н. Сера в агроэкосистемах России: мониторинг содержания в почвах и эффективность ее применения // *Международ. сел.-хоз. журн.* 2016. № 5. С. 39–47.
23. Лукин С.М., Жуйков Д.В. Мониторинг содержания серы в почвах, растениях и органических удобрениях // *Земледелие.* 2019. № 2. С. 10–12.
24. Бойко В.С. Полевое кормопроизводство на орошаемых черноземах в лесостепи Западной Сибири. Омск: ИП Макшеевой Е.А., 2019. 312 с.
25. Якименко В.Н. Калий в агроценозах Западной Сибири. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2003. 231 с.
26. Якименко В.Н. Баланс калия, урожайность культур и калийное состояние почвы в длительном полевом опыте в лесостепи Западной Сибири // *Агрехимия.* 2019. № 10. С. 16–24.
27. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта. М.: Агропромиздат, 1985. 351 с.
28. Агрехимические методы исследования почв. М.: Наука, 1975. 656 с.
29. Практикум по агрохимии / Под ред. В.Г. Минеева. М.: Изд-во МГУ, 1989. 304 с.
30. Якименко В.Н. Влияние калийных удобрений на урожайность и качество клубней картофеля в лесостепи Западной Сибири // *Агрехимия.* 2017. № 9. С. 39–48.
31. Казанцев В.А. Проблемы педогалогенеза. Новосибирск: Наука, 1998. 280 с.
32. Методические указания по применению удобрений, содержащих серу. М.: Минсельхоз СССР, 1983. 24 с.

## Changes in the Content of Sulfur Forms in Soils of Field Experiments in Western Siberia

V. N. Yakimenko<sup>a,\*</sup> and V. S. Boyko<sup>b</sup>

<sup>a</sup>*Institute of Soil Science and Agrochemistry, Siberian Division, RAS  
prosp. Lavrentyeva 8/2, Novosibirsk 630090, Russia*

<sup>b</sup>*Omsk Agricultural Scientific Center  
prosp. Koroleva 26, Omsk 644012, Russia*

<sup>\*</sup>*E-mail: yakimenko@issa-siberia.ru*

In stationary long-term field experiments in the forest–steppe of Western Siberia, it was shown that the long-term deficit balance of sulfur in agrocenoses leads to the depletion of the soil fund of this element. The content of mobile sulfur (extracted by 1 M KCl) in soils with a deficient balance could decrease, remain unchanged, or increase, depending on the cultivated crop and the level of agricultural technology. The soil content of mineral sulfur (extracted by 0.2 M HCl) under conditions of permanent balance deficit significantly decreased both in the plow and subplow soil layers, regardless of agrotechnical factors. With a positive balance of sulfur in the agrocenosis, the content of sulfur forms in the soil increased significantly. The decrease in the soil sulfur content did not limit the yield of cultivated crops at its level in the experiments, but could adversely affect the quality of marketable products.

*Key words:* soil, agrocenosis, sulfur balance, mobile sulfur, mineral sulfur, Western Siberia.

УДК 631.41:631.445.1:630\*116.24(470.324)

## ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ СОЛЕВОГО ПРОФИЛЯ СЕЗОННО ПЕРЕУВЛАЖНЕННЫХ ПОЧВ КАМЕННОЙ СТЕПИ<sup>1</sup>

© 2022 г. Ю. И. Чевердин<sup>1,\*</sup>, В. А. Беспалов<sup>1</sup>, Т. В. Титова<sup>1</sup><sup>1</sup> Воронежский федеральный аграрный научный центр имени В.В. Докучаева  
397463 Воронежская область, Таловский район, пос. 2-го участка Института им. Докучаева, квар. 5, д. 81, Россия

\*E-mail: cheverdin62@mail.ru

Поступила в редакцию 13.04.2022 г.

После доработки 23.06.2022 г.

Принята к публикации 12.08.2022 г.

Изучили изменения солевых характеристик сезонно переувлажненных почв в агролесоландшафтах Центрального Черноземья (Воронежский ФАНЦ им. В.В. Докучаева). Проведен сравнительный анализ формирования солевого профиля водорегулирующей лесной полосы и смежно расположенных с ней сезонно переувлажненных почв Каменной Степи. Лесная полоса шириной 48 м посажена в 1949–1950 гг. и представляет собой лесное насаждение из дуба, березы, ясеня и клена. Оценку проводили по составу водной вытяжки, активности иона натрия и химического состава грунтовых вод. Характер формирования солевого профиля различался и зависел от степени проявления гидроморфизма, а также складывающихся гидротермических условий года. В черноземно-луговой почве ложбинообразного понижения (Разрез-3) сформировался засоленный почвенный горизонт с глубины 80 до 140 см. Лугово-черноземная почва (Разрез-2) содержала минимальное содержание солей из всех вариантов вдоль всего профиля почвы. Отмечено увеличение концентрации солей под лесной полосой. Наиболее мощный солевой горизонт был характерен для центральной части лесной полосы, где он растянулся на 180 см глубиной с 80 до 260 см. На западной опушке мощность глубоководного горизонта была меньше, чем в центре полосы на 80 см, но концентрация солей была больше. Минимальная величина мощности солевого горизонта (20 см) отмечена на восточной опушке водорегулирующей лесной полосы, но с максимальной концентрацией солей (0.98%).

**Ключевые слова:** лесная полоса, сезонно переувлажненные почвы, солевой профиль, натрий, токсичные соли, Каменная степь.

DOI: 10.31857/S0002188122110047

### ВВЕДЕНИЕ

В Центрально-Черноземном регионе одним из основных направлений антропогенного воздействия в течение прошлого столетия стало агролесомелиоративное обустройство территории посредством посадки сети лесных полос. Одной из базовых моделей по изменению естественного ландшафта послужила Каменная Степь. На ее примере в течение последних ста лет изучали эволюционные изменения характеристик и свойств почвенного покрова под влиянием широкомасштабного агрогенного воздействия [1–6].

Отмечено, что на состояние почвенного покрова влияет не только антропогенное, но и лесомелиоративное воздействие. Много работ посвящено агроэкологической роли лесных полос в преобразовании ландшафтов [7–13]. Проведен-

ные исследования в Каменной Степи показали положительную роль лесных насаждений на физические и физико-химические свойства черноземов [14–17].

Помимо положительного влияния лесных полос на свойства черноземов, отмечена и их негативная роль, которая проявляется в увеличении площадей гидроморфных и сезонно переувлажненных почв [18–25].

В последнее время в Каменной Степи отмечено увеличение площади участков сезонно переувлажненных почв. Это говорит о серьезном изменении состояния агролесоландшафта по сравнению с его состоянием в конце XIX – начале XX вв. Переувлажнение территории Каменной Степи связано с повышением уровня грунтовых вод [23, 24].

Гидроморфизм почв является комплексным воздействием не только природного, но и антропогенного факторов. За природный фактор отве-

<sup>1</sup> Работа выполнена в рамках программы по тематике государственного задания на 2021–2024 гг.

чают увеличение атмосферных осадков, особенности рельефа, литология почвогрунтов. Непосредственные мероприятия по накоплению и перераспределению влаги в агроландшафте во многом зависят от человеческого фактора (посадки лесополос, орошения, возведения прудов и водохранилищ, строительства дорог) [26].

Многолетние наблюдения в Каменной Степи указывают на то, что переувлажнению свойственно циклическое изменение. За последние 100 лет в Каменной Степи установлены циклы подъема и спада уровня грунтовых вод, которые напрямую зависели от изменений климатических условий в регионе [18].

На современном этапе активное использование почвенного покрова с осложненной гидроморфизмом структурой приводит во многих случаях к активизации деградационных процессов (засолению, соленакоплению), затрагивающих и глубокие горизонты почв [26–31]. Эта тема актуальна в современном почвоведении, поэтому поставлена задача, выяснить на данном этапе, как влияет вторичный гидроморфизм черноземных почв на накопление солей в агролесомелиоративных ландшафтах.

Цель работы – оценка процессов соленакопления в сезонно переувлажненных почвах в условиях влияния агролесомелиоративного комплекса.

## МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследование проводили в Воронежском ФАНЦ им. В.В. Докучаева (Каменная Степь). Объектами исследования были почвы водорегулирующей лесной полосы № 131 и комплекс сезонно переувлажненных почв западнее лесополосы № 131 (рис. 1). Комплекс представлен следующими почвами, расположенными на приводораздельной верхней части склона к балке Таловая: 1 – лугово-черноземные почвы на выпуклой части склона, не затопляемой поверхностными водами весной (**Р-2**), 2 – черноземно-луговыми солончаковатыми слабозасоленными почвами на равнинном понижении на переходе от выпуклой к вогнутой части склона с коротким периодом поверхностного затопления (**Р-1**), 3 – черноземно-луговыми солончаковатыми слабозасоленными почвами в ложбинообразном понижении на вогнутой части склона, подвергающемуся длительному сезонному затоплению (**Р-3**). Рельеф исследованного участка характеризуется уклоном 1–3° в направлении с запада на восток.

Лесополоса № 131 высажена по границе прибалочного склона и водораздела и является водорегулирующей. Чтобы ее воздействие на поверхностный сток было эффективным, ей была определена значительная ширина – 48 м. Лесная

полезащитная полоса № 131 расположена в направлении с севера на юг. Автор посадки – Зубович Н.Ф., год посадки – 1949/1950, длина 884 м, ширина 48 м, площадь 4 га, возраст полосы на момент проведения исследования – 71 год. Состав древостоя – 2ДЗБ1Кя1Яп+Ко (дуб черешчатый, береза повислая, клен ясенелистный, ясень пушистый и клен остролистный) [7].

Образцы почв отбирали ручным буром сплошной колонкой с глубины: 0–20, 20–40, 40–60, 60–80, 80–100, 100–120, 120–140, 140–160, 160–180, 180–200, 200–220, 220–240, 240–260, 260–280 и 280–300 см. Общее количество образцов составило 170 шт. В образцах почв производили выделение генетических горизонтов, а также определяли принадлежность к почвенной разности.

Активность ионов натрия определяли ион-селективным методом в пасте при 50%-ной влажности на иономере И-150, общее содержание и качественный состав легкорастворимых солей – в водной вытяжке при соотношении почва : вода = 1 : 5 [32].

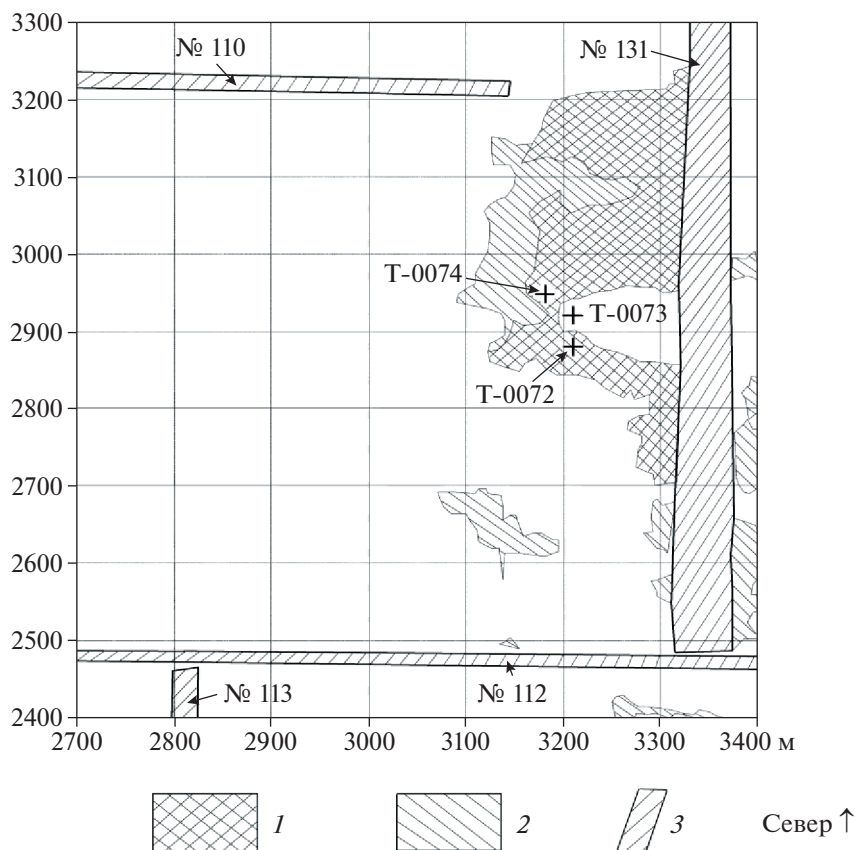
Определение химизма почвенно-грунтовых вод проводили по ГОСТ 26423-85, катионно-анионного состава водной вытяжки – по ГОСТ 26428-85.

Для пространственного отображения двумерного распределения солей использовали геостатистические возможности пакета Surfer – V. 9.0.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Складывающиеся метеорологические условия являются мощным фактором, определяющим характер изменения увлажненности отдельных компонентов современных агролесомелиоративных ландшафтов. Общей закономерностью является довольно существенное изменение отдельных составляющих, характеризующих температурный режим воздуха и атмосферное увлажнение в последние десятилетия. Необходимо отметить существенное варьирование показателей от средне-многолетних показателей в ту или иную сторону.

По количеству выпавших атмосферных осадков в большинстве лет исследования отмечено превышение средне-многолетних показателей. При среднем количестве осадков за год на уровне 438.4 мм (1893–1959 гг.) в настоящее время отмечен их существенный рост. Превышение по отношению к средне-многолетним нормам составляет от 11.5 до 183.8 мм (табл. 1). Наибольшим количеством осадков характеризовались 2013 и 2016 гг. Величина их составила соответственно 601 и 622 мм. Близкими, с незначительным превышением средне-многолетних норм, можно отметить условия 2010, 2014 и 2019 гг. При этом наиболее экс-



**Рис. 1.** Схема расположения объектов исследования [23] – местоположение разрезов Т-0074 (Разр-1), Т-0073 (Разр-2) и Т-0072 (Разр-3); 1 – ареалы, затопленные весной 2006 г., 2 – ареалы, переувлажненные весной 2006 г., 3 – лесополосы (указан номер), 4 – трансекта скважин с востока на запад.

тремально по климатическим параметрам характеризовались условия 2010 и 2020 гг.

В 2010 г. количество атмосферных осадков было близким к среднемуголетним показателям – 454.1 мм, но характер их распределения был совсем иной. Если в зимние месяцы и в начале весны (январь–март) выпало 122 мм осадков, то отличительной особенностью летнего периода 2010 г. был существенный недостаток атмосферных осадков.

По годовой сумме атмосферных осадков с минимальным показателем отличались условия 2020 г. В годовом исчислении их выпало всего 382 мм. При этом наиболее острый дефицит влаги отмечен во 2-м полугодии. В целом за 2-е полугодие 2020 г. отмечено существенное снижение атмосферного увлажнения. По сравнению со среднемуголетними показателями недостаток осадков составил 124 мм.

К отличительным особенностям температурного режима в последние десятилетия можно отнести его повышенный фон. Например, среднегодовая температура воздуха превышала среднемуголетние показатели на 1.17–3.72°C (табл. 2). Экстремально высокими показателями характе-

ризовался 2010 и 2020 гг. Средняя температура воздуха составила 8.73 и 9.12°C, при норме 5.19°C. В ряду рассмотренных лет минимальная годовая температура воздуха отмечена в 2006 г. – 6.45°C, но она все же превышала среднемуголетнюю норму.

В годовом ходе температур отмечена такая же закономерность – повышенный температурный фон практически во все временные периоды. Особенно необходимо отметить условия последних 2-х лет. При среднемуголетней температуре воздуха в январе – 9.82°C, фактически она составила всего –1.2°C в 2020 г. и –4.1°C в 2021 г., в феврале – –1.1 и –7.7°C соответственно при норме –9.73°C. Очень теплые условия с ранним приходом весны были характерны для марта. В летние месяцы температурный режим характеризовался повышенным фоном, что негативно отразилось на росте и формировании продуктивности растений. Для июня при среднемуголетней норме 18.0°C в 2020–2021 гг. температура воздуха составила 21.2–21.3°C, в июле и августе также были превышены среднемуголетние показатели на 2–4°C. Можно констатировать более высокие температуры воздуха в течение летнего сезона 2021 г.

**Таблица 1.** Количество атмосферных осадков, мм

Год	январь	февраль	март	апрель	май	июнь	июль	август	сентябрь	октябрь	ноябрь	декабрь	Сумма за год
2006	20.1	27.5	48.3	31.9	66.6	92.7	11.6	92.7	49.9	63.6	90	16.7	611.6
2007	80.0	36.0	15.1	36.5	49.0	43.5	42.3	19.8	15.0	32.2	54.7	22.4	446.5
2008	33.1	46.7	44.5	36.6	44.4	43.4	47.6	10.8	50.9	45.7	24.1	13.3	441.1
2009	38.4	46.8	29.2	8.4	40.6	50.5	69.4	8.7	2.2	31.3	32.4	48.0	405.9
2010	45.7	42.7	33.6	9.5	30.2	2.5	19.8	26.1	23.6	79.5	73.2	67.7	454.1
2011	53.6	35.0	9.4	24.6	34.0	80.9	37.8	51.4	22.6	51.5	29.3	51.9	482.0
2012	44.7	36.7	31.0	47.9	39.9	38.8	80.5	62.8	29.0	65.4	26.6	43.0	546.3
2013	26.6	14.9	51.8	5.4	84.6	50.0	58.7	85.1	151	44.4	17.4	11.2	601.3
2014	62.1	16.1	27.5	29.9	43.0	133	4.1	49.1	6.6	16.4	6.0	61.5	455.4
2015	20.9	49.7	2.0	89.6	45.8	108	78.6	5.0	4.0	41.3	82.8	33.9	561.9
2016	64.4	39.9	41.7	98.3	52.0	76.5	20.5	53.2	51.9	31.1	58.9	33.8	622.2
2017	31.3	25.4	28.7	32.8	48.5	50.0	53.5	38.8	48.7	52.7	54.1	53.5	518.0
2018	53.6	27.3	56.3	58.5	19.2	3.1	135.1	10.9	60.4	27.4	8.1	48.2	508.1
2019	58.9	13.0	36.8	18.1	40.3	34.2	108.2	38.8	24.6	39.6	14.8	22.6	449.9
2020	35.8	42.0	17.3	49.8	42.1	53.3	44.8	20.5	5.3	13.2	25.7	32.2	382.0
2021	58.1	49.0	14.6	26.8	54.6	75.7	58.4	46.6	73.5	7.9	34.4	38.5	538.1
Средне-многолетние показатели*	19.5*	16.7	18.5	29.2	44.7	58.0	62.4	54.4	38.7	38.5	32.1	25.5	438.4

\*Среднемноголетние показатели за 1892–2000 гг.

**Таблица 2.** Температура воздуха среднемесячная, °С

Год	январь	февраль	март	апрель	май	июнь	июль	август	сентябрь	октябрь	ноябрь	декабрь	Средне-годовая
2006	-13.0	-12.5	-2.9	7.6	14.7	20.0	18.6	21.7	14.7	8.0	1.1	-0.5	6.45
2007	-0.2	-7.7	2.7	7.0	17.5	19.1	21.0	23.9	15.4	8.0	-1.5	-5.7	8.29
2008	-9.7	-4.2	3.7	11.4	13.9	17.7	20.9	22.3	13.6	9.4	2.5	-4.5	8.08
2009	-6.6	-4.5	-0.5	7.3	14.4	21.0	22.3	17.7	16.8	9.3	2.1	-6.2	7.76
2010	-14.0	-7.2	-1.7	9.1	17.7	23.4	26.8	26.1	16.2	4.9	6.1	-2.6	8.73
2011	-9.7	-13.2	-4.5	7.0	17.1	19.6	23.8	20.6	14.3	6.7	-2.2	-0.7	6.57
2012	-8.1	-13.5	-3.5	13.0	18.6	20.4	22.1	21.0	14.9	10.2	2.3	-6.2	7.60
2013	-5.8	-4.1	-3.1	10.1	19.9	20.5	20.3	20.9	11.8	6.7	4.27	-3.2	8.19
2014	-9.1	-5.0	1.9	10.9	14.0	17.9	21.9	22.2	14.6	5.6	-1.9	-4.1	7.43
2015	-6.2	-4.5	0.7	8.27	16.0	20.9	20.2	19.1	18.5	4.7	2.1	-0.8	8.26
2016	-8.1	0.0	3.0	10.5	15.1	19.3	22.8	22.5	12.4	5.7	-1.5	-7.2	7.88
2017	-6.9	-6.8	3.1	8.0	13.3	17.2	21.0	22.1	15.3	6.4	0.4	0.7	7.80
2018	-6.1	-8.0	-6.4	8.5	18.2	19.1	22.4	21.7	17.7	9.4	-2.0	-5.5	7.42
2019	-7.3	-3.8	0.4	9.9	17.1	22.2	19.4	19.1	14.2	10.5	1.0	-0.8	8.49
2020	-1.2	-1.1	5.1	7.0	13.6	21.2	22.5	19.9	16.9	11.6	0.7	-6.8	9.12
2021	-4.1	-7.7	-1.5	9.1	16.7	21.3	23.9	23.8	13.8	7.2	2.5	-4.7	8.36
Средне-многолетнее	-9.95	-9.73	-4.53	5.73	14.07	17.9	20.0	18.9	12.88	5.61	-1.49	-7.18	5.19



Таблица 3. Состав грунтовых вод переувлажненных почв Каменной Степи

Объект	Анионы (А)				ΣА	Катионы (К)				ΣК	Сухой остаток, мг/л
	CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>		Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>		
	ммоль (экв)/100 г										
2015 г.											
P-1	0	4.8	0.56	9.25	14.61	9.3	2.9	3.48	0.15	15.83	1175
P-2	0	4.6	0.40	8.48	13.48	4.1	1.7	7.57	0.05	13.42	930
P-3	0	4.5	0.56	37.35	42.41	21.6	8.4	12.7	0.15	42.70	3045
2020 г.											
P-1	0.1	9.5	0.48	7.53	17.56	5.7	3.6	8.05	0.03	17.38	1120
P-2	0.1	8.2	0.44	10.28	18.97	6.2	7.6	5.22	0.02	19.04	1205
P-3	0.1	8.5	0.52	48.69	57.76	18.3	12.3	27.36	0.02	57.98	4185

Сочетание вышеуказанных климатических особенностей способствовали созданию большого разнообразия условий увлажнения почвенной толщи. Особенности накопления, поступления и расхода влаги в почвах различной степени гидроморфизма в комплексе сезонно переувлажненных почв западнее лесополосы № 131 формировали характерный для каждого объекта исследования солевой профиль.

Опытным путем определено, что накопление карбонатов происходит биогенным и гидрогенным направлениями. Количество карбонатов напрямую зависит от интенсивности испарения и минерализации грунтовых вод. В свою очередь содержание карбонатов в почвенных горизонтах находится в обратной зависимости от степени засоления этих горизонтов [31].

От режима и состава грунтовых вод во многом зависит солевой режим черноземных почв. В зоне распространения черноземных почв в настоящее время отмечен резкий подъем уровня грунтовых вод, что может резко изменить условия почвообразования. Это в свою очередь способствует переходу почв из автоморфного ряда в гидроморфный. Происходит процесс формирования черноземно-луговых и лугово-черноземных почв. Из-за этого проявляется усиление признаков осолонцевания и засоления черноземных почв [26].

Нами был определен химизм почвенно-грунтовых вод переувлажненных участков с интервалом 5 лет — в 2015 и в 2020 гг. соответственно. Анализ грунтовых вод показал различия их катионно-анионного состава (табл. 3).

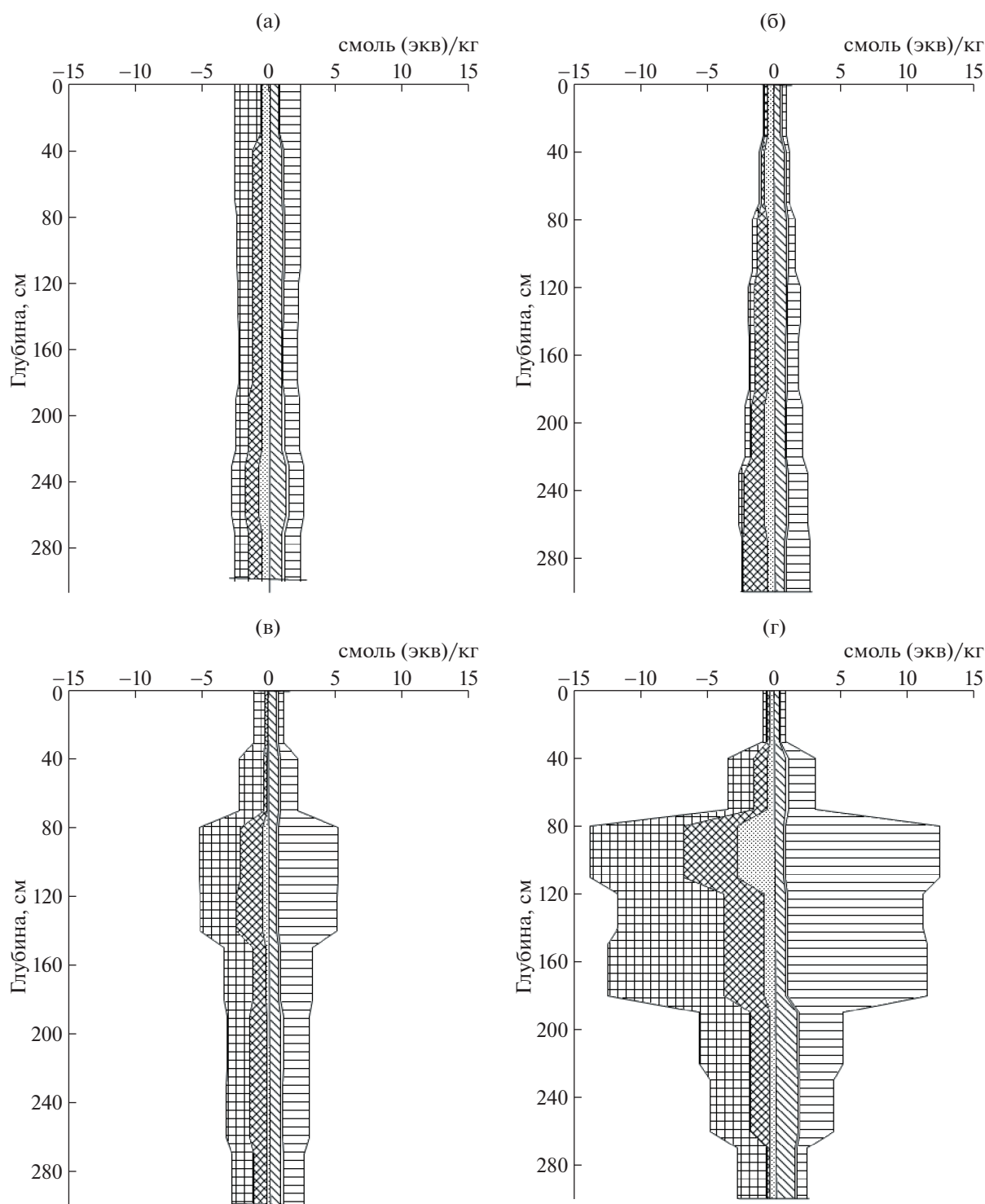
По степени засоления грунтовые воды характеризуются как слабоминерализованные. По динамике изменения количества солей можно отметить увеличение сухого остатка в грунтовых водах черноземно-луговой солончаковой слабозасоленной почвы ложбинообразного понижения. В данной почве (P-3) количество анионов и катионов было в 3 раза больше, чем в черноземно-лу-

говой почве равнинного понижения (P-1) и лугово-черноземной почве равнинного повышения (P-2). Данная закономерность прослежена и в первый, и во второй срок определения химизма засоления грунтовых вод.

Можно отметить некоторые особенности содержания катионов в грунтовых водах почв лугового ряда. Одна из них — повышенное содержание иона натрия во всех почвах, что характерно для данных переувлажненных участков, но в черноземно-луговой почве ложбинообразного понижения (P-3) его оказалось в 2–3 раза больше, чем в других почвенных разностях. К тому же его содержание через пять лет на объектах P-1 и P-3 увеличилось в 2 раза. На объекте P-3 увеличилась также общая минерализация — с 3.0 до 4.1 г/л. Это свидетельствовало о варьировании состава солей грунтовых вод во времени. В аналогичной зависимости находились и ионы магния. За 5 лет их содержание также увеличилось, причем во всех вариантах. Для данных почв характерно низкое содержание ионов кальция. Минимальное его количество отмечено в лугово-черноземной почве равнинного повышения (P-2) — 4.1 ммоль (экв)/100 г в 2015 г. В 2020 г. его содержание увеличилось до 6.2 ммоль (экв)/100 г на объекте P-2, в то время, как на объектах P-1 и P-3, наоборот, уменьшилось.

Среди анионов отмечено отсутствие карбонатов в 2015 г., в 2020 г. — обнаружены их небольшие следы. Но если количественное содержание гидрокарбоната и хлора во всех почвах оказалось близким по величине, то для содержания сульфата отмечено существенное различие. В черноземно-луговой почве в ложбинообразном понижении (P-3) содержание сульфатов в 2015 г. было в 3–4 раза больше, чем в остальных объектах исследования, в 2020 г. — в 5–6 раз.

Катионно-анионный состав грунтовых вод сезонно переувлажненных почв позволил определить химизм их засоления по величинам содержания катионов и анионов: химизм засоления грун-



**Рис. 2.** Солевые профили объектов исследования (2020 г.): (а) – P-1, (б) – P-2, (в) – P-3, (г) – западная опушка лесополосы № 131, (д) – центр лесополосы № 131, (е) – восточная опушка лесополосы № 131.

товых вод всех объектов по катионам – натриево-кальциевый, по анионам – сульфатный.

Качественный состав солей исследованных переувлажненных почв оценивали по составу водной вытяжки 1 : 5 (рис. 2). Характер формиро-

вания солевого профиля различался и зависел от степени проявления гидроморфизма, элементов ландшафта, а также складывающихся гидротермических условий года. В лугово-черноземной почве на выпуклой части склона, не затопливае-

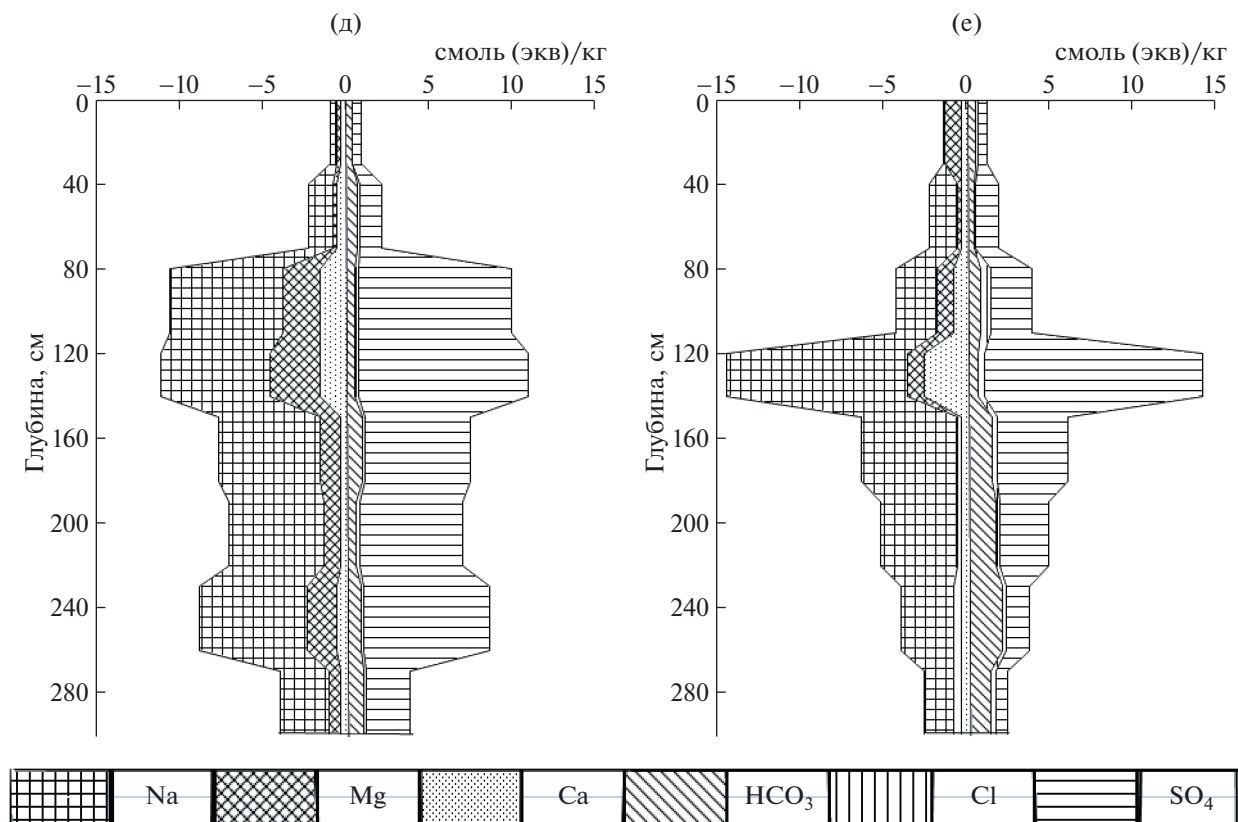


Рис. 2. Окончание.

мой поверхностными водами весной (P-2), гумусовая толща характеризовалась отсутствием легкорастворимых солей. До глубины 100 см общая сумма солей варьировала в интервале от 0.05 до 0.09%. Эти показатели характерны для фоновых почв Каменной Степи – черноземов типичных. Далее с глубины 100 до 300 см концентрация солей незначительно увеличивалась до 0.16%. Содержание токсичных солей в почвенной толще лугово-черноземной почвы равнинного понижения (P-2) изменялось вниз по профилю от 0.02 до 0.14%, что при сульфатно-гидрокарбонатном типе засоления соответствует незасоленной почве. Лугово-черноземная почва (P-2) содержала минимальное количество солей из всех вариантов по всему профилю почвы.

По степени усиления проявления гидроморфизма далее следует черноземно-луговая почва на равнинном понижении с коротким периодом поверхностного затопления (P-1). Водный режим сложился таким образом, что солевой профиль данной почвы равномерно растянулся по всей исследованной глубине (300 см). Общая сумма солей вниз по профилю варьировала в очень узком интервале – 0.13–0.15%. Сумма токсичных солей также мало изменялась с глубиной и составляла 0.11–0.13%. В данном случае тип засоления поч-

венного профиля также относится к сульфатно-гидрокарбонатному типу, поэтому величины суммы токсичных солей соответствуют незасоленной почве.

Самой переувлажненной исследованной почвой из всех вариантов была черноземно-луговая почва ложбинообразного понижения (P-3), подвергавшаяся длительному сезонному затоплению. Верхний гумусовый горизонт в данном варианте был практически не засоленный. Концентрация солей была на уровне 0.07%. С глубиной отмечено существенное увеличение засоленности почв. Например, на глубине 40–80 см концентрация солей увеличилась в 2 раза до 0.13%. В нижележащих почвенных горизонтах, с глубины 80 см, в отличие от первых 2-х вариантов P-1 и P-2, сформировался глубоководный засоленный горизонт мощностью 60 см с высокой концентрацией солей – 0.33–0.34%. Сумма токсичных солей в данном горизонте была максимальной среди всех исследованных пахотных почв – 0.31–0.32%. При сульфатно-гидрокарбонатном типе засоления почвенного горизонта данные показатели соответствуют градации среднего засоления.

Существенный интерес представляет анализ изменения степени засоления пахотных переувлажненных черноземов непосредственно в поч-

**Таблица 4.** Профильное изменение содержание натрия (2020 г.)

Глубина, см	Объекты исследования					
	Лесополоса № 131, западная опушка	Лесополоса № 131, центр	Лесополоса № 131, восточная опушка	P-1	P-2	P-3
	Na, ммоль/л					
0–20	3.25	3.56	1.68	9.84	0.71	8.41
20–40	9.02	6.84	2.61	10.64	0.74	15.92
40–60	19.01	18.45	10.14	14.32	1.45	24.72
60–80	20.00	29.85	25.00	16.14	3.67	32.81
80–100	34.91	46.34	36.39	13.49	5.14	37.33
100–120	70.63	111.69	81.66	12.47	6.22	46.34
120–140	108.39	129.72	103.99	11.04	6.35	36.06
140–160	85.51	139.00	83.37	11.27	6.73	38.73
160–180	98.40	106.41	94.84	11.40	6.34	34.67
180–200	109.65	115.61	80.17	11.22	6.35	36.56
200–220	79.25	102.80	60.81	10.84	6.01	29.11
220–240	87.90	105.44	67.61	13.12	6.34	32.73
240–260	73.79	109.14	55.46	14.03	6.95	27.04
260–280	57.54	106.91	54.33	12.56	7.94	30.20
280–300	41.21	74.99	33.50	11.32	7.41	27.80

вах под водорегулирующей лесной полосой. Отмечено, что посадка лесных полос в степных условиях изменяет характер распределения осадков в агроландшафте [7].

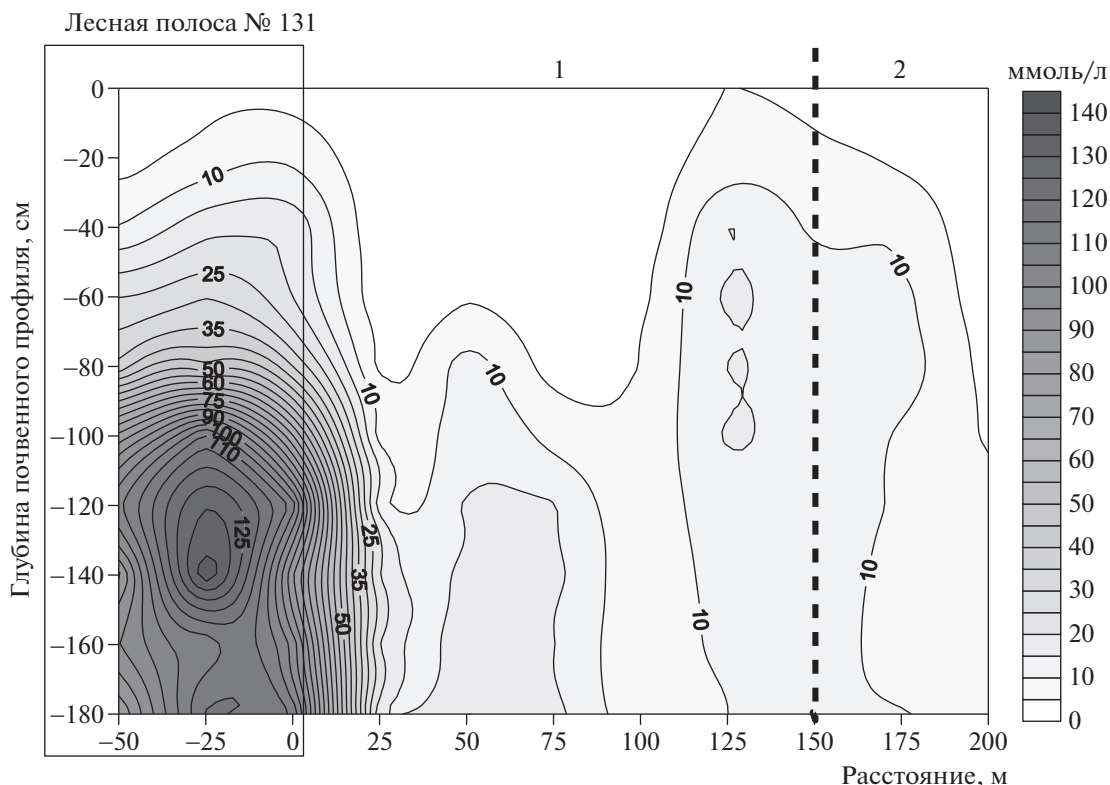
В лесной полосе были отобраны образцы почв из 3-х точек опробования: по центру лесной полосы, на западной и восточной опушках. Отметим, что во всех 3-х точках опробования верхний гумусовый горизонт оставался незасоленным. Далее на глубине с 40 до 80 см (рис. 2) начиналось резкое возрастание концентрации легкорастворимых солей: на западной опушке – с 0.05 до 0.20, по центру – с 0.06 до 0.14, на восточной – с 0.07 до 0.13%.

По центру лесной полосы и на западной опушке с глубины 80 см начинался засоленный почвенный горизонт с максимальной концентрацией солей по профилю. Наиболее вытянутый солевой горизонт был характерен для центра лесной полосы, где он растянулся на 180 см, глубиной с 80 до 260 см. Концентрация солей в этом случае составила 0.68–0.73%. Сумма токсичных солей находилась в интервале 0.59–0.64%. При сульфатно-гидрокарбонатном типе засоления данный горизонт считается сильнозасоленным. С глубиной под лесной полосой возрастало количество ионов натрия, достигая максимума на глубине 180 см. По катионам засоление в этом случае шло по магниевое-натриевому типу. На опушке к западу мощность засоленного горизонта была меньше, чем в центре полосы на 80 см, но концентрация

солей была больше и составила 0.75–0.85%. Сумма токсичных солей также была больше, чем в центральной части лесной полосы, и составила 0.67–0.75%. В этом случае также горизонт считается сильнозасоленным.

На восточной опушке водорегулирующей лесной полосы оказалась самая низкая мощность солевого горизонта (20 см). Отличительной особенностью данного горизонта оказалась максимальная концентрация солей из всех объектов исследования – 0.98%. Максимальной была и сумма токсичных солей – 0.82%, что по градации является сильнозасоленным горизонтом при сульфатно-гидрокарбонатном типе засоления по анионам. Данное обстоятельство можно связать с тем, что на восточной опушке в связи с определенной розой ветров в зимние месяцы накапливалось максимальное количество снега по сравнению с остальной частью лесной полосы. Накопление солей именно на данной глубине происходило за счет иссушения грунтовых вод, которые в весенние месяцы располагаются на уровне 1.5–2.0 м.

Таким образом, величины содержания токсичных солей в глубокосолевых горизонтах всех точек опробования в лесной полосе при сульфатно-гидрокарбонатном типе засоления соответствовали градации сильного почвенного засоления. Высокие показатели водопроницаемости лесной полосы способствовали хорошему погло-



**Рис. 3.** Картограмма двумерного распределения активности ионов натрия в координатах “расстояние-глубина” (2020 г.), ммоль/л: 1 – пашня, подверженная сезонному переувлажнению, 2 – пашня, не подверженная сезонному переувлажнению.

шению зимних твердых осадков и многолетнему накоплению солей [28]. Отметим также, что с глубиной ниже залегания засоленного горизонта степень засоления уменьшалась. К глубине 300 см величины содержания токсичных солей опускались до градации слабого засоления на всех точках обследования в лесной полосе (рис. 2).

Дополнительно для оценки изменения засоленности черноземов под влиянием лесной полосы была заложена транsekта перпендикулярно к лесной полосе с закладкой скважин глубиной до 200 см. Буровые скважины заложены на удалении 0, 25, 50, 75, 100, 125 м от лесной полосы, под лесной полосой в центральной части, на западной и восточной опушках. Определяющим фактором при изменении активности иона натрия под лесной полосой послужило место отбора почвенных проб (центр полосы, западная или восточная опушка). Для комплекса переувлажненных почв определяющим фактором послужила степень переувлажнения данных участков и их ландшафтная принадлежность. Уровень грунтовых вод для данных почв в последний год обследования, когда он повсеместно опустился, находился на глубине 2.0–2.2 м. Ранее грунтовые воды поднимались значительно выше, до глубины 1.2 м.

В лугово-черноземной почве на выпуклой части склона, не затопляемой поверхностными водами весной (P-2), гумусовая толща характеризовалась наличием незначительного количества ионов натрия – 0.71–0.74 ммоль/л, т.е. формально гумусовый горизонт не был засоленным. С глубины 40–60 см активность ионов натрия возросла уже в 2 раза, на глубине 60–80 – еще в 2 раза. Далее ниже 80 см вплоть до глубины 300 см шло постепенное нарастание активности ионов натрия до максимума с 5.14 до 7.94 ммоль/л (табл. 4).

По степени проявления сезонного переувлажнения далее шла черноземно-луговая почва на равнинном понижении с коротким периодом поверхностного затопления (P-1). В гумусовом горизонте в этом случае в отличие от лугово-черноземной почвы активность ионов натрия была больше в 13 раз, достигая 9.84–10.6 ммоль/л. Это было максимальным показателем в гумусовом горизонте среди всех исследованных почв. На глубине 40–80 см активность ионов натрия достигла максимума для данной скважины – 14.3–16.1 ммоль/л. Промывной режим сложился таким образом, что ниже глубины 80 см вниз по профилю данной почвы содержание ионов натрия

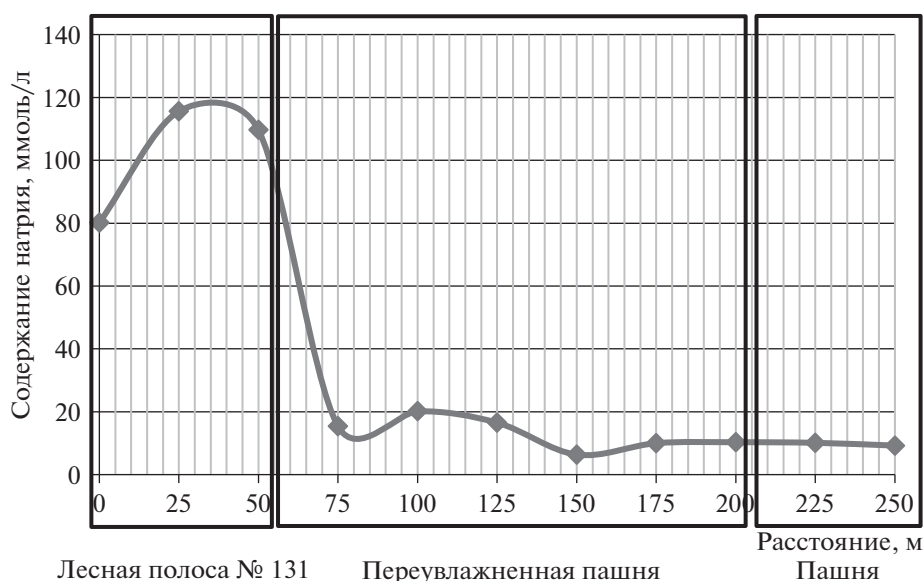


Рис. 4. Содержание натрия на глубине 180–200 см на объектах исследования, ммоль/л.

равномерно распределилось по всей исследованной глубине, находясь в интервале 11–14 ммоль/л.

Похожая закономерность распределения ионов натрия вниз по глубине отмечена для черноземно-луговой почвы ложбинообразного понижения (Р-3), подвергавшаяся длительному сезонному затоплению. В верхнем гумусовом горизонте так же, как и на Р-1, отмечена высокая активность ионов натрия. В слое почвы 0–40 см интервал изменения активности натрия составил 8.41–15.92 ммоль/л, что в 1.5 раза больше, чем для такой же почвы равнинного понижения (Р-1). Это обстоятельство, по нашему мнению, напрямую связано с наибольшим повышенным переувлажнением данного участка из всех исследованных вариантов. Далее вниз по профилю до глубины 120 см происходило максимальное нарастание активности ионов натрия до величины 46.34 ммоль/л. После этой глубины вплоть до 300 см происходило планомерное уменьшение данного показателя до 27.80 ммоль/л.

Рассматривая активность ионов натрия в лесной полосе, отметим, что в верхнем гумусовом горизонте она была меньше, чем в черноземно-луговых вариантах Р-1 и Р-3 прилегающей пашни. Минимум отмечен для восточной опушки лесной полосы. Для слоя почвы 0–40 см интервал изменения активности натрия составил 1.68–2.61 ммоль/л. На западной опушке и в центре лесной полосы эти показатели были в 2–3 раза больше и составили 3.25–9.02 ммоль/л. С глубиной во всех вариантах в лесной полосе происходило резкое нарастание активности ионов натрия. Отметим, что на опушках происходило равномерное увеличение

этого показателя, который достигал максимума на глубине 120–140 см. Для западной и восточной опушек эти показатели составили 108 и 104 ммоль/л соответственно. Эти данные хорошо согласуются с визуальным отображением солевых профилей, где на данной глубине отмечено максимальное засоление (рис. 2). Ниже данной глубины происходило уменьшение активности натрия, причем на восточной опушке уменьшение шло более быстрыми темпами, достигая 33 ммоль/л на глубине 300 см. Для данной глубины это минимум из всех 3-х исследованных вариантов в лесной полосе.

Центр лесной полосы отмечен максимальными показателями содержания натрия, начиная с глубины 60–80 см (46.34 ммоль/л). Далее, с глубины 100 см отмечено резкое увеличение концентрации ионов натрия, которая превысила 100 ммоль/л. Максимум (139 ммоль/л) достигнут в горизонте 140–160 см. Отметим, что это наивысшая активность ионов натрия среди всех исследованных вариантов. В целом горизонт с максимальным засолением (концентрация натрия >100 ммоль/л) растянулся до глубины 280 см. Эти данные совпадали с визуальным отображением солевого профиля в центре лесной полосы (рис. 2). На последней исследованной глубине 280–300 см произошло небольшое уменьшение активности ионов натрия до 75 ммоль/л, что также было максимумом для данной глубины среди всех исследованных объектов.

В лесостепных и степных условиях посадка лесных полос изменяет характер распределения снега в агроландшафте. Под лесными насаждениями почва отличается большими поступлениями

влаги на питание грунтовых вод и десукцию [7]. В степной зоне за счет более высокого температурного фона увеличивается испаряемость, следовательно и концентрация легко растворимых солей в зоне аэрации почвенной толщи [33]. Проанализируем изменение активности ионов натрия в центре лесной полосы, на западной и восточной опушках, а также на переувлажненной пашне на различном удалении от лесной полосы. Нами были пробурены скважины до глубины 200 см в центре полосы и на опушках. Далее по этой же линии скважины были пробурены на расстоянии 25, 50, 75, 100, 125, 150, 175 и 200 м от лесной полосы в западном направлении (рис. 1). Данный ряд скважин проходит точно в варианте Р-2 – лугово-черноземной почвы, и последние 2 скважины заходят на типичный чернозем смежно расположенного поля. Чтобы наглядно продемонстрировать пространственное распределение активности ионов натрия вниз по профилю почвы как в лесной полосе, так и на различном удалении от нее, была построена двумерная картограмма распределения данного показателя в пространстве (рис. 3).

Обнаружена следующая закономерность изменчивости активности ионов натрия в пространстве. Максимальное содержание ионов натрия обнаружено по центру лесной полосы, немного снижаясь к опушкам. Вблизи от лесной полосы, вплоть до удаления от нее на 25 м, отмечен четко выраженный незасоленный гумусовый горизонт. Далее вниз по профилю происходило постепенное нарастание засоленности с образованием глубокозасоленного горизонта с глубины 100–120 см, т.е. данные были аналогичными с опущенной частью лесной полосы, где, по-видимому, происходил похожий процесс накопления солей с глубиной под действием проникающих осадков и засоленных грунтовых вод.

По мере удаления от лесной полосы с 25 до 100 м влияние ее ослабевало. В данном интервале весь профиль был слабозасоленным. На удалении 75 м от лесной полосы расположена скважина Р-2. В этом случае с глубины 80 см происходило постепенное незначительное нарастание активности ионов натрия. Данные показатели близки к фоновым почвам Каменной Степи (черноземам типичным), на смежное поле которых попали максимально удаленные от лесной полосы две скважины (рис. 3).

На удалении 125–150 м решающим фактором усиления активности ионов натрия становилась степень переувлажнения участка. На черноземно-луговой почве выявлено наличие засоленного горизонта на глубине 60–100 см, но с гораздо меньшей концентрацией солей, чем под лесной

полосой (рис. 3). Для демонстрации изменения концентрации натрия представлен график (рис. 4), где показано снижение содержания натрия на глубине 180–200 см при переходе от лесной полосы к прилегающей пашне.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Особенности накопления, поступления и расхода влаги в почвах различной степени гидроморфизма в комплексе сезонно переувлажненных почв западнее лесополосы № 131 формировали характерный для каждого объекта исследований солевой профиль.

Характер формирования солевого профиля различался и зависел от степени проявления гидроморфизма, а также складывавшихся гидротермических условий года. В черноземно-луговой почве ложбинообразного понижения (Р-3) сформировался засоленный почвенный горизонт с глубины 80 до 140 см. Лугово-черноземная почва равнинного повышения (Р-2) содержала минимальное содержание солей из всех вариантов вдоль всего профиля почвы. Наиболее вытянутый солевой горизонт был характерен для центра лесной полосы, где он растянулся на 180 см глубиной с 80 до 260 см. На опушке к западу мощность глубокозасоленного горизонта была меньше, чем в центре полосы на 80 см, но концентрация солей была больше. Самой низкой по мощности солевого горизонта (20 см) отмечена восточная опушка водорегулирующей лесной полосы, но с максимальной концентрацией солей 0.98%.

В лесной полосе содержание токсичных солей в глубокосолевых горизонтах всех точек опробования соответствовало градации сильного почвенного засоления. Отметим также, что с глубиной ниже залегания засоленного горизонта степень засоления уменьшалась. К глубине 300 см содержание токсичных солей уменьшилось до градации слабого засоления на всех точках обследования в лесной полосе.

Определяющим фактором при изменении активности иона натрия для лесной полосы послужило место отбора почвенных проб (центр полосы, западная или восточная опушка). Для комплекса переувлажненных почв определяющим фактором послужила степень переувлажнения данных участков и их ландшафтная принадлежность.

Изменение активности ионов натрия в почве переувлажненной пашни в зависимости от удаления от лесной полосы подчинено некоторой зависимости. Вблизи от лесной полосы, вплоть до удаления от нее на 50 м, обнаружен глубокозасоленный горизонт с глубины 120 см, т.е. данные



были аналогичными с опушечной частью лесной полосы. По мере удаления от лесной полосы с 50 до 100 м влияние ее ослабевало. Далее решающим фактором усиления активности ионов натрия становилась степень переувлажнения участка с образованием сильнозасоленного горизонта.

Рассмотрев катионно-анионный состав грунтовых вод сезонно переувлажненных почв с интервалом 5 лет (в 2015 и в 2020 гг.), определили, что химизм их засоления по катионам и анионам за данный период не претерпел серьезных изменений. Анализ грунтовых вод объектов исследования показал различия по катионно-анионному составу среди вариантов, различавшихся по степени переувлажнения. Химизм засоления грунтовых вод всех объектов по катионам оказался натриево-кальциевый, по анионам — сульфатный.

Изучение изменения солевого профиля под лесными полосами и в прилегающих к ним пашнях в условиях постоянной смены погодных условий и уровня грунтовых вод — тема, недостаточно изученная для Центрально-Черноземного региона. По нашему мнению, накоплено еще недостаточное количество материала для определения наиболее вероятного прогноза изменения солевого профиля исследуемых почв на дальнюю перспективу. К этому вопросу следует подходить аккуратно. Возможно, потребуется провести ряд исследований в данном направлении. Единственно, можно предположить, что в ближайшем будущем накопление солей под старовозрастными лесными полосами будет продолжаться.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Лебедева И.И., Королева И.Е., Гребенников А.М.* Концепция эволюции черноземов в условиях агроэкосистем // Бюл. Почв. ин-та им. В.В. Докучаева. 2013. Вып. 71. С. 18–26.
2. Эволюция почв и почвенного покрова. Теория, разнообразие природной эволюции и антропогенных трансформаций почв / Под ред. И.В. Иванова, А.Л. Александровского, А.О. Макеева. М.: Изд-во ГЕОС, 2015. 925 с.
3. *Королева И.Е.* Освоение черноземов как фактор агроэволюции (их плодородия) в формате зонально-подзональных природных условий // Мат-лы докл. VI съезда общ-ва почвоведов им. В.В. Докучаева. Кн. 2. Петрозаводск, 2012. С. 480–481.
4. *Назаренко О.Г.* Современные процессы развития локальных гидроморфных комплексов в степных агроландшафтах: Автореф. дис. ... д-ра биол. наук. М., 2002. 46 с.
5. *Иванов А.Л., Лебедева И.И., Гребенников А.М.* Факторы и условия антропогенной трансформации черноземов, методология изучения эволюции почвообразования // Бюл. Почв. ин-та им. В.В. Докучаева. 2013. Вып. 72. С. 26–46.
6. *Королева И.Е., Лебедева И.И., Гребенников А.М.* Гумусное и азотное состояние целинных и пахотных черноземов // Бюл. Почв. ин-та им. В.В. Докучаева. 2013. Вып. 71. С. 27–35.
7. *Турусов В.И., Чеканышкин А.С., Тищенко В.В.* Агро-экологическая роль лесных полос в преобразовании ландшафтов (на примере Каменной Степи). Каменная Степь, 2012. 191 с.
8. *Чендев Ю.Г., Беспалова Е.С.* Оценка роли лесополос в оптимизации почв и ландшафтов: литературный обзор сведений // Научн. ведомости БелгородГУ. Сер. Естеств. науки. 2019. Т. 43. № 2. С. 124–133.
9. *Кулик К.Н.* Защитные лесные насаждения — основа экологического каркаса агротерриторий // Вестн. Рос. сел.-хоз. науки. 2018. № 1. С. 18–21.
10. *Свицков И.П., Шмыков В.А., Шабарина Е.В., Тищенко В.В.* Роль лесных полос в мелиорации агроландшафтов в условиях речных долин Среднерусской лесостепи // Плодородие. 2013. № 2. С. 31–33.
11. *Чендев Ю.Г., Геннадиев А.Н., Лукин С.В., Соэр Т.Д., Заздравных Е.А., Белеванцев В.Г., Смирнова М.А.* Изменение лесостепных черноземов под влиянием лесополос на юге Среднерусской возвышенности // Почвоведение. 2020. № 8. С. 934–947.
12. *Чеве́рдин Ю.И., Вавин В.С., Ахтямов А.Г., Воронин Д.А.* Роль лесных насаждений в изменении свойств черноземов // Достиж. науки и техн. АПК. 2014. № 2. С. 11–14.
13. *Смирнова М.А., Геннадиев А.Н., Чендев Ю.Г., Ковач Р.Г.* Влияние полезащитных лесных насаждений на локальное разнообразие почв (Белгородская область) // Почвоведение. 2020. № 9. С. 1031–1042.
14. *Королев В.А., Громовик А.И., Йонко О.А.* Изменение физических свойств почв Каменной Степи под влиянием полезащитных лесных полос // Почвоведение. 2012. № 3. С. 299–308.
15. *Тимченко Ю.В.* Переувлажнение и эрозия почв в ООО СПФ «Юбилейное–Кавказ» Краснодарского края // Аграрная наука, творчество, рост. V Международ. научн.-практ. конф. Краснодар, 2015. С. 173–175.
16. *Беспалов В.А.* Пространственно-временное варьирование основных показателей плодородия черноземов Каменной Степи: дис. ... канд. биол. наук. Каменная Степь, 2012. 209 с.
17. *Чеботарев П.М.* Земли сельскохозяйственного назначения и их использование в условиях деградации: Автореф. дис. ... канд. геогр. наук. Воронеж, 2012. 24 с.
18. *Чеве́рдин Ю.И., Титова Т.В., Беспалов В.А.* Особенности формирования гидрологического режима сезонно переувлажненных почв Каменной Степи // Агрохимия. 2019. № 2. С. 80–93.
19. *Кудеяров В.Н.* Оценка питательной деградации пахотных почв России // Вестн. РАН. 2015. Т. 85. № 9. С. 771–775.
20. *Минаков Н.Р., Ахтырцев А.Б.* Динамика гидроморфного процесса лесостепи Центрально-Черноземного региона // Вестн. ВГАУ. Сер. Землеустройство и кадастр. 2011. № 2 (29). С. 151–155.



21. Хитров Н.Б., Назаренко О.Г. Распространение переувлажненных почв в исходно автоморфных агроландшафтах Ростовской области при ведении "сухого" земледелия // Дegradaция богарных и орошаемых черноземов под влиянием переувлажнения и их мелиорации. Научн. тр. М.: Изд-во РПА "АПР", 2012. С. 125–167.
22. Разумова Н.В., Разумов В.В., Молчанов Э.Н. Переувлажнение и подтопление почв и земель в Центральном регионе России // Бюл. Почв. ин-та им. В.В. Докучаева. 2016. № 82. С. 3–27.
23. Хитров Н.Б., Чевердин Ю.И. Распространение сезонно переувлажненных и затопленных почв в Каменной Степи // Каменная Степь: проблемы изучения почвенного покрова: науч. тр. М.: Почв. ин-т им. В.В. Докучаева, 2007. С. 121–133.
24. Хитров Н.Б. Теоретические и методические основы предотвращения переувлажнения почв, подтопления и заболачивания земель // Научные основы предотвращения деградации почв (земель) сельскохозяйственных угодий России и формирования систем воспроизводства их плодородия в адаптивно-ландшафтном земледелии. М., 2013. С. 134–212.
25. Ачканов А.Я., Николаева С.А. Вторичный гидроморфизм почв степных ландшафтов западного Предкавказья // Почвоведение. 1999. № 12. С. 1424–1432.
26. Исаев В.А., Поротиков И.Ф. Солонцы Каменной Степи: история изучения и современные проблемы // Генезис и мелиорация почв солонцовых комплексов. М.: РАСХН, 2008. С. 106–107.
27. Хитров Н.Б., Горохова И.Н., Кравченко Е.И. Комбинация засоленных почв северного склона возвышенности Ергени после прекращения орошения // Бюл. Почв. ин-та им. В.В. Докучаева. 2019. Вып. 97. С. 52–90.
28. Чевердин Ю.И., Чевердин А.Ю. Современное соленакопление в черноземах под старовозрастными лесополосами Каменной Степи // Агрохимия. 2022. № 2. С. 65–75.
29. Чевердин Ю.И., Сауткина М.Ю. Роль искусственных лесных насаждений в изменении солевых характеристик черноземов степной зоны // Лесные почвы и функционирование лесных экосистем: Мат-лы VIII Всерос. научн. конф. с международ. участием. М.: ЦЭПЛ РАН, 2019. С. 85–87.
30. Хамерзокова Р.Ю. Подтопление и переувлажнение земель как фактор снижения плодородия сельскохозяйственных угодий и деградации почв Республики Адыгея // Вестн. Адыг. гос. ун-та. Сер. 4: Естественно-математ. и техн. науки. 2013. № 1 (116). С. 54–57.
31. Досбергенов С.Н. Карбонатное соленакопление в почвах месторождений Караарна и Восточная коркара // Почвоведение и агрохимия. 2013. № 4. С. 24–31.
32. Аринушкина Е.В. Руководство по химическому анализу почв. М.: Изд-во МГУ, 1970. 488 с.
33. Несстеренко Ю.М. Водная компонента аридных зон: экологическое и хозяйственное значение. Екатеринбург: УрО РАН, 2006. 286 с.

## Features of the Formation of the Salt Profile of Seasonally Waterlogged Soils of the Stone Steppe

Yu. I. Cheverdin<sup>a, #</sup>, V. A. Bepalov<sup>a</sup>, and T. V. Titova<sup>a</sup>

<sup>a</sup>Voronezh Federal Agrarian Scientific Center named after V.V. Dokuchaev, pos 2 division of the Institute Dokuchaev quart. 5, 81, Voronezh region, Talovsky district 397463, Russia

<sup>#</sup>E-mail: cheverdin62@mail.ru

We studied changes in salt characteristics of seasonally waterlogged soils in agroforestry landscapes of the Central Chernozem region (Voronezh FASC named after V.V. Dokuchaev). A comparative analysis of the formation of the salt profile of the water-regulating forest strip and seasonally waterlogged soils of the Stone Steppe adjacent to it is carried out. The 48 m wide forest strip was planted in 1949–1950 and is a forest plantation of oak, birch, ash and maple. The assessment was carried out according to the composition of the water extract, the activity of sodium ion and the chemical composition of groundwater. The nature of the formation of the salt profile differed and depended on the degree of manifestation of hydromorphism, as well as the developing hydrothermal conditions of the year. In the chernozem-meadow soil of the hollow-shaped depression (Section-3), a saline soil horizon was formed from a depth of 80 to 140 cm. Meadow-chernozem soil (Section-2) contained the minimum salt content of all variants along the entire soil profile. An increase in the concentration of salts under the forest strip was noted. The most powerful salt horizon was characteristic of the central part of the forest strip, where it stretched 180 cm deep from 80 to 260 cm. On the western edge, the thickness of the deep-saline horizon was less than in the center of the strip by 80 cm, but the concentration of salts was greater. The minimum thickness of the salt horizon (20 cm) is marked on the eastern edge of the water-regulating forest strip, but with a maximum salt concentration (0.98%).

*Key words:* forest strip, seasonally waterlogged soils, salt profile, sodium, toxic salts, Stone Steppe.

УДК 631.417:631.445.24:631.878

## ИНДИВИДУАЛЬНЫЕ ОРГАНИЧЕСКИЕ СОЕДИНЕНИЯ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ СУПЕСЧАНОЙ ПОЧВЫ ПРИ ВНЕСЕНИИ БИОУГЛЯ

© 2022 г. Л. В. Бойцова<sup>1,\*</sup>, Е. Я. Рижия<sup>2</sup>, В. Е. Вертебный<sup>1</sup><sup>1</sup>Агрофизический научно-исследовательский институт  
195220 Санкт-Петербург, Гражданский просп., 14, Россия<sup>2</sup>Российский государственный гидрометеорологический университет  
192007 Санкт-Петербург, Воронежская ул., 79, Россия

\*E-mail: larisa30.05@mail.ru

Поступила в редакцию 11.05.2022 г.

После доработки 14.06.2022 г.

Принята к публикации 12.08.2022 г.

В трехлетнем мелкоделяночном опыте изучили влияние внесения биоугля на содержание индивидуальных органических соединений (низкомолекулярных фенолов, лигнина, липидоподобных соединений, углеводов) в дерново-подзолистой супесчаной почве. Эксперимент заложен на Агрофизическом стационаре МОС-АФИ (Ленинградская обл.). Дерново-подзолистые супесчаные почвы различались по степени окультуренности: среднеокультуренная (СОК) и высокоокультуренная (ВОК). Схема опыта: контроль (без биоугля) и почва с биоуглем в дозе 20 т/га. Определение общего органического углерода ( $C_{орг}$ ) осуществляли по методу Тюрина, общего азота ( $N_{общ}$ ) – по Кьельдалю. Определение углеводов проводили фенолсерноокислым методом Дюбуа, фенолов – по ПНД Ф 16.1:2.3:3.44-05, лигнина – по методике, описанной в [1]. Внесение биоугля привело к увеличению содержания  $C_{орг}$  в СОК-почве на 0.08%, в ВОК-почве – на 0.34%. За 3 года эксперимента наблюдали тенденцию к накоплению лигнина. В вариантах СОК произошло увеличение содержания лигнина на 0.5–0.9 г/кг почвы, в вариантах ВОК – на 0.3–0.5 г/кг почвы, при этом наибольшее накопление было характерно для вариантов с биоуглем. Зафиксировано снижение содержания простых фенольных соединений с течением времени во всех вариантах опыта приблизительно в 2 раза. Можно отметить, что внесение биоугля не привело к какому-либо значительному изменению содержания липидоподобных соединений и углеводов в СОК- и ВОК-почве.

*Ключевые слова:* почва, фенолы, лигнин, липидоподобные соединения, углеводы.

**DOI:** 10.31857/S0002188122110035

### ВВЕДЕНИЕ

В последнее время в качестве мелиоранта используют биоуголь. Биоуголь влияет на физические, физико-химические, химические свойства почвы [1–4]. Влияние и последствие биоугля на органическое вещество почвы по-прежнему является не достаточно изученным аспектом.

Индивидуальные органические вещества контролируют многие биогеохимические реакции, в значительной степени определяя темпы деструкции органического вещества почвы и оказывая влияние на циклы питательных веществ и ферментативную активность микроорганизмов. К индивидуальным компонентам почвенного органического вещества относятся углеводы, липиды, лигнин, фенолы [5].

Фенолы относят к числу самых распространенных в окружающей среде органических веществ более 8000 соединений на сегодняшний день отнесено к фенолам – от низкомолекулярных соединений до сложных [6]. В природе они обнаруживаются в различных растениях (до 60% сухой массы растений [7]), почвах, торфах, каменных углях и сланцах, относятся к основным органическим загрязнителям воды и почвы и подлежат обязательному контролю [8]. Наряду с гуминовыми веществами фенольные соединения представляют собой самые крупные составляющие и наиболее активные фракции органического вещества почвы [9]. Фенолы, присутствующие в растительности в качестве метаболитов, являются основным источником фенольных соединений в почве [10]. Типы и концентрации фенольных со-

единений зависят от вида растительности, от ряда биотических и абиотических факторов [11].

Другой важный компонент гумусовых веществ в почве — лигнин, который является 2-м компонентом после углеводов по распространенности в природе, имеет растительное происхождение и исключительную устойчивость к микробным атакам [12].

Деградация лигнина происходит при наличии кислорода и в присутствии специализированных микроорганизмов [5]. При этом лигнин выступает в образовании гуминовых соединений как главный поставщик циклических соединений [13]. Лигнин выводит углерод из его круговорота на значительные периоды времени, входя своими ароматическими структурами в состав гуминовых кислот.

Накопление почвенного органического вещества, богатого алифатическими соединениями, связано с поступлением липидов в основном из растительности при высокой активности микроорганизмов и низком уровне рН почвы [14, 15]. Липидный состав почвы зависит от вида растений, произрастающих на ней. Например, в работе [16] наблюдали изменение липидного состава глеевой камбисоли в результате смены растительности с зеленого пара на пшеницу спустя 4 года. Липиды являются также источником энергии для микроорганизмов.

Углеводы играют важную роль в наземном цикле углерода, участвуют в установлении и функционировании микоризных симбиозов и стабилизации тяжелых металлов в почве [17, 18], являются источником углерода и энергии для микроорганизмов почв, способствуют созданию структуры почвы. Определение почвенных углеводов связано с оценкой влияния землепользования на состояние органического вещества почвы главным образом с точки зрения его микробной трансформации [19]. Цель работы — изучение содержания индивидуальных органических соединений в почвах с биоуглем.

## МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Полевые исследования проведены с середины мая по конец сентября 2019–2021 гг. на территории экспериментальной опытной станции АФИ (МОС–АФИ) (п. Меньково, Гатчинский р-н, Ленинградская обл.).

Мелкоделяночный опыт заложен на Агрофизическом стационаре МОС–АФИ. Почвы стационара представлены дерново-подзолистыми супесчаными разновидностями [20]. Данные почвы различались по степени окультуренности и каче-

ству: среднеокультуренная (СОК) и высокоокультуренная (ВОК). В 2003–2005 гг. в среднеокультуренную почву внесли навоз КРС 220 т/га, в высокоокультуренную почву — 540 т/га. Опытные делянки размером 4 м<sup>2</sup> (2 × 2 м) заложены 20 мая 2019 г. на парцеллах почв с СОК и ВОК, на контрольных участках без дополнительного внесения различных доз минеральных удобрений. Схема опыта включала 2 варианта в трехкратной повторности: 1 — контроль (без биоугля) и 2 — почва с биоуглем в дозе 20 т/га. Агрохимическая характеристика дерново-подзолистой супесчаной почвы, использованной в опыте (исходные данные на начало 2019 г), была следующей. Почва СОК: рН<sub>KCl</sub> 5.3, содержание С<sub>орг</sub> — 1.53%, N<sub>общ</sub> — 0.17%, N-NO<sub>3</sub> — 16.4 мг/кг; N-NH<sub>4</sub> — 5.6 мг/кг, подвижных P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> — 255, K<sub>2</sub>O = 112 мг/кг; почва ВОК: рН<sub>KCl</sub> 6.4, содержание С<sub>орг</sub> — 2.92%, N<sub>общ</sub> — 0.28%, N-NO<sub>3</sub> — 22.3, N-NH<sub>4</sub> — 6.7 мг/кг, подвижных P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> — 994, K<sub>2</sub>O — 542 мг/кг.

В качестве биоугля использовали древесный уголь из березы сорта “Премиум” (береза 1-го класса), фракция с размером частиц угля 0.5–5.0 см, произведен быстрым пиролизом при температуре 600°C на предприятии ООО “Файервуд” (Ленинградская обл, Тосненский р-н, д. Коркино). Химическая характеристика биоугля: С<sub>орг</sub> = 88.9, N<sub>общ</sub> — 0.43%, С : N = 207, Н — 3.2%, О = 5.1%, рН<sub>H<sub>2</sub>O</sub> 8.3; W<sub>гв</sub> (гигроскопическая влажность) — 3.1, зольность — 1.8%. Перед внесением в почву биоуголь просеивали через сито с размером ячейки 2 см. Биоуголь в дозе 20 т/га (или 8 кг/4 м<sup>2</sup>) вносили в верхний 0–10-см слой почвы вручную.

На делянках в течение вегетационного периода 2019 г. в качестве тест-объекта выращивали викоовсяную смесь (вика посевная яровая сорта Льговский (*Vicia sativa* L.) и овес яровой сорта Борпус (*Avena sativa* L.) в соотношении 30 : 70% соответственно) из расчета 200 кг/га (или по 85 г/4 м<sup>2</sup>). В 2020 г. возделывали люпин белый сорт Дега (*Lupinus albus* L.) как сидерат под озимую пшеницу. В 2021 г. возделывали озимую пшеницу сорта Немчиновская 85.

В начале и в конце вегетационных периодов 2019–2021 гг. производили отбор образцов на определение содержания низкомолекулярных соединений и лигнина в дерново-подзолистой супесчаной почве с разной степенью окультуренности с биоуглем и без биоугля. Отбор почвенных образцов в вариантах опыта проводили по стандартной методике [21] из слоя 0–10 см. Определяли влажность и температуру почвы [22].

**Таблица 1.** Содержание общего органического углерода и общего азота в дерново-подзолистой супесчаной почве (К – контроль, Б – биоуголь)

Показатель, %	Срок отбора	Почва	СОК			ВОК		
		Вариант/Год	2019 г.	2020 г.	2021 г.	2019 г.	2020 г.	2021 г.
C <sub>орг</sub>	Начало вегетационного периода	К	1.53 ± 0.02	1.54 ± 0.08	1.52 ± 0.24	2.92 ± 0.04	2.98 ± 0.03	2.95 ± 0.23
		Б	–	1.57 ± 0.13	1.58 ± 0.09	–	3.16 ± 0.09	3.21 ± 0.24
	Окончание вегетационного периода	К	1.49 ± 0.09	1.56 ± 0.08	1.55 ± 0.12	2.95 ± 0.08	2.99 ± 0.11	3.00 ± 0.05
		Б	–	1.62 ± 0.04	1.62 ± 0.06	–	3.19 ± 0.06	3.26 ± 0.13
N <sub>общ</sub>	Начало вегетационного периода	К	0.17 ± 0.01	0.17 ± 0.02	0.17 ± 0.22	0.28 ± 0.02	0.29 ± 0.04	0.29 ± 0.06
		Б	–	0.18 ± 0.04	0.18 ± 0.27	–	0.31 ± 0.08	0.32 ± 0.05
	Окончание вегетационного периода	К	0.17 ± 0.06	0.17 ± 0.05	0.17 ± 0.01	0.28 ± 0.0.8	0.29 ± 0.07	0.29 ± 0.09
		Б	–	0.18 ± 0.03	0.18 ± 0.14	–	0.31 ± 0.11	0.33 ± 0.12

Примечание. СОК – почва со средней степенью окультуренности, ВОК – почва с высокой степенью окультуренности, К – почва-контроль (без биоугля), Б – почва с биоуглем, C<sub>общ</sub> – содержание общего органического углерода, N<sub>общ</sub> – содержание общего азота. То же в табл. 2.

Определение общего органического углерода осуществляли по методу Тюрина, общего азота – по Кьельдалю [22]. Определение углеводов проводили фенолсернокислым методом Дюбуа [23]. Навеску почвы помещали в центрифужную пробирку, добавляли 1 мл H<sub>2</sub>O, 1 мл 5%-ного раствора фенола, 5 мл концентрированной серной кислоты. После остывания смесь центрифугировали и определяли оптическую плотность раствора при длине волны 488–490 нм. Содержание углеводов рассчитывали по калибровочному графику с использованием стандартного раствора глюкозы, определение липидоподобных веществ проводили с использованием аппарата Сокслета [23]. Определение фенолов проводили по ПНД Ф 16.1: 2.3 : 3.44–05. Определение лигнина производили по методике, подробно описанной в [1].

Влажность почвы определяли термостатно-весовым методом [22], температуру – с использованием электронных датчиков iButton DS 1921 (Dallas Semiconductor, США), установленных на глубине 10 см с дальнейшей расшивкой в программе 1-Wire Net.

Статистическая обработка результатов включала вычисления средних, стандартных отклонений, корреляций Пирсона. Достоверность различий средних и влияния факторов оценивали с помощью двухфакторного дисперсионного анализа (ANOVA).

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Внесение биоугля привело к незначительному увеличению содержания как общего органического углерода, так и азота в почве обоих изученных вариантов (табл. 1).

Показателем, характеризующим качество органического вещества почвы, является углерод-азотное соотношение (C : N). Большинство гумусовых горизонтов имеет данную величину, равную 8–10 [24]. В опыте за весь период наблюдений данное соотношение в почве СОК составило 9, в почве ВОК – 10, за исключением варианта ВОК-К (контроль) по окончании вегетационного периода 2019 г., где данный показатель был равен 11.

Внесение биоугля приводило к изменению содержания некоторых индивидуальных органических компонентов почвы. Анализ полученных результатов 3-летнего полевого эксперимента выявил общую тенденцию к уменьшению содержания фенолов (табл. 2). В мета-анализе сообщили о более низком уровне фенолов в условиях потепления [25]. Однако повышение температуры приводит как к уменьшению содержания фенолов, так и к их увеличению [26]. Исходное содержание фенолов в высокоокультуренной почве было больше, чем в среднеокультуренной на 8%. К окончанию 3-х лет вегетации наблюдали снижение содержания фенолов в среднеокультуренной почве на 48%. В высокоокультуренной почве данное снижение составило 46%. Внесение в почву биоугля привело к незначительному повышению содержания фенолов относительно контрольных вариантов. В вариантах СОК внесение биоугля способствовало увеличению содержания фенолов в почве на 6, в варианте ВОК – на 5%.

В почве фенолы разлагаются в основном грибами (например, базидиомицетами) и бактериями (например, псевдомонадами). Данные микроорганизмы выделяют внеклеточные ферменты в почву, разрушающие фенольные соединения. Ферменты, разлагающие фенолы, называют полифенолоксидазой и пероксидазой [27].

**Таблица 2.** Изменение содержания неспецифических органических соединений в дерново-подзолистой супесчаной почве с разной степенью окультуренности с биоуглем и без биоугля в начале и по окончании вегетационных периодов 2019–2021 гг.

Вариант	2019 г.		2020 г.		2021 г.	
	22.05	25.09	19.05	21.08	25.05	25.08
Содержание фенолов, мг/кг						
СОК-К	1.32 ± 0.15	0.852 ± 0.070	0.820 ± 0.066	0.712 ± 0.057	0.715 ± 0.057	0.638 ± 0.051
СОК-Б	–	0.970 ± 0.078	0.834 ± 0.067	0.736 ± 0.059	0.764 ± 0.061	0.679 ± 0.054
ВОК-К	1.44 ± 0.16	0.884 ± 0.071	0.825 ± 0.066	0.729 ± 0.058	0.708 ± 0.057	0.663 ± 0.053
ВОК-Б	–	0.951 ± 0.076	0.850 ± 0.068	0.821 ± 0.066	0.752 ± 0.060	0.695 ± 0.055
Содержание лигнина, г/кг почвы						
СОК-К	0.6 ± 0.09	0.8 ± 0.1	0.81 ± 0.1	1.18 ± 0.011	0.71 ± 0.1	1.11 ± 0.010
СОК-Б	–	0.81 ± 0.09	0.89 ± 0.11	1.29 ± 0.12	0.87 ± 0.08	1.48 ± 0.15
ВОК-К	1.30 ± 0.20	1.50 ± 0.21	1.34 ± 0.12	1.39 ± 0.13	1.06 ± 0.10	1.61 ± 0.15
ВОК-Б	–	1.54 ± 0.23	1.63 ± 0.15	1.71 ± 0.15	1.44 ± 0.13	1.79 ± 0.16
Содержание, липидоподобных соединений, г/кг почвы						
СОК-К	0.14 ± 0.02	0.16 ± 0.02	0.13 ± 0.02	0.15 ± 0.02	0.16 ± 0.02	0.20 ± 0.03
СОК-Б	–	0.21 ± 0.03	0.16 ± 0.02	0.18 ± 0.03	0.20 ± 0.03	0.18 ± 0.03
ВОК-К	0.21 ± 0.03	0.21 ± 0.03	0.21 ± 0.03	0.23 ± 0.03	0.24 ± 0.03	0.21 ± 0.03
ВОК-Б	–	0.21 ± 0.03	0.23 ± 0.03	0.25 ± 0.04	0.21 ± 0.02	0.26 ± 0.04
Содержание гидролизуемых углеводов, г/кг почвы						
СОК-К	4.26 ± 0.72	3.03 ± 0.54	4.12 ± 0.74	4.31 ± 0.77	0.70 ± 0.13	0.60 ± 0.11
СОК-Б	–	3.13 ± 0.56	4.51 ± 0.81	4.57 ± 0.82	0.60 ± 0.11	0.70 ± 0.13
ВОК-К	5.09 ± 0.86	3.44 ± 0.62	4.98 ± 0.89	5.11 ± 0.92	1.60 ± 0.29	1.30 ± 0.23
ВОК-Б	–	5.20 ± 0.94	5.17 ± 0.93	5.47 ± 0.99	1.00 ± 0.18	0.70 ± 0.13

На разложение фенолов влияют факторы окружающей среды, такие как рН почвы, температура, доступность кислорода, состав субстрата. В исследовании авторов данной статьи для описываемого объекта отмечен факт увеличения пероксидазной активности и уменьшения полифенолоксидазной активности при увеличении температуры [28]. Известно, что пероксидаза в большей степени способствует минерализации органического вещества почвы, что могло привести к снижению концентрации фенолов в почве. Корреляционная связь между содержанием фенолов в почве и ее температурой и влажностью носила слабый положительный характер:  $r = 0.03–0.22$ , величины коэффициентов были недостоверными ( $p = 0.05$ ).

В растениях лигнин является инертным конечным продуктом, который уже не привлекается к метаболизму и выполняет лишь механические функции. Лигнин устойчив к воздействию микроорганизмов. В разложении лигнина в аэробных условиях принимают участие *Basidiomycetes*, а также бактерии рода *Pseudomonas*. В анаэробных условиях лигнин разлагается при участии бактерий рода *Clostridium*. Считают, что лигнин может трансформироваться и актиномицетами. В связи с тем, что лигнин разрушается относительно мед-

ленно, он накапливается в почве. Образование гумуса из лигнина происходит под влиянием ферментов грибов и бактерий во влажных условиях и при ограниченном доступе кислорода, т.е. практически в анаэробных условиях. Дегградация лигнина происходит под воздействием внеклеточных ферментов-оксидоредуктаз грибов.

Содержание лигнина в течение 3-х вегетационных периодов увеличивалось к окончанию каждого вегетационного периода, наблюдали и его увеличение по истечении 3-летнего эксперимента во всех вариантах опыта: в варианте СОК – в 1.9 раза, в варианте СОК-Б (биоуголь) – в 2.5 раза, в варианте ВОК – в 1.2 раза, в варианте ВОК-Б – в 1.4 раза по сравнению с началом эксперимента. Такое распределение содержания лигнина по годам связано прежде всего с видом выращиваемых культур, в частности с соотношением С : N в растительных остатках и погодными условиями. В работе [12] показано увеличение скорости минерализации лигнина с увеличением углерод-азотного соотношения в материале в течение первых 7-ми сут, затем в течение 7–12 сут скорости минерализации лигнина с разным С : N не отличались, далее до конца опыта (61-е сут) отмечена отрицательная логарифмическая зависимость скорости минерализации от величины С : N. Показано вли-

ание состава разлагающегося материала и температуры: в работе [29] обнаружили, что повышение температуры от 7 до 37°C значительно увеличивало скорость разложения лигнина.

В опыте содержание лигнина в целом было больше в почве с высокой степенью окультуренности. В начале периода наблюдений величина данного параметра в почве ВОК была в 2 раза больше, чем в почве СОК. По окончании 3-летнего периода наблюдений разница между контрольными вариантами составила 31%. Внесение биоугля увеличило содержание лигнина к окончанию эксперимента в почве СОК на 25, в почве ВОК – на 10% по сравнению с контрольными вариантами. По величине соотношения лигнин: N можно судить о качестве растительных остатков и скорости их разложения [30]. В описываемом опыте качество растительных остатков было высоким и скорость разложения – быстрой, т.к. соотношение лигнин: N было <5 во всех вариантах опыта, за весь период исследования. Данные корреляционного анализа показали достоверное ( $p = 0.05$ ) увеличение накопления лигнина в почве с уменьшением ее влажности:  $r = -0.09...-0.66$ .

Почва опыта характеризовалась низким уровнем содержания липидоподобных соединений. Известно, что накопление липидов в гумусовых горизонтах почв находится в обратной зависимости от степени гумификации. В почвах с высокой степенью гумификации органического вещества (ОВ) содержание липидов низкое. Содержание липидов в верхних горизонтах составляет 3–8%, редко превышает 10% от общего органического углерода. В описываемом опыте содержание липидов было больше в почвах с высокой степенью окультуренности. Изначально перед внесением биоугля данная разница составляла 1.5 раза. По окончании 3-х лет опыта разница между контрольными вариантами была незначительная и составляла 5%. Внесение биоугля не способствовало значительному изменению содержания липидоподобных соединений. Внесение биоугля в среднеокультуренную почву привело к уменьшению содержания липидоподобных веществ по окончании 3-летней вегетации на 10%. Биоуголь в почве ВОК способствовал увеличению содержания липидоподобных веществ на 24%. В почве опыта наблюдали тенденцию к увеличению содержания данных веществ при применении биоугля как в вариантах СОК, так и в вариантах ВОК. Корреляционная связь между содержанием липидов в почве СОК и ее температурой и влажностью носила положительный недостоверный характер:  $r = 0.1-0.48$ . В почве ВОК отмечена связь противоположного характера:  $r = -0.02...-0.77$ . При этом в варианте ВОК с биоуглем коэффициент корреляции был достоверным ( $p = 0.05$ ).

Почвенные углеводы составляют от 5 до 25% почвенного органического вещества [31]. Отмечено, что  $\approx 30\%$  растворимого почвенного органического углерода пахотных земель приходится на долю углеводов [32]. Для перевода абсолютного количества углеводов на содержание углерода углеводов используют коэффициент 0.4 [5].

По окончании вегетационного периода 2020 г. отмечали увеличение содержания углеводов во всех вариантах. В вариантах с биоуглем данное увеличение было несколько больше. Однако в 2021 г. почвы эксперимента характеризовались низким уровнем содержания углеводов. Общий низкий уровень содержания углеводов в 2021 г. мог быть связан с высокой биологической активностью почвы после запашки сидеральной культуры (люпина) в 2020 г. Растительные остатки имеют разную скорость разложения в почве, скорость разложения зависит от их химического состава. Остатки с более высоким содержанием углеводов и аминокислот и меньшим содержанием фенольных кислот обладают большей скоростью минерализации углерода по сравнению с остатками с более низким содержанием углеводов и высоким – фенолов [33]. Кроме того, растительные остатки разделяют на быстро-, умеренно-, медленно- и слаборазлагаемые по мере расширения соотношения углерода к азоту [30]. С наибольшей скоростью разлагаются растительные остатки с узким соотношением C : N, к таковым относят остатки бобовых культур (C : N = 19–27), с меньшей – остатки зерновых: например, озимая пшеница имеет C : N = 52 [34].

По истечении 3-х лет эксперимента зафиксировано уменьшение содержания углеводов в почве СОК в 7 раз, в почве ВОК – в 4 раза по сравнению с началом эксперимента. Углеводы в почве не могут накапливаться в значительных количествах вследствие потребления их микроорганизмами и растениями.

Внесение биоугля в почву СОК позволило несколько уменьшить потери углеводов, в почве ВОК такого не произошло. Корреляционный анализ выявил увеличение накопления углеводов в почве с уменьшением ее влажности:  $r = -0.2...-0.59$ . При этом достоверную корреляционную связь отмечали в варианте СОК с биоуглем. Влияние температуры оказалось слабым и неоднозначным:  $r = -0.004...0.05$ , коэффициенты  $r$  были недостоверными. В начале эксперимента почва СОК содержала углеводов 11% от  $C_{\text{орг}}$ , почва ВОК – 7%. По окончании опыта в 2021 г. произошло значительное уменьшение данного показателя, в почве СОК до 1.55–1.73%, в почве ВОК – до 0.86–1.73%. Корреляционная зависимость между содержанием углеводов и  $C_{\text{орг}}$  в период 2019–2020 гг. была высокой и достоверной ( $p = 0.05$ ):  $r = 0.70-0.92$ ,

за исключением варианта ВОК-контроль, где зависимость была слабее:  $r = 0.20$ .

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, было показано, что по окончании эксперимента произошло увеличение содержания общего органического углерода: в контрольном варианте среднеокультуренной почвы — на 0.02%, в контроле высокоокультуренной почвы — на 0.09%. Внесение биоугля привело к увеличению данного показателя в почве СОК на 0.08, в почве ВОК — на 0.34%.

За 3 года эксперимента выявлена тенденция к накоплению лигнина во всех вариантах опыта. В вариантах СОК произошло увеличение содержания лигнина на 0.5–0.9 г/кг почвы, в вариантах ВОК — на 0.3–0.5 г/кг почвы, при этом наибольшее накопление было характерно для вариантов с биоуглем.

Также зафиксировано снижение содержания простых фенольных соединений с течением времени во всех вариантах опыта приблизительно в 2 раза. Можно отметить, что внесение биоугля не привело к какому-либо значительному изменению содержания липидоподобных соединений и углеводов ни в среднеокультуренной, ни в высокоокультуренной почве.

Двухфакторный дисперсионный анализ в полевом эксперименте 2019–2021 гг. не выявил преимущественного влияния на изменение содержания фенолов в дерново-подзолистой супесчаной почве внесения биоугля и степени ее окультуренности.

Преимущественное положительное влияние на накопление в почве лигнина в начале 3-летнего опыта оказала степень окультуренности почвы:  $F_{\text{факт}} > F_{\text{крит}}$  ( $2272.11 > 161.45$  при  $p < 0.01$ ). По окончании эксперимента отмечено, что и степень окультуренности и внесение биоугля положительно влияли на содержание лигнина. Однако влияние степени окультуренности проявлялось сильнее ( $F_{\text{факт}} > F_{\text{крит}}$ ,  $3325.44 > 161.45$  при  $p < 0.01$  для степени окультуренности и  $1320.11 > 161.45$  при  $p < 0.01$  для внесения биоугля). По окончании полевого эксперимента зафиксировано положительное влияние на изменение содержания липидоподобных соединений почвы дозы органических удобрений:  $F_{\text{факт}} > F_{\text{крит}}$ ,  $289 > 161.45$  при  $p < 0.03$ . Выявлено положительное влияние степени окультуренности почвы на содержание гидролизующих углеводов в 2020 г.:  $F_{\text{факт}} > F_{\text{крит}}$ ,  $1036.84 > 161.45$  при  $p < 0.02$ . В остальной период наблюдений такого влияния не выявлено.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Химия древесины и ее основных компонентов. Барнаул, 2002. 50 с.
2. Бойцова Л.В., Рижия Е.Я., Дубовицкая В.И. Динамика кислотности и емкости катионного обмена дерново-подзолистой супесчаной почвы при внесении биоугля // *Агрохимия*. 2021. № 9. С. 22–29.
3. Бойцова Л.В., Рижия Е.Я., Москвин М.А. Содержание минеральных форм азота в дерново-подзолистой супесчаной почве разной степени окультуренности при внесении в нее биоугля // *Агрохимия*. 2021. № 11. С. 25–32.
4. Литвинович А.В., Хаммам А.А.М., Лаврищев А.В., Павлова О.Ю. Мелиоративные свойства и удобрительная ценность различных по размеру фракций биоугля (по данным лабораторных экспериментов) // *Агрохимия*. 2016. № 9. С. 46–53.
5. Чимитдоржиева Э.О., Чимитдоржиева Г.Д., Цыбе-нов Ю.Б., Мильхеев Е.Ю., Егорова Р.А. Неспецифические органические вещества лесостепных и степных почв Забайкалья // *Усп. совр. естествозн.* 2019. № 12 (1). С. 181–185.
6. Bravo L. Polyphenols: chemistry, dietary sources, metabolism, and nutritional significance // *Nutr. Rev.* 1998. V. 56. № 11. P. 317–333.
7. Cates R.G., Rhoades D.F. Patterns in the production of anti-herbivore chemical defenses in plant communities // *Biochem. Systemat. Ecol.* 1977. V. 5. № 3. P. 185–193.
8. Елин Е.С. Фенольные соединения в биосфере. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2001. 392 с.
9. Muscolo A., Sidari M., Teixeira da Silva J.A. Biological effects of water-soluble soil phenol and soil humic extracts on plant systems // *Acta Physiol. Plantarum*. 2013. V. 35. P. 309–320.
10. Li Z.H., Wang Q., Ruan X., Pan C.D., Jiang D.A. Phenolics and plant allelopathy // *Molecules*. 2010. V. 15. P. 8933–8952.
11. Cesco S., Mimmo T., Tonon G., Tomasi N., Pinton R., Terzano R., Neumann G., Weisskopf L., Renella G., Landi L., Nannipieri P. Plant-borne flavonoids released into the rhizosphere: impact on soil bio-activities related to plant nutrition. A review // *Biol. Fertil. Soils*. 2012. V. 48. P. 123–149.
12. Квиткина А.К., Журавлева А.И., Дударева Д.М., Быховец С.С. Влияние соотношения углерода к азоту (C/N) на минерализацию и трансформацию лигнина: модельный подход // *Экол. урбанизир. территорий*. 2020. № 2. С. 30–40. <https://doi.org/10.24411/1816-1863-2020-12030>
13. Заварзин Г.А. Лекции по природоведческой биологии. М.: Наука, 2004. 348 с.
14. Bull I.D., Van Bergen P.F., Nott C.J., Poulton P.R., Evershed R.P. Organic geochemical studies of soils from the Rothamsted classical experiments-V. The fate of lipids in different long-term experiments // *Organic Geochem.* 2000. V. 31. P. 389–408.
15. Assis C.P., González-Vila F.J., Jucksch I., González-Pérez J.A., Neves J.C.L., Lani J.L., Mendonça E.S. Lipid abundance and composition of a humic Oxisol as a function of land use // *Sci. Agric. (Piracicaba, Braz.)*. V. 68. № 2. P. 230–236.

16. Weisenberg G.L.B., Dorodnikov M., Kuzyakov Y. Source determination of lipids in bulk soil and soil density fractions after four years of wheat cropping // *Geoderma*. 2010. V. 156. P. 267–277.
17. Nehls U., Grunze N., Willmann M., Reich M., Kuster H. Sugar for my honey: carbohydrate partitioning in ectomycorrhizal symbiosis // *Phytochemistry*. 2007. V. 68. № 1. P. 82–91.
18. Kantar C., Cetin Z., Demiray H. In situ stabilization of chromium(VI) in polluted soils using organic ligands: the role of galacturonic, glucuronic and alginic acids // *J. Hazard. Mater.* 2008. V. 159. № 2–3. P. 287–293.
19. Merila P., Malmivaara-Lamsa M., Spetz P. Soil organic matter quality as a link between microbial community structure and vegetation composition along a successional gradient in a boreal forest // *Appl. Soil Ecol.* 2010. V. 46. № 2. P. 259–267.
20. Моисеев К.Г., Гончаров В.Д., Зинчук Е.Г., Рижия Е.Я., Бойцова Л.В., Гурин П.Д., Старцев А.С., Пищик В.Н. База данных почвенного покрова Меньковского филиала ГНУ АФИ Россельхозакадемии (структура почвенного покрова, геоморфологическое строение, физические и геохимические свойства почв) Свид-во о регистрации базы данных RU2013620682. Заявка №2013620301 от 22.03.2013.
21. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта. М.: Колос, 1979. 419 с.
22. Растворова О.Г., Андреев Д.П., Гагарина Э.И., Касаткина Г.А., Федорова Н.Н. Химический анализ почв. Учеб. пособ. СПб.: Изд-во СПбГУ, 1995. 264 с.
23. Орлов Д.С., Гришина Л.А. Практикум по химии гумуса. М.: Изд-во МГУ, 1981. 272 с.
24. Орлов Д.С., Бирюкова О.Н., Суханова Н.И. Органическое вещество почв Российской Федерации. М.: Наука, 1996. 253 с.
25. Zvereva E.L., Kozlov M.V. Consequences of simultaneous elevation of carbon dioxide and temperature for plant-herbivore interactions: a metaanalysis // *Global Change Biol.* 2006. V. 12. № 1. P. 27–41.
26. Yi W., Wetzstein H.Y. Biochemical, biological and histological evaluation of some culinary and medicinal herbs grown under greenhouse and field conditions // *J. Sci. Food Agric.* 2010. V. 90. № 6. P. 1063–1070.
27. Sinsabaugh R.L. Phenol oxidase, peroxidase and organic matter dynamics of soil // *Soil Biol. Biochem.* 2010. V. 42. № 3. P. 391–404.
28. Рижия Е.Я., Бойцова Л.В., Вертебный В.Е., Хорак Я., Москвин М.А., Дубовицкая В.И., Хомяков Ю.В. Изменчивость полифенолоксидазной и пероксидазной активности агродерново-подзолистой почвы разной окультуренности с биоуглем // *Сел.-хоз. биол.* 2022. Т.57. №3. С. 476–485. <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2022.3.476rus>
29. Waksman S.A., Gerretson F.C. The influence of temperature and moisture upon the nature and extent of the decomposition of plant residues by microorganisms // *Ecology*. 1931. V. 12. P. 33–60.
30. Семенов В.М., Ходжаева А.К. Агроэкологические функции растительных остатков в почве // *Агрохимия*. 2006. № 7. С. 63–81.
31. Spaccini R., Mbagwub J.S.C., Igwe C.A., Conte P., Piccolo A. Carbohydrates and aggregation in lowland soils of Nigeria as influenced by organic inputs // *Soil Till. Res.* 2004. V. 75. P. 161–172.
32. Tian L., Dell E., Shi W. Chemical composition of dissolved organic matter in agroecosystems: correlations with soil enzyme activity and carbon and nitrogen mineralization // *Appl. Soil Ecol.* 2010. V. 46. № 3. P. 426–435.
33. Martens D.A., Loeffelmann K.L. Improved accounting of carbohydrate carbon from plants and soils // *Soil Biol. Biochem.* 2002. V. 34. P. 1393–1399.
34. Новиков А.А., Кисаров О.П. Обоснование роли корневых и пожнивно-корневых остатков в агроценозах // *Научн. журн. КубГАУ*. 2012. № 78 (04). С. 1–10.

## Nonspecific Organic Compounds in Sandy Loam Spodosol with Biochar

L.V. Boitsova<sup>a, #</sup>, E.Y. Rizhiya<sup>b</sup>, and V.E. Verтеbny<sup>a</sup>

<sup>a</sup>Agrophysical Research Institute, Grazhdansky prosp. 14, St. Petersburg, 195220, Russia

<sup>b</sup>Russian State Hydrometeorological University, Voronezhskaya ul. 79, St. Petersburg 192007, Russia

<sup>#</sup>E-mail: larisa30.05@mail.ru

In a three-year small-scale experiment, the effect of the introduction of bio-coal on the content of individual organic compounds (low molecular weight phenols, lignin, lipid-like compounds, carbohydrates) in sod-podzolic sandy loam soil was studied. The experiment was started at the Agrophysical hospital MOS-AFI (Leningrad region). Sod-podzolic sandy loam soils differed in the degree of cultivation: medium-cultivated (MCS) and highly cultivated (HCS). The scheme of the experiment: control (without biochar) and soil with biochar at a dose of 20 t/ha. Determination of total organic carbon ( $C_{org}$ ) was carried out by the Tyurin method, total nitrogen ( $N_{tot}$ ) – by Kjeldahl. The determination of carbohydrates was carried out by the Dubois phenolic acid method, phenols – according to HDPE F 16.1: 2.3: 3.44–05, lignin – according to the method described in [1]. The introduction of bio-coal led to an increase in the content of lignin in the MCS soil by 0.08%, in the HCS soil – by 0.34%. During the 3 years of the experiment, a tendency to the accumulation of lignin was observed. In the MCS variants, there was an increase in the lignin content by 0.5–0.9 g/kg of soil, in the HCS variants – by 0.3–0.5 g/kg of soil, while the greatest accumulation was characteristic of the biochar variants. A decrease in the content of simple phenolic compounds over time was recorded in all variants of the experiment by about 2 times. It can be noted that the introduction of bio-coal did not lead to any significant change in the content of lipid-like compounds and carbohydrates in the MCS- and HCS soil.

**Key words:** biochar, soil, phenols, lignin, lipid-like compounds, carbohydrates.



УДК 631.8:631.416.9:631.417:631.445.4

## ВЛИЯНИЕ УДОБРЕНИЙ НА СОДЕРЖАНИЕ МИКРОЭЛЕМЕНТОВ В МОРТМАССЕ ЛУГОВО-ЧЕРНОЗЕМНОЙ ПОЧВЫ

© 2022 г. Н. А. Воронкова<sup>1</sup>, В. А. Волкова<sup>1,\*</sup>, Н. Ф. Балабанова<sup>1</sup>, Н. А. Цыганова<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Омский аграрный научный центр 644012 Омск, ул. Королёва, 26, Россия

\*E-mail: volkovava1989@yandex.ru

Поступила в редакцию 10.06.2022 г.

После доработки 07.07.2022 г.

Принята к публикации 12.08.2022 г.

В длительном стационарном опыте на лугово-черноземной почве лесостепной зоны Западной Сибири установлено, что содержание Cu, Zn, Mn, Ni, Co в мортмассе лабильной фракции органического вещества почвы аналогично содержанию их в почве. Доля этих элементов в общем микроэлементном фонде почвы составила не более 0.5%. Выявлено, что в мортмассе доля Cu составила 18–42, Zn – 21–28, Ni – 13–19% от их количеств, находящихся в почве в подвижной форме. Установлено, что в мортмассе содержание Cu, Zn, Co находилось в тесной взаимосвязи ( $r = 0.94–0.95$ ) с содержанием подвижных форм этих элементов в почве, а содержание Mn и Ni – с содержанием их кислоторастворимых форм ( $r = 0.80–0.93$ ). При внесении минеральных удобрений и соломы отмечена положительная тенденция к увеличению содержания этих микроэлементов в мортмассе лабильной фракции органического вещества почвы.

*Ключевые слова:* микроэлементы, мортмасса, лабильная фракция, органическое вещество почвы, удобрения.

DOI: 10.31857/S0002188122110102

### ВВЕДЕНИЕ

Почвенный покров – один из важных резервуаров микроэлементов на планете, источником которых являются первичные минералы почвообразующих пород, а их биохимическую активность определяет органическое вещество почвы (ОВП). Существует общепринятое мнение, что ОВП полифункционально, т.к. от его количества и качества зависит питательный, водный, воздушный и тепловой режимы почвы; и поликомпонентно, т.к. выделяют ряд его пулов и фракций. ОВП условно делится на 3 пула: стабильное, лабильное и инертное. Лабильная фракция (ЛФ) состоит из остатков биоты разной степени разложения и их продуктов [1, 2]. По мере усиления переработанности почвенной микрофлорой, вещество ЛФ можно расположить в ряд: мортмасса, детрит, подвижный гумус. Мортмасса представляет собой часть ЛФ, которая практически не затронута процессом микробиологической переработки. Кроме того, она является субстратом и центром микробной активности почвы, легко разлагается почвенной микрофлорой, вовлекая в кругооборот биологически значимые элементы, в том числе и микроэлементы [3]. Закономерности влияния гумусных веществ на трансформацию и

аккумуляцию микроэлементов в ОВП представлены в работах [4–8] и многих других. Ими детально исследована кинетика органо-минеральных взаимодействий органического вещества почвы с микроэлементами. Установлено, что этот сложный химический процесс зависит от множества абиотических факторов (почвы, климата и т.п.), биотических (вид растения, сорт и т.п.) и агрогенных (системы применения удобрения, обработки почвы и т.п.). Вместе с тем при оценке микроэлементного статуса почвы ранее в работах преимущественно оценивали лишь способность ОВП к депонированию тяжелых металлов, а его функционал, как резерв подвижных биологически значимых микроэлементов, зачастую не рассматривали. В связи с этим цель работы – изучение микроэлементного состава мортмассы ЛФ органического вещества лугово-черноземной почвы в зависимости от применения минеральных удобрений и соломы.

### МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследование проводили в 2019–2021 гг. в длительном стационарном опыте (год закладки – 1988) на опытном полигоне лаборатории агрохи-

**Таблица 1.** Агрохимическая характеристика почвы опытного участка (слой 0–20 см)

Содержание углерода, %	рН	Сумма обменных катионов, ммоль/100 г почвы	Состав ППК, %			Содержание, мг/кг						
						макроэлементов		микроэлементов				
			Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	Cu	Ni	Co	Zn	Mn
3.72–3.84	6.4–6.7	32.1	88	11	<1	105–128	350–450	24	30	15	60	680

мии Омского аграрного научного центра в Сибирском Федеральном округе Российской Федерации. Территориально опытный участок размещен на Евразийском континенте (географическая привязка 55°01' с.ш. и 73°23' в.д.) в лесостепной зоне Западно-Сибирской низменности. Климат региона – типично континентальный с продолжительной зимой и коротким жарким летом, поздними весенними и ранними осенними заморозками. Западно-Сибирская низменность с запада ограждена Уральским хребтом, с востока – Средне-Сибирским нагорьем, совершенно открыта с севера и мало защищена с юга. В результате этого на территорию свободно вторгаются холодные арктические воздушные массы и теплые сухие из пустынь и степей Казахстана и Средней Азии. Характерными показателями температурных условий лесостепной зоны Западной Сибири являются: холодная и суровая зима, жаркое лето, ветреная и сухая весна, непродолжительная осень, короткий безморозный период, резкие колебания температуры от месяца к месяцу, от одних суток к другим и даже в течение суток. Годовая амплитуда температуры воздуха достигает 80–90°C, что подчеркивает резкую континентальность местного климата. Среднегодовое количество

осадков в южной лесостепи Омской обл. составляет 300–320 мм.

Объект исследования – лугово-черноземная среднемошная среднегумусовая тяжелосуглинистая почва. Эта почва является полугидроморфным аналогом черноземов. Формируется под травянистой растительностью в лесостепной и лугово-степной зоне в условиях повышенного увлажнения за счет почвенно-грунтовых вод, залегающих на глубине 3–6 м [9]. Территория опытного участка расположена в области четвертичных аллювиальных равнин. Почвообразующие породы представлены палево-бурыми тяжелыми глинами и суглинками. Характеристика почвы опытного участка представлена в табл. 1.

Исследование проводили на основе 6-польного зернотравяного севооборота, развернутого во времени и в пространстве, со следующим чередованием культур: люцерна 3-х лет вегетации – яровая пшеница – яровая пшеница – овес. Оценку содержания органического вещества и микроэлементов проводили перед посевом пшеницы после люцерны.

Опыт заложен методом расщепленных делянок, площадь элементарной делянки – 200 м<sup>2</sup> (10 × 20), учетной – 36 м<sup>2</sup> (1.8 × 20). Повторность опыта четырехкратная. Изучали следующие факторы (табл. 2): применение минеральных удобрений (фактор *A*) – без удобрений, N10P17, N15P23 (на 1 га севооборотной площади); использование соломы (фактор *B*) – без соломы (солому удаляли механически комбайном с копнителем), внесение соломы зерновых культур после уборки в количестве, соответствующем урожаю (1.68–2.20 т/га).

В качестве минеральных удобрений использовали N<sub>аа</sub> (содержание азота 34%) и АФ (содержание фосфора – 52, азота – 12%). Удобрения внесли весной до посева локально сеялкой на глубину 6–8 см. Солому зерновых культур измельчали при уборке и оставляли в поле в коли-

**Таблица 2.** Система применения минеральных удобрений в зернотравяном севообороте

Культура	Система удобрения		
	без удобрений	N10P17	N15P23
Люцерна	–	P60	P60
Яровая пшеница	–	–	–
Яровая пшеница	–	N30P40	N60P40
Овес	–	N30	N30P40

**Таблица 3.** Содержание общего углерода почвы и лабильной фракции ОВП в зависимости от системы применения удобрений

Вариант	Содержание углерода, %		Доля углерода ЛФ от содержания углерода почвы, %	Запасы ЛФ, т/га
	почвы (общее)	лабильной фракции ОВП		
Контроль (без удобрений)	3.91	0.07	1.74	9.1
Солома	3.90	0.08	2.15	10.2
N10P17	4.00	0.10	2.40	11.4
N10P17 + солома	4.00	0.12	2.88	12.5
N15P23	4.08	0.11	2.68	12.1
N15P23 + солома	4.08	0.13	3.09	13.5
HCP <sub>05</sub>	0.12	0.04	—	2.3

честве, соответствующем ее урожаю с последующей заделкой.

В опыте высевали районированные сорта сельскохозяйственных культур: яровую мягкую пшеницу (*Triticum aestivum*) сорта Омская 36, овес (*Avena sativa*) сорта Иртыш 22, люцерну (*Medicago sativa*) сорта Флора 8. Посев и учет урожайности культур проводили в оптимальные сроки. Агротехника возделывания культур – общепринятая для зоны. Метеорологические условия в течение периода исследования различались по тепло- и влагообеспеченности. Вегетационный период 2019 г. был близким по всем показателям к среднелетним нормам. Погодные условия 2020 и 2021 гг. были засушливыми.

Для решения поставленной цели в почвенных образцах определяли следующие показатели: общий углерод – по Тюрину в модификации Никитина, запасы углерода лабильной фракции – путем отмывки негумифицированного органического вещества водой на сите с диаметром ячеек 0.25 мм. Кислоторастворимые формы микроэлементов (>90% от содержания общего фонда микроэлементов в почве) экстрагировали 5М HNO<sub>3</sub> в течение 3-х ч на водяной бане при температуре 100°C, объем экстракта 50 мл, масса почвы 2 г. Подвижные формы (доступные для растений) определяли в 1 н. ацетатно-аммонийном буфере при pH 4.8 после отстаивания пробы почвы (10 г) в течение 24 ч, объем фильтрата 100 мл. Содержание микроэлементов в ЛФ определяли после сухого озоления при температуре 525 ± 25°C с последующим растворением сухого остатка золы в 50%-ном растворе HNO<sub>3</sub> в течение 1 ч на водяной бане при температуре 100°C, объем экстракта 50 мл, масса навески 2 г. Конечное определение

элементов проводили методом атомно-абсорбционной спектроскопии на спектрометре Varian 140.

Данные обработаны дисперсионным и корреляционным методами статистического анализа с использованием программы Statist.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Длительное землепользование, применение агрохимических средств интенсифицируют минерализационные процессы в почве, тем самым ускоряя процесс высвобождения биофильных элементов [10], в том числе и микроэлементов. Известно, что ОВП имеет химически реакционную природу, оно активно образует органо-минеральные соединения, выполняя тем самым функцию геохимического барьера, а также источника микроэлементов, жизненно необходимых для роста и развития живых организмов [11]. При исследовании почвенных проб опытного участка установлено, что в варианте без применения удобрений содержание почвенного углерода было на уровне 3.91% (табл. 3). Систематическое внесение минеральных удобрений повысило содержание углерода на 0.09–0.18%. Новообразование ОВП было обусловлено большим поступлением растительных и корнепоживных остатков в этих вариантах в сравнении с контрольным.

Одним из важных критериев оценки эффективного плодородия является содержание углерода мортмассы ЛФ. Содержание углерода мортмассы ЛФ в удобренном варианте составило 0.07%, в удобренных вариантах оно варьировало от 0.10 до 0.13%. Следует отметить, что углерод мортмассы ЛФ составлял не более 4% от общего углерода в почве. Оптимизация минерального

**Таблица 4.** Содержание микроэлементов в почве (слой 0–20 см) в зависимости от применения минеральных удобрений и соломы, мг/кг

Вариант	Содержание микроэлементов									
	кислоторастворимые формы					подвижные формы				
	Cu	Zn	Mn	Ni	Co	Cu	Zn	Mn	Ni	Co
Контроль (без удобрений)	16.81	49.67	562.47	40.66	13.26	0.19	0.94	75.92	1.15	0.85
Солома	18.99	53.86	565.32	44.92	17.02	0.24	0.96	77.88	1.17	0.88
N10P17	16.65	47.55	554.7	41.46	13.87	0.20	0.80	86.29	1.14	0.52
N10P17 + солома	17.28	53.79	574.9	42.12	14.82	0.18	0.99	87.41	1.16	0.55
N15P23	17.26	47.50	557.53	41.9	13.51	0.41	0.85	88.55	1.49	0.57
N15P23 + солома	18.63	48.23	571.78	46.68	15.65	0.39	0.88	89.00	1.26	0.58

питания в севообороте за счет применения минеральных удобрений и соломы повысила обогащенность почвы лабильной фракцией ОВП на 8–38%, при этом прирост определялся видом и дозой удобрения. При систематическом использовании соломы в дозах 1.68–2.20 т/га в качестве удобрения отмечена лишь тенденция (1.1–1.4 т/га) к увеличению запасов мортмассы ЛФ в почве вследствие невысокого урожая соломы. Существенным фактором, влияющим на содержание мортмассы ЛФ ОВП, были минеральные удобрения. В работе [12] также было высказано мнение, что под влиянием агрохимических средств оптимизировался питательный режим растений, создавались благоприятные условия для развития более мощной корневой системы и растения в целом, обеспечивая в итоге поступление большего количества растительных остатков в почву. На агрохимических фонах (N10P17 и N15P23) количественные запасы мортмассы ЛФ ОВП составили соответственно 11.4 и 12.1 т/га, что было на 25 и 33% больше в сравнении с вариантом без удобрений. Наибольшее ее количество накопилось в варианте комплексного применения удобрений N15P23 + + солома – 13.5 т/га, что было на 48% больше, чем на неудобренном фоне. В соответствии с проведенными ранее исследованиями [13], ЛФ ОВП представляет собой достаточно ценный компонент почвы по содержанию эссенциальных элементов, определяющий урожайность агроценоза ( $r = 0.90$ ).

Для решения поставленной цели в работе нами были также проанализированы почвенные образцы на содержание в них кислоторастворимых и подвижных форм Cu, Zn, Mn, Ni и Co (табл. 4).

По данным [14], почвы мира имеют следующие содержания микроэлементов, мг/кг сухой почвы: Cu – от 6 до 60 при фоновом содержании 30 мг/кг, ее кларк по Виноградову [15] в почвах мира составляет 20 мг/кг; Zn – от 30 до 80, фоновое и кларковое содержание 50 мг/кг; Co – от 1 до 16, фоновое содержание 2 мг/кг, его кларк 8 мг/кг; Ni – от 12 до 80, фоновое содержание и его кларк 40 мг/кг; Mn – от 10 до 2500, общее среднее содержание, рассчитанное для почв земного, составляет 545 мг/кг, кларк 850 мг/кг. Ориентируясь на фоновое содержание элементов в почве, следует отметить, что лугово-черноземная почва достаточно хорошо обеспечена вышеуказанными микроэлементами, за исключением Cu. Анализ содержания кислоторастворимых форм микроэлементов в почве показал, что внесение минеральных удобрений не оказало существенного влияния на пополнение их общего запаса. Однако положительную тенденцию к увеличению содержания кислоторастворимых форм микроэлементов отметили при внесении соломы для всей группы микроэлементов. Обогащение верхнего горизонта почвы микроэлементами происходило за счет эффекта переноса элементов корневой системой из более нижних слоев почвенного профиля. Содержание подвижных форм микроэлементов в слое 0–20 см почвы варьировало в широком интервале от 0.19 мг Cu/кг почвы и до 75.92 мг Mn/кг почвы в варианте без применения удобрений. В соответствии с оценкой обеспеченности почвы подвижными формами микроэлементов в ацетатно-аммонийном буфере (рН 4.8) содержание Cu изменялось от низкого (<0.20 мг/кг почвы) до среднего (0.24–0.41 мг/кг почвы). Содержание Zn во всех вариантах было

**Таблица 5.** Содержание микроэлементов в мортмассе лабильной фракции ОВП в зависимости от применения минеральных удобрений и соломы, мг/кг

Вариант	Cu	Zn	Mn	Ni	Co
Контроль	14.67	46.38	399.14	35.14	5.61
Солома	12.32	44.01	408.43	39.03	5.88
N10P17	12.28	32.74	385.17	41.81	4.58
N10P17 + солома	13.12	43.04	413.29	38.60	5.41
N15P23	11.29	41.67	400.71	38.57	5.35
N15P23 + солома	11.64	39.77	411.12	37.45	5.89

низким (<2.0 мг/кг), Mn и Co – высоким (>20 и 0.3 мг/кг соответственно). Содержание подвижного Ni не оценивали как фактор обеспеченности для растений. При использовании удобрений в дозе N15P23 как отдельно, так и в комплексе с соломой, содержание подвижных форм Cu, Mn, Ni в почве возросло, что можно объяснить влиянием удобрений на изменение некоторых физико-химических свойств почв, способствующих переходу этих элементов из труднодоступных в легкоподвижные соединения. Для почв, используемых в сельскохозяйственном производстве, это явление весьма распространенное и прежде всего связано с неравным поступлением и выносом микроэлементов в системе почва–растение.

Мортмасса ЛФ органического вещества имеет относительно быструю скорость оборота и короткое время пребывания в почве [3, 11]. В связи с этим она играет роль ближайшего резерва микроэlementного питания растений, во многом определяя содержание и динамику подвижных форм

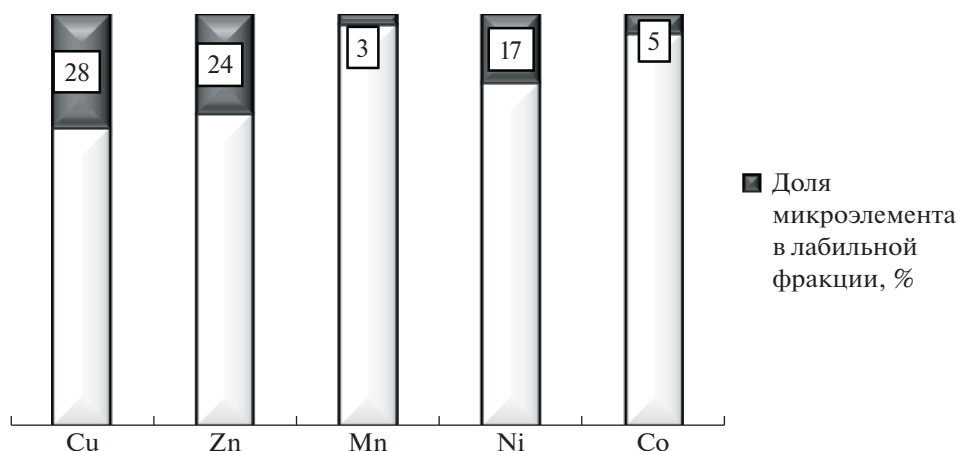
**Таблица 6.** Доля микроэлемента в мортмассе ЛФ от содержания его в почве, %

Вариант	Cu	Zn	Mn	Ni	Co
Контроль	0.4/27	0.4/22	0.5/2	0.4/13	0.2/3
Солома	0.3/31	0.4/22	0.5/3	0.4/16	0.2/3
N10P17	0.4/32	0.3/21	0.5/2	0.5/19	0.2/5
N10P17 + солома	0.4/42	0.5/25	0.5/3	0.5/19	0.2/6
N15P23	0.4/15	0.5/27	0.5/3	0.5/14	0.2/5
N15P23 + солома	0.4/18	0.5/28	0.5/3	0.5/18	0.2/6

Примечание. Над чертой – доля микроэлемента в мортмассе ЛФ от содержания его кислоторастворимых форм в почве, под чертой – доля микроэлемента в мортмассе ЛФ от содержания его подвижных форм в почве.

микроэлементов в почве [7]. В нашем исследовании анализ мортмассы ЛФ на содержание микроэлементов показал, что их количественные параметры были аналогичны их содержанию в почве, за исключением Co. Содержание Co в мортмассе ЛФ ОВП в среднем было в 2.7 раза меньше, чем в почве. Для объяснения транслокации данного элемента требуются дополнительные исследования, т.к. низкий уровень биоаккумуляции Co в растениях мог быть обусловлен биологическими особенностями культуры, типом почвы, геохимией элементов и другими факторами.

Изучение содержания микроэлементов в мортмассе ЛФ в вариантах опыта показало определенные различия. Например, в контрольном варианте обнаружили на 12–29% больше Cu, на 4–42% больше Zn, чем в вариантах с внесением соломы и минеральных удобрений (табл. 5).

**Рис. 1.** Доля содержания микроэлементов в мортмассе лабильной фракции от общего запаса (100%) доступных для растений микроэlementов в почве (среднее в опыте).

**Таблица 7.** Коэффициенты корреляции содержания микроэлементов в мортмассе ЛФ ( $Y$ , мг/кг) от содержания их в почве ( $X$ , мг/кг)

Микро-элемент	$r$	
	с кислоторастворимыми формами микроэлемента в почве	с подвижными формами микроэлемента в почве
Cu	0.48*	0.95*
Zn	0.52*	0.93*/0.81**
Mn	0.93*/0.90**	0.34*
Ni	0.80*	0.32*
Co	0.61*	0.84*/0.57**

\*Коэффициенты полиномиальной корреляции.

\*\*Коэффициенты линейной корреляции.

Содержание Mn, Ni и Co не зависело от вариантов опыта и варьировало незначительно – от 385.17 до 413.29 мг Mn/кг, от 35.14 до 41.81 мг Ni/кг и от 4.58 до 5.89 мг Co/кг. Оценка вклада микроэлементов мортмассы ЛФ в фонд кислоторастворимых форм микроэлементов показала, что мортмасса ЛФ в зависимости от вариантов опыта содержала Cu – 0.3–0.4, Zn – 0.3–0.5, Mn – 0.5, Ni – 0.4–0.5% и Co – 0.2% (табл. 6).

Следует отметить, что в мортмассе доля Cu составляла 18–42, Zn – 21–28, Ni – 13–19% от их количества, находящегося в почве в подвижной форме, тогда как доля Mn и Co в общем запасе доступных для растений соединений составила не более 6% (рис. 1).

В табл. 7 представлен расчет корреляционных зависимостей содержания микроэлементов в мортмассе ЛФ от содержания их в почве. Установлено, что содержание Cu, Zn и Co в мортмассе ЛФ зависело ( $r = 0.84–0.95$ ) от обеспеченности почвы подвижными формами этих элементов, Mn и Ni – от содержания кислоторастворимых форм в почве ( $r = 0.80–0.90$ ). Систематическое внесение минеральных удобрений N15P23 в комплексе с запашкой соломы способствовало обогащению мортмассы ЛФ ОВП Zn на 6, Ni – на 5, Co – на 3% в сравнении с контролем. При изучении причинно-следственных связей между обеспеченностью мортмассы ЛФ микроэлементами и ее запасами в почве выявлено, что связь была средней или отсутствовала.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, полученные результаты позволили сделать вывод, что мортмасса ЛФ ОВП является резервом минерального питания расте-

ний. Содержание Cu, Zn, Mn, Ni и Co в мортмассе ЛФ было аналогично их содержанию в почве. Концентрация Cu, Zn и Co в ЛФ зависела от содержания подвижных форм этих элементов в почве, Mn и Ni – от кислоторастворимых форм. Доля микроэлементов в мортмассе ЛФ от общего микроэлементного фонда почвы составляла не более 0.5%. Выявлено, что из общего запаса в почве доступных для растений элементов 13–42% Cu, 21–28% Zn и 13–19% Ni составляли их запасы в мортмассе ЛФ. При внесении минеральных удобрений и соломы отмечена тенденция к увеличению содержания микроэлементов в мортмассе ЛФ.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Kroll E.S., Okjemstad J.O., Baldock J.A.* Functions of soil organic matter and the effect on soil properties. Canberra, ACT: Cooperative Research Centre for Greenhouse Accounting, 2004. 129 p.
2. *Шарков И.Н., Данилова А.А.* Влияние длительного антропогенного воздействия на содержание и состав органического вещества чернозема выщелоченного в лесостепи Приобья // Сибир. экол. журн. 2012. № 5. С. 693–701.
3. *Strosser E.* Methods for determination of labile soil organic matter: An overview // J. Agrobiol. 2010. № 27. P. 49–60.
4. *Степанова М.Д.* Микроэлементы в органическом веществе почв. Новосибирск: Наука, СО, 1976. 107 с.
5. *Минкина Т.М., Мотузова Г.В., Назаренко О.Г.* Формы соединений тяжелых металлов в почвах степной зоны // Почвоведение. 2008. № 7. С. 810–818.
6. *Kolář L., Kužel S., Horáček J., Čechová V., Borová-Batt J., Peterka J.* Labile fractions of soil organic matter, their quantity and quality // Plant Soil Environ. 2009. № 55. P. 245–251.
7. *Лыкова Е.А., Мирошниченко Н.Н., Панасенко О.С., Сябрук О.П.* Лабильное органическое вещество как фактор мобилизации–иммобилизации микроэлементов в почве // Почвовед. и агрохим. 2013. № 1. С. 256–265.
8. *Glina B., Bogacz A.* Concentration and pools of trace elements in organic soils in the izera mountains // J. Elem. 2013. № 18. P. 199–209.
9. *Мищенко Л.Н., Мельников А.Л.* Почвы Западной Сибири: учеб. пособ. Омск: Изд-во ОмскГАУ, 2007. 248 с.
10. *Kebonye N.M., Eze P.N., Ahado S.K., John K.* Structural equation modeling of the interactions between trace elements and soil organic matter in semiarid soils // Inter. J. Environ. Sci. Technol. 2020. № 17. P. 2205–2214.
11. *Lorenz K., Lal R.* The depth distribution of soil organic carbon in relation to land use and management and the potential of carbon sequestration in subsoil horizons // Adv. Agron. 2005. № 88. P. 35–66.
12. *Шарков И.Н., Самохвалова Л.М., Мишина П.В., Шенелев А.Г.* Влияние пожнивных остатков на состав органического вещества чернозема выщелоченного

- ченного в лесостепи Западной Сибири // Почвоведение. 2014. № 4. С. 473–479.
13. Балабанова Н.Ф., Воронкова Н.А., Волкова В.А., Цыганова Н.А. Содержание лабильного органического вещества в лугово-черноземной почве при длительном применении удобрений // Земледелие. 2020. № 2. С. 7–9.
14. Овчаренко М.М. Тяжелые металлы в системе почва–растение–удобрение. М.: Высш. шк., 1997. 290 с.
15. Виноградов А.П. Средние содержания химических элементов в главных типах изверженных горных пород земной коры // Геохимия. 1962. № 7. С. 555–571.

## Effect of Fertilizers on the Content of Trace Elements in the Mortmass of Meadow-Chernozem Soil

N. A. Voronkova<sup>a</sup>, V. A. Volkova<sup>a,#</sup>, N. F. Balabanova<sup>a</sup>, and N. A. Tsyganova<sup>a</sup>

<sup>a</sup>Omsk Agrarian Scientific Center, ul. Koroleva 26, Omsk 644012, Russia

<sup>#</sup>E-mail: volkovava1989@yandex.ru

In a long-term stationary experiment on meadow-chernozem soil of the forest-steppe zone of Western Siberia, it was found that the content of Cu, Zn, Mn, Ni, Co in the mortmass of the labile fraction of soil organic matter is similar to their content in the soil. The share of these elements in the total microelement fund of the soil was no more than 0.5%. It was revealed that in the mortmass, the proportion of Cu was 18–42, Zn – 21–28, Ni – 13–19% of their amounts in the soil in mobile form. It was found that in the mortmass the content of Cu, Zn, Co was in close relationship ( $r = 0.94–0.95$ ) with the content of mobile forms of these elements in the soil, and the content of Mn and Ni – with the content of their acid-soluble forms ( $r = 0.80–0.93$ ). When applying mineral fertilizers and straw, there was a positive trend towards an increase in the content of these trace elements in the mortmass of the labile fraction of soil organic matter.

*Key words:* trace elements, mortmass, labile fraction, soil organic matter, fertilizers.

УДК 631.811.2:631.559:631.82:631.873

## ПРИМЕНЕНИЕ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ И РАСТИТЕЛЬНЫХ ОСТАТКОВ ДЛЯ РЕГУЛИРОВАНИЯ ФОСФАТНОГО ПИТАНИЯ И ПРОДУКТИВНОСТИ ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР

© 2022 г. В. М. Назарюк<sup>1</sup>, Ф. Р. Калимуллина<sup>1,\*</sup><sup>1</sup>Институт почвоведения и агрохимии СО РАН  
630090 Новосибирск, просп. акад. Лаврентьева, 8/2, Россия

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

Поступила в редакцию 25.04.2022 г.

После доработки 04.07.2022 г.

Принята к публикации 12.08.2022 г.

В микрополево-севообороте на серой лесной почве изучена динамика доступных для растений основных форм фосфора при внесении минеральных удобрений и растительных остатков. Наибольшие изменения в формах почвенных фосфатов происходили при использовании минеральных удобрений в дозах N60P40K60 и N90P60K90. Внесение растительных остатков вызывало как повышение, так и снижение содержания легкоподвижных форм элемента. Максимальные изменения этих форм фосфатов в почве отмечали при использовании метода Карпинского и Замятиной. Продуктивность растений возрастала в случае применения минеральных удобрений, заделка в почву растительных остатков вызывало как повышение, так и снижение продуктивности растений.

*Ключевые слова:* почва, удобрение, формы фосфора, почвенная диагностика, растение, севооборот, урожайность.

DOI: 10.31857/S0002188122110096

### ВВЕДЕНИЕ

Создание научно-обоснованной системы обработки почв в условиях систематической засухи является одной из наиболее важных проблем при возделывании зерновых культур по интенсивной технологии, тесно связанной с оптимизацией фосфорного питания [1]. Особенно остро такая ситуация возникает при ветровой эрозии почв. Это затрагивает ряд проблем в использовании фосфора, касающихся выяснения специфики применения соломы в зерновом севообороте [2, 3], решения аспектов утилизации пожнивно-корневых остатков [4] и управления генотипической спецификой растений [5]. Добиться существенных результатов можно также за счет регулирования минерального питания [6, 7] и рационального использования почвенных ресурсов [8, 9], изученность которых в настоящее время сильно отличается как в зональном, так и территориальном аспектах [10, 11]. К тому же, большое влияние на фосфатный режим почв оказывают различные экологические факторы, которые особенно сильно влияют в последние годы [12, 13]. Отмечено [14], что при экстенсивном земледелии в лесостепной зоне на серых лесных и черноземных

почвах основным источником фосфора служат горные породы (эффузивные, интрузивные и метаморфические), в то время как при интенсивном — расширяются возможности использования элемента из органических и минеральных удобрений, а также местных фосфоритов. В длительном опыте (46 лет) на каштановых почвах степной зоны установлено [12], что в зернопаровом севообороте применение органической системы удобрения увеличило содержание валового фосфора на 10%, одновременно уменьшились потери этого элемента в минеральной форме до 4%. В целом наиболее изученными оказались черноземные почвы [13, 14], отличающиеся высоким плодородием и экологической устойчивостью. Для таких почв пожнивно-корневые остатки играют важную роль в обеспечении растений природным фосфором и другими макроэлементами [15]. Менее исследованы другие типы почв, хотя в земельном фонде они занимают важное место. Крайне недостаточно работ проведено при выяснении состояния фосфатного фонда в длительных опытах, позволяющих прогнозировать влияние минеральных удобрений и растительных остатков (РО) в почве, выяснить доступность фосфатов в



различных формах и увязать почвенные процессы с продуктивностью растений. В связи с малой изученностью данной проблемы и ее несомненной актуальностью в прикладном аспекте, современное земледелие настоятельно требует проведения дальнейших исследований. Цель работы – изучить состояние форм фосфора в серой лесной почве и обосновать эффективность применения минеральных удобрений на фоне запахивания растительных остатков в системе полевого севооборота.

### МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Изучение эффективности внесения минеральных удобрений и заделки в почву соломы проводили в модельном полево-м севообороте с чередованием культур: овес (сорт Ровесник)–ячмень (сорт Ача)–пшеница яровая (сорт Новосибирская 22). Почва опытного участка – серая лесная среднесуглинистого гранулометрического состава, слабо обогащена гумусом (3.94%) и валовым азотом (0.13%), имела низкое содержание обменного калия (12 мг/100 г), рН 7.2. Почвенные образцы отбирали весной и осенью, растительные – в фазе кущения и при уборке урожая. Содержание гумуса в почве определяли по методу Тюрина, общий азот – колориметрическим методом с реактивом Несслера, обменный калий – по Масловой,  $pH_{H_2O}$  – потенциометрическим методом.

Потребность растений в макроэлементах рассчитывали, исходя из эффективных доз минеральных удобрений, установленных ранее в полевых опытах [16, 17]. В качестве органического удобрения использовали пожнивные и корневые остатки + надземную вегетативную массу зерновых культур (солому), которые измельчали после уборки урожая и затем осенью заделывали в почву.

Микрополевые опыты с зерновыми культурами проводили в четырехкратной повторности на делянках общей площадью 2 м<sup>2</sup>, обернутых полиэтиленовой пленкой, и учетной – 0.5 м<sup>2</sup>. Минеральные удобрения вносили в виде N<sub>м</sub>, P<sub>ст</sub> и K<sub>х</sub>. В условиях лесостепной зоны Западной Сибири сумма положительных температур за период май–август обычно изменяется в пределах 1497–1993°C, количество осадков – 112–364 мм. За время метеорологических наблюдений с 2004–2013 гг. сумма положительных температур (t > 0°C) за период май–август составляла в среднем 1645°C, количество осадков – 212 мм.

Аналитическую работу выполняли в трехкратной повторности. Обеспеченность растений почвенным фосфором определяли на основе следую-

щих методов: легкоподвижный фосфор – по Карпинскому–Замятиной (КиЗ) и Францессону (Фр), подвижный – по Чирикову (Чр), малоподвижный (Мп) – по [18], органический фосфор – по разности между его валовым и минеральным содержанием – по Хейфиц, валовой фосфор – по Гинзбург. Запасы почвенного фосфора рассчитывали, исходя из содержания элемента (данные получены нами) и плотности сложения для серой лесной почвы [19].

### РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Показано, что содержание валового фосфора было довольно высоким во всех вариантах опыта (табл. 1), что является характерной чертой для почв Приобского плато, сформированных под влиянием сноса и переотложения делювия склонов фосфоритоносных бассейнов [20]. Такие почвы обычно содержат повышенное содержание общего фосфора, который изобилует окклюдируемыми формами этого элемента [21]. В исходных образцах содержание валового фосфора изменялось мало, небольшие изменения наблюдали лишь в варианте с максимальной дозой фосфора. После 18-летнего выращивания зерновых культур отмечено снижение содержания валового фосфора, когда применяли низкие дозы фосфора или не применяли их вообще. И только в вариантах N60P40K60 и N90P60K90, в которых вносили удобрения в повышенной дозе, содержание фосфора практически не изменялось. Запасы валового фосфора в пахотном слое существенно повышались в начальный период освоения севооборота, но особенно четко эти различия проявлялись при отборе почвенных образцов в конце опыта.

Содержание органического фосфора было довольно высоким в начале освоения зернового севооборота и мало изменялось в вариантах опыта. В конце проведения эксперимента содержание органических фосфатов за весь период существенно снизилось, что было связано, вероятно, с усилением процессов минерализации органических веществ при систематической обработке почвы. Низкое содержание этой формы фосфора заметно реагировало на внесение минеральных удобрений и заделку в почву растительных остатков. В начальный период в запасах органического фосфора не отмечали значительного отклонения в контрольном и удобренных вариантах, вплоть до внесения дозы P40. И только при дальнейшем усилении фосфорного питания (P60) в сочетании с азотом, калием и растительными остатками отмечено заметное увеличение запасов органиче-

**Таблица 1.** Содержание (%) и запасы форм почвенного фосфора (т/га) при многолетнем внесении минеральных удобрений и растительных остатков

Вариант	Фосфор					
	минеральный		органический		валовый	
	1	2	1	2	1	2
1998 г.						
Контроль	0.10	2.2	0.09	2.0	0.19	4.2
N30P20K30	0.10	2.2	0.09	2.0	0.19	4.2
N60P40K60	0.11	2.4	0.09	2.0	0.20	4.4
N90P60K90	0.11	2.4	0.10	2.2	0.21	4.6
2018 г.						
Контроль	0.07	1.5	0.01	0.2	0.08	1.7
Растительные остатки (PO)	0.09	2.0	0.03	0.7	0.12	2.7
N30P20K30	0.10	2.2	0.03	0.7	0.13	2.9
N30P20K30 + PO	0.09	2.0	0.04	0.9	0.13	2.9
N60P40K60	0.11	2.4	0.02	0.4	0.13	2.8
N60P40K60 + PO	0.11	2.4	0.03	0.7	0.14	3.1
N90P60K90	0.13	2.9	0.03	0.7	0.16	3.6
N90P60K90 + PO	0.13	2.9	0.04	0.9	0.17	3.8
HCP <sub>05</sub>	0.02	0.23	0.01	0.1	0.02	0.2

Примечание. В графе 1 – %, 2 – запасы, т/га.

ских фосфатов. После многолетнего внесения минеральных удобрений и систематической заделки в почву соломы выявили существенное увеличение запасов органического фосфора относительно контрольного варианта. Однако изменения этой формы не достигли первоначального уровня.

В исходном содержании минеральных фосфатов не отмечено достоверной разницы между контрольным и удобренными вариантами. Аналогичная закономерность выявлена и в вариантах, где вносили удобрения в минимальном количестве. И только при дозе P60 отметили существенное увеличение содержания минеральных фосфатов. Снижение этой формы фосфора связываем прежде всего с потреблением его легкодоступных соединений растениями в период их вегетации. Эта закономерность проявлялась и при окончании опыта, хотя величина содержания подвижных фосфатов не всегда достигала первоначального уровня. Запасы этой формы фосфатов также практически не изменялись в период освоения севооборота, и только после многолетнего применения удобрений наблюдали заметное увеличение запасов минеральных фосфатов.

Изучение фракционного состава фосфора показало, что его содержание во многом зависело от уровня минерального питания, длительности

применения удобрений и запахивания растительных остатков (табл. 2). При выяснении специфики формирования такого фосфатного фонда было отдано предпочтение методу Гинзбург–Лебедевой, который позволяет оценить величину фракций фосфатов кальция, алюминия и железа по степени их доступности растениям [22]. Наиболее легко усваиваются корневой системой растений фосфаты Ca-P<sub>I</sub> щелочных металлов и аммония, содержание которых в исходных образцах оказалось минимальным и составило 10 мг/100 г. Во фракции Ca-P<sub>II</sub> содержание фосфатов в почве контрольного варианта было больше примерно в 1.7 раза, что свидетельствовало о наличии менее доступной для растений рыхлосвязанной формы фосфора. В итоге это отражалось на состоянии фосфатного фонда и способности почвенного покрова обеспечить сбалансированное минеральное питание растений в период их вегетации. Еще более высокое содержание фосфатов алюминия, железа и особенно высокоосновных P-кальция отметили в почве исходного варианта, что могло повлиять на установление равновесного состояния между формами изученного элемента. Внесение минеральных удобрений в период освоения севооборота мало сказывалось на фракционном составе фосфора в почве.

**Таблица 2.** Изменение фракционного состава минеральных фосфатов при систематическом внесении удобрений и растительных остатков

Вариант	Ca–P <sub>I</sub>	Ca–P <sub>II</sub>	Al–P	Fe–P	Ca–P <sub>III</sub>	Сумма
1998 г.						
Контроль	<u>10.0</u>	<u>16.8</u>	<u>30.8</u>	<u>75.5</u>	<u>103</u>	<u>236</u>
	22.0	37.0	67.8	166	226.2	519
N30P20K30	<u>10.1</u>	<u>18.0</u>	<u>22.7</u>	<u>83.1</u>	<u>97.1</u>	<u>231</u>
	22.2	39.6	49.9	183	214	508
N60P40K60	<u>9.9</u>	<u>17.3</u>	<u>23.4</u>	<u>88.1</u>	<u>106</u>	<u>245</u>
	21.8	38.1	51.5	194	234	539
N90P60K90	<u>9.7</u>	<u>17.0</u>	<u>24.8</u>	<u>93.7</u>	<u>123</u>	<u>267</u>
	21.3	37.4	54.6	206	270	589
2018 г.						
Контроль	<u>6.2</u>	<u>18.1</u>	<u>22.3</u>	<u>34.1</u>	<u>106</u>	<u>187</u>
	13.6	39.8	49.1	75.0	234	411
Растительные оистатки (PO)	<u>10.1</u>	<u>19.2</u>	<u>25.4</u>	<u>37.5</u>	<u>142</u>	<u>234</u>
	22.2	42.2	55.9	82.5	312	515
N30P20K30	<u>11.6</u>	<u>18.7</u>	<u>18.6</u>	<u>41.2</u>	<u>158</u>	<u>248</u>
	25.5	41.1	40.9	90.6	347	545
N30P20K30 + PO	<u>14.6</u>	<u>20.6</u>	<u>24.3</u>	<u>51.7</u>	<u>164</u>	<u>245</u>
	32.1	45.3	53.5	114	361	605
N60P40K60	<u>16.9</u>	<u>21.0</u>	<u>24.1</u>	<u>55.9</u>	<u>174</u>	<u>292</u>
	37.2	46.2	53.0	123.0	382	642
N60P40K60 + PO	<u>16.6</u>	<u>21.9</u>	<u>26.5</u>	<u>51.5</u>	<u>180</u>	<u>297</u>
	36.5	48.2	58.3	113	397	653
N90P60K90	<u>5.6</u>	<u>28.1</u>	<u>23.9</u>	<u>57.1</u>	<u>205</u>	<u>318</u>
	12.3	61.8	52.6	126	452	704
N90P60K90 + PO	<u>4.9</u>	<u>28.3</u>	<u>23.2</u>	<u>48.9</u>	<u>168</u>	<u>273</u>
	10.8	68.4	51.0	108	369	606
HCP <sub>05</sub>	<u>0.5</u>	<u>1.0</u>	<u>1.4</u>	<u>1.7</u>	<u>3</u>	<u>9</u>
	1.6	2.4	2.5	4	5	30

Примечание. Над чертой – содержание фосфатов, мг/100 г, под чертой – запасы, кг/га.

В результате длительного выращивания зерновых культур и заделке в почву растительных остатков произошло заметное накопление фосфатов во фракции Ca–P<sub>I</sub> (кроме варианта N90P60K90) и Ca–P<sub>III</sub>, в остальных фракциях существенных изменений не обнаружено. Увеличение содержания фосфора в 2-х фракциях минеральных фосфатов отразилось и на суммарной величине этих соединений. Внесение удобрений в минимальных дозах практически не отразилось на фракционном составе фосфатов. Незначительные изменения в их содержании отметили при использовании удобрений в дозах, не превышающих P40. Внесение фосфора в дозе P60 вызвало различный отклик: содержание фосфатов щелочных металлов и аммония несколько снизилось, а высокоосновных фосфатов кальция, на-

оборот, повысилось, что и сказалось на суммарной величине содержания всех форм фосфора. В целом совместное применение удобрений и использование растительных остатков вызывало накопление в почве малоподвижных и высокоосновных форм фосфатов, что требовало рационального подхода к внесению фосфорных удобрений при возделывании зерновых культур в системе севооборота.

Различия во внесении минеральных фосфорных удобрений отразились своеобразно и на запасах фосфора во фракциях. В начальный период освоения севооборота (1998 г.) наблюдали изменения содержания высокоосновных фосфатов кальция и общих запасов фосфора в почве только в варианте N90P60K90. После ряда ротаций севооборота, внесения удобрений и запахивания рас-

**Таблица 3.** Влияние минеральных удобрений и растительных остатков на содержание легкоподвижных форм фосфора в почве, мг/100 г почвы

Вариант	2012 г.	2018 г.	Среднее	2012 г.	2018 г.	Среднее
	метод проведения эксперимента					
	по Карпинскому–Замятиной			по Францессону		
Контроль	0.2	Следы	0.1	1.3	0.5	0.9
Растительные остатки (PO)	0.3	0.1	0.2	1.4	0.7	1.1
N30P20K30	0.5	0.2	0.3	3.8	1.1	2.4
N30P20K30 + PO	0.5	0.2	0.3	3.1	1.2	2.2
N60P40K60	1.5	0.3	0.9	9.1	3.0	5.2
N60P40K60 + PO	1.7	0.4	1.1	9.5	3.1	6.3
N90P60K90	3.4	0.4	1.9	6.8	4.3	10.6
N90P60K90 + PO	2.0	0.4	1.2	11.1	4.0	7.6
HCP <sub>05</sub>	0.1	0.01		0.1	0.1	

тительных остатков возросли запасы фосфатов железа и высокоосновных фосфатов кальция. В остальных фракциях изменения были несущественными. Отметим, что ранее существовало мнение о предпочтительном усвоении фосфатов кальция растениями как главного источника фосфатного питания, однако в дальнейшем стали больше уделять внимание алюминиевым и железистым фосфатам [23].

Кроме фракционного состава фосфора при оценке эффективного состояния почвенного плодородия большое значение имеет содержание легкоподвижных фосфатов в почве, от наличия которых зависит усвоение элемента растениями и в конечном итоге продуктивность растений. Исследования показали (табл. 3), что при использовании метода Карпинского и Замятиной экстрагируется незначительная величина легкоподвижных фосфатов – от 0.2 мг/100 г до следовых количеств. Заделка растительных остатков в почву мало влияла на содержание этой формы. Внесение минимальной дозы удобрений в сочетании с соломой также незначительно отразилось на подвижности фосфатов и только усиление минерального питания позволило существенно изменить картину обеспеченности растений легкоподвижными фосфатами. Внесение исключительно минеральных удобрений в повышенных дозах или совместно с соломой приводило как к повышению, так и снижению содержания легкоподвижных фосфатов, а иногда и вообще к отсутствию ожидаемого эффекта.

При использовании метода Францессона экстрагировалось из почвы значительно больше легкоподвижных фосфатов, особенно в более ранний период освоения модельного зернового сево-

оборота. Применение минеральных удобрений в дозе N30P20K30 приводило к значительному увеличению легкоподвижного фосфора в почве. Эта же доза удобрений на фоне соломы вызвала как существенное снижение, так и заметное повышение содержания легкоподвижных почвенных фосфатов. Это было связано с тем, что растительные остатки в сочетании с удобрениями влияют, прежде всего, на процессы минерализации–иммобилизации, интенсивность и направленность которых воздействует на интенсивность высвобождения минерального фосфора из органических веществ. Внесение удобрений в дозе N60P40K60 по сравнению с дозой N30P20K30 + PO вызывало во все годы опыта существенное увеличение содержания легкоподвижных фосфатов. На этом фоне минерального питания внесение соломы сопровождалось как значительным увеличением, так и тенденцией к увеличению содержания почвенных фосфатов. Повышение дозы минеральных удобрений до N90P60K90 по сравнению с дозой N60P40K60 + PO вызывало либо значительное снижение, либо заметное увеличение содержания этой формы фосфора. Внесение растительных остатков на фоне самой высокой дозы минеральных удобрений не вызывало однозначной реакции почвенных процессов: отмечали как повышение, так и снижение содержания легкоподвижного фосфора в почве.

Различные условия минерального питания отразились на содержании подвижных форм фосфора неодинаково (табл. 4). Например, в ранний период содержание фосфатов, установленных по методу Чирикова, было меньше по сравнению с периодом конечной ротации зернового севооборота примерно в 1.7 раза. Такая тенденция сохра-

**Таблица 4.** Содержание в почве фосфатов различной активности при внесении соломы и минеральных удобрений, мг/100 г почвы

Вариант	2012 г.	2018 г.	Среднее	2012 г.	2018 г.	Среднее
	фракции фосфатов					
	подвижный по Чирикову			малоподвижный [по 20]		
Контроль	6.5	11.4	8.9	100	76	88
Растительные остатки (PO)	6.6	13.4	10.0	98	62	80
N30P20K30	11.3	21.4	16.4	114	90	102
N30P20K30 + PO	8.4	17.5	12.9	103	100	101
N60P40K60	15.7	30.4	23.0	133	110	121
N60P40K60 + PO	17.4	28.4	22.9	120	110	115
N90P60K90	25.2	28.5	26.8	168	110	139
N90P60K90 + PO	17.4	31.6	24.5	150	100	125
HCP <sub>05</sub>	0.7	1.4		7	6	

нилась в течение всего 2018 г., хотя минеральные удобрения в сочетании с растительными остатками по-разному воздействовали на содержание почвенных фосфатов изученных форм. Заделка в почву только растительных остатков мало отразилась на этом показателе: в отдельных случаях наблюдали даже достоверное снижение содержания подвижного фосфора. Например, при внесении N30P20K30 величина содержания подвижных фосфатов составила в 2012 г. 11.3 мг и в 2018 г. – 21.4 мг/100 г, в то время как при совместном внесении минеральных удобрений и растительных остатков в эти же годы их количество снизилось на 25 и 18% соответственно. Отмечена и другая закономерность, когда содержание подвижного фосфора либо повышалось, либо его величина оставалась без изменений. Аналогичная закономерность сохранялась и при анализе изменений усредненного содержания подвижных фосфатов в удобренной и неудобренной почвах.

Сформированное количество малоподвижных фосфатов во многом зависело от условий года, минерального питания и внесения растительных остатков. При более раннем отборе почвенных образцов содержание фосфатов в контрольном варианте существенно снизилось по сравнению с почвой, отобранной в конце нескольких ротаций севооборота. Заметное уменьшение содержания малоподвижных фосфатов при чередовании зерновых культур отметили во всех вариантах, где вносили только растительные остатки или в максимально удобренных вариантах (N90P60K90 и N90P60K90 + PO). Иногда заделка в почву растительных остатков практически не оказывала влияния на содержание малоподвижных фосфатов, например, в вариантах N60P40K60 и

N60P40K60 + PO в условиях 2018 г. Внесение минеральных удобрений влияло на содержание малоподвижных фосфатов в почве с некоторыми особенностями. Например, в почвенных образцах 2012 г. их величина во многом зависела от доз минеральных удобрений и в меньшей степени от заделки в почву растительных остатков. Оказалось, что с усилением минерального питания увеличивалось содержание малоподвижных фосфатов, тогда как применение соломы нередко приводило к снижению содержания этих соединений, что подтверждалось в большинстве исследованных вариантов. После завершения изученных ротаций севооборота установилось равновесное содержание малоподвижных фосфатов между их закреплением в минеральной основе и высвобождением P из почвенных запасов. При рассмотрении усредненных величин содержания малоподвижных фосфатов большее их содержание отметили в варианте, где вносили исключительно минеральные удобрения в повышенных дозах без запахивания соломы.

В целом можно утверждать, что существующие формы минеральных фосфатов сильно отличаются по их способности к экстрагированию из почвенных ресурсов. По этому показателю заметно превосходит метод определения малоподвижных фосфатов, при котором извлекают гораздо больше фосфора, чем при применении остальных методов для определения подвижных и легкоподвижных форм. Для почвенной диагностики фосфатного питания важно иметь такой метод, который бы стал более чувствительным к изменениям в среде обитания, способен улавливать незначительные воздействия на почву при использовании минеральных удобрений или других аг-

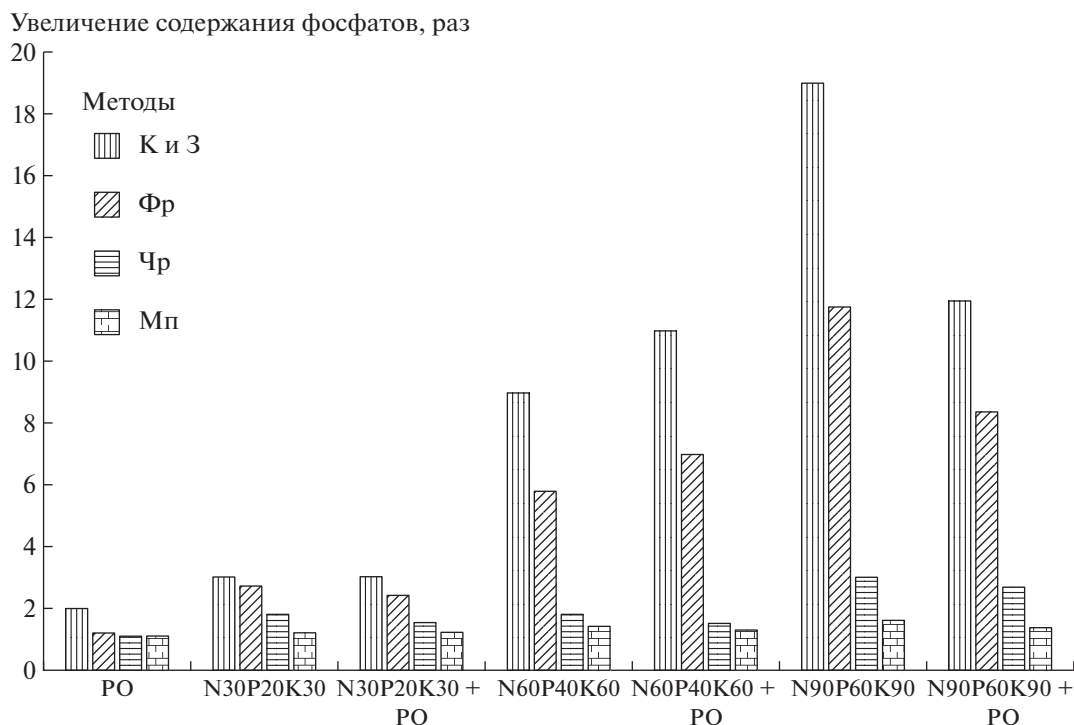


Рис. 1. Способность различных медов экстракции к извлечению подвижных фосфатов из почвы.

рохимикатов, применяющихся при оптимизации минерального питания растений. Такой способностью (по нашему мнению) обладает метод определения легкоподвижных фосфатов по Карпинскому и Замятиной, который улавливал количество почвенных фосфатов на минимальном уровне. При применении другого метода (по Францессону) содержание легкоподвижных фосфатов регистрировали на более высоком уровне. Выяснилось, что при запахивании растительных остатков и внесении минеральных удобрений метод определения легкоподвижных фосфатов по Карпинскому и Замятиной на серых лесных почвах среднесуглинистого гранулометрического состава, формирующихся в условиях Западной Сибири, оказался самым чувствительным, заметно уступал по этому показателю метод Францессона.

Под влиянием растительных остатков содержание легкоподвижных фосфатов в почве, определяемых по Карпинскому и Замятиной, возросло примерно в 2 раза, по Францессону – в 1.2 раза (рис. 1). Под воздействием минеральных удобрений изменения в содержании легкоподвижных фосфатов стали проявляться более четко, хотя регистрируемые показатели оказались недостаточно значимыми. В случае совместного применения минеральных удобрений в дозе N30P20K30 и заделки в почву растительных остатков измене-

ний в содержании легкоподвижных фосфатов практически не наблюдали. При использовании более высокой дозы удобрений до N60P40K60 существенно возросла величина содержания легкоподвижных фосфатов, определенных по методу Францессона и особенно по Карпинскому и Замятиной. Сочетание минеральных удобрений и растительных остатков заметно активизировало высвобождение большинства форм фосфатов из почвенных ресурсов в большей степени, чем при определении легкоподвижных форм по отдельности. Максимальное содержание легкоподвижных фосфатов в почве отметили при внесении N90P60K90, которое достигло 19-кратного увеличения. Однако добавление соломы в пахотный слой даже при таком соотношении между минеральными удобрениями (доза N90P60K90) и растительными остатками привело к снижению содержания фосфатов до 12-кратного уровня. Содержание подвижного P и особенно малоподвижного изменялось незначительно, вследствие чего эти формы почвенных фосфатов значительно сложнее использовать в диагностических целях.

Исследование изменения продуктивности зерновых культур под влиянием минеральных удобрений и растительных остатков показало, что оно во многом зависело от условий года (табл. 5). Самая низкая урожайность зерна была отмечена в

**Таблица 5.** Накопление биомассы зерновых культур при внесении минеральных удобрений в сочетании с растительными остатками, г/м<sup>2</sup>

Вариант	Овес, 2012 г.	Пшеница, 2013 г.	Ячмень, 2014 г.	Овес, 2015 г.	Пшеница, 2016 г.	Ячмень, 2017 г.	Овес, 2018 г.
Контроль	<u>166</u>	<u>305</u>	<u>594</u>	<u>570</u>	<u>334</u>	<u>358</u>	<u>970</u>
	78	104	268	220	102	162	354
Растительные остатки (PO)	<u>226</u>	<u>345</u>	<u>540</u>	<u>516</u>	<u>350</u>	<u>405</u>	<u>820</u>
	120	120	246	260	145	170	310
N30P20K30	<u>272</u>	<u>560</u>	<u>824</u>	<u>1090</u>	<u>434</u>	<u>655</u>	<u>1180</u>
	138	178	372	428	144	282	408
N30P20K30 + PO	<u>380</u>	<u>585</u>	<u>860</u>	<u>986</u>	<u>524</u>	<u>442</u>	<u>1170</u>
	204	188	378	372	182	286	406
N60P40K60	<u>440</u>	<u>585</u>	<u>1050</u>	<u>1170</u>	<u>484</u>	<u>858</u>	<u>1450</u>
	215	165	482	488	185	400	498
N60P40K60 + PO	<u>596</u>	<u>620</u>	<u>932</u>	<u>1240</u>	<u>564</u>	<u>920</u>	<u>1380</u>
	246	201	422	530	204	412	440
N90P60K90	<u>596</u>	<u>600</u>	<u>1220</u>	<u>1460</u>	<u>508</u>	<u>1230</u>	<u>1730</u>
	246	188	632	548	178	490	628
N90P60K90 + PO	<u>696</u>	<u>670</u>	<u>1220</u>	<u>1550</u>	<u>530</u>	<u>1260</u>	<u>844</u>
	338	208	580	650	192	562	650
HCP <sub>05</sub>	26	39	58	62	31	47	76

Примечание. Над чертой – общая биомасса, под чертой – зерновая продукция.

2012 г., затем она постепенно повышалась и достигла максимума в 2018 г. Запахивание растительных остатков существенно повышало урожайность овса (в 2012 и 2015 гг.) и пшеницы (в 2016 г.). В другие годы различия были незначительными, а иногда и наблюдали тенденцию к снижению урожайности, например, ячменя в условиях 2014 г.

Внесение минеральных удобрений в дозе N30P20K30 было во все годы эффективным, за исключением 2016 г. Дальнейшее повышение дозы удобрений отразилось на повышении урожайности не только ячменя, но и других зерновых культур. Увеличение дозы минеральных удобрений до N90P60K90 в сравнении с дозой N60P40K60 не всегда сопровождалось достоверной прибавкой урожайности, хотя тенденцию к ее повышению отмечали. При совместном внесении минеральных удобрений в максимальных дозах и растительных остатков наблюдали дальнейшее повышение урожайности зерновых культур (например, овса – в 2012 г., ячменя – в 2017 г.), либо иногда отмечали лишь тенденцию к увеличению зерновой продуктивности.

Различные условия минерального питания отразились на формировании надземной биомассы. Самое низкое ее накопление отмечали в условиях 2012 г. В последующие годы оно стало повышаться

и на 3-й год достигло максимальной величины. После этого на 4-й и 5-й год наблюдали снижение накопления надземной биомассы, особенно это отмечено у овса в условиях 2015 г., в другие годы наблюдали лишь тенденцию к снижению или увеличению синтеза биомассы. Применение минеральных удобрений даже в минимальной дозе вызывало значительное ее возрастание, которое наблюдали в течение всего периода проведения эксперимента. Повышение дозы удобрений в 2 раза в сочетании с растительными остатками обычно приводило к увеличению синтеза надземной биомассы. Применение самых высоких доз удобрений вызывало как возрастание, так и отсутствие достоверной прибавки в накоплении биомассы, что было связано с достаточно высоким уровнем содержания элементов минерального питания в почве при внесении N60P40K60 в сочетании с растительными остатками.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, применение минеральных удобрений в сочетании с растительными остатками на серых лесных почвах Западной Сибири в течение 18 лет приводило к снижению содержания органического фосфора, но не сказывалось на содержании минеральных фосфатов. Изучение фракционного состава показало, что в ре-

зультате длительного внесения минеральных удобрений и заделки в почву растительных остатков происходило заметное накопление фосфатов во фракции Са-Р<sub>I</sub> (кроме варианта N90P60K90) и Са-Р<sub>III</sub> (во всех вариантах), в остальных фракциях существенных изменений не обнаружено.

Внесение минимальных удобрений и сочетание с соломой в меньшей степени отразилось на содержании легкоподвижных фосфатов, извлекаемых по методу Карпинского–Замятиной, и только усиление минерального питания позволило существенно изменить обеспеченность растений легкодоступными фосфатами, величину содержания которых после соответствующей обработки можно использовать в диагностических целях. Величина содержания малоподвижных фосфатов (экстрагируемых 1 н. НСI) во многом зависела от условий года, минерального питания и поступления в почву растительных остатков. Оказалось, что с усилением минерального питания увеличивалось содержание малоподвижных фосфатов, тогда как применение соломы нередко приводило к снижению содержания этих форм. После завершения ротаций севооборота установилось равновесное состояние малоподвижных фосфатов между их закреплением в минеральной основе и высвобождением фосфора из почвенных ресурсов.

Применение минеральных удобрений в малых дозах (N30P20K30) было эффективным в большинстве случаев: при дальнейшем увеличении дозы минеральных удобрений до N90P60K90 в сравнении с дозой N60P40K60 не всегда выявляли достоверную прибавку урожайности, хотя тенденцию к ее повышению отмечали во всех вариантах. При одновременном внесении минеральных удобрений в максимальных дозах и растительных остатков наблюдали дальнейшее повышение урожайности зерновых культур (например, овса – в 2012 г., ячменя – в 2017 г.), либо отмечали лишь тенденцию к увеличению зерновой продуктивности.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Бараев А.И.* Почвозащитное земледелие. Избр. тр. М.: Агропромиздат, 1988. 383 с.
2. *Юшкевич Л.В.* Использование соломы и различных приемов обработки почвы в засушливом земледелии Западной Сибири // Нивы Зауралья. 2013. № 39. С. 80–83.
3. *Волынкин В.И., Волынкина О.В.* Взаимодействие азота и фосфора в удобрении мягкой яровой пшеницы при технологии бесменного возделывания и оставления соломы на поле // Агрохимия. 2018. № 3. С. 34–42.
4. *Турусов В.И., Богатых О.А., Дронова Н.В., Балюнова Е.А.* Роль пожнивно-корневых остатков в восстановлении плодородия почвы // Плодородие. 2020. № 4. С. 10–12.
5. *Гамзикова О.И.* Генетика агрохимических признаков пшеницы. Новосибирск: СО РАСХН, 1994. 220 с.
6. *Антипина Л.П., Пашкович Н.К.* Закономерности фосфора в почвенном покрове Западной Сибири // Фосфатный режим почв Сибири. Новосибирск, 1985. С. 3–9.
7. *Heming S.D.* Phosphorus balances for arable soils in Southern England // Soil Use Manag. 2007. V. 23. № 2. P. 162–170.
8. *Назарюк В.М.* Почвенно-экологические основы оптимизации питания растений. Новосибирск: Изд-во СО РАСХН, 2007. 364 с.
9. *Сушеница Б.А.* Фосфатный уровень почв и его регулирование. М.: Колос, 2015. 365 с.
10. *Синягин И.И., Кузнецов Н.Я.* Применение удобрений в Сибири. М.: Колос, 1979. 373 с.
11. *Гамзиков Г.П., Ильин В.Б., Назарюк В.М.* Агрохимические свойства почв и эффективность удобрений. Новосибирск: Наука, СО, 1998. 252 с.
12. *Минеев В.Г.* Экологические проблемы агрохимии. М.: Изд-во МГУ, 1988. 285 с.
13. *Кудряков В.Н., Семенов В.М.* Оценка современного вклада удобрений в агрогеохимический цикл азота, фосфора и калия // Почвоведение. 2004. № 12. С. 1440–1446.
14. *Давлятишин И.Д., Лукманов А.А., Маметов М.И.* Источники фосфора и оценка их вклада в подвижный фонд этого элемента в пахотных почвах в лесостепной зоне // Достиж. науки и техн. АПК. 2018. Т 32. № 4. С. 2–24.
15. *Билтуев А.С., Будажапов Л.В., Уланов А.К.* Особенности изменения фосфатного режима каштановых почв Забайкалья при длительном применении удобрений // Агрохимия. 2021. № 8. С. 3–8.
16. *Бурлакова Л.М.* Плодородие Алтайских черноземов в системе агроценоза. Новосибирск: Наука, СО, 1984. 196 с.
17. *Якутина О.П.* Изменение фосфатного фонда черноземных почв Западной Сибири под влиянием водной эрозии // Агрохимия. 2006. № 2. С. 16–21.
18. *Кочергин А.Е.* Эффективность удобрений на черноземах Западной Сибири // Агрохимическая характеристика почв СССР: Районы Западной Сибири. М.: Наука, 1968. С. 316–336.
19. *Аникина А.П., Чернобай Т.Н., Малков В.П.* Изменение агрохимических свойств черноземов Левобережной части Приобского плато при орошении и систематическом применении минеральных удобрений // Агрохимия. 1988. № 10. С. 114–122.



20. 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.
21. Панфилов В.П., Ландина М.М., Каретин Л.Н. Агрофизическая характеристика почв Западной Сибири. Новосибирск: Наука, СО, 1976. — 544 с.
22. Антипина Л.П. Фосфор в почвенном покрове Западной Сибири // *Агрохимия*. 1988. № 5. С. 20–28.
23. Берхин Ю.И., Чагина Е.Г., Янцен Е.Д. Фракционный состав минеральных фосфатов почв Западной Сибири // *Агрохимия*. 1984. № 9. С. 21–27.
24. Славина Т.П., Иванова Р.Г. Фракционный состав минеральных фосфатов пойменных почв Средней Оби // *Агрохимия*. 1984. № 5. С. 20–26.
25. Гырбучев И. Регулирование фосфатного режима в основных почвах Болгарии. М.: Колос, 1981. 240 с.

## Application of Mineral Fertilizers and Plant Residues for Regulation of Phosphate Nutrition and Productivity of Grain Crops

V. M. Nazariuk<sup>a</sup> and F. R. Kalimullina<sup>a,#</sup>

<sup>a</sup>*Institute of Soil Science and Agrochemistry SB RAS  
prosp. acad. Lavrentieva 8/2, Novosibirsk 630090, Russia*

<sup>#</sup>*E-mail: kalimullina@issa-siberia.ru*

In the microfield crop rotation on gray forest soil, the dynamics of the main forms of phosphorus available to plants during the application of mineral fertilizers and plant residues has been studied. The greatest changes in the forms of soil phosphates occurred when using mineral fertilizers in doses of N60P40K60 and N90P60K90. The introduction of plant residues caused both an increase and a decrease in the content of easily mobile forms of the element. The maximum changes in these forms of phosphates in the soil were noted when using the Karpinsky and Zamyatina method. The productivity of plants increased in the case of the use of mineral fertilizers, the embedding of plant residues in the soil caused both an increase and a decrease in plant productivity.

*Key words:* soil, fertilizer, phosphorus forms, soil diagnostics, plant, crop rotation, yield.

УДК 632.954 (470)

Посвящается памяти  
Петуновой Анжелины Александровны

## ФОРМИРОВАНИЕ АССОРТИМЕНТА ГЕРБИЦИДОВ В РОССИИ

© 2022 г. Т. А. Маханькова<sup>1,\*</sup>, В. И. Долженко<sup>1</sup>, А. С. Голубев<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Всероссийский научно-исследовательский институт защиты растений  
196608 Санкт-Петербург—Пушкин, ш. Подбельского, 3, Россия

\*E-mail: tam@iczr.ru

Поступила в редакцию 12.05.2022 г.

После доработки 15.06.2022 г.

Принята к публикации 12.08.2022 г.

Борьба с сорными растениями при возделывании всех сельскохозяйственных культур является важным и необходимым мероприятием для получения высокого урожая. Посевы большинства культур сильно засорены и, в связи с преобладанием многолетних корневищных и корнеотпрысковых сорняков, потери урожая достигают 30–40%. Гербициды применяют на больших площадях во всех развитых странах в настоящее время и будут использовать их в ближайший обозримый период. В статье в историческом аспекте изложены вопросы формирования ассортимента гербицидов в нашей стране, более чем за 50-летний период, начиная с 1960 гг. и до настоящего времени.

*Ключевые слова:* сорные растения, гербициды, действующие вещества, химические классы, препаративные формы, нормы применения, сроки проведения защитных мероприятий, антидоты, поверхностно-активные вещества, адъюванты, сельскохозяйственные культуры.

DOI: 10.31857/S0002188122110084

К началу 1962 г. ассортимент гербицидов, разрешенных к применению в сельскохозяйственном производстве, включал всего 18 препаратов на основе 11-ти действующих веществ: 2,4-Д, 2М-4Х (МЦПА), ДНОК, ДХМ, пентахлорфенол и пентахлорфенолят натрия, трихлорацетат, монурон, диносеб, хлор-ИФК, симазин, минеральные масла. Эти препараты уничтожали в основном однолетние двудольные сорные растения, но не решали проблемы борьбы со злаковыми и многолетними видами. Некоторые из них использовали в высоких нормах применения, и они обладали высокой токсичностью для теплокровных (ДНОК, диносеб, пентахлорфенол и пентахлорфенолят натрия), и вскоре их использование было запрещено [1–7]. В современном ассортименте гербицидов остались препараты только на основе 2,4-Д и МЦПА.

Планомерные исследования по созданию и совершенствованию ассортимента гербицидов следует отнести к периоду введения системы регистрации пестицидов и агрохимикатов и организации в 1960 г. Госкомиссии по химическим средствам борьбы с вредителями, болезнями и сорняками и создания географической сети реги-

страционных испытаний пестицидов, включавшей токсикологические лаборатории ВИЗР и сотрудничающие с ними научно-исследовательские учреждения.

С этого времени совершенствование ассортимента гербицидов шло по пути поиска более эффективных препаратов, обладающих широким спектром действия и достаточно избирательных для культурных растений, применявшихся в небольших нормах расхода и разрушающихся в почве в течение одного вегетационного периода; экологически безопасных – не обладающих последствием и малотоксичных для человека, живых объектов окружающей среды; не накапливавшихся в продуктах урожая, грунтовых водах, экономически выгодных для применения [9–12].

В 1960-е гг. испытывали главным образом препараты иностранных фирм, разрешенные для применения в других странах или подготовленные к регистрации [13, 14]. В последующем в 1970–1990 гг. [15, 16] появились гербициды отечественного синтеза. Эта группа препаратов в основном была представлена гербицидами-анало-

**Таблица 1.** Совершенствование ассортимента гербицидов

Показатель	Годы								
	1962	1971	1982	1992	1998	2000	2004	2009	2019
Количество зарегистрированных для применения препаратов	18	61	183	276	139	164	219	267	798
Количество действующих веществ	11	52	90	97	70	76	74	65	96
Рекомендовано комбинированных препаратов	–	7	35	49	32	37	52	75	177
Количество химических групп	6	20	26	32	25	28	24	23	25

гами, на основе уже известных действующих веществ (д.в.).

В XX веке исследования гербицидов были направлены в основном на создание перспективного ассортимента для главнейших сельскохозяйственных культур. При этом значительную их долю составляли отечественные препараты [17].

В настоящее время, в связи с возникающими новыми проблемами, такими как накопление устойчивых видов сорных растений, повышение экологической безопасности химического метода, ландшафтным земледелием и другими, главное внимание в регистрационных испытаниях гербицидов обращено на совершенствование ассортимента [18, 19].

Динамика роста разрешенных к применению препаратов по годам представлена в табл. 1. Уже к 1971 г. количество разрешенных к применению препаратов увеличилось более чем в 3 раза по сравнению с 1962 г. и составляло 61 на основе 52 д.в.: в 1982 г. – 183 (90 д.в.), в 1992 г. – 276 (97 д.в.), в 1998 г. – 139 (70 д.в.), в 2000 г. – 164 (76 д.в.), в 2004 г. – 219 (74 д.в.), в 2009 г. – 267 (65 д.в.), в 2019 г. – 798 (96 д.в.).

Одновременно с ростом количества зарегистрированных до 1992 г. действующих веществ общее число зарегистрированных препаратов увеличивалось за счет появления аналогичных препаратов (гербицидов на основе уже ранее зарегистрированных д.в., но других производителей), возрастало число комбинированных препаратов от 7-ми в 1971 г. до 49-ти в 1992 г.

После 1992 г. количество разрешенных к применению гербицидов снизилось до 139 наименований. В 1998 г. сократилось до 70-ти количество д.в., аналогов – до 31, комбинированных препаратов – до 32. Уменьшение числа разрешенных к применению препаратов в 1998 г. было обусловлено рядом причин, в том числе ограничениями, связанными с токсичностью некоторых гербицидов для теплокровных животных и экологической опасностью для окружающей среды, изменения-

ми в развитии химической промышленности России, преобразованиями ряда иностранных производителей.

К концу XX века в стране был сформирован перспективный ассортимент гербицидов для основных сельскохозяйственных культур. С начала 2000-х гг. количество разрешенных к применению гербицидов вновь увеличивалось (2000 г. – 164, 2004 г. – 219, 2009 г. – 267, 2019 г. – 798 наименований). При этом возрастало не только общее количество препаратов и действующих веществ, но также аналогов и комбинированных препаратов.

Одновременно с исключением из ассортимента препаратов с высокими нормами применения появлялись новые гербициды, безопасные для теплокровных ( $LD_{50} > 5000$  мг/кг) и окружающей среды, применявшиеся с низкими нормами (10–20 г/га), высокоизбирательные препараты 4-го поколения (сульфонилмочевины, имидазолины, триазолпиримидины) и сугубо противозлаковые – граминициды.

В соответствии с классификацией пестицидов по химическим группам [20–22], совершенствование ассортимента гербицидов проходило в первую очередь путем создания препаратов на основе новых д.в., новых химических групп гербицидов. Например, к началу 1970-х гг. наряду с препаратами на основе феноксиуксусных кислот появляются феноксимасляные (2,4-ДМ, 2М-4ХМ) и феноксипропионовые (2,4-ДП; 2М-4ХП), из числа ароматических аминов – трефлан, хлорацетанилидов – рамрод, бензойной кислоты – банвел, трисбен, амибен, из производных карбаминовой кислоты – карбин и бетанал, тиокарбаминовой – эптам, тиллам, триаллат, ордрам, фенилмочевины – афалон, арезин, диурон, фенурон и др., пиридазина – пирамин, пиримидина – вензар, большая группа триазинов – атразин, пропазин, прометрин, семерон.

Еще более возрастало разнообразие химических групп гербицидов к 1982 г. и особенно к на-

чалу 1990-х гг. [23]. Появились препараты на основе арилоксифеноксипропионовых кислот – иллоксан (продифокс). Количество их к 1992 г. увеличилось до 12 наименований (тарга, фюзилад и др.). На основе аминокислот появились суффикс, карахол и др., тиодиазина – базагран, органических соединений фосфора – раундап и его аналоги.

В 1986 г. зарегистрирован на посевах льна препарат глин из новой химической группы сульфониломочевин. Количество гербицидов из этой группы к 1992 г. достигло 16 наименований. К этому году значительно увеличилось число препаратов из групп тиокарбаматов (с 5-ти до 37-ми), производных мочевины (18), триазинов (с 5-ти до 24-х).

К концу 1990-х гг. многие препараты по различным причинам были изъяты их обращения, в связи с этим изменилось и соотношение препаратов отдельных химических групп, а также и внутри отдельных групп. Были запрещены препараты на основе феноксимасляной кислоты, фуранов, аминокислот, дипиридилов, сократилось количество производных фенилмочевины и триазинов. Из производных мочевины остались только 2 препарата на основе изопротурона (толкан) и хлорбромурона (малоран). На основе триазинов оставались семерон, голтикс, зенкор, гезагард 50, игран и в составе топогарда – тербутилазин и тербуметон, атразин – в составе примэкстра. Среди карбаматов сняли в качестве самостоятельного препарата бетанал (д.в. фенмедифам) и оставили десмедифам (бетанал АМ), а также комбинированные препараты на основе десмедифама и фенмедифама (9 препаратов) различных производителей. Достаточно большим оставалось количество тиокарбаматов (14 препаратов) на основе ЕРТС, триаллата, молината, циклоата. Не снизилось значительно количество препаратов на основе феноксиуксусных кислот (2,4-Д, МСРА), в основном за счет аналогов производства различных фирм. Эти действующие вещества, кроме того, широко используются в составе комбинированных препаратов в сочетании с другими химическими группами (сульфонилмочевинами и также производными бензойной кислоты – диамбой).

Широко представлена группа арилоксифеноксипропионовых кислот – противозлаковые препараты для посевов широколистных культур (зеллек супер, иллоксан, пантера, шогун, фуроре супер, фюзилад супер, тарга, тарга супер), для зерновых культур – топик и пума супер (циклогександионы).

Значительное место в ассортименте занимали появившиеся в 1982 г. гербициды из группы фосфорно-органических соединений – изопропил-аминная и калийная соли глифосата, глюфосинат, главным образом, за счет большого количества аналогов раундапа.

Лидирующее место в ассортименте 1998 г. по-прежнему (начиная с 1992 г.) продолжали занимать сульфониломочевины. Количество их вместе с комбинированными препаратами достигало 19 наименований. Наряду с такими препаратами как гранстар, хармони, круг, сатис, лондакс, глин и др. комбинациями, появились новые препараты – карибу (трифлусульфурон-метил), милагро (никосульфурон), гродил (амидосульфурон), ленок (калиевая соль хлоросульфурона) и комбинированные препараты – трезор (2,4-Д + триаосульфурон) и базис (титус + хармони). В 1998 г. появились новые перспективные группы – имидазолиноны, в состав которой входили препараты, отличавшиеся областью применения (арсенал, ассерт, пивот, пульсар), триазолиноны (аврора), изоксазолидины (комманд), пиролидоны (рейсер), производные хинолиновой кислоты (фацет). В 2001 г. появились сульфоанилиды (флорасулам в составе препарата прима).

Таким образом, во второй половине XX века в нашей стране был в основном сформирован ассортимент гербицидов для главнейших сельскохозяйственных культур [24, 25].

В целом совершенствование ассортимента гербицидов шло в нескольких направлениях: создавались новые д.в. препаратов с более низкими нормами применения, усовершенствовались препаративные формы и способы использования гербицидов, появились гербициды, избирательно действующие на культурные растения, экологически и токсикологически безопасные. Повышение безопасности использования во многом обеспечивалось за счет внедрения комбинированных препаратов, количество которых постоянно росло. За период с 2001 по 2005 г. в “Государственный каталог ...” было включено 85 гербицидов, зарегистрировано 11 новых действующих веществ: биспирибак-натрия (номини), имазомокс (пульсар), йодосульфуронметил-натрия (в составе комбинированного гербицида секатор), клефоксим (аура плюс), мезотрион (каллисто), проосульфурон (пик), тепралоксидим (арамо 50), триотосульфурон (в составе комбинированного гербицида серто плюс), флорасулам (в составе комбинированного гербицида прима). В 2001 г. впервые были включены 2 гербицида на основе метосульфурон-метила – ларен и грэнч, а к 2004 г. зарегистрировано 11 препаратов на основе того

же действующего вещества (рометсол, раджет-сол, аккурат, алмазис, магнум, артен, террамет, хит и др.).

В 2004 г. впервые разрешены для применения 2 препарата с повышенным содержанием глифосата (раундап макс и ураган форте), а в настоящее время их количество достигло 24 наименований, причем содержание д.в. варьирует от 450 до 750 г/л.

С 1992 по 2004 г. ассортимент гербицидов претерпел изменения и за счет изменения состава препаратов в пределах отдельных химических групп. Если в 1992 г. среди арилоксиалканкарбоновых кислот были представлены такие основные группы как оксиуксусные (2,4-Д; МЦПА), оксипропионовые (2М-4ХП; 2,4-ДП), оксимасляные (2М-4ХМ; 2,4-ДМ), то к началу XXI столетия сохранялся главным образом только 2,4-Д, причем и состав их изменялся. В 1990-е гг. основу составляли диметиламинные соли 2,4-Д (43% от общего количества 2,4-Д), бутиловый эфир – 7%, моноэтаноламинная соль – 7% и только начали появляться препараты на основе малолетучих эфиров. Использовали также комбинированные препараты на основе 2,4-Д (соли и эфиры) в сочетании с дикамбой, хлорсульфуоном, пиклорамом (43% от общего количества). К 2004 г. сохранялись препараты на основе аминных солей 2,4-Д, как самостоятельные (37%), но в значительной степени в комбинации с другими компонентами (клопиралид, хлорсульфуон) – 22%, а также малолетучие эфиры в сочетании с карфентразон-этилом, хлорсульфуоном, поскольку все больше проявлялась проблема борьбы с однолетними двудольными сорными растениями, устойчивыми к 2,4-Д (подмаренник, пикульники и др.). Появился более избирательно действующий и применявшийся в меньших нормах расхода 2-этилгексилловый эфир 2,4-Д (эстерон, КЭ и его аналоги), который использовали как самостоятельно, так и в сочетании с другими компонентами.

Перспективными оставались препараты на основе 2,4-Д и дикамбы. Эти комбинированные препараты вытеснили из ассортимента более дорогие гербициды на основе мекопропа и дихлорпропа. Более мягко действующие, чем 2,4-Д, гербициды на основе МСРА остались в ассортименте главным образом для посевов льна (аналоги разных фирм на основе 2М-4Х: было 8, стало – 10 наименований). Были исключены из ассортимента препараты на основе феноксимасляных кислот.

Важной проблемой еще с 1960-х гг. стала борьба со злаковыми сорными растениями в посевах зерновых и двудольных культур. При решении

этой проблемы в ассортимент включили граминициды, в основном из 2-х химических групп: производные оксифеноксипропионовой кислоты (гетероксипропионовой) и из аминов кетонов (циклогександионы). Среди граминицидов большинство проявляло высокую избирательность действия на широколиственные культуры, и они были способны уничтожать как однолетние, так и многолетние (например, пырей ползучий) злаковые сорные растения. Это препараты на основе флуазифоп-бутила, хизалофоп-П-этила, квизалофоп-П-тефурила, феноксапроп-П-этила, сетоксидима, клетодима. Большинство из них повреждали зерновые культуры. Но в случае включения в состав препаратов на основе феноксапроп-П-этила и клодинафоп-пропаргила антидотов (мефенпир-ди-этила и клоквинтосет-мексила) появилась возможность использовать их в борьбе с сорными злаками в посевах зерновых культур. Например, при добавке антидота к феноксапроп-П-этилу получены препараты группы пума супер. Кладинофоп-пропаргил с антидотом составляли препарат топик и т.п.

В это же время совершенствование химических групп граминицидов было направлено на получение “очищенных” препаратов (тарга – тарга супер, зеллек – зеллек супер и др.), когда из состава действующего вещества исключали неактивный изомер, повышали содержание д.в. в препарате и снижали нормы применения гербицида (фюзилад форте и др.). Были синтезированы новые д.в. – тралкоксидим (грасп), тепралоксидим (арамо 50).

В группе ароматических аминов (толуидинов) количество препаратов сократилось. В ассортименте остались только препараты на основе пендиметалина (6 наименований) и винг-П (пендиметалин + диметинамид-Р). Из простых эфиров остались оксифлуорфен (гоал 2Е, галиган, акцифор, гаур) и галакси топ (ацифлуорфен + бентазон).

Из алифатических карбоновых кислот из ассортимента были исключены галогенпроизводные монокарбоновых кислот, аминокислоты, анилиды кислот. Значительно сократилось количество производных хлорацетанилида. Исключены препараты на основе ацетохлора (харнес, трофи и др.), но продолжали использовать метазахлор (бутизан 400, султан) в чистом виде и в сочетании с имазамоксом (нопасаран) и квинме-раком (бутизан стар, транш супер, орлан), диметенамида-Р (фронтьер оптима, блокпост, эталон, дифронт) в чистом виде и в сочетании с пендиметалином (винг-П), С-метолахлора (дуал голд, анаконда, хевимет, бегин, телус, дифилайн, симба, авангард, душанс, метолс, стрим, ранголи-

дон) в чистом виде, в смеси с тербутилазином (гардо голд, киборг, камелот, хевимет голд), а также в виде тройной смеси с тербутилазином и мезотрионом (люмакс).

Из ароматических карбоновых кислот количество препаратов на основе бензойной кислоты достигло 18 наименований, а также нарастало постоянно количество комбинированных препаратов в сочетании с сульфонилмочевинами (никосульфуроном, римсульфураном, триасульфуроном, метсульфуран-метилом, хлорсульфураном), флорасуламом, пиклорамом, клопиралидом. Из гидроксibenзойных кислот вернулся в “Каталог ...” бромотрил, арилоксикарбоновых – напропамид. Исчезли дикарбоновые кислоты. Из производных карбаминовой кислоты (алкиловые эфиры) в ассортименте оставались препараты на основе десмедифама, главным образом в комбинации с фенмедифамом и этофумезатом. Как самостоятельный фенмедифам вернулся в ассортимент в 2014 г. актион. Исключены из обращения триаллат и ЭПТЦ. Препараты этой химической группы характеризовались достаточно большими нормами применения и не всегда удовлетворяли требованиям безопасности. В основном гербициды этой химической группы использовали путем внесения в почву, и эффективность их сильно зависела от подготовки почвы к посеву, заделки и влажности почвы, что осложняло их применение. Вероятно, по той же причине исчезли из ассортимента препараты на основе мочевины и фенилмочевины (в 1980–1990-е гг. их количество достигало 8–18 наименований). Из гетероциклических соединений с одним атомом в цикле в современном ассортименте отсутствуют производные фурана и дипиридила. Увеличивается количество препаратов на основе пиридина в основном за счет препаратов на основе клопиралида (34 препарата) и флуороксипира (2 препарата). Постоянно возрастает количество препаратов на основе сочетания клопиралида с пиклорамом (11 наименований), в 2014 г. в посевах рапса разрешена к применению комбинация клопиралида с пиклорамом и аминоклопиралидом (препарат галера супер 364).

Из гетероциклических соединений с 2-мя гетероатомами в цикле на основе пиридазина имеются в ассортименте хлоридазон и пиридат. Из пиримидинов – ленацил. Группа гетероциклических соединений с 3-мя и более гетероатомами в цикле сильно сократилась за счет триазинов. Присутствуют в ассортименте препараты на основе прометрина, метрибузина, метамитрона, тербутрина. Тиadiaзины представлены бентазоном и его комбинациями с дикамбой и МСРА.

Среди оксидиазолов появился новый гербицид для кукурузы – мерлин (д.в. изоксафлютол).

На смену этим давно известным химическим группам гербицидов в ассортименте появляются и увеличиваются в количестве более новые группы, которые появились в 1980–1990-е гг. Первый представитель сульфонилмочевин – хлорсульфуран (глин для посевов льна) появился в ассортименте в конце 1980-х гг. В 1992 г. насчитывалось уже 18 препаратов на основе 9-ти д.в. и их различные комбинации преимущественно с дикамбой и 2,4-Д. В 2004 г. ассортимент препаратов на основе сульфонилмочевин достиг 53 наименований (17 д.в.). Преимуществом этой группы препаратов (гербициды 4-го поколения) была очень низкая норма применения (10–30 г/га), высокая избирательность действия, высокая безопасность для человека и теплокровных животных ( $LD_{50} > 5000$  мг/кг). Однако недостатком для некоторых из них была длительность сохранения в почве и последствие на культуры в севообороте. Именно по этой причине препараты на основе хлорсульфурана долгое время не были включены в ассортимент для зерновых культур, которые возделываются в севообороте. В настоящее время имеются в наличии более безопасные по этому показателю гербициды для зерновых: трибенуран-метил (гранстар), тифенсульфуран-метил (хармони), а также комбинированные препараты с небольшим количеством хлорсульфурана (ковбой; дифезан и др.) или используемые при малых нормах расхода (кортекс; ленок; хардин и др.). На основе метсульфуран-метила для зерновых культур в 2016 г. ассортимент включал 19 препаратов различных производителей (магнум, аккурат, ларен про, грэнч и др.), а также 4 комбинированных препарата.

В настоящее время перечень культур, для которых разработаны безопасные гербициды на основе сульфонилмочевин, расширяется: например, римсульфуран (титус) и никосульфурон (милагро) для кукурузы. Найден избирательно действующий препарат даже для такой чувствительной культуры, как свекла (сахарная, столовая, кормовая) на основе трифлусульфурон-метила (карибу). Некоторые новые сульфонилмочевины вошли в состав комбинированных гербицидов для зерновых: амидосульфурон и йодосульфурон-метил натрия в составе препаратов секатор и секатор турбо; тритосульфурон в сочетании с дикамбой в составе препарата серто плюс. Просульфурон входит в состав препарата пик, который применяют в борьбе с двудольными сорными видами, в том числе с устойчивыми к 2,4-Д [26]. Широкое использование получило и такое на-

правление, как применение трибенурон-метила (гранд плюс, суперстар, гекстар, прометей, агро-стар, экспресс) на гибридах подсолнечника, обладающего устойчивостью к сульфонилмочевинам. Присутствуют в ассортименте и сульфонилмочевины общеистребительного типа с малыми нормами расхода – сульфометурон-метил (анкор-85, атрон, эшелон, эурон, веник).

В начале 1980-х гг. в ассортименте появились гербициды на основе органических соединений фосфора, на основе глифосата и глюфосината аммония. Эти препараты общего истребительного действия при относительно небольших нормах применения уничтожают как однолетние, так и многолетние сорные растения. Глифосат не накапливается в почве, его можно использовать по вегетирующим сорным растениям до посева или до всходов многих медленно прорастающих культур, а также в паровом поле (для сокращения механических обработок почвы), при обработке сорняков с осени по стерне. В ассортименте 1999 г. было уже более 10 препаратов на основе глифосата с содержанием д.в. 360 г/л (кислоты). Глюфосинат аммония (баста) использовали не только как гербицид, но также как десикант. Общее количество гербицидов на основе органических соединений фосфора в ассортименте 2004 г. составило 25, а к 2019 г. достигло 75 наименований.

Большую новую группу гербицидов составляют имидазолиноны, которые появились в начале 1990-х гг. Многие препараты этой группы проявляют высокую избирательность для бобовых (мотыльковых) культурных растений и обладают широким спектром действия на сорняки. Имазомокс (пульсар) рекомендован для применения на сое и горохе, имазетапир (пивот) – на сое, горохе, люпине, люцерне. Есть в этой химической группе и гербициды иного направления использования. Имазапир (арсенал) применяется как препарат общего истребительного действия. Сочетание двух имидазолинонов (имазамокс + имазапир) или имазамокс в чистом виде позволяют использовать эту группу препаратов в посевах гибридов подсолнечника и рапса, обладающих устойчивостью к их действию (евро-лайтнинг, евро-лайтнинг плюс, каптора и др.), причем эти гибриды получены с использованием методов традиционной селекции и не являются трансгенными.

На основе триазилинонов появился новый гербицид карфентразон-этил (аврора) и его комбинации с 2,4-Д (аврорекс) для зерновых культур для борьбы с двудольными сорными растениями, в том числе устойчивыми к 2,4-Д (подмаренник цепкий).

Из новых групп препаратов, появившихся в последние годы, необходимо отметить следующие: изоксазолидины – кломазон (комманд) для сои, свеклы, моркови, рапса, пирилоидоны – флухлоридон (рейсер) для картофеля, моркови, подсолнечника. Совершенствование ассортимента осуществляется путем создания более безопасных для использования форм препаратов. Если в 1960–1970-е гг. препаративными формами гербицидов в основном были растворимые порошки (натриевая соль 2,4-Д, натриевая соль 2М-4Х, ДНОК, ТХА, ПХФ натрия и др.), смачивающиеся порошки (симазин, атразин, рамрод и др.), концентраты эмульсии и водорастворимые концентраты (трефлан, зеллек, фюзилад, парднер, бюктрил-Д, бетаналы и др.), водные растворы (раундап, глиалка, 2,4-Д, диален, базагран и др.), то в конце 1980-х и в 1990-х гг. наряду с этими формами препаратов начинали появляться вододиспергируемые гранулы (гродил, грасп), сухая текучая суспензия (гранстар, хармони, титус), концентраты суспензии (гексилур, пирамин, бутизан, зирол), водно-гликолиевые растворы (ковбой, кросс, прессинг) – гигиенически более безопасные для использования.

Не получили достаточно широкого применения некоторые формы препаратов, такие как паста (например, нитрафен, препарат № 125) и гранулы (бутиловый эфир 2,4-Д, триаллат 10%, ордрам и ялан 10%, монурон и диурон и др.). Количество этих препаративных форм было небольшим. Применение гранул осложнялось отсутствием достаточно хороших приспособлений для их внесения.

В настоящее время продолжается совершенствование препаративных форм гербицидов (табл. 2). В 2001–2005 гг. значительное количество в ассортименте продолжали занимать концентраты эмульсии (27–32%), количество смачивающихся порошков снижалось, но за счет препаратов на основе метсульфурон-метила продолжало составлять 8–18%. Значительно увеличилось количество водно-диспергируемых гранул (11–22%). Большим оставалось число водных растворов в основном за счет препаратов на основе глифосата (до 14–19%). Появлялись и новые препаративные формы: масляная дисперсия (секатор турбо), суспензионная эмульсия (прима), концентрат коллоидного раствора (зонтран). В 2001–2005 гг. некоторые гербициды (сатис) выпускали в очень удобной форме – в растворимых в воде полиэтиленовых пакетиках с гектарной нормой внесения. Это очень удобная и гигиенически безопасная форма препарата для использования.

**Таблица 2.** Нормы применения гербицидов основных химических групп

Химическая группа	Годы					
	1986	1992	1998	2000	2004	2019
	Нормы применения препарата (л/га или кг/га)					
1. Феноксисукусная кислота	4.01	1.61	1.36	1.0	0.8	1.0
2. Феноксимасяная и феноксипропионовая кислота	3.58	3.28	1.41	—	—	—
3. Хлорацетанилиды	5.74	4.72	2.54	2.00	2.00	1.75
4. Ароматические амины	6.90	6.31	5.30	3.50	3.50	3.96
5. Бензойная кислота	3.72	2.02	1.82	0.50	0.50	0.81
6. Карбаматы	11.32	6.50	5.00	3.00	3.00	2.34
7. Тиокарбаматы	10.30	6.21	4.88	4.50	4.50	4.00
8. Фенилмочевины	4.89	3.40	2.50	2.50	—	—
9. Пиридазины	8.00	5.29	5.26	4.50	4.50	3.75
10. Пиримидины	2.70	2.58	2.55	2.00	2.00	1.50
11. Триазины	7.13	4.53	4.14	4.00	4.00	2.01
12. Арилоксифеноксипропионовые кислоты	3.42	3.23	2.23	2.00	2.00	0.67
13. Тиодиазины	4.00	3.00	3.00	3.00	3.00	2.50
14. Производные амнокислот	3.00	3.00	—	—	—	—
15. Органические соединения фосфора	7.33	5.45	5.33	4.50	4.00	3.96
16. Сульфонилмочевины	0.020	0.076	0.077	0.050	0.050	0.100
Среднее	5.38	3.83	3.16	2.28	2.09	1.77

Новые препаративные формы по токсикологическим и гигиеническим показателям были более безопасными для применения и могли использоваться с более низкими нормами применения, в том числе за счет изменения технологии их внесения. Например, препараты зонтран, ККР и лазурит супер, НКЭ было рекомендовано применять по вегетирующим сорным растениям, в ранние фазы их роста, а не до всходов. В результате, препаративная форма и изменение технологии применения позволили снизить норму внесения действующего вещества на единицу обрабатываемой площади практически в 3 раза.

Важным направлением в расширении ассортимента гербицидов является использование комбинированных препаратов. Комбинированные препараты имеют ряд преимуществ — расширяется спектр действия на сорные растения, сокращается обычно норма расхода каждого компонента по сравнению с использованием его в виде самостоятельного препарата.

Первые комбинированные препараты были разрешены к применению в начале 1970-х гг. (в 1971 г. — 7 наименований). В состав их входили 2,4-Д или МСРА с небольшой добавкой дикамбы — препараты банлен, диамет-Д или иоксинила —

препараты акрил АС, акрил М. Препарат тордон 101 представлял собой смесь 2,4-Д с пиклорамом. Число комбинированных препаратов увеличилось и составило к 1976 г. 15 наименований, из них 9 — новых главным образом для зерновых культур — диален, диапрен, гезаран 3517, люметон, байялан — для риса, для других культур — кампарол, карагард, нитазин, политриазины. В 1982 г. было рекомендовано 35 комбинированных препаратов. Комбинированные препараты включали метолахлор и атразин (примэкстра), керб с диуроном (керб ультра и керб микс Б), далапон с хлоридазоном (дазон), бентазон с МСРА (базагран М), рамрод с малораном (нитиран). В 1992 г. количество комбинированных препаратов достигло 49 наименований (35 новых). В состав этих препаратов входили следующие сочетания: фенмедифам с десмедифамом и этофумезатом, глифосат с 2,4-Д, хлорсульфурон с 2,4-Д или дикамбой, трефлан с триаллатом, 2,4-Д с дикамбой, различные сочетания атразина с ацетохлором и пиридатом. В 1998 г. количество комбинированных препаратов составляло 32 наименования. Из новых комбинаций наибольший интерес представляли диален супер с повышенным содержанием дикамбы, чисталан, лонтрим (2,4-Д с клопиралидом), галакси топ (бентазон + ацифлу-



орфен), зирол (мекопроп-П + дифлюфеникан), базис (римсульфурон + тифенсульфурон-метил), пума супер комби (феноксипроп-П-этил + МС-РА + антидот). К 2000 г. количество комбинированных препаратов составило 37 наименований. Появились такие новые комбинированные препараты как ланцет (2,4-Д с флуороксиципролом), камбио (бентазон с дикамбой), лотус Д (2,4-Д + цинидон-этил), кварц супер (изопротурон с дифлюфениканом), реджио (хлоридазон + десмедифам + фенмедифам), флирт (хлоридазон с квинмеракком). В состав некоторых из них входили новые действующие вещества (квинмерак, цинидон-этил).

Количество комбинированных препаратов продолжало увеличиваться и в последующие годы. В 2004 г. их количество достигло 52 наименований. Появились новые интересные сочетания 2,4-Д и дикамбы с различными сульфонилмочевинами и комбинации различных сульфонилмочевин.

В создании и совершенствовании комбинированных препаратов большая работа была выполнена ВНИИФ, ВНИИХСЗР, ВНИТиГ и другими научными учреждениями [27, 28]. Отмечено, что в “Государственном каталоге пестицидов на 2004 г. ...” 20% составляли комбинированные гербициды, из них 54% – отечественного производства. Начиная с 1976 г., в России было разрешено для применения от 10 до 55 наименований смесевых гербицидов или от 12 до 20% от общего количества разрешенных. Наибольшее распространение получили 2-компонентные, реже 3-компонентные смеси. При этом наиболее целесообразными были смеси, в состав которых входили компоненты, отличавшиеся по механизму и спектру действия на сорные растения.

Многие смесевые отечественные препараты применяли или применяют в посевах зерновых культур: диален, диамет-Д, диапрен, сангор, дифезан, фенфиз, ковбой, прессинг, кросс, кронос и др. Гербицидом диален [27] за 10 лет в СССР было обработано 29.1 млн га зерновых культур с эффектом 75–85% гибели сорных растений и сохраненным урожаем от 1.5 до 3.0 ц/га. Препаратами дифезан и фенфиз за 2001–2004 гг. было обработано более 7.4 млн га зерновых культур при снижении засоренности на 70–90% и повышении урожайности на 3–5 ц/га. Перспективные отечественные смесевые препараты можно успешно использовать как общеистебительные гербициды для борьбы с сорной растительностью на железнодорожных путях и т.п. [28]: например, разработанный ВНИИФ препарат аметил.

Существенное внимание уделяется разработке основ создания гербицидных композиций [27]. Гербицидные композиции используют не только в России, но и в других странах мира. Отмечено проявление синергизма компонентов смеси, например, при сочетании глифосата и глюфосината с метсульфурон-метилом [29], 2,4-Д – с дикамбой и сульфонилмочевинами. Создание и разработка регламентов применения гербицидных композиций по-прежнему остается перспективным направлением в совершенствовании ассортимента гербицидов.

Важным экологическим требованием к безопасности гербицидов при совершенствовании их ассортимента является снижение нагрузки препаратов на 1 га пахотных земель. Это требование реально выполнить за счет снижения норм применения гербицидов при появлении новых перспективных химических групп (например, сульфонилмочевины, очищенные изомеры).

В табл. 3 приведены данные о снижении норм расхода гербицидов по мере появления новых химических групп препаратов и более перспективных препаратов внутри одной и той же химической группы. Эти данные свидетельствуют о значительном снижении гербицидной нагрузки на 1 га. В 1986 г. в целом расходовалось 5.38 кг гербицидов/га, в 1998 г. – 3.16, 2004 г. – 2.09, в 2019 г. – 1.77 кг/га.

Таким образом, с появлением новых химических групп достигнуто снижение норм применения препаратов. Если в 1960-е годы далапон и ТХА использовали в количестве 15–20 кг/га и более, в 1970-е гг. бетанал, базагран, дозанекс – 3–5 кг/га, в начале 1980-х гг. – ≈1 кг/га, то в конце 1980-х и начале 1990-х гг., например, зенкор – 0.5–0.7 кг/га, а производные сульфонилмочевины – в г/га площади (гранстар, титус – 25–50 г/га, глины – ≤10 г/га и т.п.).

Снижение нормы применения гербицидов происходило также за счет появления очищенных изомеров, применявшихся с более низкими дозировками. Например, на основе мекопропа выпускали препарат 2М-4ХП, который в посевах зерновых культур использовали в нормах 2–3 л/га. На основе активного изомера мекопропа был создан препарат дуплазан КВ, который применяли для борьбы с устойчивыми к 2,4-Д двудольными сорными растениями в посевах зерновых культур в дозировках в 2 раза более низких, чем 2М-4ХП. Дуал (метолахлор) применяли в нормах 1.6–3.0 л/га, дуал голд (С-метолахлор) – 1.3–2.0 л/га. Фюзилад супер, заменивший фюзилад, содержал очищен-

ный изомер флуазифоп-П-этила, зеллек супер (галоксифоп-Р-метил) заменил зеллек и т.п.

Нормы внесения снижались также за счет повышения содержания д.в. в составе препаратов, например, на основе 2,4-Д: луварам, ВР (диметиламинная соль 2,4-Д, 610 г/л) расходовали в посевах зерновых культур в нормах 1.0-1.3 л/га, эстерон (564 г/л 2-этилгексильный эфир 2,4-Д) – 0.6–1.0 л/га, луварам экстра, ВР (500 г/л с повышенным содержанием смачивателя 20%) – 1.0–1.2 л/га, октапон экстра, КЭ (500 г/л) – 0.6–0.9 л/га, дротик, ККР (400 г/л) – 0.5–1.2 л/га.

Различные добавки к гербициду могут способствовать снижению его нормы расхода. Условно добавки делятся на 3 группы: вещества, улучшающие смачиваемость листьев, вещества, улучшающие проникновение гербицида в растение, и вспомогательные вещества, улучшающие удерживаемость частиц пестицида на поверхности растений [31]. Химический состав добавок очень разнообразен: растительные масла, белковые производные, ионные и неионные поверхностно-активные вещества, полимеры, воски и т.п.

Для повышения эффективности действия на сорные растения и частичного снижения нормы применения значительное распространение получили адьюванты и поверхностно-активные вещества (ПАВ). В настоящее время наиболее широкое распространение получил неионогенный ПАВ – этоксилат изодецилового спирта (тренд 90, виволт, адью, бит 90, сателлит и др.). Их используют в посевах кукурузы, зерновых, сои, свеклы в основном с препаратами на основе сульфонилмочевин. Из адьювантов в России разрешен для применения корвет, в состав которого входят минеральные масла и жирные спирты. Корвет используют как добавку к гербициду грасп для зерновых культур и для кукурузы – к препарату каллисто.

За счет использования этих добавок при применении, например, бетанала и его аналогов в посевах свеклы расход препарата можно уменьшить на 1/3–1/2. При этом сохраняется достаточно высокая эффективность гербицида и обеспечивается более безопасное действие препарата на культурное растение, о чем свидетельствует дополнительная прибавка урожая корнеплодов.

К противозлаковым препаратам, содержащим 240 г/л клетодима, применявшихся на широком наборе двудольных культур, к рабочему раствору добавляли 3-кратное количество по объему адьюванта амиго, хелпер (285 г/л фосфата эфира) или амиго стар, КЭ (842 г/л смеси метиловых эфиров жирных кислот), при соотношении ком-

**Таблица 3.** Совершенствование препаративных форм гербицидов

Препаративная форма	Годы			
	1961	1985	2008	2019
	Количество наименований			
Водный раствор (ВР)	–	18	57	159
Водная эмульсия (ВЭ)	–	–	–	3
Водно-диспергируемые гранулы (ВДГ)	–	–	30	166
Водорастворимый концентрат (ВК, ВРК)	1	5	15	49
Водорастворимый порошок (ВРП) (РП)	4	10	1	1
Водорастворимые гранулы (ВРГ)	–	–	3	5
Водно-суспензионный концентрат (ВСК)	–	–	1	3
Водно-гликолевый раствор (ВГР)	–	–	4	4
Концентрат коллоидного раствора (ККР)	–	–	–	6
Концентрат наноэмульсии (КНЭ)	–	–	–	1
Концентрат суспензии (КС)	–	1	13	64
Микрокапсулированная суспензия (МКС)	–	–	–	2
Микроэмульсия (МЭ)	–	–	–	3
Концентрат эмульсии (КЭ)	3	53	82	225
Масляная дисперсия (МД)	–	–	1	17
Масляный концентрат (МК)	–	–	–	2
Масляный концентрат эмульсии (МКЭ)	–	–	–	6
Суспензионный концентрат (СК)	–	–	–	17
Смачивающийся порошок (СП)	2	58	22	25
Сухая текучая суспензия (СТС)	–	–	5	8
Суспензионная эмульсия (СЭ)	–	–	1	20
Эмульсия масляно-водная (ЭМВ)	–	–	4	11
Минерально-маслянная суспензия (ММС)	–	3	–	–
Паста (П)	–	2	–	–
Гранулы (Г)	–	8	–	–
Минеральные масла (нефтяные) (ММн)	–	–	–	–
Бинарная упаковка (БУ)	–	–	1	–
Цианамид кальция (технический продукт)	–	1	–	–

**Таблица 4.** Обеспеченность основных сельскохозяйственных культур гербицидами

Культура	Годы		
	1979	1999	2019
Зерновые (пшеница озимая и яровая, рожь, овес, ячмень, тритикале, овес)	47	52	273
Кукуруза	29	31	220
Картофель	15	16	99
Свекла сахарная	22	42	259
Зернобобовые (горох, фасоль, соя, нут, чечевица)	16	24	169
Подсолнечник	9	18	157
Плодовые	14	15	42
Овощные	36	25	106

понентов 1 : 2 или микс, Ж (900 г фосфата эфира/л) при соотношении компонентов 1 : 1.

В разных странах используют различные адьюванты и ПАВ. Например, обзор адьювантов был представлен и опубликован в Китае [30]. В работе приведен исторический аспект появления адьювантов, состояние вопроса и перспективы их использования. Авторы подразделяют вещества на 2 группы: адьюванты действия гербицидов и для улучшения качества применяемых препаратов и удобства работы с ними. Первая группа адьювантов оказывает непосредственное влияние на эффективность действия гербицидов, способствуя усилению адсорбции, распространению, проникновению через кутикулу листьев, противодействуя смыванию дождем и фотодеградационной гербицида. Вторая группа адьювантов улучшает физические свойства рабочего раствора. По химической структуре адьюванты подразделяются на 3 группы: сурфактанты, масла и неорганические соли. В Германии [31] изучали действие баковых смесей гербицидов, влияющих на ацетил-коэнзим-А-карбоксилазу, и сульфонилмочевин в сочетании с 19-ю адьювантами на некоторые виды сорных растений (костер бесплодный, лисохвост мышехвостиковый, метлица обыкновенная) и овес. Особенно эффективным было использование адьювантов в борьбе с костром бесплодным из-за покрытия поверхности его листьев волосками и слабой смачиваемости. С проверкой в полевых опытах в 2001–2003 гг. были подобраны перспективные адьюванты, равноценные по эффективности с минеральными маслами и рапсовым маслом. Было установлено, что длительность гербицидного действия после выпадения осадков вслед за применением препаратов зависит от при-

роды поверхности листьев растений, гербицида и адьюванта. В Польше в значительных количествах используют ПАВ и адьюванты [32]. В стране применяют 13 видов ПАВ, 100 т минеральных масел, 135 т растительных масел. При этом используют разные продукты: ПАВ на основе этоксилированных жирных спиртов, этоксилированных изодециловых спиртов, минеральные масла на основе парафиновых масел, масла растительного и животного происхождения, их производные (эстрифицированные масла, метилорированные жирные кислоты семян рапса, пост-рефинированные жирные кислоты из рапсового масла, рапсовое масло), а также минеральные соли (сульфат аммония). Для сравнения в Западной Европе в целом используют ПАВ – 8900 т, минеральные масла – 8700 т, растительные масла – 900 т, в США соответственно – 21 500, 108 900 и 4800 т. В США изучали гербицидное действие растительных масел различных растений и возможность их использования в качестве “натуральных гербицидов” и адьювантов [33]. Изучали масла растений базилика, рапса, кориандра, тмина обыкновенного, гвоздики, кукурузы, хлопчатника, фенхеля, льна, лещины, масла арахиса, сафлора, сои, кунжута, подсолнечника и др. в условиях лабораторных и вегетационных опытов. В Германии [34] и США [35] изучали целесообразность добавления адьювантов к глифосату для повышения его эффективности при снижении дозировки.

В качестве добавки к гербицидам для снижения нормы расхода можно использовать минеральные удобрения. Первые примеры такого применения – обработка посевов зерновых культур 2,4-Д в сочетании с минеральными азотными удобрениями (подкормка мочевиной при снижении дозы 2,4-Д натриевой соли на 1/3). Подобные приемы используют и в настоящее время на различных культурах. В посевах овса применение аврорекса и фенфиза в пониженных нормах расхода в сочетании с NO<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> на удобренном фоне способствовало повышению урожайности зерна [36].

В последние годы довольно большое внимание уделяют изучению возможности расширения срока применения препаратов, особенно часто в посевах зерновых культур и кукурузы: например, препараты, в состав которых входят 2 сульфонилмочевины (калибр, калибр голд, секатор турбо) на яровых зерновых культурах от фазы 3-х листьев до фазы формирования 2-го междоузлия [37], композиции, содержащие флуороксипир (старане премиум, деметра) или флуороксипир в сочетании с флорасуламом (унико) – в зависимости от сроков появления вьюнка полевого в фазах

от кушения до появления флагового листа и даже в фазе колошения [38].

К началу XXI века ассортимент гербицидов в нашей стране для основных сельскохозяйственных культур в основном был сформирован, что дало возможность решить многие проблемы химической борьбы с сорными растениями. Этот ассортимент соответствует мировому. В табл. 4 приведена обеспеченность основных сельскохозяйственных культур гербицидами в динамике по годам. Лидерами остаются зерновые культуры, кукуруза, свекла сахарная и подсолнечник.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Шипинов Н.А., Чайко И.Г.* Химические методы борьбы с сорняками. Л., 1953. 84 с.
2. *Шипинов Н.А.* Химия в борьбе с сорняками. Л., 1954. 32 с.
3. *Шипинов Н.А.* Химическая борьба с сорной растительностью в СССР (IX Международ. конф. по карантину и защите растений от вредителей и болезней. Авт., 1958: Докл. советской делегации). М., 1958. 13 с.
4. *Шипинов Н.А.* Гербициды // Бюл. Гос. комиссии по хим. средствам борьбы с вредителями, болезнями растений и сорняками. 1961. № 2. С. 30–44.
5. *Сабурова П.В., Петунова А.А.* К вопросу о механизме избирательного действия гербицида симазина (2-хлор-4,6-бис-этиламино-сим-триазин) // Бюл. ВИЗР. 1962. № 6. С. 15–19.
6. *Новожилов К.В.* Тенденции развития ассортимента пестицидных препаратов в СССР // Совершенствование ассортимента средств защиты растений и способов их применения на важнейших сельскохозяйственных культурах. Л., 1983. С. 7–14.
7. *Петунова А.А., Воеводин А.В., Каспирова Т.А.* Создание ассортимента гербицидов для главнейших сельскохозяйственных культур // Совершенствование средств защиты растений и способов их применения на важнейших сельскохозяйственных культурах (по итогам госиспытаний пестицидов и способов их применения за 1961–1981 гг.). Сб. науч. тр. Л.: ВИЗР, 1983. С. 52–61.
8. *Воеводин А.В.* О чувствительности к гербицидам некоторых растений, содержащих разные количества хромосом // Мат-лы 3-й Всесоюз. конф. по разработке и применению гербицидов в сел. хоз-ве. Секция 2. М., 1969. С. 2–4.
9. *Воеводин А.В., Петунова А.А.* Природа действия гербицидов // Защита растений. 1970. № 5. С. 29–30.
10. *Воеводин А.В., Терехова М.А., Казарина Е.М., Хисматулин А.Г.* Изучение чувствительности пшеницы к гербициду 2,4-Д // Агрохимия. 1973. № 8. С. 131–135.
11. *Воеводин А.В.* Влияние гербицидов на качество продуктов урожая // Влияние гербицидов на биологические свойства культурных растений и биохимический состав сельскохозяйственных продуктов. Тр. ВИЗР. Л., 1975. Вып. 43. С. 41–50.
12. *Petunova A.A.* Resistance of botanic taxons of Poacea (Graminae L.) to herbicides from different chemical groups // Brighton Crop Protection Conference: Weeds; 20–23 November, 1995 // Proceedings. 1995. V. 3. 6C–21. P. 747–752.
13. *Шипинов Н.А., Ладонин В.Ф., Маркелов Г.А.* Карбин – гербицид для уничтожения овсяга // Земледелие. 1963. № 3. С. 49–58.
14. *Шипинов Н.А.* Борьбы с сорняками в Швеции // Защита растений. 1968. № 6. С. 52–53.
15. *Новожилов К.В.* Тенденции развития ассортимента пестицидных препаратов в СССР // Совершенствование ассортимента средств защиты растений и способов их применения на важнейших сельскохозяйственных культурах. Л., 1983. С. 7–14.
16. *Новожилов К.В.* Некоторые направления экологизации защиты растений // Защита и карантин раст. 2003. № 8. С. 14–17.
17. *Давыдов А.М.* Ретроспектива совершенствования отечественных гербицидов для зерновых и пропашных культур. Уфа: Уфим. гос. нефт. тех. ун-т, 1998. 152 с.
18. *Долженко В.И., Новожилов К.В.* Перспективы повышения экологической безопасности химического метода защиты растений // Вестн. защиты раст. СПб.–Пушкин, 2005. № 2. С. 79–83.
19. *Долженко В.И., Новожилов К.В.* Приоритеты развития химического метода // Защита и карантин раст. 2006. № 4. С. 77–80.
20. *Мельников Н.Н., Баскаков Ю.Б.* Химия гербицидов и регуляторов роста растений. М.: Гос. научн.-тех. изд-во хим. лит-ры, 1962. 723 с.
21. *Долженко В.И.* Ассортимент средств защиты растений, включающих новое поколение биопестицидов, БАВ, экологически безопасные пестициды и аналоги природных соединений // Гербициды. Ч. 2, 3. СПб.: ООО ИЦЗР, ВИЗР РАСХН, 2000. 99 с.
22. *Петунова А.А.* Ретроспективный анализ ассортимента гербицидов // Мат-лы к Всерос. съезду по защите раст., 4–9 декабря 1995 г., Санкт-Петербург. СПб., 1995. 46 с.
23. *Петунова А.А., Долженко В.И., Галиев М.С., Маханькова Т.А.* Совершенствование ассортимента гербицидов // Агро XXI. 2001. № 2. С. 2–4.
24. *Маханькова Т.А., Долженко В.И., Петунова А.А.* Совершенствование ассортимента гербицидов в последнее десятилетие XX века и перспективы на начало XXI века // Химический метод защиты растений. Состояние и перспективы повышения экологической безопасности. СПб.: ВИЗР, 2004. С. 214–218.
25. *Маханькова Т.А., Долженко В.И., Петунова А.А.* Оптимизация ассортимента гербицидов для защиты зерновых культур // Фитосанитарное оздоровление экосистем: Мат-лы 2-го Всерос. съезда по защите раст. Санкт-Петербург, 5–10 декабря, 2005. Т. II. СПб., 2005. С. 392–394.
26. *Голубев А.С., Маханькова Т.А.* Биологическая эффективность гербицида пик при разной степени

- засоренности посевов озимой пшеницы в условиях Северо-Западного региона РФ // Там же. С. 359–361.
27. Раскин М.С. Смесевые гербициды. Теория создания и практика их применения: Доклад (Научн. конф. по актуальным проблемам земледелия, защиты растений, генетики, селекции и семеноводства полевых, овощных и плодовых культур), Москва, декабрь, 2003. // Докл. ТСХА. 2004. № 276. С. 130–135.
  28. Спиридонов Ю.Я., Шестаков В.Г. Рациональная система поиска и отбора гербицидов на современном этапе. М., 2006. 267 с.
  29. Kudsk P., Mathiassen S.K. Joint action of amino acid biosynthesis-inhibiting herbicides // *Weed Res.* 2004. V. 44. № 4. P. 313–322.
  30. Wang Cheng-ju, Zhang Wen-ji. Обзор по адьювантам и перспективы их применения с гербицидами // *Nongyaoxue хуебао. Chin. J. Pest. Sci.* 2003. V. 5. № 1. P. 12–20.
  31. Augustin B. Effektivitätsat und wirkungsweise von zusatzstoffen in tank-mischung mit herbiziden // 22 Deutsche Arbeitsbesprechung über Fragen der Unkrautbiologie und -bekämpfung. Stuttgart-Hohenheim. 2–4 März, 2004] // *Z. Pflanzenkrankh. und Pflanzenschutz.* 2004. 19. P. 813–819.
  32. Woznica Z., Skrzypczak G. Adjuvants for folia applied herbicides // *Ann. Warsaw Agr. Univ. SGGW. Agr.* 1998. № 32. P. 33–42.
  33. Tworkoski T. Herbicide effects of essential oils // *Weed Sci.* 2002. V. 50. № 4. P. 425–431.
  34. Scherhag H., Schmitz-Eiberger M., Downer R., Noga G. Influence of rapeseed oil ethoxylate surfactants on retention and biological efficacy of glyphosate spray solutions in selected weeds // *J. Appl. Bot. Food Qual.* 2005. V. 79. № 1. P. 17–23.
  35. Sharma S.D., Singh M. Effect of two adjuvant types on the distribution of <sup>14</sup>C-glyphosate applied to model weed species // Brighton Conf. “Weeds”: Proc. Int. Conf., Brighton, 15–18 Nov., 1999. V. 2. Farnham, 1999. С. 729–734.
  36. Иванов Д.Ю., Дорожкина Л.А. Эффективность комплексного применения силиката натрия и гербицидов в посевах зерновых культур // Научн. конф. по актуал. пробл. земледелия, защиты растений, генетики, селекции и семеноводства полевых, овощных и плодовых культур. Москва, дек., 2003. Докл. ТСХА. 2004. № 276. С. 120–124.
  37. Голубев А.С., Маханькова Т.А., Долженко В.И. Чувствительность сорных растений к гербициду Калибр Голд в разные фазы их развития // *Агрохимия.* 2018. № 10. С. 67–73.
  38. Голубев А.С., Маханькова Т.А., Долженко В.И., Каракотов С.Д. Биологическое обоснование возможности использования гербицидов в разные фазы развития зерновых культур // *Рос. сел.-хоз. наука.* 2020. № 1. С. 20–24.
  39. Спиридонов Ю.Я., Шестаков В.Г. Развитие отечественной гербологии на современном этапе. М.: Печатный город, 2013. 426 с.

## Formation of an Assortment of Herbicides in Russia

T. A. Makhankova<sup>a,#</sup>, V. I. Dolzhenko<sup>a</sup>, and A. S. Golubev<sup>a</sup>

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

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

Weed control in the cultivation of all crops is an important and necessary measure to obtain a high yield. The crops of most crops are heavily clogged and, due to the predominance of perennial rhizomatous and root-springing weeds, crop losses reach 30–40%. Herbicides are used on large areas in all developed countries at the present time and will be used in the nearest foreseeable period. The article presents the issues of the formation of the assortment of herbicides in our country in a historical aspect, for more than 50 years, since 1960, and until now.

*Key words:* weeds, herbicides, active substances, chemical classes, preparative forms, application standards, timing of protective measures, antidotes, surfactants, adjuvants, agricultural crops.

УДК 631.811.1:633.16:631.459:631.421.1

## АЗОТ В ПИТАНИИ РАЗЛИЧНЫХ СОРТОВ ЯЧМЕНЯ В УСЛОВИЯХ СКЛОНА (ДЛИТЕЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ С $^{15}\text{N}$ )

© 2022 г. А. А. Завалин<sup>1,\*</sup>, Н. Я. Шмырева<sup>1</sup>, Д. А. Соколов<sup>2</sup>, О. А. Соколов<sup>1</sup><sup>1</sup>Всероссийский научно-исследовательский институт агрохимии им. Д.Н. Прянишникова  
127550 Москва, ул. Прянишникова, 31а, Россия<sup>2</sup>Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения  
142290 Пущино, ул. Институтская, 2, Россия

\*E-mail: zavalin.52@mail.ru

Поступила в редакцию 20.06.2022 г.

После доработки 23.07.2022 г.

Принята к публикации 12.08.2022 г.

В длительном микрополевым эксперименте (15 лет, 5-польный севооборот) на дерново-подзолистой эродированной почве (Смоленская обл.) изучена реакция 2-х сортов ячменя (Раушан – пивоваренный засухоустойчивый сорт и Носовский – зернофуражный сорт) на технологию применения азотного удобрения, меченного  $^{15}\text{N}$ . Установлено, что пивоваренный сорт ячменя Раушан лучше использовал (на 38%) азот удобрения и больше (на 16%) потреблял азот почвы по сравнению с сортом Носовский. На приводораздельной части склона сорт Раушан потреблял азот удобрения на 31% больше, в нижней его части – на 44%, а азот почвы – на 13 и 22% соответственно по сравнению с сортом Носовский. При выращивании сорта Раушан на склоне в дерново-подзолистой почве иммобилизовалось азота удобрения на 9–10% больше, а терялось его на 21–26% меньше по сравнению с сортом Носовский. Агрофитоценоз сорта Раушан функционировал в более устойчивом состоянии (на 6–11% на приводоразделе и на 18–70% в нижней части склона), чем агрофитоценоз сорта Носовский. На всех элементах рельефа сорт Раушан формировал урожай зерна на 16% больше, чем сорт Носовский. В зерне сорта Раушан на приводораздельной части склона накапливалось сырого белка на 2.1% больше, на нижней части – на 1.1% по сравнению с сортом Носовский. В нижней части склона в течение длительного времени не удалось получить зерно ячменя с пивоваренными свойствами.

**Ключевые слова:** элементы рельефа, эрозия почв, севооборот, изотоп азота  $^{15}\text{N}$ , потоки и баланс азота удобрения, потоки азота почвы, устойчивость, продуктивность сорта, содержание сырого белка.

DOI: 10.31857/S0002188122110126

### ВВЕДЕНИЕ

В условиях эрозийного агрофитоценоза азот претерпевает ряд превращений: используется растениями, иммобилизуется, улетучивается в атмосферу, мигрирует по почвенному профилю с поверхностным и латеральным стоками талых и ливневых вод, что ведет к росту его потерь и загрязнению окружающей среды [1–4]. Особенно сильно эрозийного агроландшафта является то, что на коротком расстоянии существенно меняются световой, температурный, влажностный и питательный режимы почвы как по сторонам света, так и от приводораздельной части склона к его тальвегу. Роль азота в продукционном процессе возделываемых на склоне растений тесно связана с его участием в 3-х средах (твердой, жидкой и газообразной), в минерализационно-иммобилизационных процессах, а также в биологических

процессах (нитрификация, денитрификация), активность которых определяет структура и биоразнообразие микробоценоза [5–8].

Направленность и интенсивность минерализационно-иммобилизационных процессов трансформации азота в почве детерминированы, с одной стороны агроэкологическими условиями склона, а с другой – генотипической реакцией возделываемой культуры на азотный режим почвы [3, 9–11]. Причем, эта реакция проявляется не только в обеспеченности и доступности минеральных форм азота, но и в его поглощении корнями, транспорте, ассимиляции и аккумуляции в растении [12–14].

Внедрение технологии локализации азотных минеральных удобрений в условиях эрозийного агроландшафта предусматривает решение целого ряда задач: повышение плодородия и продуктив-

**Таблица 1.** Потребление азота удобрения и азота почвы сортами ячменя в зависимости от элемента рельефа и способа внесения азотного удобрения в 3-х ротациях севооборота

Вариант	Общий вынос N, г/м <sup>2</sup>	В том числе N				Экстра-азот	
		удобрений		почвы		1	2
		1	2	1	2		
<b>Сорт Носовский</b>							
1-я ротация							
Приводораздельная часть склона, 2–3°							
Р50К50 (фон)	4.69	–	–	4.69	100	–	–
Фон + 15N50 вразброс	7.36	0.73	10	6.63	90	1.94	26
Фон + 15N50 локально	12.32	1.50	12	10.82	88	6.13	50
Нижняя часть склона, 5–7°							
Р50К50 (фон)	3.33	–	–	3.33	100	–	–
Фон + 15N50 вразброс	5.24	0.50	10	4.74	90	1.41	27
Фон + 15N50 локально	7.91	1.00	13	6.91	87	3.58	45
2-я ротация							
Приводораздельная часть склона, 2–3°							
Р50К50 (фон)	3.35	–	–	3.35	100	–	–
Фон + 15N50 вразброс	7.44	0.90	12	6.94	88	3.59	48
Фон + 15N50 локально	10.34	1.40	14	8.94	86	5.59	46
Нижняя часть склона, 5–7°							
Р50К50 (фон)	1.82	–	–	1.82	100	–	–
Фон + 15N50 вразброс	5.03	0.50	10	4.53	90	2.71	54
Фон + 15N50 локально	6.70	0.95	13	5.75	87	3.93	41
3-я ротация							
Приводораздельная часть склона, 2–3°							
Р50К50 (фон)	3.42	–	–	3.42	100	–	–
Фон + 15N50 вразброс	6.61	0.95	14	5.66	86	2.24	34
Фон + 15N50 локально	10.03	1.70	17	8.33	83	4.91	49
Нижняя часть склона, 5–7°							
Р50К50 (фон)	2.32	–	–	2.32	100	–	–
Фон + 15N50 вразброс	4.85	0.70	14	4.15	86	1.83	38
Фон + 15N50 локально	6.77	1.20	18	5.57	82	3.25	48
<b>Сорт Раушан</b>							
1-я ротация							
Приводораздельная часть склона, 2–3°							
Р50К50 (фон)	5.15	–	–	5.15	100	–	–
Фон + 15N50 вразброс	8.67	1.80	21	6.87	79	1.72	20
Фон + 15N50 локально	13.80	2.05	15	11.75	85	6.60	48
Нижняя часть склона, 5–7°							
Р50К50 (фон)	3.93	–	–	3.93	100	–	–
Фон + 15N50 вразброс	7.52	1.40	19	6.12	81	2.19	29
Фон + 15N50 локально	9.24	1.75	18	7.49	82	3.56	38
2-я ротация							
Приводораздельная часть склона, 2–3°							
Р50К50 (фон)	3.69	–	–	3.69	100	–	–
Фон + 15N50 вразброс	6.54	1.50	23	5.01	77	1.55	20
Фон + 15N50 локально	10.78	1.65	15	9.16	85	5.47	51

Таблица 1. Окончание

Вариант	Общий вынос N, г/м <sup>2</sup>	В том числе N				Экстра-азот	
		удобрений		почвы		1	2
		1	2	1	2		
Нижняя часть склона, 5–7°							
P50K50 (фон)	2.78	–	–	2.78	100	–	–
Фон + 15N50 вразброс	6.16	1.30	21	4.86	79	2.08	34
Фон + 15N50 локально	8.64	1.45	17	7.15	83	2.76	32
3-я ротация							
Приводораздельная часть склона, 2–3°							
P50K50 (фон)	3.81	–	–	3.81	100	–	–
Фон + 15N50 вразброс	6.40	1.40	22	5.00	78	1.19	18
Фон + 15N50 локально	10.27	1.50	15	8.77	85	4.96	48
Нижняя часть склона, 5–7°							
P50K50 (фон)	2.51	–	–	2.51	100	–	–
Фон + 15N50 вразброс	6.00	1.25	21	4.75	79	2.24	37
Фон + 15N50 локально	8.27	1.40	17	6.87	83	4.36	53

Примечание. В графе 1 – г/м<sup>2</sup>, 2 – %.

ности эродированных почв путем регуляции минерализационно-иммобилизационных процессов трансформации азота в почве; повышение использования азота удобрения и азота почвы растениями; снижение поверхностной и латеральной миграции азота, уменьшение газообразных потерь азота удобрения и почвенного азота, предупреждение загрязнения грунтовых и поверхностных вод [15–18].

Наиболее полную и объективную информацию о влиянии систематического применения азотных удобрений на продуктивность и качество урожая возделываемых культур можно получить только в длительных исследованиях в условиях севооборота [19–21]. Что касается экологических последствий применения азотных удобрений, круговорота и баланса азота удобрения в системе почва–растение, то необходимо проведение длительных стационарных исследований с применением метода изотопной индикации (тяжелый изотоп <sup>15</sup>N) [22–24].

В работе [25] в длительном эксперименте (60 лет) было показано, что после уборки урожая культур севооборота внесение растительных остатков в почву и инкубирование их с мочевиной, меченой <sup>15</sup>N, в течение 180 сут привело к наибольшему закреплению азота мочевины в почве при внесении растительных остатков риса (с широким соотношением C : N), к наименьшему – при внесении остатков сои (с узким соотношением C : N). Эти данные характеризовали только отдельные звенья круговорота и не дают полной картины поведения азота в системе почва–растение.

Цель работы – с помощью азотных удобрений, меченных <sup>15</sup>N, изучить параметры круговорота азота удобрения и азота почвы при выращивании сортов ячменя в условиях склонового рельефа.

#### МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследование проводили в микрополевом опыте в течение длительного времени (15 лет, 3 ротации 5-польного севооборота: озимая рожь – овес – ячмень – многолетние травы 1-го года жизни – многолетние травы 2-го года жизни) с азотным удобрением, меченым <sup>15</sup>N (мочевина), на эродированной дерново-подзолистой почве склонового рельефа. В 1-й ротации севооборота ГТК составил 1.6 (при норме 1.75). Во 2-й ротации севооборота ГТК составил 1.69 (температура воздуха и количество осадков оказались в 1.1 раза выше по сравнению со среднемноголетними показателями). В 3-й ротации севооборота ГТК достиг 2.0 (количество осадков превышало в 1.1 раза, температура воздуха снижалась в 1.1 раза по сравнению со среднемноголетними показателями). Исследование проводили с 2-мя сортами ячменя: Носовский 9 (зернофуражного направления) и Раушан (пивоваренного направления).

Почва – дерново-подзолистая среднесуглинистая на карбонатном моренном суглинке. Приводораздельная часть склона – 2–3° и нижняя часть склона – 5–7°. Содержание физической глины 32–34%. Агрохимическая характеристика пахотных слоев почв этих участков склона: рН<sub>KCl</sub> 5.7 и 6.1, H<sub>T</sub> – 1.18 и 0.8 мг-экв/100 г почвы, содержание



**Таблица 2.** Потоки и баланс азота удобрения при выращивании сортов ячменя на различных элементах рельефа в зависимости от способа внесения азотного удобрения

Вариант	Использовано растениями		Иммобилизовано в слое 0–100 см почвы		Потери	
	1	2	1	2	1	2
Сорт Носовский						
1-я ротация						
Фон + <sup>15</sup> N50 вразброс	<u>0.73</u> 15	<u>0.50</u> 10	<u>1.46</u> 29	<u>0.90</u> 18	<u>2.82</u> 56	<u>3.60</u> 72
Фон + <sup>15</sup> N50 локально	<u>1.50</u> 30	<u>1.00</u> 20	<u>1.80</u> 36	<u>1.40</u> 28	<u>1.70</u> 34	<u>2.60</u> 52
2-я ротация						
Фон + <sup>15</sup> N50 вразброс	<u>0.90</u> 18	<u>0.60</u> 10	<u>1.05</u> 21	<u>0.95</u> 19	<u>2.35</u> 47	<u>2.75</u> 55
Фон + <sup>15</sup> N50 локально	<u>1.40</u> 28	<u>0.95</u> 19	<u>1.45</u> 29	<u>1.10</u> 22	<u>1.60</u> 32	<u>2.55</u> 51
3-я ротация						
Фон + <sup>15</sup> N50 вразброс	<u>0.95</u> 19	<u>0.70</u> 14	<u>1.34</u> 27	<u>0.85</u> 17	<u>2.71</u> 54	<u>3.45</u> 69
Фон + <sup>15</sup> N50 локально	<u>1.70</u> 34	<u>1.20</u> 24	<u>1.60</u> 32	<u>1.25</u> 25	<u>1.70</u> 34	<u>2.55</u> 51
Сорт Раушан						
1-я ротация						
Фон + <sup>15</sup> N50 вразброс	<u>1.80</u> 36	<u>1.40</u> 28	<u>1.60</u> 32	<u>1.10</u> 22	<u>1.60</u> 32	<u>2.50</u> 50
Фон + <sup>15</sup> N50 локально	<u>2.05</u> 41	<u>1.80</u> 35	<u>2.00</u> 40	<u>1.45</u> 29	<u>0.95</u> 19	<u>1.80</u> 36
2-я ротация						
Фон + <sup>15</sup> N50 вразброс	<u>0.95</u> 19	<u>0.70</u> 14	<u>1.34</u> 27	<u>0.85</u> 17	<u>2.71</u> 54	<u>3.45</u> 69
Фон + <sup>15</sup> N50 локально	<u>1.70</u> 34	<u>1.20</u> 24	<u>1.60</u> 32	<u>1.25</u> 25	<u>1.70</u> 34	<u>2.55</u> 51
3-я ротация						
Фон + <sup>15</sup> N50 вразброс	<u>0.95</u> 19	<u>0.70</u> 14	<u>1.34</u> 27	<u>0.85</u> 17	<u>2.71</u> 54	<u>3.45</u> 69
Фон + <sup>15</sup> N50 локально	<u>1.70</u> 34	<u>1.20</u> 24	<u>1.60</u> 32	<u>1.25</u> 25	<u>1.70</u> 34	<u>2.55</u> 51

Примечания. 1. В графе 1 – приводораздельная часть склона (2–3°), 2 – нижняя часть склона (5–7°). 2. Над чертой – азот удобрения, г/м<sup>2</sup>, под чертой – азот удобрения, % от внесенного.

обменных Ca<sup>2+</sup> – 5.5 и 6.0 мг-экв/100 г почвы и Mg<sup>2+</sup> – 2.0 и 2.2 мг-экв/100 г почвы, гумуса – 2.1 и 0.8%, N<sub>общ</sub> – 0.09 и 0.07%, подвижных форм фосфора – 13.7 и 18.7 мг/100 г почвы, калия – 13.8 и 16.7 мг/100 г почвы (по Кирсанову).

Микрополевой опыт (размер делянок 0.5 × 1.0 м) был размещен на склоне ЮВ экспозиции. Длина склона 300 м, повторность четырехкратная, с <sup>15</sup>N – двукратная. Азотное удобрение вносили в дозе 50 кг/га 2-мя способами: вразброс и локаль-

**Таблица 3.** Потоки азота почвы при выращивании сортов ячменя на различных элементах рельефа, г/м<sup>2</sup>

Показатель	Приводораздельная часть склона, 2–3°		Нижняя часть склона, 5–7°	
	1	2	1	2
Сорт Носовский				
Вынос азота почвы растениями	6.6	10.8	4.74	6.9
Остаточный минеральный азот	1.8	3.1	0.7	1.0
Иммобилизованный/реимобилизованный азот	13.2	13.0	9.7	8.5
Газообразные потери азота почвы	25.6	12.3	34.1	17.9
Минерализованный азот почвы	52.3	44.1	53.1	40.5
Нетто-минерализованный азот почвы	37.7	29.4	43.6	29.5
Реимобилизованный азот	14.6	14.8	9.4	11.1
Сорт Раушан				
Вынос азота почвы растениями	6.9	11.8	6.1	7.5
Остаточный минеральный азот	1.6	2.8	0.5	0.8
Иммобилизованный/реимобилизованный азот	14.7	13.7	12.6	9.2
Газообразные потери азота почвы	20.6	11.1	26.0	16.2
Минерализованный азот почвы	56.4	50.3	47.2	35.1
Нетто-минерализованный азот почвы	41.8	32.2	38.0	29.5
Реимобилизованный азот	18.2	17.9	16.3	14.7

Примечание. В графе 1 – азот вразброс, 2 – азот локально.

но на глубину 10 см лентой. Защитные полосы между микроделянками – 0.5 м. Обработку почвы – отвальная вспашка и рыхление подпахотного слоя на глубину 10–15 см проводили вручную. Перед закладкой опыта проведено известкование из расчета полной нормы гидролитической кислотности. Норма высева – 5 млн всхожих семян/га. В почве и растительном материале  $N_{\text{общ}}$  определяли по методу Кьельдаля–Йодельбауэра. Изотопный анализ азота проводили на масс-спектрометре Delta-V. Потоки азота почвы и параметры устойчивости агрофитоценоза определяли согласно [26–28]. Другие аналитические показатели почвы и растений определяли в лабораториях ВНИИА по общепринятым методикам.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В условиях эрозионного агроландшафта выращиваемые сорта ячменя неодинаково реагировали на азотный режим почвы склона. В течение 3-х ротаций севооборота сорт ячменя Раушан потреблял больше азота удобрения на 25–48% (в среднем на 38%) и на 10–27% (в среднем на 16%) азота почвы по сравнению с сортом Носовский (табл. 1). Засухоустойчивый сорт Раушан наибольшее количество азота удобрения (на 48%)

по сравнению с сортом Носовский потреблял в 1-й ротации севооборота, тогда как азота почвы (на 27%) – во 2-й его ротации.

Вследствие температурно-влажностных различий складывались разные окислительно-восстановительные режимы трансформации азота в почве [2]. Поэтому возделываемые сорта ячменя потребляли неодинаковое количество азота в зависимости от местонахождения на склоне. В условиях дерново-подзолистой почвы потребление ячменем азота снижалось от приводораздельной части склона к его основанию (талвегу): потребление азота удобрения сортом Носовский – на 36–37, сортом Раушан – на 11–17%, потребление почвенного азота сортом Носовский – на 30–31%, тогда как сортом Раушан – на 9–27% в течение 3-х ротаций севооборота. В верхней части склона сорт Раушан по потреблению азота удобрения превосходил сорт Носовский на 31%, в нижней его части – на 44%, азота почвы – на 13 и 22% соответственно.

Особенностью азотного питания пивоваренного ячменя Раушан было значительное (наибольшее) потребление экстра-азота почвы. Потребление дополнительного количества азота почвы может служить критерием его участия в продукционном процессе и эффективности при-

**Таблица 4.** Показатели интегральной оценки функционирования агрофитоценоза при выращивании сортов ячменя на различных элементах рельефа

Элемент склона	Способ внесения азотного удобрения	РИ : М, %	Н-М : РИ
Сорт Носовский			
Приводораздельная часть склона, 2–3°	Вразброс	28	2.7
	Локально	34	2.0
Нижняя часть склона, 5–7°	Вразброс	17	5.0
	Локально	27	2.8
Сорт Раушан			
Приводораздельная часть склона, 2–3°	Вразброс	31	2.3
	Локально	36	1.8
Нижняя часть склона, 5–7°	Вразброс	29	2.4
	Локально	32	2.0

Примечание. РИ – реиммобилизованный азот, М – минерализованный азот почвы, Н-М – нетто-минерализованный азот почвы.

мененных азотных удобрений [29–32]. В данных условиях при локальном применении азотного удобрения растения сорта Раушан потребляли до 51–53% азота почвы дополнительно, тогда как растения сорта Носовский – до 49–50%. В целом растения сорта Раушан потребляли на 6% большее количество дополнительного азота по сравнению с сортом Носовский 9.

Локализация азотного удобрения усиливала дополнительное потребление почвенного азота сортом Раушан на приводораздельной части склона в 3.8 раза, в нижней его части – в 1.6 раза, тогда как у сорта Носовский – в 2.4 и в 2.0 раза соответственно.

Иммобилизация является существенным фактором снижения использования азота удобрения различными сортами ячменя и торможения его газообразных потерь на протяжении всех 3-х ротаций севооборота [33–35]. Чем больше азота иммобилизуется, тем меньше его используется растениями и меньше образование газообразных азотсодержащих веществ. В течение 3-х ротаций севооборота сорт Раушан лучше использовал азот удобрения (на 63%), в почве больше (на 12%) его закреплялось и меньше (на 25%) терялось по сравнению с сортом Носовский (табл. 2).

На приводораздельной части склона сорт Раушан на 43% лучше использовал азот удобрения, тогда как на нижней его части – на 75% больше, чем сорт Носовский. При разбросном способе

внесения азотного удобрения растения сорта Раушан использовали на 105% больше азота удобрения, тогда как при локальном способе – на 32% по сравнению с сортом Носовский.

При выращивании сорта Раушан в верхней части склона иммобилизовалось на 10% больше азота удобрения по сравнению с сортом Носовский, тогда как в нижней его части – на 9%. В то же время на приводоразделе (сорт Раушан) терялось на 26% азота удобрения меньше по сравнению с сортом Носовский, тогда как в нижней его части – на 21%.

Под действием азотных минеральных удобрений почвенный азот активно включается в минерализационно-иммобилизационный цикл трансформации азота в почве и участвует в азотном питании различных сортов ячменя [30, 34]. В этих условиях растения сорта Раушан потребляли на 4–29% больше почвенного азота по сравнению с сортом Носовский (табл. 3). Это произошло вследствие того, что при выращивании сорта Раушан в почве иммобилизовалось азота на 9–19% больше, чем при выращивании сорта Носовский, а газообразные потери его снижались на 10–25% соответственно.

Процессы минерализации и нетто-минерализации отражают характер трансформации азота в почве [18, 29]. При выращивании сорта Раушан на приводораздельной части склона минерализовалось на 8–14% азота больше, а на нижней части склона – на 11–14% меньше, чем под сортом Носовский. При этом доля нетто-минерализованного азота почвы достигала у обоих сортов 72–75%. Доля нетто-минерализованного азота возрастала от приводораздельной части склона от 66–71% до 72–81% под сортом Носовский и от 64–75% до 81–83% – под сортом Раушан. К основанию склона реиммобилизация почвенного азота снижалась в нижней части склона: под сортом Раушан – в 1.1–1.2 раза, под сортом Носовский – в 1.3–1.6 раза по сравнению с приводораздельной частью склона.

По показателям интегральной оценки агрофитоценоза сорта Раушан и сорта Носовский в условиях склона функционировали в зоне стресса и в зоне резистентности. Однако в более устойчивом состоянии находился агроценоз сорта Раушан (на 6–11% в приводораздельной части склона и на 18–70% в нижней его части) (табл. 4). В нижней части склона агрофитоценоз находился в менее устойчивом состоянии: сорта Носовский – на 21–39, сорта Раушан – на 7–11%. Локализация азотного удобрения повышала устойчивость агрофитоценоза: сорта Носовский – на 21–59, сорта Раушан – на 10–16%.

**Таблица 5.** Урожай зерна сортов ячменя в зависимости от элемента рельефа и способа внесения азотного удобрения, г/м<sup>2</sup>

Вариант	Сорт		Прибавка	
	Раушан	Носовский	г/м <sup>2</sup>	%
1-я ротация				
Приводораздельная часть склона, 2–3°				
Р50К50 (фон)	270	240	30	12
Фон + <sup>15</sup> N50 вразброс	392	330	62	19
Фон + <sup>15</sup> N50 локально	530	457	144	16
Нижняя часть склона, 5–7°				
Р50К50 (фон)	262	225	37	16
Фон + <sup>15</sup> N50 вразброс	376	305	71	23
Фон + <sup>15</sup> N50 локально	469	386	83	21
2-я ротация				
Приводораздельная часть склона, 2–3°				
Р50К50 (фон)	205	190	15	8
Фон + <sup>15</sup> N50 вразброс	344	309	35	11
Фон + <sup>15</sup> N50 локально	490	430	60	14
Нижняя часть склона, 5–7°				
Р50К50 (фон)	174	135	39	29
Фон + <sup>15</sup> N50 вразброс	324	254	70	28
Фон + <sup>15</sup> N50 локально	393	297	96	32
3-я ротация				
Приводораздельная часть склона, 2–3°				
Р50К50 (фон)	190	184	6	3
Фон + <sup>15</sup> N50 вразброс	339	301	38	13
Фон + <sup>15</sup> N50 локально	460	401	59	15
Нижняя часть склона, 5–7°				
Р50К50 (фон)	140	131	9	7
Фон + <sup>15</sup> N50 вразброс	264	238	26	11
Фон + <sup>15</sup> N50 локально	347	301	46	15
		Сорт Носовский	Сорт Раушан	
1-я ротация	<i>HCP</i> = 28 г/м <sup>2</sup> , <i>P</i> = 3.0%		<i>HCP</i> = 28 г/м <sup>2</sup> , <i>P</i> = 2.0%	
2-я ротация	<i>HCP</i> = 24 г/м <sup>2</sup> , <i>P</i> = 3.6%		<i>HCP</i> = 28 г/м <sup>2</sup> , <i>P</i> = 2.7%	
3-я ротация	<i>HCP</i> = 25 г/м <sup>2</sup> , <i>P</i> = 3.8%		<i>HCP</i> = 28 г/м <sup>2</sup> , <i>P</i> = 3.1%	

При более устойчивом функционировании и активном участии азота удобрения и азота почвы в продукционном процессе сорт ячменя Раушан формировал урожай зерна на 16% больше, чем сорт Носовский на всех элементах рельефа в течение 3-х ротаций севооборота (табл. 5). Сорт Раушан в 1-й ротации (сухой период вегетации) формировал урожай зерна на 18% больше, чем сорт Носовский, во 2-й ротации (оптимальный период вегетации) – на 20%, в 3-й ротации (влажный пе-

риод вегетации растений) – на 11% по сравнению с сортом Носовский.

Наибольший урожай зерна (530 г/м<sup>2</sup>) пивоваренный (более засухоустойчивый) сорт ячменя Раушан формировал в 1-й ротации севооборота на приводораздельной части склона при локальном применении азотного удобрения, что было на 16% больше, чем сорта Носовский. Урожай зерна снижался от приводораздельной части склона к его основанию: сорта Носовский – на

**Таблица 6.** Содержание сырого белка в зерне сортов ячменя при выращивании на различных элементах рельефа, % на сухое вещество

Вариант	Сорт Носовский	Сорт Раушан	Прибавка, ±
1-я ротация			
Приводораздельная часть склона, 2–3°			
P50K50 (фон)	7.9	10.4	7.8
Фон + <sup>15</sup> N50 вразброс	8.7	11.3	2.6
Фон + <sup>15</sup> N50 локально	10.3	12.8	2.5
Нижняя часть склона, 5–7°			
P50K50 (фон)	6.1	7.8	1.7
Фон + <sup>15</sup> N50 вразброс	7.8	8.7	0.9
Фон + <sup>15</sup> N50 локально	8.5	9.2	0.7
2-я ротация			
Приводораздельная часть склона, 2–3°			
P50K50 (фон)	7.8	9.8	2.0
Фон + <sup>15</sup> N50 вразброс	8.6	10.7	2.1
Фон + <sup>15</sup> N50 локально	8.9	11.0	2.1
Нижняя часть склона, 5–7°			
P50K50 (фон)	6.1	7.2	1.1
Фон + <sup>15</sup> N50 вразброс	7.2	8.5	1.3
Фон + <sup>15</sup> N50 локально	8.4	9.0	0.6
3-я ротация			
Приводораздельная часть склона, 2–3°			
P50K50 (фон)	7.3	8.8	1.5
Фон + <sup>15</sup> N50 вразброс	8.0	9.6	1.6
Фон + <sup>15</sup> N50 локально	8.8	10.5	1.7
Нижняя часть склона, 5–7°			
P50K50 (фон)	6.0	7.0	1.0
Фон + <sup>15</sup> N50 вразброс	7.1	8.2	1.1
Фон + <sup>15</sup> N50 локально	7.5	8.7	1.2

27, сорта Раушан – на 18%. При локальном способе внесения азотного удобрения урожай зерна повышался: сорта Носовский – на 30, сорта Раушан – на 32%.

Азотные минеральные удобрения с неоднозначной эффективностью действуют на накопление белков в зерне различных сортов ячменя [36–40]. В течение 3-х ротаций севооборота в зерне сорта Раушан накапливалось на 2.1% сырого белка больше на приводораздельной части склона и на 1.1% на нижней его части по сравнению с сортом Носовский (табл. 6). По мере повышения влажности разница между сортами сокращалась: от 2.5% в 1-й ротации до 1.6% в 3-й ротации на приводораздельной части склона. На нижней части склона она оставалась постоянной в пределах 1.0–1.1%. Содержание белков в зерне снижалось от приводораздельной части склона к его основанию: у сорта Носовский – на 1.2, у сорта Раушан –

на 2.2%. Под действием локального способа внесения азотного удобрения содержание белков в зерне повышалось: у сорта Носовский – на 1.1, у сорта Раушан – на 2.2%.

В условиях нижней части склона в течение длительного времени (15 лет) не удалось получить зерно различных сортов ячменя с пивоваренными свойствами (в т.ч. с содержанием сырого белка 9–12%) [36, 39]. Причиной тому были агробиологические условия (пониженная освещенность и температура, повышенная влажность воздуха и почвы), а также недостаточная обеспеченность почвы азотом, высокие потери азота от водной эрозии и в виде газообразных соединений [2, 41, 42]. Поэтому зерно ячменя, полученное в нижней части склона, можно было использовать только в качестве фуражного для кормов сельскохозяйственных животных.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, показано, что наиболее остро генотипическая реакция сортов ячменя была выражена в условиях эрозийного агрофитоценоза вследствие интенсификации минерализационно-иммобилизационного и миграционного потоков азота в системе почва–растение.

В течение 3-х ротаций севооборота растения сорта Раушан потребляли на 38% больше азота удобрения и на 16% больше азота почвы. На приводораздельной части склона ячмень сорта Раушан потреблял больше на 31% азота удобрения и на 13% азота почвы; в нижней части склона – на 44 и 27% соответственно. При локальном применении азотного удобрения сорт Раушан потреблял на 6% больше азота удобрения по сравнению с сортом Носовский. Сорт Раушан на приводораздельной части склона на 43% лучше использовал азот удобрения, а на нижней части склона – на 75%.

На 9–10% больше азота удобрения иммобилизовалось и на 21–26% меньше его терялось при выращивании сорта Раушан по сравнению с сортом Носовский. Это обеспечивало более (на 6–70%) устойчивое функционирование его агроценоза. Сорт Раушан формировал урожай зерна на 16% больше, чем сорт Носовский на дерново-подзолистой почве склона в течение 3-х ротаций севооборота. В зерне сорта Раушан накапливалось на 2.1% сырого белка больше (на приводораздельной части склона) и на 1.1% больше (на нижней части склона), чем в зерне сорта Носовский. Получить зерно ячменя с пивоваренными свойствами на нижней части склона не удалось.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Каштанов А.Н., Явтушенко В.Е.* Агроэкология почв склонов. М.: Колос, 1997. 239 с.
2. *Проценко Е.П., Караулова Л.Н.* Влияние природных и агрогенных факторов на режим азота и биологическую продуктивность сельскохозяйственных культур в склоновом рельефе ЦЧЗ // *Агрохимия*. 2007. № 4. С. 37–45.
3. *Цыбулько Н.Н., Черныш А.Ф., Жукова И.И.* Азотный фонд дерново-подзолистых почв различной степени эродированности и потери азота в процессе водной эрозии // *Агрохимия*. 2013. № 2. С. 3–10.
4. *Glendining M.J., Paulton P.R., Powlson D.S.* Availability of the residual nitrogen from a single application of <sup>15</sup>N-labeled fertilizer to subsequent crops in a long-term continuous agroecosystem // *Plant and Soil*. 2001. V. 233. № 2. P. 231–239.
5. *Кутузова Р.С., Сирота Л.Б., Воробьев Н.И.* Использование математического анализа для оценки микробиологического состояния почв агроландшафта опыта // *Агрохимия*. 2001. № 1. С. 19–33.
6. *Кутузова Р.С., Сирота Л.Б., Орлова О.В.* Микробное сообщество и анализ почвенно-микробиологических процессов в дерново-подзолистой почве // *Почвоведение*. 2016. № 3. С. 320–332.
7. *Семенов А.М., Семенов В.М., Ван Бругген А.Х.К.* Диагностика здоровья и качества почвы // *Агрохимия*. 2011. № 12. С. 4–20.
8. *Shimel J.P., Bennett J.* Nitrogen mineralization: challenges of a changing // *Ecology*. 2004. V. 85. P. 591–602.
9. *Руделев Е.В.* Трансформация азота почвы и азота удобрений // *Агрохимия*. 1989. № 4. С. 113–123.
10. *Руделев Е.В.* Трансформация азота удобрений и почвы на типичном черноземе разной степени эродированности // *Бюл. ВИУА*. 1991. № 104. С. 31–40.
11. *Шмырева Н.Я., Соколов О.А., Завалин А.А., Литвинский В.А.* Баланс азота удобрений при выращивании различных сортов ячменя на склоне // *Плодородие*. 2014. № 3. С. 9–11.
12. *Ивашикина Н.В., Соколов О.А.* Физиологические и молекулярные механизмы поглощения нитрата растениями // *Агрохимия*. 2001. № 2. С. 80–92.
13. *Назарюк В.М.* Эколого-агрохимические и генетические проблемы регулируемых агроэкосистем. Новосибирск: СО РАН, 2007. 240 с.
14. *Гамзикова О.И.* Этюды по физиологии, агрохимии и генетике минерального питания растений. Новосибирск: Агрос, 2008. 372 с.
15. *Соколов О.А., Амелин А.А., Козлов М.Я., Кириковой Я.Т.* Модель поведения минерального азота в почве // *Почвоведение*. 1995. № 1. С. 56–62.
16. *Nyborg M., Henning A.M.F.* Field experiments with different placement of fertilizers for barley, flax and rape seeds // *Soil Sci*. 2019. V. 59. № 1. P. 73–79.
17. *Chen S., Svane S.F., Thorup-Kristensen K.* Testing deep placement of an <sup>15</sup>N tracer as a method for in situ deep root phenotyping of wheat, barley and ryegrass // *Plant Methods*. 2019. V. 15. P. 148–157.
18. *Guan Z., Huang B., Liu C.* Effects of ryegrass amendments on immobilization and mineralization of nitrogen in a plastic shed soil: a <sup>15</sup>N tracer study // *Catena*. 2021. V. 203. 105325.
19. *Дмитриев Н.Н., Гамзиков Г.П.* Систематическое применение удобрений как фактор стабилизации плодородия серых лесных почв и продуктивности зерновых культур в зернопаровом севообороте // *Агрохимия*. 2015. № 2. С. 3–12.
20. *Гамзиков Г.П.* Состояние и перспективы исследований в длительных стационарных опытах с удобрениями в Сибири // *Плодородие*. 2016. № 5. С. 6–9.
21. *Сычев В.Г.* Современное состояние плодородия почв и основные аспекты его регулирования. М.: РАН, 2019. 325 с.
22. *Кореньков Д.А., Безвершенко Н.Г.* Использование природных изотопных эффектов в почвоведении и агрохимии // *Агрохимия*. 1988. № 12. С. 108–118.
23. *Соколов О.А.* Экологические аспекты применения азотных удобрений // *Агрохимия*. 1990. № 1. С. 3–14.
24. *Кореньков Д.А.* Агроэкологические аспекты применения азотных удобрений. М.: Колос, 1999. 296 с.
25. *Smith C.J., Chalk P.M.* The residual value of fertilizers N in crop sequences: an appraisal of 60 years of research using <sup>15</sup>N tracer // *Field Crops Res*. 2018. V. 217. P. 66–74.

26. Турчин Ф.В. Использование азотных удобрений урожаем и его превращение в почве // Журн. ВХО. 1965. Т. 10. № 4. С. 400–401.
27. Fried M., Dean J. A concept concerning the measurement of available soil nutrients // Soil Sci. 1952. V. 73. № 4. P. 263–271.
28. Помазкина Л.В. Агрохимия азота в таежной зоне Прибайкалья. Новосибирск: СО Наука, 1985. 176 с.
29. Семенов В.М. Образование “экстра” азота в удобренных почвах и его роль в питании растений // Агрохимия. 1999. № 8. С. 5–12.
30. Семенов В.М. Функции углерода в минерализационно-иммобилизационном обороте азота в почве // Агрохимия. 2020. № 1. С. 78–96.
31. Figueiredo C.C., Wickert E.G., Neves H.C.V. Sewage sludge biochar increases nitrogen fertilizer recovery: Evidence from a <sup>15</sup>N tracer field study // Soil Use Manag. 2021. V. 37. P. 689–697.
32. Chalk P., Smith C. On inorganic N uptake by vascular plants: can <sup>15</sup>N tracer techniques resolve the NH<sub>4</sub><sup>+</sup> and NO<sub>3</sub><sup>-</sup> preference conundrum // EJSS. 2021. V. 72. P. 1762–1779.
33. Семенов В.М., Козут Б.М., Лукин С.М. Оценка обеспеченности почв активным органическим веществом по результатам длительных полевых опытов // Агрохимия. 2013. № 3. С. 19–31.
34. Chalk P.M., Jnacio C.T., Chen D. An overview of contemporary advances in the usage of <sup>15</sup>N natural abundance as a tracer of agroecosystem N cycle processes that impact environment // Agr. Ecosyst. Environ. 2012. V. 283. 106570.
35. Lama S., Kuhn T., Lehmann M.F. The biodiversity – N cycle relationship: a <sup>15</sup>N tracer experiment with soil from plant, mixtures of varying diversity of model N pool sizes and transformation rates // Biol. Fert. Soils. 2020. V. 56. P. 1047–1061.
36. Лана В.В., Босак В.Н. Влияние доз и сроков внесения азотных удобрений на урожай и качество зерновых культур на высококультурной дерново-подзолистой суглинистой почве // Агрохимия. 2001. № 12. С. 29–34.
37. Смирнов А.П., Садовская Э.Н., Стокозов И.П. Изучение условий питания новых сортов ячменя // Агрохим. вестн. 2010. № 3. С. 19–22.
38. Войтович Н.В., Ерошенко Н.А. Влияние технологии возделывания на урожайность и качество зерна пивоваренного ячменя // Агрохим. вестн. 2011. № 5. С. 9–11.
39. Кузьмич М.А., Политыко П.М., Артюхова О.А. Качество зерна сортов ячменя в зависимости от доз минеральных удобрений // Агрохим. вестн. 2019. № 6. С. 34–37.
40. Ottman M.J. Nitrogen fertilizer requirement of feed and malting barley compared to wheat. Forage and Grain // College Agricult. Life Sci. Rep. 2011. P. 30–36.
41. Явтушенко В.Е., Шмырева Н.Я., Цуриков Л.Н. Баланс и трансформация азота удобрений в эродированной дерново-подзолистой почве Центрального Нечерноземья // Почвоведение. 1999. № 11. С. 1367–1375.
42. Смирнова Л.Г., Нецветаев В.П., Михайленко И.И. Урожайность сортов и качество зерна озимой пшеницы в условиях склоновой микрозональности // Агрохимия. 2014. № 7. С. 38–44.

## Nitrogen in the Nutrition of Different Varieties of Barley under Slope Conditions (Long-Term Studies with <sup>15</sup>N)

A. A. Zavalin<sup>a, #</sup>, N. Ya. Shmyreva<sup>a</sup>, D. A. Sokolov<sup>b</sup>, and O. A. Sokolov<sup>a</sup>

<sup>a</sup>All-Russian Research Institute of Agrochemistry named after D.N. Pryanishnikov  
ul. Pryanishnikova 31a, Moscow 127550, Russia

<sup>b</sup>Institute of Physical, Chemical and Biological Problems of Soil Science  
ul. Institutskaya 2, Pushchino 142290, Russia

<sup>#</sup>E-mail: zavalin.52@mail.ru

In a long-term microfield experiment (15 years, 5-field crop rotation) on sod-podzolic eroded soil (Smolensk region), the reaction of 2 barley varieties (Raushan – brewing drought-resistant variety and Nosovsky – grain-fodder variety) to the technology of using nitrogen fertilizer labeled <sup>15</sup>N was studied. It was found that the malting barley variety Raushan used fertilizer nitrogen better (by 38%) and consumed soil nitrogen more (by 16%) compared to the Nosovsky variety. On the watershed part of the slope, the Raushan variety consumed nitrogen fertilizers by 31% more, in its lower part – by 44%, and soil nitrogen – by 13 and 22%, respectively, compared with the Nosovsky variety. When growing the Raushan variety on a slope in sod-podzolic soil, fertilizer nitrogen was immobilized by 9–10% more, and it was lost by 21–26% less compared to the Nosovsky variety. The agrophytocenosis of the Raushan variety functioned in a more stable state (by 6–11% on the watershed and by 18–70% in the lower part of the slope) than the agrophytocenosis of the Nosovsky variety. On all elements of the relief, the Raushan variety formed a grain yield 16% more than the Nosovsky variety. In the grain of the Raushan variety, raw protein accumulated 2.1% more on the dividing part of the slope, and 1.1% more on the lower part compared to the Nosovsky variety. In the lower part of the slope for a long time it was not possible to obtain barley grain with brewing properties.

**Key words:** relief elements, soil erosion, crop rotation, nitrogen isotope <sup>15</sup>N, fertilizer nitrogen flows and balance, soil nitrogen flows, stability, variety productivity, crude protein content.

УДК 631.872:631.86:631.875:631.46

## ВЛИЯНИЕ СОЛОМЫ В СОЧЕТАНИИ С МИНЕРАЛЬНЫМИ, ОРГАНИЧЕСКИМИ И СИДЕРАЛЬНЫМИ УДОБРЕНИЯМИ НА БИОЛОГИЧЕСКУЮ АКТИВНОСТЬ ПОЧВЫ

© 2022 г. А. Г. Дзюин

Удмуртский федеральный исследовательский центр Уральского отделения РАН  
426067 Ижевск, ул. Т. Барамзиной, 34, Удмуртская Республика, Россия

E-mail: ugnish-nauka@yandex.ru

Поступила в редакцию 21.02.2022 г.

После доработки 21.06.2022 г.

Принята к публикации 12.08.2022 г.

В Удмуртском НИИСХ на дерново-подзолистой суглинистой почве проводили опыты с использованием соломы озимой ржи и сидератов на удобрение. В 1977–1980 гг. исследования вели в звене севооборота горох – озимая рожь – ячмень (опыт 1) на фоне 1 – минеральные удобрения, в сумме за 3 года внесли N320P310K190 и фоне 2 – бесподстилочный навоз 150 т/га. Для выяснения процесса разложения соломы определяли состав и численность микроорганизмов. В 2001–2008 гг. исследования вели в 8-польных севооборотах (опыт 2): фактор А (виды пара) – чистый, занятый, сидеральный, в качестве сидеральных культур были викоовсяная смесь, зеленая масса озимой ржи, клевер 1-го года пользования; фактор В (фоны): 1 – без удобрений, 2 – навоз 40 т/га; фактор В (варианты): 1 – без удобрений, 2 – NPK, 3 – солома, 4 – солома + NPK. При заделке соломы добавили 8 кг N/т соломы. Биологическую активность почвы определяли аппликационным методом. В опыте 1 солома способствовала увеличению численности почвенных микроорганизмов. В почве под культурами звена севооборота изменялся их видовой состав. Под посевом гороха целлюлозных бактерий было на 36.8% (5.2 против 3.8 тыс./г абсолютно сухой почвы) больше, чем в варианте без соломы. Количество бактерий, определяемых на МПА, актиномицетов и грибов не изменилось. На фоне применения жидкого навоза + NPK в варианте с соломой в первый год отмечено увеличение количества бактерий на МПА (на 18.6%) и актиномицетов (на 75%), уменьшилось количество целлюлозных бактерий (на 10%), количество грибов не изменилось. На 2-й год на обоих фонах увеличилась численность определяемых групп микроорганизмов по сравнению с первым годом. На 3-й год на обоих фонах увеличилась численность грибов и целлюлозоразлагающих бактерий, но уменьшилось количество бактерий на МПА. Использование бесподстилочного навоза совместно с соломой в звене севооборота сдерживало развитие целлюлозоразлагающих бактерий в сравнении с минеральным фоном в среднем на 16.9%, что свидетельствовало о минерализации соломы по схеме медленного разложения. В севооборотах с чистым, занятым и сидеральными парами (опыт 2) разложение хлопчатобумажной ткани в варианте с соломой шло лучше, чем без ее внесения. При внесении твердого навоза разложение соломы замедлилось, поскольку он подвергался более быстрой минерализации, чем солома. В севооборотах с сидеральными парами и клевером внесение соломы обеспечивало повышение плодородия почвы.

*Ключевые слова:* солома озимой ржи, минеральные и сидеральные удобрения, навоз жидкий, твердый, звено севооборота, 8-польный севооборот, численность и состав микроорганизмов.

DOI: 10.31857/S0002188122110059

### ВВЕДЕНИЕ

Повсеместное снижение запасов гумуса в почвах, как отмечают исследователи [1, 2], явилось одной из основных причин перехода на биологическое земледелие. В решении проблемы воспроизводства плодородия почв существенную роль играют органические удобрения в виде навоза, компостов [3]. Они способствуют улучшению водно-воздушных, физико-химических и агрохи-

мических свойств почвы [4]. В условиях дефицита органических удобрений применение экологически безопасных биоресурсов агроценозов – сидератов, соломы и других, как наиболее дешевых, экономически выгодных и ежегодно возобновляемых удобрений стало требованием времени [5]. Солома считается одним из мощных средств, оказывающих влияние на запасы органического вещества в почве [6]. Отмечено ее положительное



влияние на урожайность культур в прямом действии [7] и в последствии [8], поскольку в почву при средней урожайности соломы 4 т/га поступает дополнительно азота – 14–22, фосфора – 3–7, калия – 22–55 кг/га [9].

Многие авторы отмечали, что систематическое использование соломы улучшает физические свойства почвы, ее водный и тепловой режим [10, 11]. Совместное применение соломы с минеральными удобрениями действует как навоз при условии выравнивания соотношения основных элементов питания [12]. Солома оказывает влияние на содержание элементов питания в почве [13, 14]. Использование ее в качестве мульчи полностью прекращало эрозию [15].

В минерализации растительных остатков и соломы непосредственное участие принимают микроорганизмы. Их численность и видовой состав определяют интенсивность минерализации, которая зависит от почвенных и климатических условий [16]. По данным ряда исследователей [17], сделано обобщение, что в первую очередь разлагаются наиболее легкоусвояемые органические соединения – пентозаны, простые сахара, белки. В это время развиваются неспорообразующие бактерии рода *Pseudomonas*, а также мукоровые и пикнидиальные грибы. Позднее в разложение соломы включаются грибы и бациллы, а затем начинается разложение клетчатки. Появляется типичная целлюлозоразлагающая микрофлора.

Опыты, проведенные в Удмуртском НИИСХ, показали повышение биологической активности почвы при внесении ржаной соломы 5–6 т/га, причем под 1-й культурой севооборота интенсивно развивались сапрофитные (гнилостные) микроорганизмы, под 3-й – целлюлозоразлагающие [18]. В опытах было выявлено, что при разной насыщенности севооборота органическими и минеральными удобрениями биологическая активность среднесмытой дерново-подзолистой почвы была слабой (по данным 60-суточного разложения льняных полотен по методу Звягинцева) на фоне 2-разового внесения соломы озимой ржи за ротацию севооборота. В начале его ротации этот показатель был больше – 17.1–29.3%, в среднем за ротацию составил 15.7–24.6%. При внесении органических удобрений отмечено достоверное повышение биологической активности пахотного слоя почвы. Выявлено, что в слое 0–10 см и органические, и минеральные удобрения обеспечили существенное повышение биологической активности почвы. В нижележащем слое 10–20 см только органические удобрения существенно повлияли на этот показатель. Сохранение и повышение эффективного плодородия почвы обеспечивали вы-

сокий уровень урожайности культур севооборота – 3.00 и 4.22 т/га.

Повышению плодородия почв в условиях острого дефицита органических удобрений способствует также использование зеленого удобрения (сидерата). Объясняется это и соотношением C : N в органическом веществе сидерата. Чем оно шире, тем медленнее проходит процесс минерализации, чем уже, тем быстрее разлагается органическое вещество [19]. Обогащение почвы легкогидролизуемым органическим веществом, каковым является сидерат, нормализует микробиологические процессы в почве и снимает почвоугнетение в севооборотах, насыщенных основными культурами, за один вегетационный период [20]. Пожнивные и промежуточные посевы на зеленое удобрение способствуют улучшению агрохимических свойств почвы, они улучшают физические свойства почвы – структуру, скважность, объемную массу [21]. Запахивание сидеральных культур, особенно бобовых на зеленое удобрение, является важным источником обогащения почвы свежим органическим веществом и биологическим азотом, мощным приемом воспроизводства, прежде всего, эффективного плодородия почвы [22]. Цель работы – исследование влияния запахивания соломы в сочетании с применением минеральных, органических и сидеральных удобрений на биологическую активность почвы.

## МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследование с использованием соломы в качестве органического удобрения проводили в Удмуртском НИИСХ – структурном подразделении УдмФИЦ УрО РАН на дерново-среднеподзолистой среднесуглинистой почве с агрохимическими показателями пахотного слоя (0–20 см):  $pH_{KCl}$  5.9,  $H_T$  – 1.38–1.56,  $S$  – 14.6–12.7 мг-экв/100 г почвы,  $P_2O_5$  – 280–152,  $K_2O$  по Кирсанову – 116–113 мг/кг почвы, содержание гумуса – 2.4–2.3% соответственно в зависимости от закладок в 2 этапа.

В 1977–1980 гг. в одном из стационарных опытов в звене севооборота горох – озимая рожь – ячмень определяли состав и численность микроорганизмов в почве (опыт 1). Под первую культуру (горох) осенью запахивали на глубину пахотного слоя 20–22 см минеральные удобрения (аммиачную селитру, суперфосфат двойной гранулированный, хлористый калий) в дозах N60P120K90, жидкий навоз 150 т/га (эквивалентный N60) и измельченную ржаную солому (3–4 см) из расчета 5 т/га. В варианте с соломой весной под предпосевную обработку почвы внесли N60. Под 2-ю культуру (озимую рожь) осенью были внесены

минеральные удобрения – N60P100K60 и весной N45. Солому озимой ржи 2-й культуры в почву не запахивали. Под 3-ю культуру (ячмень) внесли осенью N50P90K40 и весной N45. В сумме было использовано удобрений в действующем веществе N320P310K190. Опыт проводили в 3-х закладках, в трехкратной повторности. В опыте использовали бесподстилочный навоз крупного рогатого скота с содержанием (% на сырую навеску): общего азота – 0.103, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> – 0.065, K<sub>2</sub>O – 0.179 и влажностью 93.6%. В использованной в опыте соломе содержалось (% абсолютно сухого вещества): общего азота – 0.67, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> – 0.15, K<sub>2</sub>O – 1.97. Жидкий навоз вносили с помощью 8-кубовой цистерны (8 м<sup>3</sup>), агрегируемой трактором К-700. Дозировка навоза зависела от скорости трактора и количества прохода его по деланке. Дозу внесения навоза устанавливали по содержанию в нем общего азота из расчета N60.

После уборки культур из пахотного слоя 0–20 см отбирали почвенные образцы, в которых определяли состав микроорганизмов по методике, описанной в [23] – методом пластинок на твердых питательных средах. Аэробные бактерии, использующие органический азот почвы, учитывали на мясопептонном агаре (МПА), актиномицеты – на крахмало-аммиачном агаре (КАА), целлюлозоразлагающие бактерии – на среде Гетчинсона, грибы – на сусло-агаре (СА).

В 2001–2008 гг. исследования вели в 3-факторном опыте с видами пара (опыт 2): фактор А – севообороты с видами пара и сидеральными культурами (табл. 1). За основу изучения выбран типичный для республики 8-польный севооборот с 2-мя годами пользования клевера лугового. Чередование культур в севооборотах: С.1 – пар чистый–озимая рожь–ячмень + клевер–клевер 1-го года пользования (г.п.)–клевер 2-го г.п.–озимая рожь–ячмень–овес; С.2 – пар занятый ( викоовсяная смесь на зеленый корм)–озимая рожь–ячмень + клевер, клевер 1-го г.п.–клевер 2-го г.п.–озимая рожь–ячмень–овес; С.3 – пар сидеральный ( викоовсяная смесь)–озимая рожь–ячмень–яровая пшеница + клевер–клевер 1-го г.п.–озимая рожь–ячмень + озимая рожь на сидерат–овес; С.4 – пар сидеральный (клевер 1-го г.п.)–озимая рожь–ячмень–яровая пшеница + клевер–клевер 1-го г.п.–озимая рожь–ячмень–овес. В паровом поле севооборота С.3 в качестве сидерата выращивали викоовсяную смесь и после уборки предпоследней культуры – ячменя повторно для сидерации высевали озимую рожь. В севообороте С.4 в качестве сидерата запахивали клевер. Фактор В (фон): 1 – без удобрений, 2 – навоз крупного рогатого скота 40 т/га (5 т/га

севооборотной площади, внесли в паровом поле) с содержанием (на сырую навеску, %) общего азота – 0.98, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> – 0.35, K<sub>2</sub>O – 0.41 и влажностью – 76%. Фактор В (варианты): 1 – без удобрений (контроль), 2 – NPK, 3 – солома озимой ржи из расчета 4.5 т/га, вносили вручную, 4 – солома озимой ржи (4.5 т/га) + NPK. При заделке соломы добавили азот 8 кг/т соломы. Минеральные удобрения под озимую рожь – N60 (из них N30 до посева, N30 весной в подкормку) и P40K60 осенью под яблечную вспашку, под ячмень – N30P40K40, яровую пшеницу – N30P60K60. Под клевер удобрения не вносили. Опыт проводили в 2-х закладках. Урожайность сидератов в севооборотах 1-й закладки составила: викоовсяной смеси (С.3) в 2000 г. – 36.8, клевера 1-го г.п. (С. 4) в 2001 г. – 30.5 т/га; во 2-й закладке урожайность клевера 1-го г.п. (С.4) в 2001 г. – 22.9, в 2002 г. – 29.6 т/га. Повторность опыта – четырехкратная. В данном опыте проводили определение биологической активности почвы аппликационным методом по интенсивности разложения льняного (в нашем опыте хлопчатобумажного) полотна [23]. В первой декаде июня ткань размером 20 × 5 см взвешивали и прикрепляли к полоске полиэтиленовой пленки. На деланках в четырехкратной повторности их закапывали на глубину 15–20 см и отмечали кольщиками. Для периодического контроля в одном варианте закладывали дополнительно 3 полотна. В связи с засушливыми условиями в июне–июле полотна выдерживали в почве в течение 60 сут. После отмывания и просушивания их взвешивали. По разности массы до и после закладки определяли убыль сухой массы ткани.

Статистическую обработку численности микроорганизмов и биологической активности почвы провели по методу дисперсионного анализа [24].

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В звене севооборота горох–озимая рожь–ячмень солома оказала положительное влияние на развитие микрофлоры в почве (табл. 2). Возрастаю общее количество микробиоты, актиномицетов, грибов и целлюлозных микроорганизмов. Однако прохладная погода и недостаток влаги в почве, а также бесподстилочный (жидкий) навоз, внесенный в качестве азотного удобрения, сдерживали их размножение. Например, на фоне жидкого навоза в варианте с соломой бактерий, определяемых на МПА, лишь под первой культурой – горохом доказуемо было больше, чем без соломы: 18.5 против 15.6 млн/г абсолютно сухой почвы (а.с.п.) при  $HCP_{05} = 2.1$ . Существенного ро-

**Таблица 1.** Севообороты с видами пара и сидеральными культурами

Севооборот, №	Вид севооборота	Вид пара	Сидеральная культура
С.1	Парозернотравяной (2 года клевера), контроль	Чистый	—
С.2	Парозернотравяной (2 года клевера)	Занятый	Викоовсяная смесь на зеленый корм
С.3	Парозернотравяной (1 год клевера)	Сидеральный	Викоовсяная смесь, пожнивню озимая рожь
С.4	Парозернотравяной (1 год клевера)	Сидеральный	Клевер 1-го г.п.

ста численности актиномицетов, грибов и целлюлозных бактерий не последовало. В разложении соломы группы микроорганизмов в основном принимали участие в последующие годы. На 2-й год под озимой рожью численность бактерий, определяемых на МПА, возросла с 17.4 до 25.4 млн/г а.с.п. по сравнению с первым годом, количество актиномицетов увеличилось с 2.9 до 24.1 млн/г а.с.п., численность грибов с 5.1 до 29.6, численность целлюлозных бактерий — с 5.1 до 29.6 тыс./г а.с.п. На фоне применения минеральных удобрений (НРК) количество бактерий на МПА увеличилось в первом последствии соломы под озимой рожью с 19.7 до 28.6 млн/г а.с.п., грибов — с 20.0 до 29.1 и целлюлозных бактерий — с 23.8 до 33.4 тыс./г а.с.п., но уменьшилась численность актиномицетов с 35.0 до 18.4 млн/г а.с.п. Эти данные согласуются с результатами исследований [2], описанных в научной литературе.

Существенные различия численности микроорганизмов отмечали по годам. Под первой культурой (горохом) на фоне минеральных удобрений количество микроорганизмов, выращенных на мясопептонном агаре (МПА), актиномицетов, грибов и целлюлозоразлагающих бактерий как при применении соломы, так и без нее практически было одинаковым. На фоне бесподстилочного навоза + НРК в варианте с соломой увеличилось количество бактерий, определяемых на МПА на 18.6% (с 15.6 до 18.5 млн/г а.с.п.) и актиномицетов — на 75.0% (с 2.4 до 4.2 млн/г а.с.п.). Почти не изменилось количество грибов и целлюлозных бактерий. При совместном внесении соломы с минеральными удобрениями повышение численности микроорганизмов, использующих минеральные формы азота (на среде КАА), могло свидетельствовать о преобладании минерализационных процессов над аккумулятивными, что не способствовало закреплению органического вещества в почве [25].

На 2-й год под озимой рожью численность изученных микроорганизмов существенно воз-

росла по сравнению с первым годом: в варианте без соломы за счет применения минеральных удобрений, в варианте с соломой за счет действия соломы, жидкого навоза в сочетании с минеральными удобрениями. Например, на фоне применения НРК в первый год последствия соломы увеличилось количество бактерий на МПА с 19.7 до 28.6 млн/г а.с.п. (на 45.2%), грибов — с 20.0 до 29.1 (на 45.5%) и целлюлозных бактерий — с 23.8 до 33.4 тыс./г а.с.п. (на 40.3%), и уменьшилось число актиномицетов с 35.0 до 18.4 млн/г а.с.п. (на 47.4%). На фоне применения жидкого навоза с добавлением НРК также отмечено увеличение численности микроорганизмов: грибов — с 33.1 до 36.3 (на 9.7%), целлюлозных бактерий — с 11.4 до 21.6 (на 89.5%), актиномицетов — с 19.8 до 55.2 млн/г а.с.п. (на 179%), тогда как численность бактерий на МПА снизилась с 31.0 до 22.2 млн/г а.с.п. (на 28.4%).

Под 3-й культурой (ячменем) на обоих фонах существенно снизилось количество бактерий, выращенных на МПА, по сравнению с предыдущим годом (с 25.4 до 6.1 млн/г а.с.п. в среднем). В то же время увеличилось количество грибов и целлюлозоразлагающих бактерий с 29.6 до 41.5 и с 22.6 до 60.4 тыс./г а.с.п. соответственно. Численность актиномицетов практически не изменилась (24.1–25.8 млн/г а.с.п. в среднем). На 2-й год последствия соломы под ячменем на фоне НРК произошло дальнейшее увеличение количества микроорганизмов относительно к первому ее последствию под озимой рожью: актиномицетов — с 18.4 до 26.4, грибов — с 29.1 до 42.7 и целлюлозоразлагающих бактерий — с 33.4 до 68.8, но уменьшилось количество бактерий на МПА с 28.6 до 7.2 млн/г а.с.п. На фоне применения жидкого навоза + НРК также наблюдали снижение численности бактерий на МПА (с 22.2 до 5.1 млн/г а.с.п.). Кроме того, снизилось и количество актиномицетов (с 55.2 до 32.8 млн/г а.с.п.), а также грибов на уровне тенденции — с 36.3 до 35.0 тыс./г

**Таблица 2.** Численность микроорганизмов в звене севооборота с внесением соломы (среднее в 2-х закладках опыта 1977–1980 гг.)

Культура (фактор А)	Фон (фактор Б)	Вариант (фактор В)	Бактерии на МПА			Актиномицеты			Грибы			Целлюлозные бактерии		
			млн./г а.с.п.						тыс./г а.с.п.					
			В	Ф	К	В	Ф	К	В	Ф	К	В	Ф	К
Горох	NPK	Без соломы	17.8	17.8	17.4	2.6	2.5	2.9	5.7	5.4	5.1	3.8	4.5	5.1
		Солома	17.8			2.4			5.1			5.2		
	Жидкий навоз + NPK	Без соломы	15.6	17.0		2.4	3.3		4.8	4.8		6.0	5.7	
		Солома	18.5			4.2			4.7			5.4		
Озимая рожь	NPK	Без соломы	19.7	24.2	25.4	35.0	10.7	24.1	20.0	24.6	29.6	23.8	28.6	22.6
		Солома	28.6			18.4			29.1			33.4		
	Жидкий навоз + NPK	Без соломы	31.0	26.6		19.8	37.5		33.1	34.7		11.4	16.5	
		Последствие соломы	22.2			55.2			36.3			21.6		
Ячмень	NPK	Без соломы	8.4	7.8	6.1	23.7	25.0	25.8	40.0	41.4	41.5	57.4	63.1	60.4
		Последствие соломы	7.2			26.4			42.7			68.8		
	Жидкий навоз + NPK	Без соломы	3.8	4.4		20.5	26.6		48.1	41.6		55.4	57.6	
		Последствие соломы	5.1			32.8			35.0			59.9		
Среднее в звене севооборота	NPK	Без соломы	15.3	16.6	6.3	20.4	18.0	20.2	21.9	23.8	28.9	28.3	32.0	29.3
		Солома	17.9			15.7			25.6			35.8		
	Жидкий навоз + NPK	Без соломы	16.8	16.0		14.2	22.4		28.7	34.0		24.3	26.6	
		Солома	15.3			30.7			39.4			29.0		
<i>HCP</i> <sub>05</sub>	для вариантов/фонов/культур		2.1	2.3	2.4	0.9	1.1	1.2	4.5	4.9	4.8	3.0	3.2	3.8

а.с.п.), но резко увеличилась численность целлюлозных бактерий (с 21.6 до 59.9 тыс./г а.с.п.).

Что касается использования в звене севооборота совместно с соломой бесподстильного навоза, данные о нем свидетельствуют как о вполне конкурирующем с минеральными удобрениями (NPK) субстрате. В сочетании с NPK бесподстильный навоз увеличил количество актиномицетов с 18.0 до 22.4 млн/г а.с.п. (на 24.4%) и грибов с 23.8 до 34.0 тыс./г а.с.п. (на 42.8%) по сравнению с внесением одних NPK-удобрений. Однако в 3-летнем звене севооборота в сравнении с минеральным фоном он сдерживал развитие целлюлозоразлагающих бактерий, о чем свидетельствовало снижение их численности в среднем с 32.0 до 26.6 тыс./г а.с.п. (на 16.9%). В результате внесения минеральных удобрений (NPK), соломы и бесподстильного навоза под первую культуру количество бактерий, определяемых на МПА, увеличилось под 2-й культурой на 46.0% и уменьшилось под 3-й культурой на 65.0%. Во всех остальных группах микроорганизмов происходило увеличение их численности на 2-й и 3-й годы

под культурами звена севооборота: актиномицетов соответственно в 8.3 и 8.9, грибов – в 5.8 и 8.1 и целлюлозоразлагающих бактерий – в 4.4 и 11.8 раза.

Солома и послеуборочные остатки злаковых культур являются энергетическим материалом для микроорганизмов. Об этом свидетельствуют данные, полученные в 2004–2006 гг. в звене севооборота клевер 1-го г.п. клевер 2-го г.п.–озимая рожь (севообороты С.1 и С.2) и в звене севооборота озимая рожь–ячмень–яровая пшеница + клевер (севообороты С.3 и С.4) по разложению хлопчатобумажной ткани (табл. 3). Внесение соломы озимой ржи на фоне без навоза способствовало повышению биологической активности почвы в звене севооборота. Разложение ткани в варианте с соломой шло лучше, чем без ее внесения в севооборотах С.1 с чистым, С.2 – занятым парами и в севообороте С.3 с сидеральным викоовсяным паром. В севообороте С.4 наблюдали влияние сидерата – клевера, который увеличил степень разложения ткани в вариантах без удобрений и с внесением соломы в сочетании с минеральными

**Таблица 3.** Влияние навоза, соломы и минеральных удобрений на разложение хлопчатобумажной ткани (среднее для культур\* за 2004–2006 гг.), %

Фон	Вариант	Севооборот				Среднее	±
		С.1	С.2	С.3	С.4		
Без навоза	1. Без удобрений	10.2	14.0	15.5	18.4	14.5	–
	2. N41P28K32	11.6	13.9	12.7	14.6	13.2	–1.3
	3. Солома (Сол)	12.2	17.0	16.4	14.6	15.0	0.5
	4. Сол + N41P28K32	21.4	22.9	13.6	17.5	18.8	4.3
	Среднее	13.8	17.0	14.6	16.3	15.4	–
Навоз	1. Без удобрений	14.9	15.6	14.1	17.4	15.5	–
	2. N41P28K32	16.8	20.4	21.8	16.8	19.0	3.5
	3. Солома (Сол)	13.2	18.6	12.3	11.9	14.0	–1.5
	4. Сол + N41P28K32	17.2	26.3	11.8	13.5	17.2	1.7
	Среднее	15.5	20.2	15.0	14.5	16.4	–
± от навоза		+1.7	+3.2	+0.4	–1.8	+1.0	–

*HCP*<sub>05</sub> вариантов – 0.23

фонов – 0.32

частных различий – 0.46

\*Клевер 1-го г.п.–клевер 2-го г.п.–озимая рожь (С.1, С.2), озимая рожь–ячмень–яровая пшеница + клевер (С.3, С.4).

удобрениями. На унавоженном фоне внесение соломы снизило биологическую активность почвы в севооборотах по сравнению с вариантом без удобрений (контролем). Навоз, являясь наиболее благоприятным субстратом для расселения микрофлоры, в первоочередном порядке подвергался минерализации микроорганизмами, а солома разлагалась в течение более длительного периода времени – на 2-й–3-й годы после ее внесения. В первый год внесения разложение соломы только начиналось. Что касается сидерата, (табл. 3), в севообороте С.4 с внесением зеленой массы клевера разложение ткани на фоне навоза ослабло (14.5 в среднем против 16.3% на фоне без навоза).

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, применение соломы в качестве органического удобрения способствовало повышению биологической активности дерново-подзолистой суглинистой почвы. Увеличивалась численность почвенных микроорганизмов, в результате чего происходила активная минерализация органического вещества. Установлена смена видового состава микроорганизмов в звене севооборота горох–озимая рожь–ячмень по годам. Интенсивность их развития находилась в зависимости от фона с удобрениями. При осенней заделке соломы на фоне внесения минеральных удобрений (NPK) уже в почве под первой культу-

рой целлюлозных бактерий было больше на 36.8% (5.2 против 3.8 тыс./г а.с.п.), чем в контроле без соломы. Тогда как бактерии, определяемые на МПА, актиномицеты и грибы не реагировали на внесение соломы. На фоне внесения жидкого навоза + NPK в варианте с соломой количество целлюлозных бактерий уменьшилось (на 10%), но отмечено увеличение численности бактерий на МПА (на 18.6%) и особенно актиномицетов (на 75%), без изменения осталась численность грибов. На 2-й год при первом последствии соломы на фонах NPK и жидкого навоза + NPK увеличилась численность всех определяемых групп микроорганизмов по сравнению с предыдущим годом. Однако количество актиномицетов при первом последствии соломы было значительно меньше, чем в варианте без ее внесения, снизилось также количество бактерий, определяемых на МПА. На 3-й год на обоих фонах увеличилась численность грибов и целлюлозоразлагающих бактерий, отмечено существенное снижение количества бактерий, выращенных на МПА, по сравнению с предыдущим годом. Количество актиномицетов осталось на прежнем уровне. Использование бесподстилочного навоза в качестве фона совместно с соломой в звене севооборота сдерживало развитие целлюлозоразлагающих бактерий в сравнении с минеральным фоном (NPK) в среднем на 16.9% (снижение с 32.0 до 26.6 тыс./г а.с.п.), что свидетельствовало о мине-

рализации соломы по схеме медленного разложения с прохождением стадии гумификации. Метод аппликаций также показал, что солома повышала биологическую активность почвы. Разложение хлопчатобумажной ткани в варианте с соломой шло лучше, чем без ее внесения в севооборотах с чистым, занятым и сидеральными (викоовсяным и клеверным) парами. На фоне твердого навоза разложение соломы замедлилось, поскольку навоз подвергался быстрой минерализации, а солома – в течение более длительного времени.

Таким образом, на дерново-подзолистых суглинистых почвах республики использование в севооборотах биоресурсов (соломы, сидератов, твердого, жидкого навоза) является важнейшим условием повышения плодородия почвы и продуктивности культур. Размещать их рекомендуется в севооборотах с чередованием культур с одним или двумя годами пользования клевера. С одним годом: 1 – пар сидеральный (сидерат, навоз твердый или жидкий), 2 – озимая рожь (содома), 3 – ячмень, 4 – яровая пшеница + клевер, 5 – клевер 1-го г.п., 6 – озимая рожь (содома), 7 – ячмень, 8 – овес. С двумя годами: 1 – пар сидеральный (сидерат, навоз твердый или жидкий), 2 – озимая рожь (содома), 3 – ячмень + клевер, 4 – клевер 1-го г.п., 5 – клевер 2-го г.п., 6 – озимая рожь (солома), 7 – ячмень, 8 – овес.

Использование биоресурсов в севооборотах с сидеральными парами имеет ряд преимуществ перед традиционными севооборотами с занятым и черным парами. Прежде всего, почва обогащается органическим веществом. Внесение соломы замедляет процесс минерализации органического вещества, повышает его запасы. Навоз в сочетании с сидератами и соломой обогащает почву доступными питательными веществами. Использование биоресурсов в сочетании с невысокими дозами минеральных удобрений порядка N30–60P40K40 обеспечивает ресурсосбережение. Теоретической основой использования биоресурсов в севооборотах с сидеральными парами являются противоположно направленные закономерности, установленные исследованиями. С одной стороны, почва обогащается органическим веществом, в результате чего повышается биологическая активность в ней, усиливается минерализация органического вещества. С другой стороны, солома и пожнивные растительные остатки замедляют процесс минерализации органического вещества и обеспечивают воспроизводство плодородия почвы. Поэтому в составе комплекса биоресурсов необходимо наличие соломы как средства, замедляющего процесс минерализации органического вещества почв.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Еськов А.И.* Улучшить использование соломы в сельском хозяйстве // *Земледелие*. 2000. № 6. С. 24–25.
2. *Попов А.В., Аврова Н.П.* Биологизация земледелия в Северо-Западной зоне // *Земледелие*. 2001. № 3. С. 16–17.
3. *Дзюин А.Г., Горчев А.А., Дзюин Г.П.* Влияние торфо-навозного компоста на продуктивность севооборота и содержание гумуса в почве // *Современному земледелию – адаптивные технологии: тр. науч.-практ. конф. Ижевск, 2001*. С. 57–58.
4. *Ряховский А.В.* Роль органических удобрений в земледелии // *Земледелие*. 1994. № 3. С. 23–24.
5. *Алиев Ш.А., Шакиров В.З.* Биологизация земледелия – требование времени // *Агротех. вестн.* 2000. № 4. С. 21–23.
6. *Еськов А.И., Новиков М.Н., Мерзлая Г.Е.* Состояние и перспективы исследований по повышению плодородия почв и эффективному использованию органических удобрений // *Бюл. ВИУА*. 2001. № 114. С. 7–10.
7. *Верниченко Л.Ю., Мищустин Е.Н.* Влияние соломы на почвенные процессы и урожай сельскохозяйственных культур // *Использование соломы как органического удобрения*. М.: Наука, 1980. С. 3–33.
8. *Гурьев Г.П., Мищустин Е.Н.* Эффективность использования соломы как органического удобрения // *Использование соломы как органического удобрения*. М.: Наука, 1980. С. 156–170.
9. *Русакова И.В., Еськов А.И.* Оценка влияния длительного применения соломы на воспроизводство органического вещества дерново-подзолистой почвы // *Докл. РАСХН*. 2011. № 5. С. 28–31.
10. *Кольбе Г., Шумпе М.* Солома как удобрение М.: Колос, 1972. 87 с.
11. *Кураченко Н.Л.* Участие лабильного органического вещества в образовании водопрочной структуры чернозема оподзоленного Средней Сибири // *Криопедология–1997: 2-я Международ. конф. Сыктывкар, 1997*. С. 67–68.
12. *Пшебельский В.В., Гаврилюк М.С.* Органическое удобрение в свекловичном севообороте // *Использование соломы как органического удобрения*. М.: Наука, 1980. С. 186–191.
13. *Доспехов Б.А., Васильев Д.В., Усманов Р.Р.* Действие удобрения соломой на плодородие дерново-подзолистых почв при разных системах ее обработки в севообороте // *Использование соломы как органического удобрения*. М.: Наука, 1980. С. 144–156.
14. *Стейнифорт А.Р.* Солома злаковых культур. М.: Колос, 1983. 189 с.
15. *Пегова Н.А., Холзаков В.М.* Влияние соломы и системы зяблевой обработки почвы на ее плодородие и продуктивность севооборота // *Научное обеспечение стратегии адаптивной интенсификации АПК на Северо-Востоке Нечерноземной зоны Российской Федерации: мат.-лы регион. науч.-практ. конф. Марийского НИИСХ РАСХН 24–29 июня 2007 г. Руэм, 2007*. С. 59–64.

16. *Азров О.Е., Мороз З.М.* Использование соломы в сельском хозяйстве. Л.: Колос, 1979. 200 с.
17. *Кононова М.М.* Органическое вещество почвы. М.: АН СССР, 1963. 313 с.
18. *Владыкина Н.И.* Активность целлюлозоразлагающих микроорганизмов дерново-подзолистой почвы в севообороте // Мат-лы регион. совещ. научн. учреждений – участников Геосети Северо-Восточного и Уральского регионов “Состояние и пути повышения эффективности агрохимических исследований в Северо-Восточном и Уральском регионах” (г. Пермь, 3–5 июля 2013 г.). М.: ВНИИА, 2013. С. 12–15.
19. *Надежкин С.М., Корягин Ю.В., Корягина Н.В.* Накопление и разложение биомассы зеленого удобрения в почвенно-климатических условиях Среднего Поволжья // Бюл. ВИУА. 2001. № 114. С. 132–133.
20. *Возняковская Ю.М., Попова Ж.П., Петрова Л.Г.* Сидеральные удобрения – регуляторы почвенно-микробиологических процессов в условиях почво-утомления // Докл. ВАСХНИЛ. 1988. № 2. С. 6–9.
21. *Бегей С.В., Шувар И.А.* Промежуточные культуры и плодородие почвы // Земледелие. 1991. № 3. С. 32–33.
22. *Кормилицын В.Ф.* Значение сидерации в воспроизводстве плодородия темно-каштановой почвы Поволжья в условиях орошения // Докл. ВАСХНИЛ. 1988. № 10. С. 21–24.
23. Методические указания по проведению исследований в длительных опытах с удобрениями (Методика проведения опытов и анализа почв) / Под ред. В.Д. Панникова. Ч. 1. М., 1975. 167 с.
24. *Доспехов Б.А.* Методика полевого опыта. М.: Колос, 1973. 336 с.
25. *Русакова И.В.* Изучение экологического состояния микробного сообщества дерново-подзолистой почвы при длительном применении соломы и минеральных удобрений // Международ. журн. прикл. и фундамент. исслед. 2018. № 6. С. 120–124.

## Effect of Straw in Combination with Mineral, Organic and Sideral Fertilizers on the Biological Activity of the Soil

A. G. Dzyuin

*Udmurt Federal Research Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences  
ul. T. Baramzina 34, Izhevsk 426067, Russia*

*E-mail: ugnish-nauka@yandex.ru*

In the Udmurt Research Institute on sod-podzolic loamy soil, experiments were carried out using winter rye straw and siderates for fertilizer. In 1977–1980, studies were conducted in the pea – winter rye – barley crop rotation link (experiment 1) against the background of 1 – mineral fertilizers, in total for 3 years, N320P310K190 was introduced and against the background of 2 – without bedding manure 150 t/ha. To clarify the process of decomposition of straw, the composition and number of microorganisms were determined. In 2001–2008 the research was conducted in 8-full crop rotations (experiment 2): factor *A* (types of steam) – pure, busy, sideral, as sideral crops were vetch-oat mixture, green mass of winter rye, clover of the 1st year of use; factor *B* (backgrounds): 1 – without fertilizers, 2 – manure 40 t/ga; factor *C* (variants): 1 – without fertilizers, 2 – NPK, 3 – straw, 4 – straw + NPK. When sealing straw, 8 kg N/t of straw was added. The biological activity of the soil was determined by the application method. In experiment 1, straw contributed to an increase in the number of soil microorganisms. In the soil under the crops of the crop rotation link, their species composition changed. Under the sowing of peas, cellulose bacteria were 36.8% (5.2 vs. 3.8 thousand/g of absolutely dry soil) more than in the version without straw. The number of bacteria detected on MPA, actinomycetes and fungi has not changed. Against the background of the use of liquid manure + NPK in the straw variant, an increase in the number of bacteria per MPA (by 18.6%) and actinomycetes (by 75%) was noted in the first year, the number of cellulose bacteria decreased (by 10%), the number of fungi did not change. In the 2nd year, the number of detectable groups of microorganisms on both backgrounds increased compared to the first year. In the 3rd year, the number of fungi and cellulose-decomposing bacteria increased on both backgrounds, but the number of bacteria per MPA decreased. The use of without bedding manure together with straw in the link of crop rotation restrained the development of cellulose-decomposing bacteria in comparison with the mineral background by an average of 16.9%, which indicated the mineralization of straw according to the scheme of slow decomposition. In crop rotations with clean, busy and sideral pairs (experiment 2), the decomposition of cotton fabric in the variant with straw went better than without its introduction. When applying solid manure, the decomposition of straw slowed down because it was subjected to faster mineralization than straw. In crop rotations with sideral pairs and clover, the introduction of straw provided an increase in soil fertility.

*Key words:* winter rye straw, mineral and sideral fertilizers, liquid, solid manure, crop rotation link, 8-full crop rotation, number and composition of microorganisms.

УДК 631.631.417.2:631.42

## УНИФИЦИРОВАННЫЙ ОБРАЗЕЦ ГУМИНОВЫХ КИСЛОТ ЧЕРНОЗЕМА: ИЗГОТОВЛЕНИЕ, ВНУТРИ- И МЕЖЛАБОРАТОРНАЯ МЕТРОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА СОСТАВА<sup>1</sup>

© 2022 г. А. С. Фрид<sup>1</sup>, В. А. Холодов<sup>1</sup>, И. В. Перминова<sup>2</sup>, Н. В. Ярославцева<sup>1</sup>,  
Н. А. Куликова<sup>3</sup>, Ю. Р. Фарходов<sup>1,3</sup>, Б. М. Когут<sup>1,\*</sup>

<sup>1</sup>Федеральный исследовательский центр “Почвенный институт им. В.В. Докучаева”  
119017 Москва, Пыжевский пер., 7, Россия

<sup>2</sup>Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, химический факультет  
119991 Москва, Ленинские горы, 1, Россия

<sup>3</sup>Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, факультет почвоведения  
119991 Москва, Ленинские горы, 1, стр. 12, Россия

\*E-mail: kogutb@mail.ru

Поступила в редакцию 27.04.2022 г.

После доработки 07.05.2022 г.

Принята к публикации 12.08.2022 г.

Для системы контроля качества и безопасности применения гуминовых препаратов необходимы стандартные образцы состава и свойств, извлекаемые из разных почв, торфов, углей и т.п. В данной работе впервые в отечественной практике приготовлен образец гуминовых кислот, извлеченных из пахотного слоя типичного чернозема Курской области РФ, и охарактеризован по содержанию С, Н, N, золы, структурных групп методом <sup>13</sup>С ЯМР, оптическим характеристикам поглощения в области 200–800 нм при рН 6.8. Медианная межлабораторная оценка содержания С составила 50.8, Н – 3.6, N – 3.3% (на сухое вещество с остаточной гигроскопической влагой). Более 50% структурных групп (по углероду) составили ароматические группы, что свидетельствовало о высокой гидрофобности гуминовых кислот.

**Ключевые слова:** гуминовые кислоты, чернозем, содержание С, Н, N, структурные группы, <sup>13</sup>С ЯМР-спектроскопия.

DOI: 10.31857/S0002188122110060

### ВВЕДЕНИЕ

В резолюции V съезда Общества почвоведов им. В.В. Докучаева (2008 г.) записано: “... обратить внимание на необходимость срочной разработки системы контроля качества и безопасности применения гуминовых препаратов в растениеводстве, животноводстве, медицине и других отраслях”. Многолетний опыт показывает, что центральной проблемой в этом случае является создание стандартных образцов (СО) гуминовых кислот (ГК), извлекаемых из разных почв, торфов, углей и т.п. Только наличие аттестованных СО ГК может решать проблему качества аналитической информации, в первую очередь ее правильности, проблему использования СО ГК в качестве калибровочных и контрольных образцов. Широкое распространение гуминовых препаратов в биологических целях (сельское хозяйство,

медицина) требует не только идентификации гуминовых препаратов как гуминовых веществ, но и наличия стабильных образцов с известными биологическими эффектами. Такими образцами также могут стать СО ГК.

Международное гуминовое общество (IHSS) имеет к настоящему времени 6 стандартных (standard) и 5 рекомендуемых (reference) образцов ГК [1], выделенных из речных и озерных вод, почвы, торфа и леонардита. Стандартные образцы отличаются от рекомендуемых более строгими условиями изготовления. В табл. 1 приведены характеристики состава этих образцов.

Ввиду отсутствия ошибок для приведенного элементного состава образцов ГК в целом (в расчете на сухое беззольное вещество) можно отметить следующее: 1 – содержание С варьирует в диапазоне 52.6–63.8% (без леонардита – до 59.5%), 2 – суммарное содержание С, N и H варьирует в диапазоне 58.1–68.7% (без леонардита –

<sup>1</sup> Работа выполнена в рамках гранта РФФИ № 14-26-00079 за 2014–2016 гг.



**Таблица 1.** Химический состав стандартных и рекомендуемых образцов ГК Международного гуминового общества

Источник извлечения ГК	Номер по каталогу	H <sub>2</sub> O в воздушно-сухом образце, %	Зола в сухом образце, %	Содержание в сухом беззольном веществе, %							
				C	H	N	O	S	P	C+H+N	Сумма 6-ти элементов
Стандартные образцы											
Suwannee River-I	1S101H	10.0	3.10	52.55	4.40	1.19	42.53	0.58	<0.01	58.14	101.25
Suwannee River-II	2S101H	20.4	1.04	52.63	4.28	1.17	42.04	0.54	0.013	58.08	100.67
Elliott Soil	1S102H	8.2	0.88	58.13	3.68	4.14	34.08	0.44	0.24	65.95	100.71
Elliott Soil-IV	4S102H	7.62	0.44	59.51	3.20	3.90	32.16	0.47	—	66.61	99.24
Pahokee Peat	1S103H	11.1	1.12	56.37	3.82	3.69	37.34	0.71	0.03	63.88	101.96
Leonardite	1S104H	7.2	2.58	63.81	3.70	1.23	31.27	0.76	<0.01	68.74	100.77
Рекомендуемые образцы											
Suwannee River	1R101H	9.8	3.46	52.89	4.14	1.17	43.40	0.58	<0.01	58.20	102.18
Pahokee Peat	1R103H	10.4	1.72	56.84	3.60	3.74	36.62	0.70	0.03	64.18	101.53
Nordic Lake	1R105H	9.1	0.31	53.33	3.97	1.16	43.09	0.58	0.01	58.46	102.14
Summit Hill Soil	1R106H	8.1	1.41	54.00	4.84	5.13	37.90	0.64	0.40	63.97	102.91
Waskish Peat	1R107H	6.93	1.60	54.72	4.04	1.47	38.54	0.36	0.31	60.23	99.44

до 66.6%), 3 – сумма всех 6-ти элементов составила от 99.2 до 102.9%, т.е. можно предположить, что ошибка суммы не превышает 3%, 4 – имеется только 2 образца ГК, выделенных собственно из почв.

Помимо калибровочного применения очень важное практическое значение имеет знание реальных ошибок измерения состава гуминовых веществ (в первую очередь углерода и азота), полученных в процессе метрологической оценки и последующей аттестации состава СО ГК. Без знания этих ошибок невозможно статистически достоверно оценить различия в составе ГК в пространстве, во времени, в процессах различных модификаций [2]. Цель работы – получение образца гуминовых кислот из чернозема типичного и оценка его состава с помощью внутри- и межлабораторного эксперимента.

#### МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Массу типичного чернозема отбирали на территории многолетнего полевого опыта Почвенного института им. В.В. Докучаева (Курский НИИ АПП), заложенного в 1964 г. на старопаш-

хотном участке, в посеве ячменя в 2014 г. с глубины 0–15 см. Площадка отбора 10 × 10 м с координатами северо-западного угла 51°37.047'N 36°15.626'E, северо-восточного угла 51°37.046'N 36°15.629'E, центра площадки 51°37.046'N 36°15.629'E, где N – северная широта, E – восточная долгота (система позиционирования GPS – Global Position System).

Индивидуальные образцы массой 1–2 кг были отобраны на площадке случайным образом, общая масса почвы составила ≈200 кг. Из общей массы методом квартования получали средний образец массой ≈50 кг, который был использован для выделения гуминовых кислот.

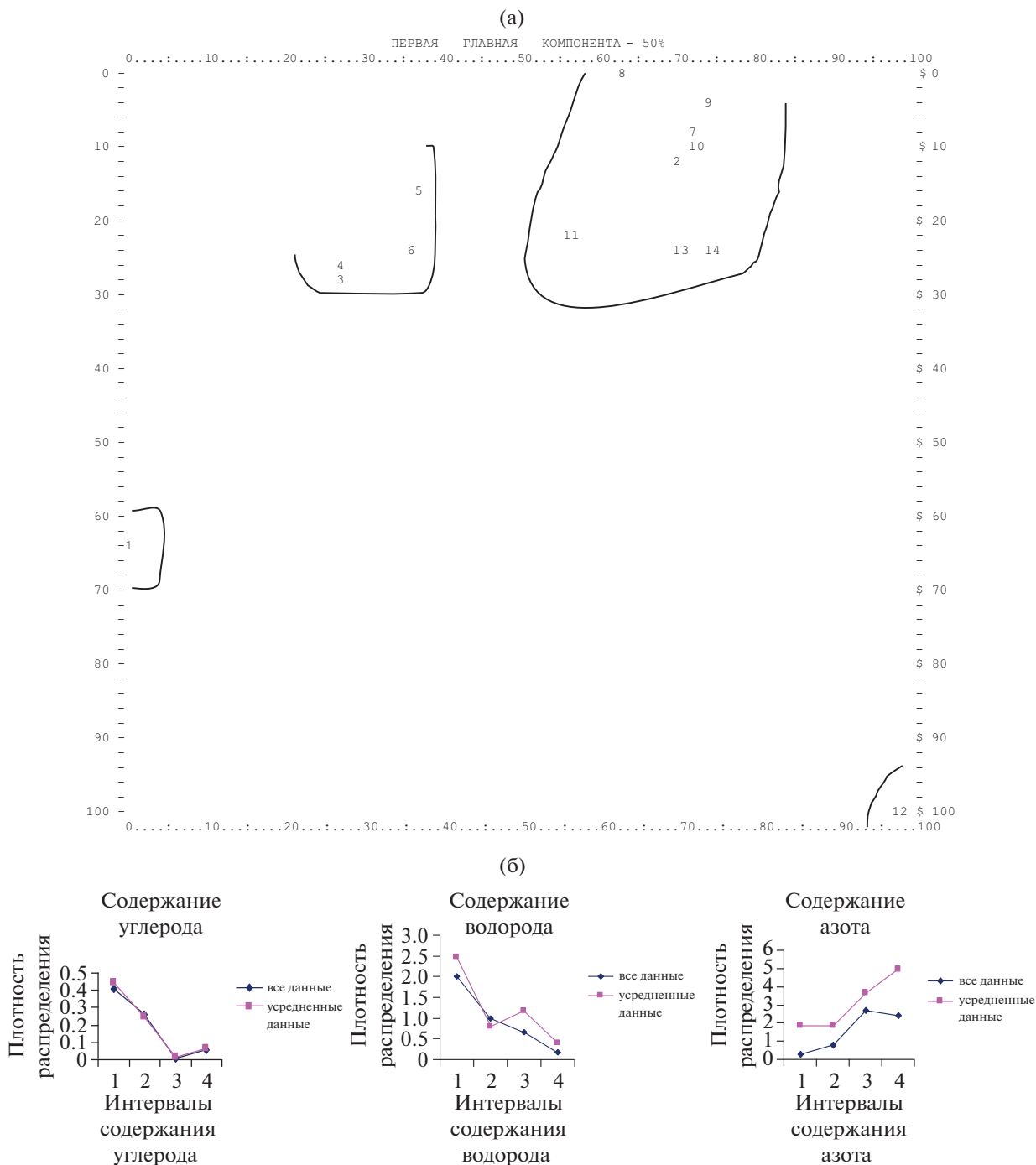
Методика выделения описана в [3]. Для получения одной порции ГК брали навеску среднего образца почвы в 2 кг, декальцировали добавлением 1М HCl до установления в суспензии pH 1.0–2.0, затем добавляли 0.1 М HCl для достижения соотношения почва : раствор = 1 : 10 по массе. Полученную суспензию периодически перемешивали в течение 6 ч, оставляли на ночь, отделяли супернатант декантацией. Декальцированную почву нейтрализовали добавлением 1 М NaOH до

**Таблица 2.** Элементный состав проб из неусредненных порций ГК, %

Номер порции	Повторность	С	Н	N	Средние		
					С	Н	N
1	1	53.19	4.3	2.75	53.24	4.11	2.98
	2	53.29	3.92	3.11			
2	1	54.01	3.5	3.32	54.06	3.46	3.26
	2	54.12	3.42	3.2			
3	1	52.77	3.8	3.08	52.62	3.76	3.12
	2	52.46	3.72	3.16			
4	1	52.95	3.8	3.06	52.82	3.8	3.14
	2	52.69	3.8	3.22			
5	1	53.11	3.78	3.2	53.05	3.76	3.21
	2	52.98	3.73	3.22			
6	1	53.53	3.8	3.17	53.34	3.79	3.18
	2	53.15	3.78	3.18			
7	1	53.79	3.41	3.24	54.0	3.45	3.28
	2	54.21	3.49	3.32			
8	1	52.86	3.32	3.29	52.8	3.39	3.25
	2	52.75	3.46	3.24			
9	1	53.82	3.4	3.27	54.04	3.44	3.30
	2	54.25	3.47	3.34			
10	1	54.45	3.47	3.38	54.41	3.52	3.30
	2	54.37	3.57	3.22			
11	1	52.74	3.33	3.06	52.66	3.35	3.12
	2	52.58	3.36	3.17			
12	1	57.82	3.33	3.0	57.75	3.30	2.98
	2	57.69	3.27	2.97			
13	1	54.38	3.43	3.22	54.22	3.43	3.20
	2	54.07	3.43	3.19			
14	1	54.22	3.37	3.22	54.34	3.40	3.21
	2	54.47	3.43	3.2			
Размах варьирования		52.46–57.82	3.27–4.30	2.75–3.38	52.62–57.75	3.30–4.11	2.98–3.30
Доля размаха от среднего, %		9.7	27	21	9.3	22	10

pH 7.0, затем добавляли 0.1 М NaOH для достижения соотношения почва : раствор = 1 : 10 по массе. Суспензию периодически перемешивали в течение 6 ч и оставляли на ночь. Через 24 ч после начала щелочной экстракции супернатант отделяли декантацией и центрифугированием (5 мин при 3000 об./мин).

Гуминовые кислоты щелочной вытяжки отделяли от фульвокислот осаждением, подкисляя раствор 6 М HCl до pH 1.0–2.0 и центрифугируя. Осадок ГК вновь растворяли в минимальном объеме 0.1 М KOH, добавляли KCl (до концентрации калия 0.3 М) для коагуляции тонкодисперсных минеральных частиц, осадок отделяли центрифуги-



**Рис. 1.** Расположение 14-ти объектов (табл. 2) (в поле указаны их номера), охарактеризованными средними содержаниями С, Н, N – (а). По вертикали – 2-я главная компонента с долей общего варьирования 41%. Плотности распределения С, Н, N для выборки из 14-ти исходных порций ГК – (б).

гированием. Далее раствор ГК обрабатывали 0.1 М HCl + 0.3 М HF для осаждения и удаления кремнийсодержащих и других примесей. Полученную суспензию ГК очищали диализом, высушивали на роторном вакуумном испарителе при 40°C. Порошок (черного цвета) переносили в стеклянный тигель и сохраняли в темноте. Всего,

таким образом, было получено ≈20 порций ГК. Для сравнения состава порций из каждой из них были отобраны пробы для элементного анализа. Общая масса ГК составила 285 г.

Все процедуры получения образца ГК проведены в отделе биологии и биохимии почв Почвенного института им. В.В. Докучаева.

**Таблица 3.** Непараметрические характеристики содержаний С, Н, N и зольности (%) в ГК для различных выборок

Выборка	С			Н			N		
	медиана	квартили	68.3%	медиана	квартили	68.3%	медиана	квартили	68.3%
14 исходных порций	<u>53.6</u> 53.4–54.4	53.0–54.5	52.2–54.9	<u>3.52</u> 3.44–3.70	3.38–3.75	3.34–3.86	<u>3.19</u> 3.15–3.28	3.09–3.28	3.04–3.32
Средние для 14-ти порций	<u>53.8</u> 53.2–55.0	53.2–54.6	53.0–55.2	<u>3.51</u> 3.40–3.84	3.40–3.76	3.37–3.85	<u>3.19</u> 3.10–3.28	3.11–3.25	3.07–3.27
21 проба в одной повторности	<u>54.5</u> 54.35–55.0	54.3–54.9	54.2–55.0	<u>3.10</u> 3.01–3.24	2.99–3.23	2.94–3.28	<u>3.23</u> 3.17–3.31	3.13–3.31	3.08–3.35
12 проб в 4-х повторностях	<u>54.6</u> 54.4–54.8	54.3–54.9	54.2–55.0	<u>3.17</u> 3.09–3.26	3.03–3.29	2.98–3.33	<u>3.23</u> 3.20–3.28	3.14–3.32	3.08–3.37
Средние для 12-ти проб	<u>54.6</u> 54.45–54.97	54.4–54.8	54.4–54.8	<u>3.16</u> 3.10–3.25	3.10–3.22	3.09–3.24	<u>3.22</u> 3.185–3.29	3.18–3.27	3.16–3.30
Все измерения в 11-ти лабораториях	<u>50.8</u> 49.9–52.3	49.3–52.6	48.7–53.3	<u>3.76</u> 3.6–4.0	3.36–4.26	3.17–4.52	<u>3.28</u> 3.14–3.66	2.84–3.70	2.63–3.87
То же после отбраковки	–	–	–	<u>3.64</u> 3.47–3.90	3.32–3.94	3.19–4.08	<u>3.32</u> 3.06–3.58	2.94–3.64	2.81–3.83
	Зольность								
3 лаборатории	<u>2.08</u> 1.44–2.95	1.48–2.73	1.38–2.84						

Примечания. 1. 68.3% – квантили, соответствующие интервалу “среднее  $\pm 1s$  (выборочное стандартное отклонение нормального распределения)”. 2. Под чертой приведены доверительные интервалы для медианы при уровне значимости 0.05.

Из общей массы ГК квартованием был получен средний образец массой 50 г. Этот образец был повторно усреднен квартованием с получением образца массой 3.5 г. Его гомогенизировали перетиранием в агатовой ступке в течение 30 мин, делили на 20 частей по 150 мг, дополнительно высушивали над  $\text{CaCl}_2$  и фасовали в склянки из темного стекла, которые хранили с ограничением доступа воздуха в темноте. Склянки вскрывали непосредственно перед элементным анализом.

Оценку зольности препарата ГК проводили только в 3-х лабораториях, которые могли ее определять в микронавесках (ИНЭОС РАН, Почвенный стационар МГУ, ЦКП РУДН), причем разными методами.

Содержание углерода, азота и водорода в образцах ГК определяли на автоматических анали-

заторах методом сухого сжигания в 11-ти лабораториях разных организаций: Химический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова (две разные кафедры), Почвенный стационар Факультета почвоведения МГУ им. М.В. Ломоносова, Межвузовский центр коллективного пользования МГУ тонких химических технологий им. М.В. Ломоносова (МЦКП МТХТ), Центр коллективного пользования РУДН (ЦКП ФХИ), Институт элементоорганических соединений им. А.Н. Несмеянова РАН (ИНЭОС), Институт географии РАН (ИГ РАН), Институт общей и неорганической химии им. Н.С. Курнакова РАН (ИОНХ), Российский государственный университет нефти и газа им. И.М. Губкина (РГУ нефти и газа), Институт высокомолекулярных соединений РАН (ИВС), НИИ гигиены, профпатологии и экологии человека ФМБА (НИИ ГПЭЧ ФМБА).

Дополнительно на химическом факультете МГУ изучали структурно-групповой состав (методом ЯМР) и оптические свойства ГК. Спектры  $^{13}\text{C}$  ЯМР регистрировали на приборе “Avance 400” при рабочей частоте 100 МГц и ширине развертки спектра 425 м.д., применяя импульсную последовательность CPMG со временем регистрации сигнала спада свободной индукции (ССИ) 0.2 с, релаксационной задержкой 7.8 с и шириной первого импульса  $90^\circ$ . Для исключения ядерного эффекта Оверхаузера широкополосная развязка от протонов была включена во время регистрации сигнала и выключена во время релаксационной задержки (импульсная техника INVGATE). Время регистрации спектра порядка 12 ч. Интервал времени релаксации выбран в соответствии с предшествующими исследованиями [4], показавшими, что интервалы между импульсными последовательностями порядка 8 с обеспечивают полную релаксацию четвертичных атомов углерода в гуминовых веществах. Навеску препарата  $\approx 40$  мг растворяли в 0.6 мл 0.3 М NaOD/D<sub>2</sub>O и переносили в 5-мм ампулу для ЯМР.

Умножение сигналов ССИ на спадающую экспоненту с оптимальной для ЯМР-анализа ГК константой времени LB 100 гц, их Фурье-преобразование, фазирование преобразованных спектров и коррекцию базовой линии осуществляли при помощи программного обеспечения “MestRec”. Преобразованные спектры интегрировали по 9-ти интегральным интервалам, соответствующим основным структурным группам ГК [4].

Оптические свойства ГК исследовали методом спектрофотометрии в области поглощения ароматических колец (254 нм) при pH 6.8. Рассчитывали две характеристики:  $SUVA_{254}$  (оптическая плотность, нормированная на концентрацию органического углерода и длину оптического пути [5]) и  $E_4/E_6$  (отношение оптических плотностей при длинах волн 465 и 665 нм, что является характеристикой степени гумификации [6]).

Для статистического анализа результатов использовали параметрические и непараметрические методы согласно [7]. Доверительные интервалы для медианы оценивали по [8, 9].

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Рассмотрим сначала результаты элементного анализа проб из 14-ти исходных порций ГК до их усреднения, выполненного в двукратной повторности в одной лаборатории химического факультета МГУ (табл. 2).

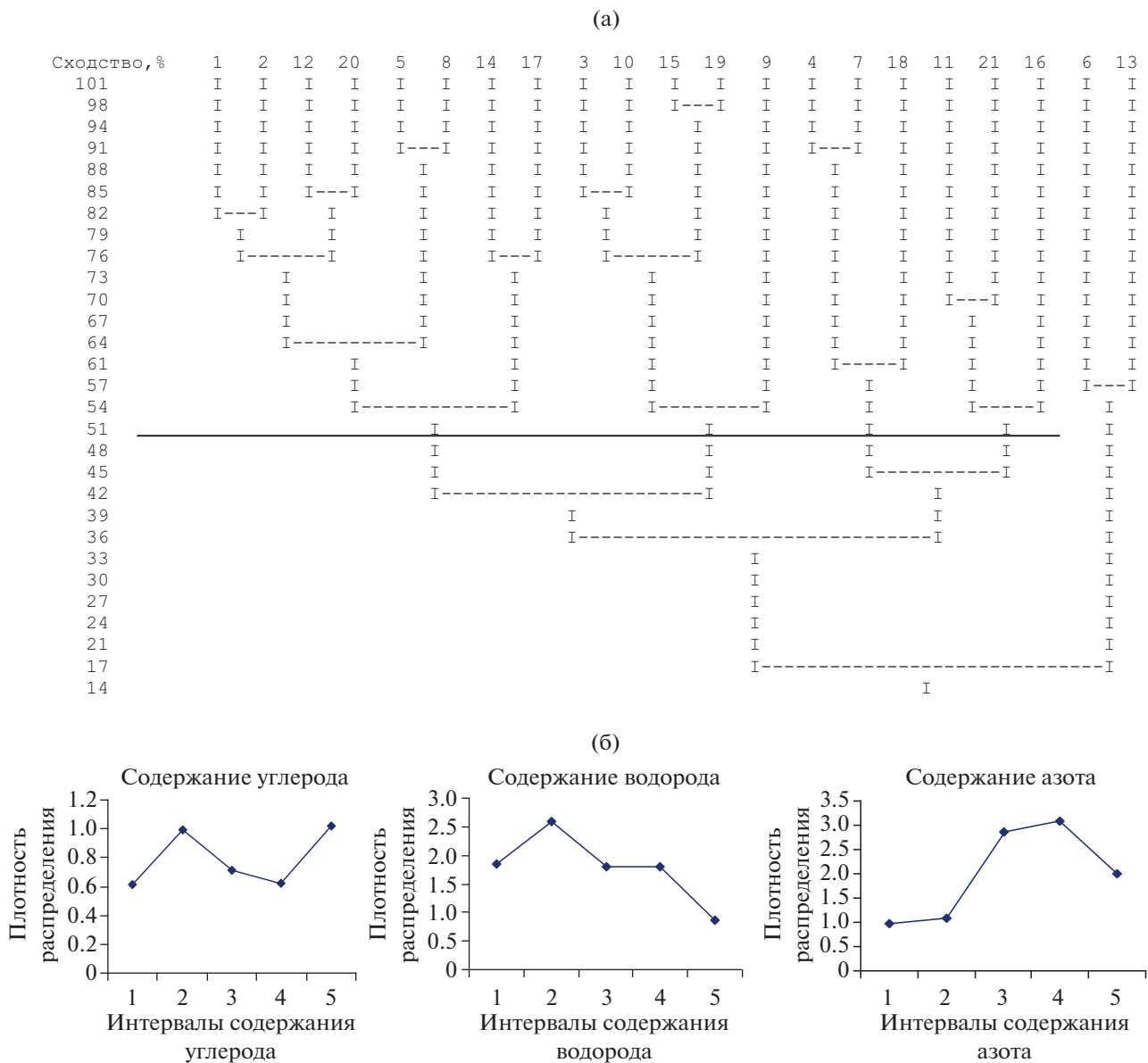
**Таблица 4.** Результаты определений массовой доли углерода, водорода и азота в пробах усредненных ГК в одной лаборатории

№ пробы	C	H	N
	%		
1	54.19	2.87	3.20
2	54.16	2.93	3.28
3	54.76	3.30	3.21
4	55.16	3.10	3.39
5	54.42	3.04	3.29
6	55.12	3.32	2.93
7	55.11	3.04	3.42
8	54.44	2.99	3.34
9	54.40	3.25	3.40
10	54.64	3.21	3.19
11	54.95	2.92	3.25
12	54.21	2.98	3.15
13	54.66	3.42	2.98
14	53.92	3.11	3.12
15	54.37	3.21	3.25
16	55.12	2.99	3.08
17	54.26	3.11	3.14
18	55.01	3.22	3.31
19	54.44	3.19	3.23
20	54.06	3.01	3.21
21	54.79	3.07	3.24
Размах варьирования	53.92–55.15	2.87–3.42	2.93–3.42
Доля размаха от среднего, %	2.3	17	15

Для получения обобщенной картины были использованы метод построения дендрограмм сходства объектов и метод главных компонент с учетом всех 3-х определяемых элементов. Эти методы показали, что выборка распадается на 2 основные группы порций и 2–3 отстоящих от них порции (и для исходных данных, и для средних из 2-х повторностей) (рис. 1а). Из табл. 2 видно, что одной из наиболее выделяющихся является 12-я порция с максимальным содержанием С. Этот результат многомерного рассмотрения подтвердился и при построении плотностей распределения отдельных показателей (методом прямоугольных вкладов сглаживания гистограмм [10]) (рис. 1б). Показано, что ни по одному элементу нет даже унимодального распределения, не говоря уж о симметричном или нормальном. Поэтому характеризовать эти выборки имеет смысл непа-

**Таблица 5.** Результаты измерений элементного состава усредненных проб ГК с аналитическими повторностями в одной лаборатории

Номер пробы	Повторность				Среднее
	1	2	3	4	
С, %					
1	54.86	54.96	55.01	54.06	54.72
2	54.40	54.68	54.83	54.74	54.66
3	54.95	53.95	54.64	54.44	54.50
4	53.92	54.28	54.16	54.84	54.30
5	54.81	53.98	54.42	54.76	54.49
6	54.64	54.39	55.16	54.79	54.75
7	55.18	54.86	54.66	54.37	54.77
8	55.12	54.44	54.12	54.32	54.50
9	55.07	55.11	54.88	54.44	54.88
10	54.52	54.91	54.68	54.99	54.78
11	54.16	54.19	54.26	54.18	54.20
12	54.29	55.12	54.21	54.93	54.64
Размах варьирования	53.92–55.18				
Доля размаха от среднего, %	2.3				
Н, %					
1	3.22	3.02	3.22	3.01	3.12
2	3.25	2.89	3.01	3.21	3.09
3	2.92	3.29	3.21	3.14	3.14
4	3.11	3.35	3.37	3.00	3.21
5	3.21	3.32	3.04	3.30	3.22
6	3.10	2.98	3.10	3.07	3.06
7	3.28	3.20	3.42	3.21	3.28
8	2.99	2.99	3.41	3.21	3.15
9	3.26	3.04	3.39	3.19	3.22
10	3.27	2.98	3.39	3.26	3.23
11	2.93	2.87	3.11	3.42	3.08
12	3.15	3.32	2.98	3.04	3.12
Размах варьирования	2.87–3.42				
Доля размаха от среднего, %	17				
N, %					
1	3.36	3.14	3.31	3.21	3.26
2	3.40	3.22	3.41	3.41	3.36
3	3.25	3.23	3.19	3.46	3.28
4	3.12	3.03	3.33	3.23	3.18
5	3.04	3.20	3.29	3.21	3.19
6	3.15	3.36	3.39	3.24	3.29
7	3.20	3.35	2.98	3.25	3.20
8	3.08	3.34	3.14	3.22	3.20
9	3.04	3.42	3.16	3.23	3.21
10	3.21	2.98	3.24	3.10	3.13
11	3.28	3.20	3.14	3.26	3.22
12	3.23	2.93	3.15	3.40	3.18
Размах варьирования	2.93–3.46				
Доля размаха от среднего, %	16				

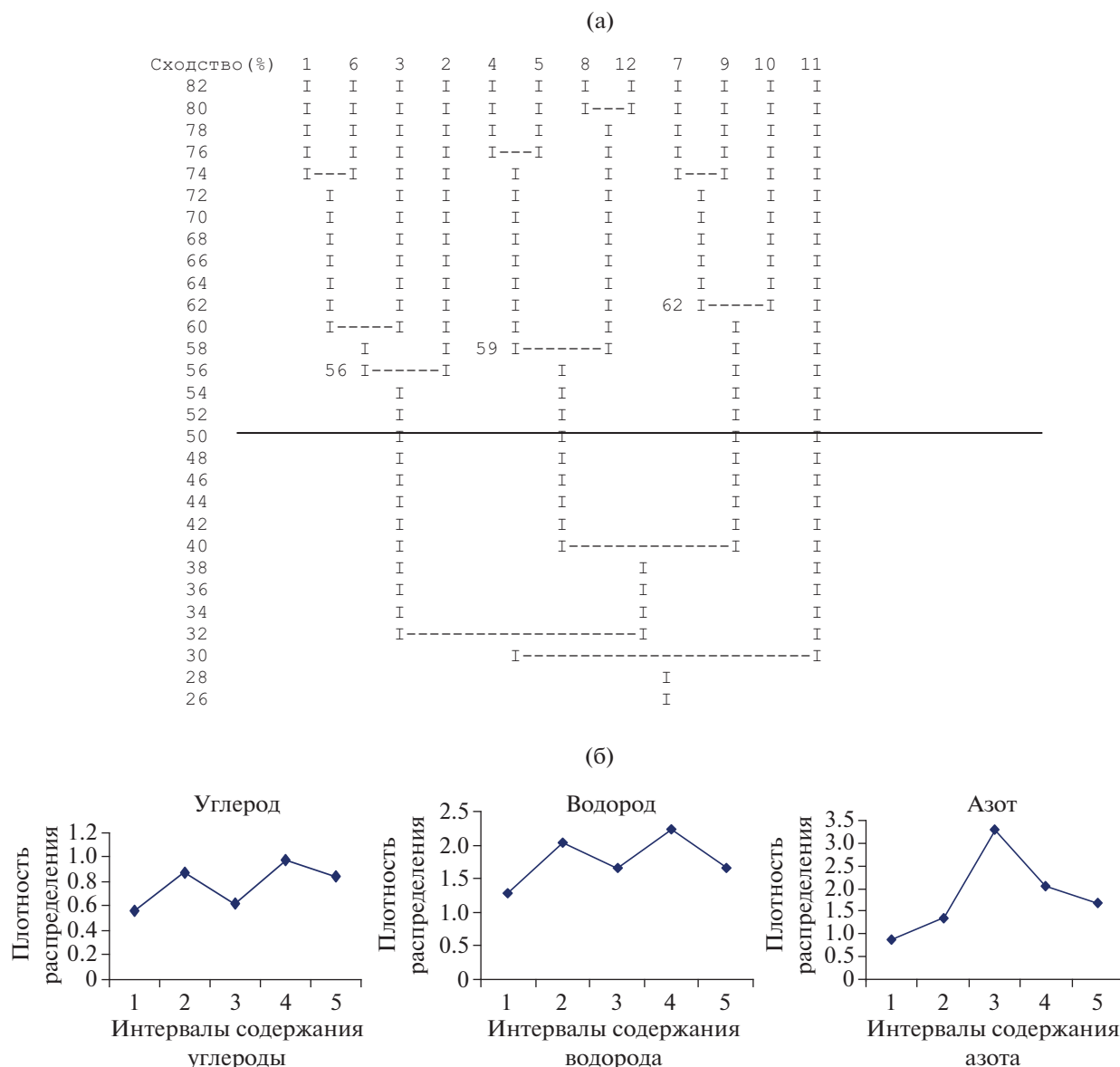


**Рис. 2.** Дендрограмма сходства проб ГК (табл. 4) по совокупности содержания С, Н, N – (а). Горизонтальная линия проведена на уровне сходства 50%. Номера проб сверху соответствуют табл. 4. Плотности распределения С, Н, N для выборки из 21-й пробы усредненных ГК в одной повторности – (б).

раметрически, через медианы и квантили (табл. 3). Однофакторный дисперсионный анализ также показал различия между собой порций ГК в целом при уровнях значимости 0.01 для С и Н и 0.05 – для N.

Исследование элементного состава усредненного образца ГК сначала было проведено также в одной лаборатории химфака МГУ в 2-х вариантах: 1 – от всей массы отбирали 21 пробу по 1 мг, которые анализировали один раз, 2 – от всей массы отбирали 12 проб по 1 мг и каждую анализировали 4 раза. Результаты первого варианта представлены в табл. 4, второго – в табл. 5.

Анализ табл. 4 методами построения дендрограммы сходства и главных компонент показал, что близость измерений по совокупности 3-х элементов невысока (на уровне сходства 50% выявилось 5 групп проб, рис. 2а), но отбраковать какую-то конкретную пробу не представлялось возможным, т.к. выпадающие крайние показатели содержаний С и Н принадлежат разным пробам. Такую сложную ситуацию подтвердило и построение графиков плотности распределения (рис. 2б), из которых видно, что только для N получено унимодальное распределение, а для С и Н выборка распадается на две части. Поэтому и ее охарак-



**Рис. 3.** Дендрограмма сходства 12-ти проб ГК для средних С, Н, N – (а). Горизонтальная линия соответствует уровню сходства 50%. Сверху указаны номера проб в табл. 5. Плотности распределения С, Н, N для выборки из 12-ти проб усредненных ГК в четырехкратной повторности – (б).

теризовали непараметрически (табл. 3). В случае азота можно дать приближенную оценку стандартного отклонения как половины размаха квантилей при вероятности 68.3% – получается 0.14% (это совпадает с доверительным интервалом для медианы).

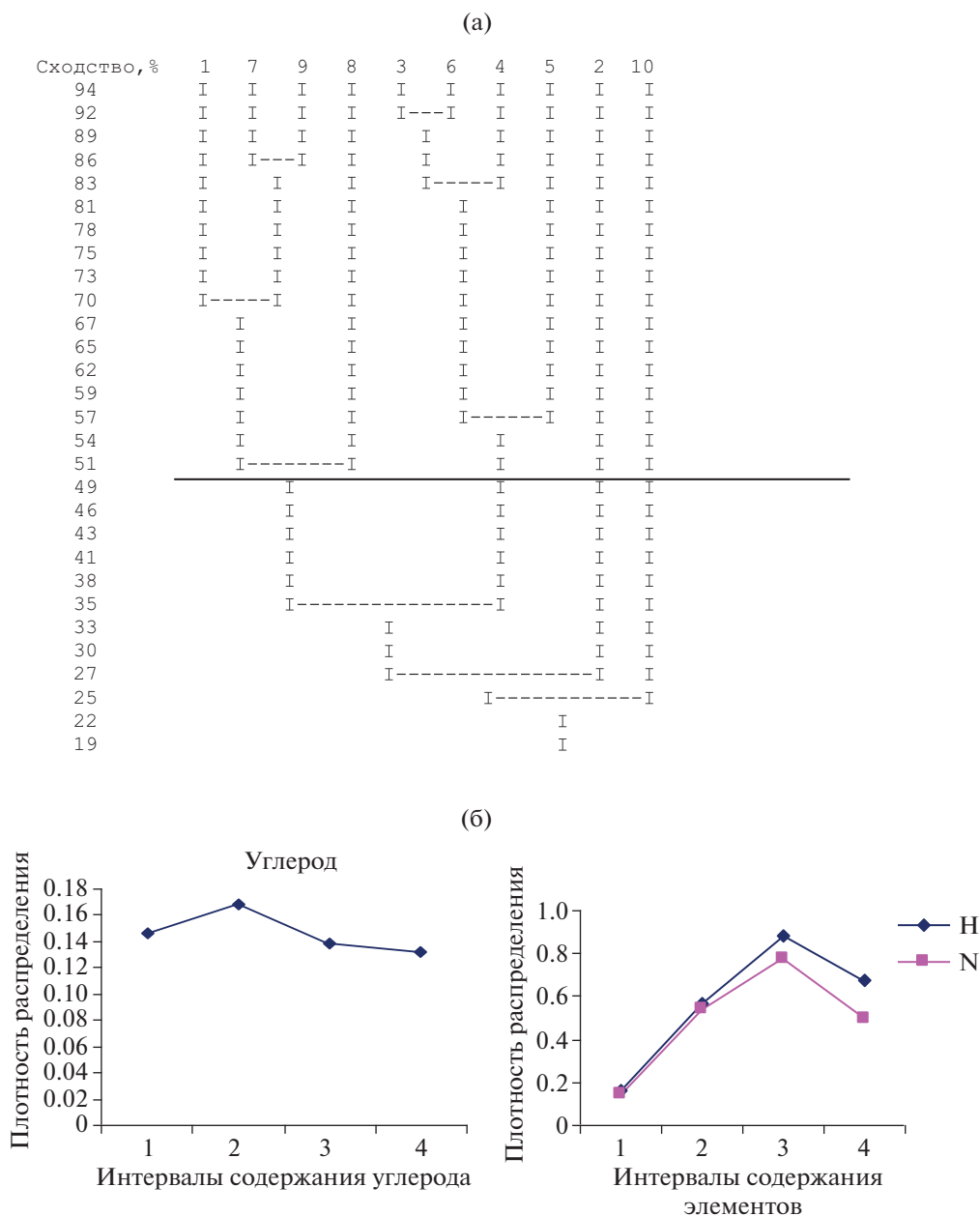
Выборка табл. 5 еще более представительна, т.к. содержит повторные измерения проб. Однако полученная при комплексном анализе картина принципиально не отличалась от предыдущей (рис. 3а), на уровне сходства 50% выявили 3 группы проб. И это несмотря на то что однофакторный дисперсионный анализ не показал различий

между пробами (при уровне значимости 0.05) для каждого из 3-х элементов, т.е. разброс данных в целом соответствовал разбросу, связанному с повторностями – стандартные отклонения были равны 0.35% (С), 0.16% (Н), 0.13% (N). Последняя величина практически совпадает с указанной выше для выборки табл. 4. Однако более тонкое сопоставление с помощью величины  $HSP_{05}$  и попарных сравнений средних по  $t$ -критерию показало, что имеется  $\approx 10$  случаев (особенно для С и N), когда средние из повторений различались. Это объясняет распадение распределений выборки на 2 части для углерода и водорода (рис. 3б) и



**Таблица 6.** Результаты межлабораторного эксперимента по определению элементного состава усредненной массы ГК

Лаборатория	Повторность	Навеска, мг	С	Н	N
			%		
Химический факультет МГУ – 1	1		53.19	4.30	2.75
	2		53.29	3.92	3.11
	Среднее		53.24	4.11	2.93
ИОНХ РАН	1	0.767	52.38	5.22	3.71
	2	0.7	51.40	5.50	3.93
	3	0.924	50.64	4.65	3.93
	4	0.699	50.96	5.40	3.43
	Среднее		51.35	5.19	3.75
ИНЭОС РАН	1		49.73	4.02	3.00
	2		49.79	4.22	2.88
	3		50.07	4.27	2.92
	Среднее		49.86	4.17	2.93
МИТХТ	1	2.344	49.38	3.64	3.04
	2	3.026	49.19	3.56	3.00
	3	2.81	49.25	3.72	3.06
	Среднее		49.27	3.64	3.03
Почвенный стационар МГУ	1	2.081	47.78	3.36	3.53
	2	1.97	47.80	3.38	3.51
	3	2.139	47.68	3.35	3.52
	4	1.727	47.94	3.32	3.54
	Среднее		47.80	3.35	3.53
ЦКП РУДН	1		50.79	4.10	3.79
	2		48.61	3.84	2.12
	3		49.88	3.76	2.86
	4		50.19	3.55	2.40
	5		50.71	4.04	3.24
	Среднее		50.04	3.86	2.88
РГУ нефти и газа	1		53.803	3.313	3.57
	2		54.01	3.449	3.49
	Среднее		53.91	3.38	3.53
НИИ ГПЭЧ	1		52.07	2.995	3.748
	2		53.286	2.585	4.128
	3		52.069	3.16	3.84
	Среднее		52.48	2.91	3.91
Химический факультет МГУ – 2	1	0.888	54.38	3.77	3.47
	2	1.29	53.28	3.8	3.25
	3	1.85	53.04	3.69	3.25
	Среднее		53.67	3.75	3.32
Институт географии РАН	1	1.92	51.54	–	3.27
	2	2.125	48.26	–	3.04
	3	1.83	51.28	–	3.27
	Среднее		50.36	–	3.19
ИВС РАН	1		51.34	3.45	1.143
Размах варьирования			47.68–54.38	2.585–5.50	1.143–4.128
Доля размаха от среднего, %			13	78	90



**Рис. 4.** Дендрограмма сходства средних С, Н, N по лабораториям межлабораторного эксперимента – (а). Горизонтальная линия обозначает уровень сходства 50%. Наверху указаны номера лабораторий. Плотности распределения С, Н, N для выборки усредненных проб ГК (Н и N после отбраковки по одной лаборатории) из 11-ти лабораторий – (б).

на несколько групп по совокупности 3-х элементов (рис. 3а). Непараметрические характеристики этой выборки представлены в табл. 3. Оценка стандартного отклонения для N дала величину 0.145%, что близко вышеуказанным оценкам.

Напомним, что все вышеприведенные измерения элементного состава ГК были проведены в одной лаборатории химфака МГУ на одном анализаторе. Могло быть 2 причины полученной бимодальности плотностей распределения и разде-

лений выборок проб ГК на группы: недостаточное усреднение массы ГК и неоднородность условий самого элементного анализа на автоматическом анализаторе. Из рисунков 1а–3а и табл. 3 следует, что после усреднения исходных порций ГК характеристики распределения стабилизируются, и размах варьирования уменьшается (кроме азота), варьирование имеет место во второй–третьей значащей цифре. Отсюда можно предположить, что сохраняющаяся при усредне-

**Таблица 7.** Результаты измерений зольности усредненного образца ГК чернозема

Лаборатория	Повторность	Зольность, %
ИНЭОС РАН	1	3.00
	2	2.88
	3	2.92
	Среднее	2.93
Почвенный стационар МГУ	1	1.22
	2	1.24
	3	1.23
	4	1.25
	5	1.24
	Среднее	1.24
ЦКП РУДН	1	2.65
	2	2.72
	Среднее	2.69

**Таблица 8.** Спектральные интервалы структурных групп гуминовых веществ

Структурная группа	Спектральный интервал, млн <sup>-1</sup>
Алкильный углерод –CH <sub>n</sub>	0–48
Углерод метоксигрупп –CH <sub>3</sub> O	48–58
Углерод в группах CH <sub>2</sub> O	58–65
Углерод в группах CHO	65–90
“Аномерный” углерод –OSO	90–108
Ароматический углерод –C <sub>AR</sub>	108–145
Ароматический кислород-замещенный углерод –C <sub>AR</sub> O	145–165
Углерод карбоксильных и сложноэфирных групп –COO	165–187
Углерод карбонильных групп –C=O	187–220

нии массы ГК бимодальность связана скорее всего с неоднородностью условий элементного анализа.

Теперь рассмотрим межлабораторный эксперимент по элементному анализу усредненной массы ГК в 11-ти разных лабораториях (табл. 6). Многомерный взгляд (С, Н, N совместно) на полученный массив данных (дендрограмма сходства и метод главных компонент) (рис. 4а) показал (как по отдельным измерениям, так и после усреднения повторностей), что данные расположены довольно рыхло (доли от среднего для размахов показателей составили 13% для С, 78% – для Н, 90% – для N), результаты разных лабора-

торий почти не пересекаются, но и нет явных показаний к тому, чтобы отбраковать результаты какой-то лаборатории.

Однофакторный дисперсионный анализ показал (в отличие от предыдущих экспериментов) очень значимые различия средних содержаний элементов между лабораториями. Правда, этот вывод недостаточно надежен, т.к. тут явно не выполнена предпосылка дисперсионного анализа о равенстве дисперсий в лабораториях (последние различались на порядок и более). В то же время можно отметить, что несмотря на большой разброс данных, все распределения были унимодальными (в отличие от описанной выше ситуации). Непараметрические оценки характеристик распределений для элементов показаны в табл. 3.

Более подробное рассмотрение разброса средних для лабораторий показало, что для содержания С нет оснований браковать какую-либо лабораторию, для содержания Н можно отбраковать данные ИОНХ РАН (очень большие величины), а для содержания N – данные ИВС РАН (очень маленькие величины). После такой отбраковки средние для лабораторий для Н и N продолжали значительно различаться (дисперсионный анализ), хотя и слабее, а характеристики разброса данных сузились (табл. 3). На рис. 4б показаны графики соответствующих плотностей распределений (для Н и N после отбраковки).

Проанализируем полученные результаты оценок содержания С, Н, N в усредненном образце ГК, предназначенном для того, чтобы стать стандартным образцом. В такой ситуации на первое место выходит характеристика правильности (“степень близости между полученным результатом и истинным значением” [11]), так как характеристики варьирования могут быть уменьшены увеличением числа повторных измерений. Для характеристики стандартных образцов наиболее предпочтительно использовать несколько методов, а также привлечение нескольких лабораторий [12], поэтому будем далее опираться на результаты межлабораторного эксперимента.

Для содержания углерода межлабораторная оценка медианы почти на 4% абсолютных меньше внутрилабораторной, причем меньше и квантильные интервалы. Для содержания водорода, наоборот, межлабораторные оценки больше примерно на 0.5% абсолютных. Лучше ситуация с содержанием азота – межлабораторная оценка медианы больше всего на 0.1% абсолютных, но все внутрилабораторные квантильные интервалы лежат внутри межлабораторных. Напомним, что

**Таблица 9.** Структурно-групповой состав ГК чернозема (по данным  $^{13}\text{C}$  ЯМР)

Спектральный интервал, млн <sup>-1</sup>										
0–48	48–58	58–65	65–90	90–108	110–145	145–165	165–187	187–220	108–165	58–108
Содержание углерода структурных групп, %										
CH <sub>n</sub>	CH <sub>3</sub> O	CH <sub>2</sub> O	CHO	OCO	C <sub>AR</sub>	C <sub>AR</sub> O	COO	C = O	ΣC <sub>AR</sub>	ΣC <sub>Ccarb</sub>
7.0	2.9	1.3	7.7	5.4	45.6	10.0	13.8	6.3	55.6	14.4

только для азота распределения для усредненного образца ГК во всех случаях были унимодальными.

Чтобы сопоставить наши результаты с составом ГК Международного гуминового общества (табл. 1), понадобились дополнительные пересчеты их результатов от сухого беззольного вещества на вещество с золой и гигроскопической влагой. Тогда получаем для нашего образца ГК сумму (C + H + N) = 57.8%, в стандартных образцах из почв Elliot – 60.0–61.2%, в рекомендуемом образце из почвы Summit Hill – 58.0%. С учетом ошибок пересчета и измерения эти величины близки; для остальных образцов ГК из табл. 1 (из рек, озер, торфов) эта величина меньше.

Зольность ГК определяли только в 3-х лабораториях (табл. 7), что связано с техническими причинами – возможностью определять зольность в микронавесках. Из табл. 7 видно, что 2 лаборатории получили сравнительно близкие результаты, а одна – значительно и значимо меньше. Из-за малого числа лабораторий вопрос об отбраковке не стоял, и были использованы непараметрические оценки с ожидаемо большой ошибкой для медианы (табл. 3).

Определение структурно-группового состава ГК провели методом спектроскопии  $^{13}\text{C}$  ЯМР. Интегрирование спектров осуществляли при помощи программного обеспечения “Geltreat”, разработанного А.В. Кудрявцевым. Спектры интегрировали по 9-ти интервалам, соответствующим основным структурным группам согласно табл. 8 [13]. Полученные нами результаты представлены в табл. 9.

Из табл. 9 можно видеть очень высокую долю ароматического углерода (свыше 50% от общего). Такой структурно-групповой состав характерен для ГК чернозема [3] и свидетельствует о высокой гидрофобности образца ГК, что важно с позиций структурообразующей роли гуминовых веществ в почве.

Спектр оптического поглощения раствора из образца ГК, снятый в диапазоне 200–800 нм при рН 6.8, характеризовался плавным снижением оптической плотности с ростом длины волны и

отсутствием выраженных пиков, что типично для спектров поглощения гуминовых веществ. При концентрации ГК в растворе 6.4 мг/л (53.2% С) получено: SUVA<sub>254</sub> 0.122 л/(мг см), E<sub>4</sub>/E<sub>6</sub> 3.89. Величина SUVA<sub>254</sub> была близкой к верхней границе исследованных ранее ГК [13].

## ВЫВОДЫ

1. Из пахотного чернозема типичного Курской обл. выделен образец гуминовых кислот (ГК), предназначенный для аттестации его в качестве стандартного образца.

2. Оценено содержание углерода, водорода, азота на автоматических анализаторах методом сухого сжигания. Медианы межлабораторной оценки составили для С 50.8%, Н – 3.6%, N – 3.3% (на сухое вещество с гигроскопической влагой).

3. Определены зольность образца ГК (медиана 2.1%), содержание структурных групп методом  $^{13}\text{C}$  ЯМР (ароматического углерода >50%), оптические характеристики поглощения.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сайт: <http://www.humicsubstances.org/sources.html>
2. *Большаков В.А., Фрид А.С.* К вопросу об интерпретации химико-аналитических измерений в почвоведении // Почвоведение. 2002. № 6. С. 693–696.
3. *Холодов В.А., Ярославцева Н.В., Константинов А.И., Перминова И.В.* Препаративный выход и свойства гуминовых кислот при последовательных щелочных экстракциях // Почвоведение. 2015. № 10. С. 1222–1231.
4. *Ковалевский Д.В., Пермин А.Б., Перминова И.В., Петросян В.С.* Выбор условий регистрации количественных  $^{13}\text{C}$  ЯМР-спектров гумусовых кислот // Вестн. МГУ. Сер. 2. Химия. 2000. № 41. С. 39–42.
5. *Traina, S.J., Spontak D.A., Logan T.J.* Effects of cations on complexation of naphthalene by water-soluble organic carbon // J. Environ Qual. 1989. V. 18. С. 221–227.
6. *Кононова М.М.* Органическое вещество почв. М.: Изд-во АН СССР, 1963. 314 с.

7. Метрологическое обеспечение аналитических работ в почвоведении: методические рекомендации / Сост. В.А. Большаков, А.С. Фрид, С.Е. Сорокин. М.: Почв. ин-т им. В.В. Докучаева, 1988. 112 с.
8. Ликеш И., Ляга Й. Основные таблицы математической статистики. М.: Финансы и статистика, 1985. 358 с.
9. Благовещенский Ю.Н., Самсонова В.П., Дмитриев Е.А. Непараметрические методы в почвенных исследованиях / Под ред. Карпачевского Л.О. М.: Наука, 1987. 94 с.
10. Алгоритмы и программы для ЭВМ СМ-4 / Под ред. Фрида А.С. М.: Почв. ин-т им. В.В. Докучаева, 1985. 108 с.
11. Рекомендации и номенклатурные правила ИЮПАК по химии. М.: Наука, 2004. 158 с.
12. ГОСТ ISO Guide 35-2015. Стандартные образцы. Общие и статистические принципы сертификации (аттестации).
13. Перминова И.В. Анализ, классификация и прогноз свойств гумусовых кислот: Дис. ... д-ра хим. наук. М., 2000. 359 с.

## Unified Sample of Humic Acids of Chernozem: Production, Intra- and Inter-Laboratory Metrological Characteristics of the Composition

A. S. Frid<sup>a</sup>, V. A. Kholodov<sup>a</sup>, I. V. Perminova<sup>b</sup>, N. V. Yaroslavtseva<sup>a</sup>,  
N. A. Kulikova<sup>c</sup>, Yu. R. Farkhodov<sup>a,c</sup>, and B. M. Kogut<sup>a,#</sup>

<sup>a</sup>*Federal Research Center "V.V. Dokuchaev Soil Institute"  
Pyzhevsky p. 7, Moscow 119017, Russia*

<sup>b</sup>*M.V. Lomonosov Moscow State University, Faculty of Chemistry  
Leninskie Gory 1, p. 3, Moscow 119991, Russia*

<sup>c</sup>*M.V. Lomonosov Moscow State University, Faculty of Soil Science  
Leninskie gory 1, p. 12, Moscow 119991, Russia*

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

For the system of quality control and safety of the use of humic preparations, standard samples of composition and properties extracted from different soils, peat, coal, etc. are required. In this work, for the first time in domestic practice, a sample of humic acids extracted from the arable layer of typical chernozem of the Kursk region of the Russian Federation is prepared and characterized by the content of C, H, N, ash, structural groups by <sup>13</sup>C NMR, optical absorption characteristics in the region of 200–800 nm at pH 6.8. The median interlaboratory assessment of the C content was 50.8, H – 3.6, N – 3.3% (for dry matter with residual hygroscopic moisture). More than 50% of the structural groups (by carbon) were aromatic groups, which indicated the high hydrophobicity of humic acids.

*Key words:* humic acids, chernozem, C, H, N content, structural groups, <sup>13</sup>C NMR spectroscopy.

## ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ

1. В журнале “Агрохимия” публикуются оригинальные теоретические, проблемные, экспериментальные и методические статьи, соответствующие профилю журнала, а также аналитические обзоры, рецензии и хроники. Работы, ранее опубликованные, редакцией не принимаются.

2. Объем экспериментальных статей не должен превышать 25 машинописных страниц (включая таблицы и список литературы), обзоров – 35 страниц. **Повторение одних и тех же данных в таблицах и рисунках не допускается.**

3. Статьи должны сопровождаться направлением на опубликование от того учреждения, в котором выполнялась работа, и экспертным заключением, в котором говорится об отсутствии сведений, запрещенных к опубликованию. К статье необходимо приложить договор о передаче авторского права РАН (текст договора на имя главного редактора журнала размещен на сайте РАН [www.gas.ru](http://www.gas.ru)). Электронная версия статьи должна быть прислана электронной почтой. Текст, таблицы и рисунки следует размещать в одном файле.

4. Присылаемые в редакцию статьи подписываются всеми авторами. При этом обязательно указываются фамилия, имя, отчество, почтовый адрес, контактный телефон, адрес электронной почты одного из авторов, с которым следует вести переписку.

5. Рукопись (текст и таблицы) должна быть напечатана в программе Word, Times New Roman, 14 пунктов через 2 интервала. Таблицы, подрисовочные подписи и рисунки печатаются на отдельных листах. Все страницы должны быть пронумерованы.

6. Начало статьи оформляется по образцу: название, инициалы и фамилии авторов, полное название учреждения (или учреждений), в котором выполнялась работа, почтовый адрес каждого учреждения с индексом, страна, адрес электронной почты. Далее приводится расширенная аннотация (до 1 страницы), а также ключевые слова. Кроме того, все эти данные и текст аннотации необходимо представить на английском языке в конце рукописи на отдельной странице.

7. Материал статьи излагается в последовательности: введение, методика исследования, результаты и их обсуждение, выводы (заключение),

список литературы. Эти подзаголовки должны быть указаны в тексте статьи.

**Заглавие** статьи должно быть информативным, включать ключевые слова.

**Аннотация** должна содержать главную информацию о статье: суть экспериментов, результаты и их интерпретацию.

**Во введении** нужно логически обосновать проведение данного исследования, показать актуальность и новизну, ответить на вопросы: что известно в данной области, что остается неизвестным, какова цель настоящей публикации.

**Методика исследования** должна содержать сведения: где, когда, на какой почве (субстрате) проводили опыты; агрохимическую характеристику и другие характеристики почвы с указанием методов определения; об условиях выращивания растений; об аналитических методах и использованных приборах и реактивах (с указанием фирмы на языке оригинала и производящей страны). Для малоизвестных или новых методов необходимо подробное их изложение с указанием всех применяемых реактивов, при этом нужно приводить ошибку определения и чувствительность метода. Обязательно давать ссылку на классификацию, по которой дано название почвы.

При описании полевых опытов дозы удобрений, выраженные в кг/га N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> и K<sub>2</sub>O, пишутся на строке (N90P60K60); для вегетационных опытов дозы питательных веществ (N, P, K), выраженные в мг/кг, пишутся в нижнем индексе (N<sub>100</sub>P<sub>75</sub>K<sub>100</sub>).

При описании опытов с культурами растений должны быть указаны их сорта. При упоминании видов растений необходимо приводить их латинское название и авторов классификации; названия микроорганизмов и грибов следует писать только на латыни. Родовые и видовые латинские названия растений, грибов и микроорганизмов надо печатать курсивом. Например, *Triticum aestivum* L., *Sinorhizobium meliloti*.

В конце методического раздела следует указать повторность в опыте, методы статистической обработки. Необходима статистическая обработка всех количественных данных. При ее использовании в методике нужно указать, что означает плюс-минус в таблицах и отклонение от среднего

на графиках: стандартную ошибку среднего или стандартное отклонение. Если для данной задачи предложено несколько различающихся методов статобработки, то дать ссылку на конкретный использованный метод.

**Результаты и их обсуждение.** Изложение результатов должно заключаться в выявлении следующих из таблиц и рисунков закономерностей, а не пересказе их содержания.

Количественные данные, представленные без ошибок, округляются до 3-х значащих цифр. Например, величина 1044 округляется до 1040, 1045 – до 1050, величина 1.253 округляется до 1.25, 1.257 – до 1.26 и т.п.

Все виды ошибок (метрологические и статистические) приводить не более, чем с двумя значащими цифрами (начиная с первой ненулевой цифры слева); в соответствии с этим сами величины (в том числе средние) округляются до того же числа десятичных знаков, которые содержатся в их ошибке.

При обсуждении результатов следует сравнить полученную информацию с имеющейся в литературе и показать, в чем заключается ее новизна.

**Выводы (или заключение)** должны быть конкретными и вытекать из непосредственно полученного материала.

При описании методики, обсуждении результатов и в выводах следует употреблять глаголы в прошедшем времени.

8. В статье необходимо использовать физические единицы и обозначения, принятые в Международной системе единиц СИ (ГОСТ 8.417-2002 и РД 50-160-79), агрохимические термины – в соответствии с ОСТами 10 294-2002–10 297-2002. При названии различных химических соединений желателно использовать терминологию ИЮПАК. В таблицах употребляются символы химических элементов.

9. Все сокращения должны быть расшифрованы, за исключением небольшого числа общеупотребительных.

10. При обозначении удобрений (азотных, фосфорных, калийных, комплексных, сложных, смешанных) целесообразно пользоваться сокращениями:

$N_{aa}$  – аммоний азотнокислый (селитра аммиачная);

$N_a$  – аммоний сернокислый;

$N_m$  – мочевина (карбамид);

$N_c$  – селитра натриевая;

$N_{ck}$  – селитра калийная;

$N_{ckц}$  – селитра кальциевая;

$N_{ц}$  – цианамид кальция;

$N_{ва}$  – водный аммиак;

$N_{ба}$  – безводный аммиак;

$P_c$  – суперфосфат простой;

$P_{сг}$  – суперфосфат простой гранулированный;

$P_{сд}$  – суперфосфат двойной;

$P_p$  – преципитат;

$P_{оф}$  – обесфторенный фосфат;

$P_f$  – фосфоритная мука;

$P_{фш}$  – фосфатшлак;

$K_x$  – калий хлористый;

$K_c$  – калий сернокислый;

$K_{мг}$  – калимагнезия;

АФ – аммофос;

ДАФ – диаммофос;

ДАФК – диаммофоска;

АЗФК – азофоска;

КАФ – карбоаммофос;

КАФК – карбоаммофоска;

МФК – метафосфат калия;

НАФ – нитроаммофос;

НФ – нитрофос;

НФК – нитрофоска;

НАФК – нитроаммофоска;

ПФА – полифосфат аммония;

ФМ – фосфат мочевины;

ЖКУ – жидкое комплексное удобрение;

ОМУ – органо-минеральное удобрение (с расшифровкой состава двух последних видов удобрений в разделе “Методика исследований”).

Другие сокращения необходимо расшифровать.

11. Формулы, на которые есть ссылки в тексте, должны быть пронумерованы. Пронумерованные формулы пишутся с красной строки, номер формулы ставится у правого края страницы в круглых скобках.

12. Все ссылки в тексте на литературные источники даются на языке оригинала и нумеруются. Фамилии и названия на японском, китайском и других языках, использующих нелатинский алфавит, пишутся в русской транскрипции. Номера ссылок в тексте должны идти строго по порядку упоминания и быть заключены в квадратные скобки.

13. Для всех библиографических источников приводятся фамилии и инициалы **всех** авторов и полное название цитируемой работы.

## ПРИМЕРЫ ОФОРМЛЕНИЯ БИБЛИОГРАФИЧЕСКОГО ОПИСАНИЯ

Для монографий:

*Кореньков Д.А.* Методы применения изотопа  $^{15}\text{N}$  в агрохимии. М.: Колос, 1977. 158 с.

*Hewitt E.L.* Plant mineral nutrition. London: The English University Press, 1974. 219 p.

Для сборников:

*Clarkson D.T.* Regulation of the absorption and release of nitrate by plant cell: a review of current ideas and methodology // Fundamental, ecological and agricultural aspect of nitrogen metabolism in higher plants. Dordrecht; Boston; Lancaster: Martinus Nijhoff Publishes, 1986. P. 3–27.

*Ловцова Н.М.* Влияние регуляторов роста на интенсивность дыхания укореняющихся зеленых черенков облепихи // Ростовые процессы и их регуляция / Под. ред. Якушкиной Н.И. М.: МОПИ, 1992. С. 98–101.

*Ладонин В.Ф., Посмитная Л.В., Петросян А.Г.* К вопросу оценки загрязнения зерна озимой пшеницы в условиях комплексного применения средств химизации // Тез. докл. Всесоюзн. конф. “Почвенно-агрохимические и экологические проблемы формирования высокопродуктивных агроценозов”. Пушкино, 1988. С. 177.

Для трудов:

*Варзунова Т.А.* Влияние минеральных удобрений на урожай зерна горохоовсяной смеси // Тр. Сев.-Зап. ВНИИ молоч. и лугопастб. хоз-ва. 1971. Вып. 6. С. 17–20.

*Булгакова Н.Н.* Влияние дозы азота на включение в метаболизм нитрата запасного фонда при разных условиях выращивания // Бюл. ВИУА. № 112. 1999. С. 10–11.

Для журналов:

*Монастырский О.А.* Факторы эволюции высокотоксичных штаммов рода *Fusarium* в агроценозе // С.-х. биология. 1998. № 1. С. 28–34.

*Baer R.G., Collet F.G.* In vivo determination of parameters of nitrate utilization in wheat (*Triticum aestivum* L.) seedlings grown with low concentration of nitrate in the nutrient solution // Plant Physiol. 1981. V. 68. № 6. P. 1237–1243.

Для авторефератов и диссертаций:

*Глянько А.К.* Реакция растительного организма на азотное питание и температуру среды (физиолого-экологические механизмы): Дис. ... д-ра биол. наук в форме научн. докл. Иркутск, 2000. 56 с.

*Котлярова Т.И.* Особенности усвоения азота корнями и листьями разных растений: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. М.: ИФР АН СССР, 1987. 22 с.

Для патентных документов:

*Шаповалов А.А., Тащи В.П., Пуцын Ю.Г.* Соли 1-фенил-3-(1,2,4-триазол-4-ил) мочевины, обладающие свойством регуляторов роста растений: А. с. 1732651 (РФ) // Б.И. 1992. № 14. С. 25.

*Шаповалов А.А., Пуцыкин Ю.Г., Егоров Б.Ф.* Способ борьбы с сорными растениями, гербицидная композиция и синергист, повышающий активность гербицидов: Пат. 2130260, РФ // Б.И. 1998. № 5. С. 30.

14. Рукопись статьи направляется на рецензирование члену редколлегии журнала или ведущему специалисту в данной области исследований. Срок рецензирования статьи – 1 месяц. Положительная рецензия достаточна для приема к публикации. Если в рецензии имеются замечания, рукопись отправляется автору на переработку. Сроки переработки статьи – 4 месяца. Переработанная автором статья направляется рецензенту на повторное рецензирование.

15. В случае возвращения автору статьи для переработки датой поступления статьи в редакцию считается дата получения редакцией окончательного варианта.

16. Статьи, оформленные без соблюдения изложенных правил, редакцией к рассмотрению не принимаются и возвращаются автору.

17. Электронный адрес редакции: j.agrochem@mail.ru

18. Рассылка отписок опубликованных статей осуществляется в электронном виде на адрес электронной почты, указанный авторами.

19. Плата за публикацию рукописей не взимается.