

СОДЕРЖАНИЕ

Номер 9, 2022

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ СТАТЬИ

Плодородие почв

- Динамика агрохимических показателей почвы в многолетнем полевом опыте при внесении осадков сточных вод и извести
А. С. Фрид, В. А. Касатиков, Т. И. Борисочкина, К. А. Колчанова, Н. С. Никитина 3
- Элементный состав и структура гуминовых кислот дерново-подзолистой почвы длительного стационарного опыта и ее целинных аналогов
Н. Е. Завьялова, М. Т. Васбиева, Д. С. Фомин 15
- Влияние дефеката на агрохимические свойства и буферную способность чернозема выщелоченного Предуральской степной зоны республики Башкортостан
Д. Х. Фазыльянов, Ф. И. Назырова, Г. А. Гималетдинова 26
-

Удобрения

- Динамика производства и использования минеральных удобрений в Российской Федерации в контексте показателей мировой экономики
В. А. Захаренко 31
- Оценка величины прибавки урожая полевых культур по индексу эффективности минеральных удобрений
С. А. Шафран 38
- Эффективность применения биопрепаратов ассоциативной азотфиксации в ресурсосберегающих технологиях
О. Ф. Хамова, Н. Н. Шулико, Е. В. Тукмачева 47
-

Регуляторы роста растений

- Модели реализации эффектов физиологически активных соединений при формировании корней винограда: гипотезы и практика
Р. Э. Казахмедов, М. А. Магомедова, С. Б. Саидова 53
-

Агроэкология

- Качество пшеницы в зависимости от различных зон и погодных условий Курганской области
О. В. Волынкина 63
- Нормирование химических веществ в почвах агроценозов с учетом их функционального значения
Л. П. Воронина, К. Э. Поногайбо 74
-

Экотоксикология

- Влияние биочара на экологическое состояние чернозема обыкновенного при загрязнении нефтью, бензином и мазутом
Т. В. Минникова, А. С. Русева, С. И. Колесников, С. Ю. Ревина, В. Г. Гайворонский 84
-

КРИТИКА И БИБЛИОГРАФИЯ

- Титова В.И. Агрохимия—2021. Н. Новгород, 2021. 208 с. ISBN 978-5-6046715-1-1
А. В. Ивойлов 94
-
-

Contents

No. 9, 2022

EXPERIMENTAL ARTICLES

Soil Fertility

- Dynamics of Agrochemical Indicators of Soil in Long-Term Field Experience in the Application of Sewage Sludge and Lime
A. S. Frid, V. A. Kasatkov, T. I. Borisochkina, K. A. Kolchanova, N. S. Nikitina 3
- Elemental Composition and Structure of Humic Acids in Sod-Podzolic Soil of a Long-Term Stationary Experiment and Its Virgin Analogs
N. E. Zavyalova, M. T. Vasbieva, D. S. Fomin 15
- Effect of Defecate on Agrochemical Properties and Buffering Capacity of Leached Chernozem of the Pre-Ural Steppe Zone of the Republic of Bashkortostan
D. H. Fazylyanov, F. I. Nasyrova, G. A. Himaletdinova 26
-

Fertilizers

- Dynamics of Production and Use of Mineral Fertilizers in the Russian Federation in the Context of Global Economic Indicators
V. A. Zakharenko 31
- Estimation of the Increase in the Yield of Field Crops by the Efficiency Index of Mineral Fertilizers
S. A. Shafran 38
- Efficiency of Use of Biological Preparations of Associative Nitrogen Fixation in Resource-Saving Technologies
O. F. Khamova, N. N. Shuliko, E. V. Tukmacheva 47
-

Plant Growth Regulators

- Models of Realization of the Effects of Physiologically Active Compounds in the Formation of Grape Roots: Hypotheses and Practice
R. E. Kazakhmedov, M. A. Magomedova, S. B. Saidova 53
-

Agroecology

- Wheat Quality Depending on Different Zones and Weather Conditions of the Kurgan Region
O. V. Volynkina 63
- Rationing of Chemicals in the Soils of Agroecosystems, Taking into Account Their Functional Significance
L. P. Voronina, K. E. Ponogaybo 74
-

Ecotoxicology

- Influence of Biochar on the Ecological State of Ordinary Chernozem under Pollution with Oil, Gasoline and Fuel Oil
T. V. Minnikova, A. S. Ruseva, S. I. Kolesnikov, S. Yu. Revina, V. G. Gaivoronsky 84
-

CRITIQUE AND BIBLIOGRAPHY

- Titova V.I. Agrochemistry - 2021. N. Novgorod, 2021. 208 p. ISBN 978-5-6046715-1-1
A. V. Ivoilov 94
-
-

ДИНАМИКА АГРОХИМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПОЧВЫ В МНОГОЛЕТНЕМ ПОЛЕВОМ ОПЫТЕ ПРИ ВНЕСЕНИИ ОСАДКОВ СТОЧНЫХ ВОД И ИЗВЕСТИ

© 2022 г. А. С. Фрид^{1,*}, В. А. Касатиков², Т. И. Борисочкина³,
К. А. Колчанова³, Н. С. Никитина³

¹Всероссийский научно-исследовательский институт фитопатологии
143050 р.п. Большие Вяземы, Московская обл., ул. Институт, влад. 5, Россия

²Всероссийский научно-исследовательский институт органических удобрений – филиал Верхневолжского ФАНЦ
601390 Владимирская обл., Судогодский р-н, д. Вяткино, ул. Прянишникова, 2, Россия

³ФИЦ “Почвенный институт им. В.В. Докучаева”
119017 Москва, Пыжевский пер., 7, стр. 2, Россия

*E-mail: asfrid@mail.ru

Поступила в редакцию 03.04.2022 г.

После доработки 08.05.2022 г.

Принята к публикации 10.06.2022 г.

Проанализировали многолетнюю динамику агрохимических показателей почвы в микрополевым опыте (деланки 3 м²), заложенном в 1984 г. на дерново-подзолистой глееватой супесчаной почве на моренном суглинке (Владимирская обл.). Вносили различные большие дозы осадков городских сточных вод (ОСВ) и извести (доломитовую муку) в качестве мелиорантов.

Устойчивость по годам влияния этих факторов опыта отмечена для подвижных фосфора и калия, органического углерода, но не для показателей обменного комплекса почвы. Сравнение многолетних временных динамик различных вариантов опыта с контролем при различных сочетаниях доз мелиорантов показало, что для рН_{KCl} и гидролитической кислотности (H_r) средние различия увеличивались с ростом доз извести, для содержания подвижного P₂O₅, C_{орг} и суммы обменных катионов – с ростом доз ОСВ, для показателей ЕКО и содержания обменного K₂O статистически значимых средних различий было мало. При сравнении вариантов между собой (без контроля) оказалось, что для обменных катионов и ЕКО достоверных различий временных динамик были единицы, для показателей H_r и обменного K₂O – несколько больше, для содержания подвижного P₂O₅, C_{орг} и показателя рН_{KCl} – много. Внесенные с большими дозами ОСВ фосфор и калий в значительной степени оставались в почве в трудноизвлекаемых формах. Почти 40-летнее внесение в больших дозах ОСВ и извести в пахотный слой данной почвы практически не привело к окультуриванию подпахотного слоя.

Ключевые слова: многолетний полевой опыт, внесение осадков городских сточных вод и извести, многолетняя динамика агрохимических показателей почвы, устойчивость действия факторов опыта, сравнение временных динамик почвенных показателей и доз внесения мелиорантов, дерново-подзолистая супесчаная почва, Владимирская обл.

DOI: 10.31857/S0002188122090058

ВВЕДЕНИЕ

Многолетние полевые опыты – довольно распространенный метод исследования в почвоведении и агрохимии. Однако многолетнюю специфику таких опытов анализируют очень редко. Одна из причин этого – отсутствие общепринятой методики анализа подобных данных. В работе [1] представлен возможный вариант такой методики.

Цель работы – анализ многолетней динамики агрохимических показателей почвы в одном из длительных опытов.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Микроделяночный полевой опыт заложен в 1984 г. на дерново-подзолистой глееватой супесчаной почве на моренном суглинке на территории ВНИИОУ (Судогодский р-н Владимирской обл.) [2]. Варианты опыта содержали контроль и сочетания различных доз осадков городских сточных вод (ОСВ) и извести (доломитовой муки) в качестве мелиорантов (табл. 1). Не считая контроля, в остальных вариантах дозы ОСВ имели 4 уровня (градации), дозы извести – 3. Число ор-

Таблица 1. Схема многолетнего опыта

Вариант, №	Разовые дозы внесения, т/га		Суммарно внесено за 1984–2015 гг., т/га	
	ОСВ	известь	P ₂ O ₅	K ₂ O
1 (контроль)	0	0	0	0
2	15	3	2.1	0.41
3	30	3	4.2	0.82
4	60	3	8.4	1.6
5	120	3	16.9	3.3
6	15	6	2.1	0.41
7	30	6	4.2	0.82
8	60	6	8.4	1.6
9	120	6	16.9	3.3
10	15	9	2.1	0.41
11	30	9	4.2	0.82
12	60	9	8.4	1.6
13	120	9	16.9	3.3

Примечание. Дозы ОСВ указаны при 50%-ной влажности. Внесение P₂O₅ и K₂O – это внесение валового вещества.

Таблица 2. Агрохимические показатели по разрезам полевого опыта на 1-м повторении (2015 г., медианы измерений)

Место разреза	Горизонт почвы	pH _{H₂O} /pH _{KCl}	H _Г	Ca _{обм}	Mg _{обм}	ЕКО	P ₂ O ₅ подвиж., Кирсанов/Олсен	K ₂ O обменный по Масловой	C _{орг} , сухое сжигание/по Тюрину	N _{вал} , сухое сжигание
Пашня рядом с опытом	Апах (0–20)	7.51/6.44	0.54	17.3	10	27.84	13.8/3.9	7.5	0.75/–	0.10
	А2подпах	7.24/5.64	1.1	5.35	3.3	9.75	0.17/–	6.4	0/–	0.04
	Вg	4.88/3.29	12.5	7.7	3.2	23.4	1.1/–	12.2	0/–	0.03
Вариант 1 (контроль)	Апах (0–20)	7.02/6.01	1.0	6.5	2.1	9.6	28/3.1	3.35	0.89/0.81	0.10
	А2 (25–35)	5.91/4.32	2.1	2.7	2.0	6.8	0.3/–	3.6	0/–	0.03
	В1g (45–50)	4.83/3.36	15	7.3	3.5	25.8	1.6/–	12	0.032/–	0.04
	В1g (55–60)	5.15/3.57	9.2	5.5	3.7	18.4	0/–	9.9	0/–	0.04
	В2g (70–77)	4.67/3.26	12	6.8	2.6	21.4	1.1/–	10.5	0/–	0.04
Вариант 8 (ОСВ 660 т/га, известь 6 т/га)	Апах (0–20)	7.27/6.33	1.0	12	4.1	17.1	136/7.0	3.3	1.59/1.34	0.17
	А2 (32–37)	5.73/4.28	2.8	2.0	0.75	5.55	2.1/–	2.4	0.16/–	0.05
	В1g (50–55)	4.83/3.54	10.6	3.65	1.7	15.95	0.7/–	7.3	0/–	0.04
	В2g (70–75)	4.57/3.31	13	5.0	1.9	19.9	1.1/–	9.7	0/–	0.04
Вариант 9 (ОСВ 1320 т/га, известь 6 т/га)	Апах (0–20)	7.08/6.29	1.1	19	5.1	25.2	234/8.8	3.7	2.35/1.99	0.24
	А2 (30–40)	7.05/5.76	1.0	5.0	0.9	6.9	2.0/–	2.0	0.14/–	0.05
	В1g (52–60)	4.79/3.55	7.3	3.8	1.1	12.2	0.6/–	6.2	0/–	0.03
	В2g (70–75)	4.48/3.28	13.5	7.1	2.6	23.2	0.8/–	12	0/–	0.04

Примечания. 1. Дозы ОСВ даны как суммарное внесение к данному году, дозы извести – как одноразовая доза внесения. 2. Для почвенных горизонтов указаны глубины взятия образцов, см. 3. ЕКО = H_Г + Ca_{обм} + Mg_{обм}. 4. Прочерк – отсутствие данных. 5. Плотность почвы в Апах: контроль – 1.14, вариант 8 – 1.12, вариант 9 – 1.09. То же в табл. 3–9. Единицы измерения и дозы мелиорантов те же в табл. 3.

Таблица 3. Агрохимические показатели пахотного слоя (0–20 см) (2017 г.)

Вариант	Внесено <i>ОСВ</i>	Разовая доза известки	Полевое повто- рение	pH_{H_2O}	pH_{KCl}	$Ca_{обм}$	$Mg_{обм}$	$(Ca + Mg)_{обм}$	P_2O_5		$K_2O_{обм}$	С (сухое сжига- ние)	$N_{общ}$				
	т/га								мг-экв/100 г					Кирса- нов	Олсен	%	
									мг/100 г								
2	180	3	1	7.36	6.53	4.4	2.9	7.3	—	8.6	3.6	1.18	0.15				
3	360	3	1	7.37	6.52	3.7	4.2	7.9	58.4	10	3.4	1.21	0.15				
4	720	3	1	7.34	6.58	11.9	5.5	17.4	118	12	3.1	1.67	0.19				
5	1440	3	1	7.12	6.55	13.7	5	18.7	190	15	3.1	1.88	0.21				
6	180	6	1	7.48	6.65	2.3	3.1	5.4	65	9.9	2.9	1.17	0.14				
7	360	6	1	7.42	6.59	11.4	6.9	18.3	64.5	11	2.9	1.46	0.13				
10	180	9	1	7.42	6.65	16.9	3.5	20.4	108	12	2.0	1.83	0.19				
11	360	9	1	7.34	6.69	9.9	2.2	12.1	105	13	2.6	1.40	0.16				
12	720	9	1	7.43	6.64	9.7	3.9	13.6	137	12	2.7	2.02	0.19				
13	1440	9	1	7.26	6.59	22.4	3.5	25.9	219	6.5	3.6	1.69	0.26				
1	0	0	2	7.48	6.43	5.8	3	8.8	29.1	6.5	3.4	0.83	0.11				
8	720	6	2	7.32	6.53	17.3	2.7	20	146	15	7.5	1.99	0.20				
9	1440	6	2	7.17	6.54	21.2	3.4	24.6	170	13.5	2.8	2.06	0.22				
1	0	0	3	7.16	6.29	6.6	2.5	9.1	50.5	6.4	3.8	1.45	0.18				
2	180	3	3	7.24	6.46	1.2	1.9	3.1	117	9.8	3.7	1.63	0.19				
3	360	3	3	7.26	6.43	10.4	4.5	14.9	93.7	10.5	3.5	1.52	0.19				
4	720	3	3	7.22	6.4	10.8	4.2	15	107	9.4	3.5	1.77	0.20				
5	1440	3	3	7.02	6.38	11.7	3.9	15.6	185	10.5	4.3	2.10	0.22				
6	180	6	3	7.33	6.54	5.1	5.2	10.3	68.2	10	4	1.18	0.15				
7	360	6	3	7.31	6.53	12.9	6.8	19.7	117	10.5	3.8	1.56	0.18				
8	720	6	3	7.34	6.49	13.4	5.7	19.1	129	12.5	3.3	1.77	0.19				
9	1440	6	3	6.87	6.35	6.4	4.6	11	228	12	4.2	1.94	0.22				
10	180	9	3	7.38	6.56	8.9	5.6	14.5	56.7	8.4	6.2	1.34	0.16				
11	360	9	3	7.40	6.57	12	7.0	19	71.6	10.5	4	1.40	0.17				
12	720	9	3	7.31	6.51	13.9	3.4	17.3	123	9.9	3.4	1.77	0.20				
13	1440	9	3	7.23	6.53	10.8	2.1	12.9	174	10	3.7	1.83	0.2				

ганизованных полевых повторений – 6, площадь делянки – 3 м² (2 × 1.5 м). Расположение вариантов внутри повторений – рандомизированное.

ОСВ вносили осенью в пахотный слой в 1984–1995, 2000, 2006, 2010 и 2015 гг., доломитовую муку – в 1984, 1990, 1995, 2006, 2011 и 2015 гг. Дозы известки соответствовали ≈2, 4 и 6 величинам гидролитической кислотности (H_T).

Имеется опубликованная информация об агрохимических свойствах почвы перед закладкой опыта и в 2003, 2014–2019 гг. (средние для вариантов) [3–9]. Дополнительно к этому в 2015 и 2017 гг. были проведены обследования опыта сотрудниками Почвенного института им. В.В. Докучаева (табл. 2, 3). Результаты последних в некоторых случаях для дальнейшего математического анали-

за были усреднены с ранее опубликованными. Повторим, что математический анализ опыта в настоящей работе проводили только для средних в вариантах.

Так как число изученных сроков опыта равно 8, то согласно методике [1], при анализе этих данных решали только 2 основные задачи: 1 – устойчивость по годам эффектов от доз факторов опыта на агрохимические показатели почвы, 2 – сходство и различие многолетних динамик этих же показателей между вариантами.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Прежде чем переходить к основным задачам, кратко обсудим данные табл. 2, 3. В первую оче-

Таблица 4. Результаты ДА агрохимических показателей почвы

Год	Доля влияния фактора/уровень значимости			
	ОСВ	известь	ОСВ	известь
	рН _{КСІ}		H _Г	
2003	0.097/–	0.61/0.05	0.80/0.01	0.13/0.05
2014	0.27/–	0.37/–	0.43/–	0.27/–
2015	0.37/0.001	0.61/0.0005	0.04/–	0.93/0.0005
2016	0.07/0.10	0.90/0.0005	0.13/0.10	0.81/0.0005
2017	0.65/0.001	0.31/0.0025	0.20/0.0005	0.79/0.0005
2017*	0.25/0.10	0.63/0.005	–/–	–/–
	Ca + Mg		ЕКО	
2003	0.96/0.01	0.006/–	0.95/0.01	0.012/–
2014	0.22/–	0.35/–	0.28/–	0.30/–
2015	0.52/0.01	0.38/0.01	0.58/0.025	0.28/0.05
2016	0.40/0.05	0.45/0.025	0.45/0.01	0.39/0.025
2017	0.35/0.01	0.59/0.0025	0.38/0.025	0.52/0.005
2017*	0.35/–	0.33/–	–/–	–/–
	P ₂ O ₅		K ₂ O	
2003	0.94/0.01	0.009/–	0.78/0.025	0.005/–
2014	0.98/0.0005	0.004/–	0.61/0.025	0.22/0.10
2015	0.97/0.0005	0.012/–	0.90/0.0005	0.089/0.0025
2016	0.96/0.0005	0.0065/–	0.82/0.0025	0.09/–
2017	0.96/0.0005	0.033/0.01	0.96/0.0005	0.014/–
2017*	0.92/0.001	0.0004/–	0.13/–	0.076/–
	C _{орг}		N _{вал}	
2014	0.96/0.025	0.01/–	0.84/0.05	0.068/–
2015	0.99/0.0005	0.0076/0.025	–/–	–/–
2016	0.99/0.0005	0.0034/–	–/–	–/–
2017	0.99/0.0005	0.0039/–	–/–	–/–
2017*	0.81/0.025	0.0044/–	0.91/0.0005	0.042/–

Примечания. 1. H_Г – гидролитическая кислотность, Ca + Mg – соответствующие обменные катионы, ЕКО – емкость катионного обмена (ЕКО = H_Г + Ca + Mg), P₂O₅ – подвижный фосфор по Кирсанову, K₂O – подвижный калий. 2. 2017* – использованы средние варианты только из табл. 3. 3. Один прочерк означает незначимость, двойной прочерк – отсутствие данных.

редь отметили (табл. 2) резкое ухудшение всех показателей плодородия уже в подпахотном слое почвы (кроме содержания обменного калия), несмотря на почти 40-летнее внесение ОСВ и извести в пахотный слой. Даже в варианте 9 сильнейшее окультуривающее воздействие мелиорантов почти не проникло в подпахотный слой. Мелиоративные дозы фосфора, кальция, магния, органического вещества не прошли вниз, несмотря на супесчаный гранулометрический состав. А если прошли, то куда делись? Этот вопрос требует специального изучения. Ясно только, что в данных условиях без глубокого механического перемешивания окультуривание почвы в смысле расши-

рения плодородного слоя не происходило. Что касается только пахотного слоя (табл. 3), то тут различия между вариантами были более закономерными.

Устойчивость по годам эффектов доз факторов. Для каждого оцененного года определяли зависимости агрохимических показателей почвы от факторов дисперсионным (ДА) и регрессионным (РА) анализами. При этом не участвовал вариант контроля, чтобы не нарушать схему опыта – полного факторного эксперимента (4 × 3).

Результаты ДА по годам представлены в табл. 4. Величина рН_{КСІ} большей частью значимо зависе-

Таблица 5. Результаты РА агрохимических показателей почвы

Год	Уравнение регрессии
2003	$pH_{KCl} = 6.28 + 0.042I_{ЗВ}, R^2 = 0.60$
2014	$pH_{KCl} = 6.63 + 0.38 \times 10^{-4}OCB - 0.06I_{ЗВ} + 0.46 \times 10^{-2}I_{ЗВ}^2, R^2 = 0.57$
2015	$pH_{KCl} = 6.39 + 0.33 \times 10^{-3}OCB - 0.16 \times 10^{-6}OCB^2 + 0.026I_{ЗВ}, R^2 = 0.93$
2016	$pH_{KCl} = 6.53 + 0.1 \times 10^{-3}OCB - 0.75 \times 10^{-7}OCB^2 + 0.056I_{ЗВ} - 0.26 \times 10^{-2}I_{ЗВ}^2, R^2 = 0.96$
2017	$pH_{KCl} = 6.39 + 0.2 \times 10^{-3}OCB - 0.7 \times 10^{-7}OCB^2 + 0.95 \times 10^{-3}I_{ЗВ}^2, R^2 = 0.95$
2017*	$pH_{KCl} = 6.51 - 0.59 \times 10^{-4}OCB + 0.15 \times 10^{-2}I_{ЗВ}^2, R^2 = 0.87$
2003	$H_r = 0.57 + 0.38 \times 10^{-3}OCB + 0.08I_{ЗВ} - 0.85 \times 10^{-2}I_{ЗВ}^2, R^2 = 0.92$
2014	$H_r = 0.66 + 0.26 \times 10^{-3}OCB - 0.12 \times 10^{-6}OCB^2 - 0.078I_{ЗВ} + 0.6 \times 10^{-2}I_{ЗВ}^2, R^2 = 0.67$
2015	$H_r = 0.99 - 0.16 \times 10^{-3}OCB + 0.94 \times 10^{-7}OCB^2 + 0.027I_{ЗВ} - 0.44 \times 10^{-2}I_{ЗВ}^2, R^2 = 0.97$
2016	$H_r = 0.55 - 0.47 \times 10^{-4}OCB + 0.18 \times 10^{-7}OCB^2 - 0.025I_{ЗВ} + 0.14 \times 10^{-2}I_{ЗВ}^2, R^2 = 0.94$
2017	$H_r = 0.79 - 0.15 \times 10^{-3}OCB + 0.53 \times 10^{-7}OCB^2 - 0.2 \times 10^{-2}I_{ЗВ}^2, R^2 = 0.98$
2003	$S = 6.78 + 0.27 \times 10^{-2}OCB - 0.035I_{ЗВ}, R^2 = 0.96$
2014	$S = 7.65 + 0.62 \times 10^{-3}OCB + 0.81I_{ЗВ} - 0.059I_{ЗВ}^2, R^2 = 0.56$
2015	$S = 7.36 + 0.44 \times 10^{-3}OCB + 0.29I_{ЗВ} - 0.019I_{ЗВ}^2, R^2 = 0.90$
2016	$S = 7.68 + 0.64 \times 10^{-3}OCB - 0.26 \times 10^{-6}OCB^2 + 0.047I_{ЗВ}, R^2 = 0.83$
2017	$S = 7.34 + 0.74 \times 10^{-3}OCB - 0.22 \times 10^{-6}OCB^2 + 0.095I_{ЗВ}, R^2 = 0.93$
2017*	$S = -3.59 + 0.015OCB - 0.66 \times 10^{-5}OCB^2 + 4.39I_{ЗВ} - 0.3I_{ЗВ}^2, R^2 = 0.66$
2003	$EKO = 7.47 + 0.31 \times 10^{-2}OCB - 0.46 \times 10^{-2}I_{ЗВ}^2, R^2 = 0.96$
2014	$EKO = 8.35 + 0.69 \times 10^{-3}OCB + 0.73I_{ЗВ} - 0.053I_{ЗВ}^2, R^2 = 0.58$
2015	$EKO = 8.32 + 0.43 \times 10^{-3}OCB + 0.32I_{ЗВ} - 0.024I_{ЗВ}^2, R^2 = 0.85$
2016	$EKO = 8.19 + 0.59 \times 10^{-3}OCB - 0.24 \times 10^{-6}OCB^2 + 0.038I_{ЗВ}, R^2 = 0.82$
2017	$EKO = 8.19 + 0.59 \times 10^{-3}OCB - 0.17 \times 10^{-6}OCB^2 + 0.071I_{ЗВ}, R^2 = 0.90$
2003	$P_2O_5 = 10.3 + 0.25OCB - 0.96 \times 10^{-4}OCB^2, R^2 = 0.92$
2014	$P_2O_5 = 61.1 + 0.1OCB - 0.13 \times 10^{-4}OCB^2, R^2 = 0.98$
2015	$P_2O_5 = 57.0 + 0.09OCB - 0.29 \times 10^{-4}OCB^2 + 0.077I_{ЗВ}^2, R^2 = 0.98$
2016	$P_2O_5 = 51.3 + 0.16OCB - 0.31 \times 10^{-4}OCB^2, R^2 = 0.96$
2017	$P_2O_5 = 59.5 + 0.053OCB + 0.28 \times 10^{-4}OCB^2 + 0.3I_{ЗВ}^2, R^2 = 0.99$
2017*	$P_2O_5 = 63.3 + 0.09OCB, R^2 = 0.90$
2003	$K_2O = 3.96 + 0.11 \times 10^{-5}OCB^2, R^2 = 0.77$
2014	$K_2O = 4.90 - 0.95 \times 10^{-3}OCB + 0.12 \times 10^{-5}OCB^2 + 0.79 \times 10^{-2}I_{ЗВ}^2, R^2 = 0.81$
2015	$K_2O = 3.16 + 0.21 \times 10^{-2}OCB - 0.65 \times 10^{-6}OCB^2 + 0.15I_{ЗВ} - 0.69 \times 10^{-2}I_{ЗВ}^2, R^2 = 0.98$
2016	$K_2O = 2.52 + 0.2 \times 10^{-2}OCB - 0.74 \times 10^{-6}OCB^2 + 0.28I_{ЗВ} - 0.025I_{ЗВ}^2, R^2 = 0.90$
2017	$K_2O = 3.24 + 0.59 \times 10^{-3}OCB - 0.11 \times 10^{-6}OCB^2 - 0.74 \times 10^{-3}I_{ЗВ}^2, R^2 = 0.97$
2017*	Нет зависимости
2014	$C_{орг} = 0.98 + 0.49 \times 10^{-3}OCB, R^2 = 0.95$
2015	$C_{орг} = 0.92 + 0.84 \times 10^{-3}OCB - 0.22 \times 10^{-6}OCB^2 - 0.048I_{ЗВ} + 0.43 \times 10^{-2}I_{ЗВ}^2, R^2 = 0.995$
2016	$C_{орг} = 0.85 + 0.54 \times 10^{-3}OCB + 0.63 \times 10^{-2}I_{ЗВ}, R^2 = 0.991$
2017	$C_{орг} = 0.80 + 0.7 \times 10^{-3}OCB - 0.15 \times 10^{-6}OCB^2 + 0.56 \times 10^{-2}I_{ЗВ}, R^2 = 0.99$
2017*	$C_{орг} = 1.12 + 0.13 \times 10^{-2}OCB - 0.51 \times 10^{-6}OCB^2, R^2 = 0.76$
2014	$N_{вал} = 0.096 + 0.43 \times 10^{-4}OCB + 0.2 \times 10^{-3}I_{ЗВ}^2, R^2 = 0.92$
2017*	$N_{вал} = 0.184 + 0.49 \times 10^{-4}OCB - 0.014I_{ЗВ} + 0.12 \times 10^{-2}I_{ЗВ}^2, R^2 = 0.91$

Примечания. 1. Размерность H_r , S и EKO – мг-экв/100 г, P_2O_5 и K_2O – мг/100 г, $C_{орг}$ и $N_{вал}$ – %. 2. S = Ca + Mg, OCB – суммарная доза, внесенная к данному году (т/га), $I_{ЗВ}$ – разовая доза доломита при конкретном внесении (т/га).

ла от обоих факторов, причем большее влияние оказало внесение извести. Определенной связи со сроками внесения в этом случае не установлено. Для показателя гидролитической кислотности установлена несколько другая закономерность: видна тенденция к уменьшению со временем влияния доз *ОСВ* и к увеличению влияния доз извести. Аналогичные тенденции во времени показаны для обменных катионов и ЕКО, что свидетельствовало о некоем едином процессе преобразования обменного комплекса почвы, пополняемого из *ОСВ* и доломита.

Для содержания подвижного фосфора во все годы отмечено подавляющее влияние доз *ОСВ* и практически отсутствие влияния доз извести. Для содержания подвижного калия выявлена подобная закономерность, хотя в среднем влияние доз *ОСВ* было меньшим. Для содержания $C_{орг}$ и валового азота результаты были подобны тем, что получены для содержания подвижного фосфора.

Если рассматривать вышеописанное с точки зрения устойчивости влияния факторов опыта, то она отмечена для содержания подвижных фосфора и калия, $C_{орг}$, а для показателей обменного комплекса устойчивости влияние не было обнаружено.

Рассмотрим результаты РА. В РА везде использовали квадратичную модель для обоих факторов, наименее значимые члены модели отбрасывали, достигая варианта модели с наименьшей ошибкой. Эти варианты представлены в табл. 5, они отражают основные закономерности и в целом подтверждали результаты ДА.

На величину pH_{KCl} в большинстве лет влияли оба фактора, причем эффект доз *ОСВ* в 2015–2017 гг. был нелинейным (проходил через максимум). В 2015 г. максимум эффекта соответствовал суммарной дозе 1000, в 2016 – 670, в 2017 – 1430 т/га. В целом можно считать влияние *ОСВ* на pH_{KCl} устойчивым. Эффект от доз извести тоже был устойчивым (повышение показателя pH_{KCl}), за исключением 2014 г., когда зависимость проходила через минимум при дозе 6.5 т извести/га.

Возрастание доз *ОСВ* в первые 2 представленных срока увеличивало величину H_r , в последующем (после переходного 2015 г.) – уменьшало. Влияние доз извести на показатель H_r проходило то через максимум, то через минимум. Таким образом, не было устойчивого характера влияния факторов во времени.

Влияние доз *ОСВ* на сумму обменных оснований можно считать устойчивым во времени в первом приближении (возрастание S), т.к. рассчитанные по уравнениям максимумы были близки к

верхним границам реальных доз. Влияние доз извести тоже можно считать устойчиво положительным по тем же причинам, кроме 2003 г.

Величина ЕКО возрастала во все годы опыта с ростом доз *ОСВ*, т.е. воздействие было устойчивым. С ростом доз извести отмечена другая закономерность: в 2003 г. – снижение ЕКО, в 2014–2015 гг. – возрастание ЕКО до дозы извести 6.7–6.9 т/га и снижение при больших дозах, в 2016–2017 гг. – возрастание ЕКО во всем диапазоне доз извести. Таким образом, воздействие доз извести на данном отрезке времени было неустойчивым. В этом случае можно говорить о постепенном переходе от снижающего влияния извести к возрастающему, при этом учитывая, что 2016 и 2017 гг. – это первые годы после очередного внесения извести. Можно также отметить, что и ДА и РА указывали на изменчивость величины ЕКО в условиях данного опыта: изменчивость как внутри отдельных лет, так и между годами.

На содержание подвижного фосфора во все исследованные годы влияние доз *ОСВ* было положительным, но большей частью нелинейным с замедлением роста (кроме 2017 г.). Такая закономерность создавала впечатление, что при больших дозах *ОСВ* часть внесенного фосфора оставалась недоступной методу Кирсанова. Влияние доз извести тоже было положительным, но проявлялось только 2 года (2015 и 2017). Таким образом, влияние факторов опыта на содержание подвижного фосфора было в первом приближении устойчивым.

На содержание подвижного калия влияние доз *ОСВ* было положительным и нелинейным, несколько выпадал 2014 г., когда зависимость проходила через минимум при суммарной дозе 400 т *ОСВ*/га. Влияние доз извести в этом случае было неоднозначным: в 2003 г. его не фиксировали, в 2014–2015 гг. оно было положительным, в 2016 г. проходило через максимум при разовой дозе 5.6 т/га, а в 2017 г. было отрицательным. Таким образом, влияние доз *ОСВ* в этом случае можно считать более или менее устойчивым, а влияние доз извести неустойчивым (имелась временная динамика влияния).

На содержание органического углерода увеличение доз *ОСВ* влияло ожидаемо положительно (и нелинейно) все годы, т.е. устойчиво. Влияние доз извести менялось со временем (было неустойчивым): в 2014 г. оно не проявилось, в 2015 г. проходило через минимум при разовой дозе 5.6 т/га, в дальнейшем было положительным.

Влияние факторов на содержание валового азота почвы описывают данные только за 2 года,

Таблица 6. Сходство пар вариантов опыта и значимость различий их временных динамик для содержания Ca + Mg

		Варианты												
		1(К)	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Варианты	1(К)	X	54	39	24	15	33	23	14	9	20	20	20	14
	2		X	<u>71</u>	39	23	<u>73</u>	33	20	12	32	34	34	22
	3	-0.59*		X	69	35	<u>87</u>	62	29	15	56	57	61	36
	4				X	63	57	<u>79</u>	39	20	65	69	<u>90</u>	66
	5	-1.9		-1.3	-0.61*	X	33	43	38	25	41	46	62	<u>81</u>
	6	-0.48*	-0.53*				X	49	28	16	51	56	57	33
	7							X	44	18	<u>80</u>	<u>75</u>	<u>79</u>	56
	8	-2.9*		-2.2*				-1.2*	X	44	55	54	46	51
	9	-2.9	-3.2*	-2.3*			-3.2*			X	21	23	22	27
	10										X	<u>95</u>	<u>74</u>	56
	11	-1.6*										X	<u>83</u>	62
	12	-1.6*		-0.89*									X	<u>74</u>
	13	-2.2*		-1.6*	-0.8*				-0.67					X

*Отмечены слабозначимые средние разности (уровень значимости 0.10). То же в табл. 7, 8.

Таблица 7. Сходство пар вариантов опыта и значимость различий их временных динамик содержания подвижного P₂O₅

		Варианты												
		1(К)	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Варианты	1(К)	X	57	48	22	11	59	41	19	9	48	40	20	10
	2	-35	X	<u>92</u>	43	19	<u>90</u>	<u>85</u>	39	15	<u>91</u>	<u>83</u>	41	18
	3	-51		X	51	21	<u>86</u>	<u>94</u>	45	16	<u>91</u>	<u>88</u>	48	20
	4	-74	-42	-36	X	46	46	63	<u>86</u>	30	55	67	<u>89</u>	41
	5	-140	-91	-88	-43	X	18	25	53	67	22	26	55	<u>96</u>
	6	-30			+44	+87	X	<u>82</u>	38	14	<u>94</u>	<u>84</u>	39	17
	7	-60	-16	-8.7*	+27*	+79	-17*	X	56	19	<u>92</u>	<u>97</u>	59	24
	8	-82	-50	-44		+35	-52	-35	X	39	47	58	<u>95</u>	49
	9	-150	-100	-95	-56		-100	-87	-48	X	16	19	38	69
	10	-41			+36	+85	-8.6		+43	+97	X	<u>95</u>	48	20
	11	-47	-15*		+27	+70	-17		+35	+83	-8.8*	X	59	24
	12	-81	-49	-43		+36	-51	-34		+49	-43	-34	X	52
	13	-130	-94	-85	-46		-90	-78	-38		-88	-72	-39	X

поэтому об устойчивости говорить затруднительно. Влияние доз ОСВ было положительным и линейным, а влияние доз извести — нелинейным, при этом положительным в 2014 г. и проходящим через минимум при дозе 5.8 т/га в 2017* г.

Сходство и различие вариантов в зависимости от многолетних временных динамик агрохимиче-

ских показателей почвы. Общее представление о временных динамиках агрохимических показателей почвы дает рис. 1. На нем показаны в условном временном масштабе многолетние изменения для контрольного варианта и вариантов с наименьшими и наибольшими дозами мелиорантов (для уменьшения перегруженности рисунка).

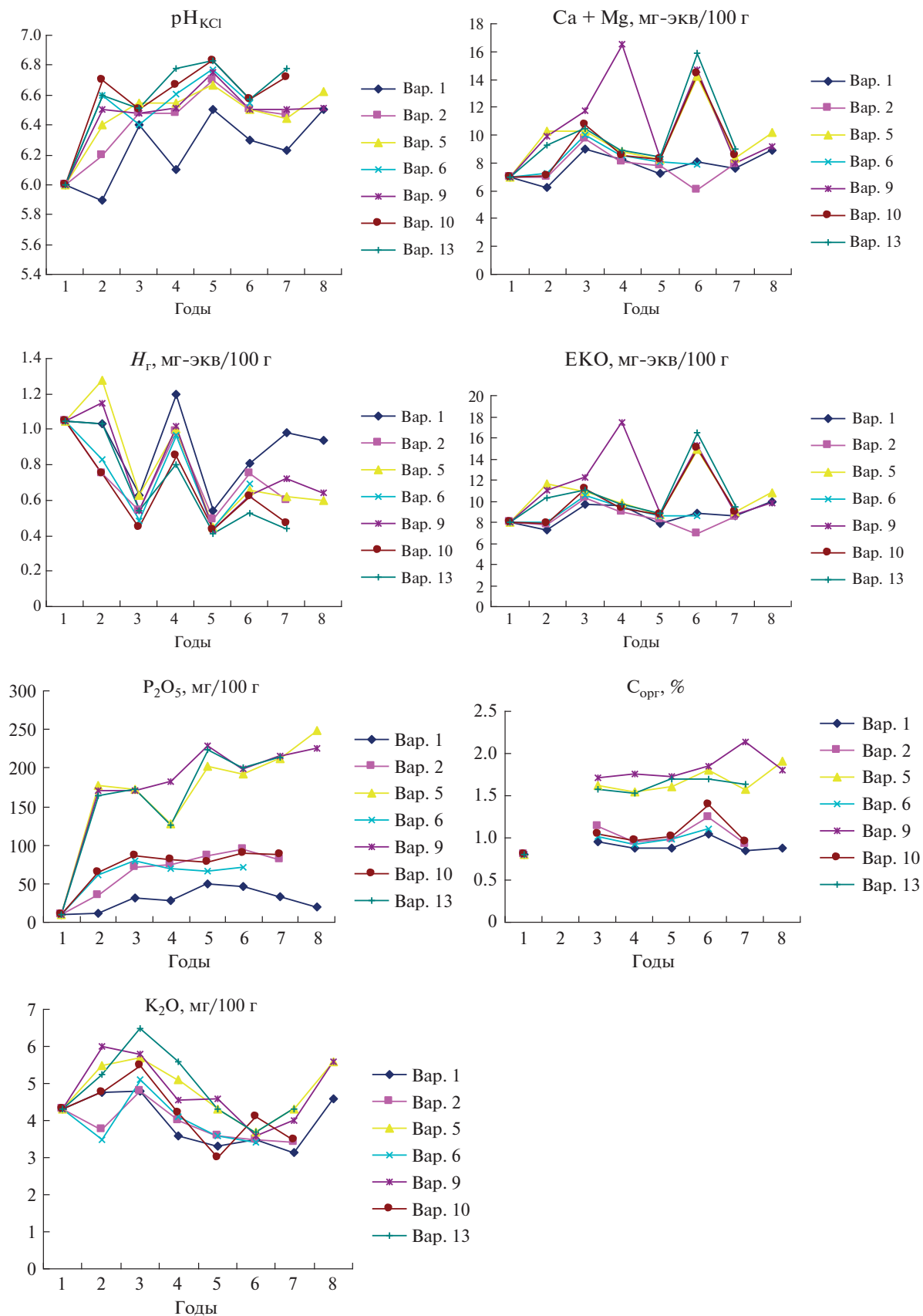


Рис. 1. Многолетняя динамика агрохимических показателей почвы. По оси абсцисс – годы: 1 – перед закладкой опыта, 2 – 2003, 3 – 2014, 4 – 2015, 5 – 2016, 6 – 2017, 7 – 2018, 8 – 2019 г.

Таблица 8. Зависимость значимой средней разницы многолетних динамик (между контролем и другими вариантами) агрохимических показателей почвы от градаций факторов опыта

pH _{KCl}					
Градации ОСВ					
		1	2	3	4
Градации извести	1	-0.20	-0.24	-0.27	-0.23
	2	-0.29*	-0.29	-0.27	-0.23
	3	-0.37	-0.36	-0.34	-0.38
H _T					
Градации ОСВ					
		1	2	3	4
Градации извести	1	+0.15	+0.17	+0.09	
	2	+0.13	+0.19	+0.11	+0.13
	3	+0.23	+0.20	+0.16*	+0.21
Ca + Mg					
Градации ОСВ					
		1	2	3	4
Градации извести	1		-0.59*		-1.9
	2	-0.48*		-2.9*	-2.9
	3		-1.6*	-1.6*	-2.2*
ЕКО					
Градации ОСВ					
		1	2	3	4
Градации извести	1				-1.8*
	2			-2.8*	-2.7
	3				-2.0*
P ₂ O ₅					
Градации ОСВ					
		1	2	3	4
Градации извести	1	-35	-51	-74	-140
	2	-30	-60	-82	-150
	3	-41	-47	-81	-130
K ₂ O					
Градации ОСВ					
		1	2	3	4
Градации извести	1				-0.81
	2				-0.81
	3				-0.94
C _{орг}					
Градации ОСВ					
		1	2	3	4
Градации извести	1	-0.11	-0.19	-0.34	-0.65
	2	-0.06	-0.20	-0.34	-0.78
	3	-0.13	-0.18	-0.36	-0.59

Для показателя pH_{KCl} временные ряды близки между собой, но контрольный вариант заметно отличается меньшими показателями, причем для него видны сильные изменения от года к году и общая тенденция к росту. Для гидролитической кислотности отмечена похожая закономерность с сильными изменениями, но контрольный вариант заметно не отличался от других. Для суммы обменных оснований и ЕКО временные ряды для вариантов в основном были довольно близки друг к другу с уходом вверх при самых высоких дозах ОСВ. Для содержания P₂O₅ ряды закономерно повышались с ростом доз ОСВ. При малых и средних дозах ОСВ была видна стабилизация уровня содержания P₂O₅ со временем, а при больших дозах продолжается его рост. Для содержания K₂O такой четкой закономерности не обнаружено, изменения в вариантах более или менее были синхронными. Для содержания C_{орг} закономерность была похожа на временной ряд содержания подвижного фосфора.

Парные сходства временных динамик вариантов (по шкале от 0 до 100%) рассчитывали, как указано в работе [1], по всей совокупности вариантов. В качестве примера эти сходства показаны в табл. 6 и 7 для обменных оснований и подвижного фосфора – верхние треугольники таблиц. Уровни сходства 70% и выше отмечены подчеркиванием.

Парные различия временных динамик вариантов оценивали по *t*-критерию для сопряженных выборок. В табл. 6 и 7 (нижние треугольники) показаны только значимые по *t*-критерию средние разности, причем слабые значимые (уровень значимости 0.10) отмечены звездочкой.

По смыслу ясно, что, если временные динамики вариантов имеют низкий уровень сходства, то они должны иметь значимые различия по *t*-критерию, и наоборот. Однако из-за различия алгоритмов этих подходов данная закономерность выполняется не строго. Поэтому считали более вероятным результат, когда оба подхода не противоречили друг другу.

Прежде всего, рассмотрим сравнение всех вариантов с контрольным. Для всех агрохимических показателей, кроме 2-х случаев для C_{орг}, соответствующие уровни сходства были невелики. Тем не менее, значимые различия почти для всех вариантов с контролем отмечены только для pH_{KCl}, H_T, содержания P₂O₅ и C_{орг}, для обменных катионов, ЕКО и K₂O этого не установлено.

Из этих расчетов видно, что, например, для Ca + Mg различающимися можно признать вре-

Таблица 9. Сопоставление многолетних динамик суммарного внесения P_2O_5 и K_2O с осадками сточных вод и содержания подвижных форм в почве, мг/100 г

Вариант, №	Год					
	2003	2014	2015	2016	2017	2018
Фосфор						
2						
Почва	34.2	72	75	86	94	81.6
Внесено валового	78	86	86	93	93	93
Внесено подвижного	16.5	18	18	20	20	20
5						
Почва	177	172	127	202	193	212
Внесено валового	640	710	710	770	770	770
Внесено подвижного	140	150	150	160	160	160
Калий						
2						
Почва	3.75	4.8	4.0	3.6	3.5	3.4
Внесено валового	15	17	17	18	18	18
Внесено подвижного	1.0	1.1	1.1	1.25	1.25	1.25
5						
Почва	5.5	5.7	5.1	4.3	3.7	4.3
Внесено валового	130	140	140	150	150	150
Внесено подвижного	8.6	9.5	9.5	10	10	10

менные динамики следующих вариантов (табл. 6): 1 (контроль) и 5 (градация доз ОСВ = 4, градация доз извести = 1), 1(К) и 9(4, 2), 3(2, 1) и 5(4, 1), 7(2, 2) и 13(4, 3). Видно, что где-то различия были обусловлены дозами одного фактора, а где-то – дозами обоих факторов опыта. Аналогично можно оценить пары вариантов и по другим агрохимическим показателям.

У разных показателей количество надежно различающихся по многолетней динамике пар вариантов сильно менялось. Например, для обменных оснований установлено всего 4 таких пары (см. выше). Для ЕКО же имеется лишь одна пара – варианты 1 и 9. Это можно расценить как слабое влияние факторов опыта на временную динамику обменного комплекса пахотного слоя.

Для других агрохимических показателей почвы найдены десятки различающихся по динамике пар вариантов. Для содержания подвижного фосфора (табл. 7) все варианты с внесением мелиорантов отличаются от контроля, а между собой

они тоже часто различаются за счет разных доз *ОСВ* или извести. Подобная ситуация установлена и для pH_{KCl} и содержания $C_{орг}$. Таким образом, для этих агрохимических показателей почвы многолетняя динамика сильно зависела от доз мелиорантов.

Несколько меньше различающихся по динамике пар вариантов для H_T и K_2O : для H_T большинство вариантов отличалось от контроля, а в остальных случаях различия ожидаемо были связаны с разными дозами извести; для содержания K_2O отличались от контроля лишь 3 варианта с максимальными дозами *ОСВ* (варианты 5, 9, 13), а различия в других парах вариантов почти всегда были связаны с разницей в дозах *ОСВ*.

Представляет интерес рассмотреть отличия многолетних динамик в вариантах в зависимости от градаций (доз) факторов опыта как части общего анализа, изложенного выше (табл. 8). Для этого использованы значимые средние различия. Для pH_{KCl} видна тенденция к росту абсолютной разности с увеличением дозы извести; аналогичная закономерность отмечена для показателя H_T . Для показателя $Ca + Mg$ большинство средних различий было слабо значимо или не значимо, но видна тенденция к росту абсолютных величин с увеличением доз *ОСВ*. Для показателя ЕКО и содержания K_2O значимых средних различий было очень мало. Для содержания P_2O_5 и $C_{орг}$ все различия с контролем были значимы и однозначно увеличивались с ростом дозы *ОСВ*.

Динамики внесения фосфора и калия и их содержания в пахотном слое. Рассмотрим, как сопрягались эти статьи баланса фосфора и калия в данном опыте. Для краткости соответствующие данные приведены в табл. 9 только для вариантов с наименьшей и наибольшей дозой внесения *ОСВ*. Так как в *ОСВ* измерили как валовое содержание, так и подвижные формы фосфора и калия, то сопоставлены обе эти формы. Содержание P_2O_5 и K_2O в *ОСВ* менялось в зависимости от года внесения, поэтому для данной задачи использовали медианные величины.

При наименьших дозах *ОСВ* (вариант 2) содержание подвижного фосфора в почве оказалось близко к валовому внесению, но значительно больше внесения подвижной формы. Для содержания K_2O отмечена другая закономерность: содержание в почве подвижной формы было заметно меньше валового внесения, но больше внесения обменной формы, содержащейся в *ОСВ*.

При наибольших дозах внесения *ОСВ* (вариант 5) содержание подвижного P_2O_5 было не-

сколько больше внесенной подвижной формы, но во много раз меньше внесенного валового фосфора. Содержание подвижного калия почвы было меньше внесенного обменного и значительно меньше внесенного валового калия.

Так как миграции фосфора и калия вглубь почвы практически не обнаружено (табл. 2), то с точки зрения баланса питательных веществ в этом случае не учтен в основном вынос их урожаем растений. Скорее всего, это могло повлиять на сопоставление данных о содержании обменного калия при малых дозах внесения *ОСВ*, когда внесенное валовое количество было лишь несколько больше найденного подвижного калия в почве. В остальных случаях преобладали чисто почвенные химические и физико-химические процессы. Валовые фосфор и калий из *ОСВ* лишь частично переходили в подвижные формы, оставаясь в основном в трудноизвлекаемом запасе.

ВЫВОДЫ

1. Устойчивость влияния факторов опыта (внесение осадка сточных вод (*ОСВ*), извести) в зависимости от года опыта отмечена для содержания подвижных фосфора и калия, органического углерода почвы, но эта закономерность не выявлена для показателей обменного комплекса почвы.

2. Сравнение многолетних временных динамик различных вариантов опыта с контролем в зависимости от доз мелиорантов показало, что для показателей pH_{KCl} и H_T средние разницы увеличивались с ростом доз извести, для содержания P_2O_5 , $C_{орг}$ и суммы обменных катионов – с ростом доз *ОСВ*, для показателя ЕКО и содержания K_2O значимых средних разниц было мало.

3. При сравнении вариантов опыта между собой (без контроля) оказалось, что для показателей $Ca + Mg$ и ЕКО достоверных различий были единицы, для H_T и K_2O – несколько больше, для P_2O_5 , $C_{орг}$ и pH_{KCl} – много.

4. Внесенные с большими дозами *ОСВ*, фосфор и калий в значительной степени оставались в почве в трудноизвлекаемых формах.

5. Почти 40-летнее внесение *ОСВ* и извести в пахотный слой дерново-подзолистой глееватой супесчаной почвы на моренном суглинке показало, что окультуривания подпахотного слоя практически не произошло. Вопрос требует специального изучения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Фрид А.С. Рекомендации к анализу данных многолетних полевых опытов (проект) // *Агрохимия*.

2022. № 3. С. 81–93.

<https://doi.org/10.31857/S0002188122030048>

2. Реестр аттестатов длительных опытов с удобрениями и другими агрохимическими средствами Российской Федерации. Изд. 2-е. М.: ВНИИА, 2005. С. 130–131.
3. Касатиков В.А., Раскатов В.А., Шабардина Н.П. Последствие осадка сточных вод на свойства дерново-подзолистой супесчаной почвы и урожайность ячменя // *Плодородие*. 2015. № 4 (85). С. 27–29.
4. Касатиков В.А., Шабардина Н.П. Влияние систематического применения осадков городских сточных вод на агроэкологические и физические свойства дерново-подзолистой супесчаной почвы // “75 лет Геосети опытов с удобрениями” Мат-лы Всерос. совещ. научн. учрежд.-участников Геосети опытов с удобр. М., 2016. С. 108–113.
5. Касатиков В.А., Шабардина Н.П., Раскатов В.А. Последствие систематического применения осадка городских сточных вод по фонам известкования на агробиологические и экологические свойства дерново-подзолистой почвы // *Плодородие*. 2017. № 1. С. 43–46.
6. Касатиков В.А., Шабардина Н.П. Действие систематического применения осадка городских сточных вод на агроэкологические свойства почвы, урожайность культур в длительном опыте // “Итоги выполнения программы фундаментальных научных исследований государственных академий на 2013–2020 гг.”. Мат-лы Всерос. координац. совещ. научн. учрежд.-участников Географич. сети опытов с удобрениями / Под ред. В.Г. Сычева. М., 2018. С. 107–116.
7. Касатиков В.А., Анисимова Т.Ю., Шабардина Н.П. К вопросу о мелиоративном влиянии систематического применения осадка городских сточных вод на агроэкологические свойства слабокультуренной дерново-подзолистой почвы // *Мелиорация*. 2018. № 3 (85). С. 78–84.
8. Касатиков В.А., Шабардина Н.П. Последствие мелиоративных доз осадка городских сточных вод в сочетании с известкованием на агробиологические свойства дерново-подзолистой супесчаной почвы // *Мелиорация*. 2019. № 2 (88). С. 59–63.
9. Касатиков В.А., Шабардина Н.П. Влияние торфо-гуминового удобрения на фоне последствия мелиоративных доз осадка сточных вод на агроэкологические показатели агроценоза и продуктивность культур звена севооборота // “Биологический круговорот питательных веществ при использовании удобрений и биоресурсов в системах земледелия различной интенсификации”. Суздаль–Иваново, 2021. С. 179–184.

Dynamics of Agrochemical Indicators of Soil in Long-Term Field Experience in the Application of Sewage Sludge and Lime

A. S. Frid^{a, #}, V. A. Kasatikov^b, T. I. Borisochkina^c,
K. A. Kolchanova^c, and N. S. Nikitina^c

^aThe All-Russian Scientific Research Institute of Phytopathology
ul. Institute, vlad. 5, Moscow region, Bolshye Vyazemy 143050, Russia

^bAll-Russian Research Institute of Organic Fertilizers – Branch of the Verkhnevolzhsky FASC
601390 Vladimir region, Sudogodsky district, Vyatkino village, Pryanishnikova str., 2, Russia

^cFRC “V.V. Dokuchaev Soil Institute”
Puzhevsky p. 7, bld. 2, Moscow 119017, Russia

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

We analyzed the long-term dynamics of agrochemical soil indicators in a microfield experiment (plots of 3 m²), laid in 1984 on sod-podzolic sandy loam on moraine loam (Vladimir region). Various large doses of municipal sewage sludge (SS) and lime (dolomite flour) were introduced as meliorants. The stability over the years of the influence of these factors of experience was noted for mobile phosphorus and potassium, organic carbon, but not for indicators of the exchange complex of the soil. Comparison of long-term time dynamics of various variants of the experiment with control with different combinations of doses of meliorants showed that for pH_{KCl} and hydrolytic acidity (H_a), the average differences increased with increasing doses of lime, for the content of mobile P₂O₅, C_{org} and the amount of exchangeable cations – with increasing doses of SS, for indicators of cation exchange capacity (CEC) and the content of exchangeable K₂O statistically significant average differences it wasn't enough. When comparing the variants with each other (without control), it turned out that there were only units of significant differences in time dynamics for exchange cations and CEC, slightly more for H_a and exchange K₂O, and a lot for the content of mobile P₂O₅, Sorg and pH_{KCl}. Phosphorus and potassium introduced with large doses of SS largely remained in the soil in hard-to-recover forms. Almost 40 years of application in large doses of SS and lime to the arable layer of this soil practically did not lead to the cultivation of the sub-arable layer.

Key words: long-term field experience, precipitation of urban wastewater and lime, long-term dynamics of agrochemical soil indicators, stability of the effect of experience factors, comparison of time dynamics of soil indicators and doses of ameliorants, sod-podzolic sandy loam soil, Vladimir region.

ЭЛЕМЕНТНЫЙ СОСТАВ И СТРУКТУРА ГУМИНОВЫХ КИСЛОТ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ ПОЧВЫ ДЛИТЕЛЬНОГО СТАЦИОНАРНОГО ОПЫТА И ЕЕ ЦЕЛИННЫХ АНАЛОГОВ

© 2022 г. Н. Е. Завьялова^{1,*}, М. Т. Васбиева¹, Д. С. Фомин¹

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

*E-mail: nezavyalova@gmail.com

Поступила в редакцию 16.11.2021 г.

После доработки 13.05.2022 г.

Принята к публикации 10.06.2022 г.

Изучили элементный состав и структуру гуминовых кислот пахотной дерново-подзолистой тяжело-суглинистой почвы и провели сравнение с целинными аналогами (смешанный лес, злаково-разнотравный луг) и залежь. Установлено, что насыщение полевого севооборота бобовыми культурами до 42.9% позволило повысить долю алифатических группировок в структуре гуминовых кислот почвы (отмечено максимальное соотношение $H : C = 1.67$). Ведение 5-польного зернового севооборота способствовало повышению доли устойчивых ароматических структур и обеднению структуры гуминовых кислот азотом (отмечено минимальное соотношение $H : C = 1.20$ и максимальное $C : N = 16.2$). Наибольшее содержание кислородсодержащих групп определено в составе гуминовых кислот залежной почвы ($C : O = 0.95$). По результатам ИК-фурье спектроскопии ароматические структуры были более интенсивно выражены в спектрах гуминовых кислот почвы типичного севооборота и бессменных посевов ячменя.

Ключевые слова: элементный анализ, атомные отношения, гуминовые кислоты, ИК-спектроскопия, севообороты, залежь, бессменный посев культур.

DOI: 10.31857/S0002188122090149

ВВЕДЕНИЕ

Доминирующая парадигма второй половины XX века содержала утверждение, что преобладающая часть почвенного органического вещества (ПОВ) представлена гуминовыми веществами – высокомолекулярными, обогащенными гетероциклическим азотом, стабильными полимерами с ароматическим ядром и обширной алифатической периферией, которые и придают ПОВ многообразию и специфичность его свойств и функций, а соотношение $C_{ГК} : C_{ФК}$ отражает качество ПОВ [1–3]. Эти представления противоречат современным исследованиям, проведенным российскими и зарубежными учеными в начале XXI века. Новую информацию о природе образования, составе и строении гуминовых веществ дают инструментальные методы анализа (инфракрасная фурье-спектроскопия, масс-спектроскопия, ядерно-магнитный резонанс, рентгеноструктурный анализ, электронное микроскопирование и др.) [4–6].

Предложена трехслойная модель ПОВ, в которой предусматривается самосборка биомолекул амфифильного органического вещества (ОВ) в супрамолекулярные агрегаты, упорядоченные невалентными взаимодействиями на химически активных поверхностях минеральных частиц [7–9]. Многослойная модель гораздо лучше объясняет присущие ПОВ стабильность и доступность к биодegradации, чем полимерная концепция [10, 11].

Основным критерием определения гуминовых веществ, по мнению Международного общества по гуминовым веществам (IHSS) и Американского общества почвоведов, на сегодняшний день по-прежнему является растворимость в щелочах [12]. Разная растворимость гуминовых веществ в кислотных-щелочных средах положена в основу их деления на гуминовые кислоты, фульвокислоты и неэкстрагируемый остаток (гумин).

Среди гуминовых веществ особое значение имеют гуминовые кислоты (ГК), так как они про-

являют высокую функциональную активность, определяют специфику водных, физических, химических и тепловых свойств почвы. Их состав и структура зависят от условий почвообразования и изменяются при антропогенном воздействии на почву [3, 13].

Цель работы – выявить влияние различных приемов землепользования на элементный состав и структуру гуминовых кислот пахотной почвы и провести сравнение с целинными аналогами.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследование проведено в условиях длительного стационарного опыта, заложенного в 1977 г. на дерново-подзолистой тяжелосуглинистой почве. Варианты опыта: 1 – ячмень, бессменный посев, 2 – зерновой 5-польный севооборот (0% бобовых культур) (ячмень–рожь озимая–пшеница яровая–ячмень–овес), 3 – полевой 7-польный севооборот (типичный, 28.6% бобовых культур) (унавоженный чистый пар–рожь озимая–пшеница яровая с подсевом клевера–клевер 1-го года пользования (г.п.)–клевер 2-го г.п.–ячмень–овес), 4 – полевой 7-польный севооборот (42.9% бобовых культур) (сидеральный пар (клевер 1-го г.п.)–рожь озимая–пшеница яровая с подсевом клевера–клевер 1-го г.п.–клевер 2-го г.п.–ячмень–овес с подсевом клевера, 5 – залежь. Представленные варианты изучали без применения минеральных удобрений. На момент закладки опыта почва имела следующие агрохимические показатели: pH_{KCl} 5.2–5.3, гидролитическая кислотность – 2.1–2.3, сумма поглощенных оснований – 14.0–15.5 смоль (экв)/кг, содержание органического углерода по Тюрину – 1.10–1.12%, подвижного фосфора – 225–240, подвижного калия 196–204 мг/кг (по Кирсанову). Почвенные образцы для исследования отбирали осенью 2018 г. из 2-х несмежных повторений в слое 0–20 см.

Для выявления процессов трансформации органического вещества пахотные почвы сравнивали с целинными аналогами под смешанным лесом и злаково-разнотравным лугом. Лес – смешанный хвойно-широколиственный с богатым травяным покровом. В древостое широко представлены береза, осина, реже клен, из хвойных – ель, пихта, сосна. Хорошо развит 2-й ярус и подлесок из рябины, липы, ольхи, черемухи и др. В напочвенном покрове преобладают кисличные, кислично-папоротниковые и разнотравно-злаково-папоротниковые растительные сообщества. Толщина лесной подстилки под пологом смешанного леса составляет ≈ 3 см. Видовой состав травостоя естественного злаково-разнотравного

луга: 62.0 – злаковые, 13.5 – бобовые, 24.5% – разнотравье. Почвенные образцы под смешанным лесом отбирали в слое 3–20 см.

Препараты гуминовых кислот выделены по классической методике Российской школы почвоведов, которая отличается от рекомендаций Международного гуминового общества (IHSS) [14] тем, что почву экстрагируют щелочью не менее 3-х раз на обычном воздухе, анализируют объединенный экстракт. Элементный состав гуминовых кислот определяли на CHN – элементном анализаторе фирмы “Perkin–Elmer” (США), количество кислорода вычисляли по разности (все расчеты приведены на обеззоленные препараты); ИК-спектры поглощения регистрировали на Фурье-спектрометре VERTEX-80v (фирма “Bruker”, Германия) в диапазоне 4000–400 cm^{-1} при спектральном разрешении 2 cm^{-1} . Обработку спектров проводили с помощью пакета прикладных программ OPUS.

Исследования проводили в IV агроклиматическом районе Пермского края. В физико-географическом отношении район находится в подзоне южной тайги и хвойно-широколиственных лесов [15]. В соответствии с почвенно-экологическим районированием территория Пермского края относится к Вятско-Камской почвенной провинции. Климат умеренно-континентальный с холодной, продолжительной, снежной зимой и теплым коротким летом. Сумма средних суточных температур $>10^{\circ}C$ составляет 1700–1900 $^{\circ}C$. Длительность периода активной вегетации с температурой выше $10^{\circ}C$ в среднем составляет 115 сут, с температурой $>15^{\circ}C$ – 60 сут. Район относится к зоне достаточного увлажнения: ГТК = 1.4, осадков за год выпадает 470–500 мм, испаряемость с поверхности почвы составляет ≈ 340 мм. Число дней со снежным покровом в среднем составляет 176 [16].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Особенностью исследованных почв является низкое содержание углерода в верхних слоях: под смешанным лесом – 2.69, злаково-разнотравным лугом – 1.25, в пахотной почве – 1.01–1.47% (в зависимости от варианта опыта), кислая реакция среды (pH 4.2, 4.8 и 4.8–5.5 соответственно) (табл. 1). Обогащенность почвы азотом под опытом – средняя и высокая, отношение валовых количеств C : N составляло 8.3–9.4, под смешанным лесом соотношение – 10.1, под лугом – 8.4 [17].

Изученные почвы в соответствии с ориентировочной шкалой обогащенности почвы микрофлорой соответствовали грациям “очень бед-

Таблица 1. Агрохимические свойства и экофизиологические показатели состояния микробного сообщества дерново-подзолистой почвы при различном землепользовании

Тип землепользования	C _{орг} , %	pH _{KCl}	S	H _T	Ca	Mg	P ₂ O ₅	K ₂ O	N _{общ}	C _{микр}	СИД
			смоль(экв)/кг				мг/кг			мкг/г	мкг С-СО ₂ /г/час
Ячмень – бессменный посев	1.01	5.1	22.5	3.1	18.6	2.0	440	212	1078	413	10.3
Зерновой севооборот (0% бобовых)	1.07	5.2	20.1	3.2	17.9	3.6	420	188	1295	189	5.2
Типичный севооборот (28.6% бобовых)	1.47	5.5	21.5	3.0	17.2	3.2	537	322	1729	316	8.3
Севооборот (42.9% бобовых)	1.21	4.9	21.7	3.5	18.2	2.9	314	219	1430	257	5.1
Залежь	1.36	4.8	19.8	4.8	17.2	2.8	473	247	1550	440	10.9
Смешанный лес	2.69	4.2	20.0	6.4	12.0	3.2	168	177	2660	1236	30.9
Злаково-разнотравный луг	1.25	4.8	21.2	2.2	13.9	2.5	290	175	1490	571	14.3
HCP ₀₅	0.19	0.2	F _Ф < F _T	0.4	1.2	F _Ф < F _T	58	34	110	130	1.2

ной” и “бедной” [18]. Целинная почва характеризовалась минимальным содержанием всех видов микроорганизмов [19]. Содержание углерода микробной биомассы (C_{микр}) варьировало от 189 в зерновом севообороте до 1236 мкг/г почвы под смешанным лесом. Максимальную величину субстрат-индуцированного дыхания (СИД) зафиксировали при исследовании почвы под смешанным лесом – 30.9 мкг С-СО₂/г/ч [20].

Для получения информации о строении супрамолекулярных агрегатов гуминовых кислот, наличии основных конституционных элементов в их структурных фрагментах и направлении трансформации органического вещества под действием природных и антропогенных факторов использован метод элементного анализа. Выражение результатов элементного анализа в атомных процентах дает информацию о тех изменениях, которые происходят с гумусовыми веществами в ходе почвообразования. Соотношения Н : С, О : С и С : N характеризуют направление процессов трансформации гуминовых кислот при антропогенном воздействии на почву. Соотношение Н : С определяет степень обогащенности структуры ГК ароматическими фрагментами, О : С – степень окисленности, С : N отражает роль азотсодержащих компонентов в построении гуминовых кислот [13, 21].

В пахотной почве длительного стационарного опыта, где изучали различные приемы земледелия, выявлено низкое содержание углерода в структуре ГК почвы севооборота с насыщением бобовыми культурами до 42.8% (2 поля

клевера в севообороте и люпин) – 28.35 ат.%. (табл. 2) и высокое содержание водорода – 47.43 ат.%. В этом варианте отмечено максимальное отношение Н : С, равное 1.67 (рис. 1), указавшее на преобладание алифатических группировок в структуре ГК [22, 23].

Преобладание процессов минерализации органического вещества над накоплением гуминовых веществ отмечено в почве зернового севооборота и под бессменным посевом ячменя, где убыль углерода за 41 год ведения опыта составила 7–9% от исходного уровня при закладке опыта. В этих условиях при деструкции органического материала наиболее быстро отщеплялись алифатические группировки и оставались ароматические структурные фрагменты с более высоким содержанием углерода. Для этих вариантов выявлено более низкое отношение Н : С, которое составляло 1.20–1.28 и свидетельствовало о повышении доли ароматических структур в гуминовых кислотах при истощении почвы углеродом и элементами питания. Высокая степень окисленности (W = 0.23) ГК в варианте зернового севооборота указывала на глубину гумификации органического вещества [1, 21].

Наиболее широкое отношение С : N, равное 16.2, выявлено в ГК почвы варианта зернового севооборота и показало, что они обеднены азотом, т.к. формировались из бедных азотом растительных остатков зерновых культур [13]. ГК залежной почвы характеризовались минимальным содержанием водорода, максимальным – кислорода. Отношение О : С гуминовых кислот рассмотрен-

Таблица 2. Элементный состав гуминовых кислот длительного опыта с различными приемами землепользования

Вариант	Содержание, %					Атомные отношения			Степень окисленности (<i>W</i>)
	C	H	O	N	S	H:C	O:C	C:N	
Ячмень – бессменный посев	48.56	5.17	41.36	4.18	0.76	1.28	0.64	13.5	–0.001
	33.36	42.65	21.33	2.47	0.20				
Зерновой севооборот (0% бобовых)	46.60	4.67	44.60	3.36	0.48	1.20	0.72	16.2	0.23
	33.47	40.29	24.05	2.07	0.13				
Типичный севооборот (28.6% бобовых)	49.59	5.64	39.97	3.94	0.86	1.37	0.61	14.7	–0.16
	32.84	44.85	19.87	2.24	0.22				
Севооборот (42.9% бобовых)	43.93	6.12	45.15	3.79	1.03	1.67	0.77	13.5	0.13
	28.35	47.43	21.87	2.10	0.25				
Залежь	40.34	4.57	50.86	3.67	0.58	1.36	0.95	12.8	0.53
	29.50	40.13	27.92	2.30	0.16				
Смешанный лес	47.91	6.21	41.32	3.79	0.79	1.56	0.66	14.4	–0.26
	30.51	47.48	19.75	2.07	0.19				
Злаково-разнотравный луг	49.11	5.83	40.02	4.22	0.84	1.43	0.61	13.6	–0.20
	32.07	45.73	19.62	2.36	0.21				

*Над чертой – массовая доля, под чертой – атомная доля (все расчеты приведены на обеззоленные препараты).

ных вариантов опыта возрастало с уменьшением антропогенной нагрузки на почву и было максимальным в ГК залежи – 0.95. Окисленность гуминовых кислот (*W*) варьировала в зависимости от типа землепользования в интервале от –0.26 до +0.53. Максимальное содержание кислородсодержащих групп определено в составе ГК залежной почвы. Высокая степень окисленности ГК, положительный знак этого показателя могут служить свидетельством наиболее благоприятных условий гумификации органического вещества в почве залежи [24–26].

Данные элементного анализа ГК целинной дерново-подзолистой почвы под лесом и лугом свидетельствовали о том, что в условиях промывного режима, пониженного содержания обменных оснований из обогащенных целлюлозо-лигнинным комплексом растительных остатков с низким содержанием азота формировались гуминовые кислоты с пониженным содержанием углерода и азота в составе агрегатов ГК. Низкая микробиологическая активность приводила к уменьшению скорости минерализации органического материала – растительных остатков, что при-

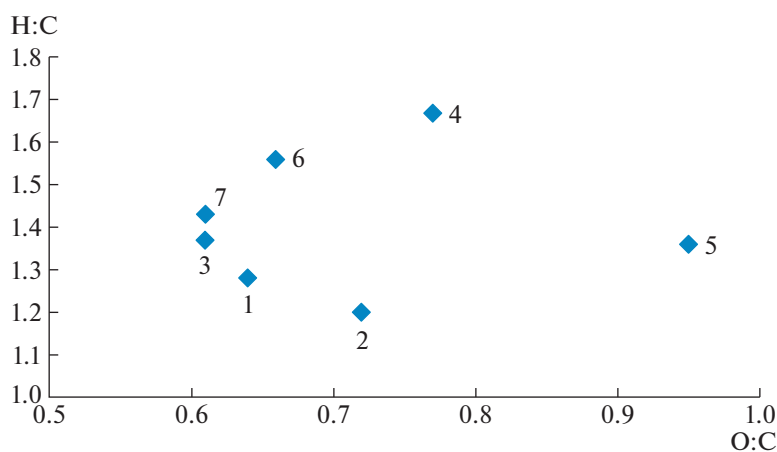


Рис. 1. Диаграмма атомных отношений ГК дерново-подзолистой почвы в длительном опыте и естественных фитоценозах, варианты: 1 – бессменный посев ячменя, 2 – зерновой севооборот (0% бобовых), 3 – полевой 7-польный севооборот 28.6% бобовых, 4 – полевой 7-польный севооборот 42.9% бобовых, 5 – залежь, 6 – смешанный лес, 7 – злаково-разнотравный луг.

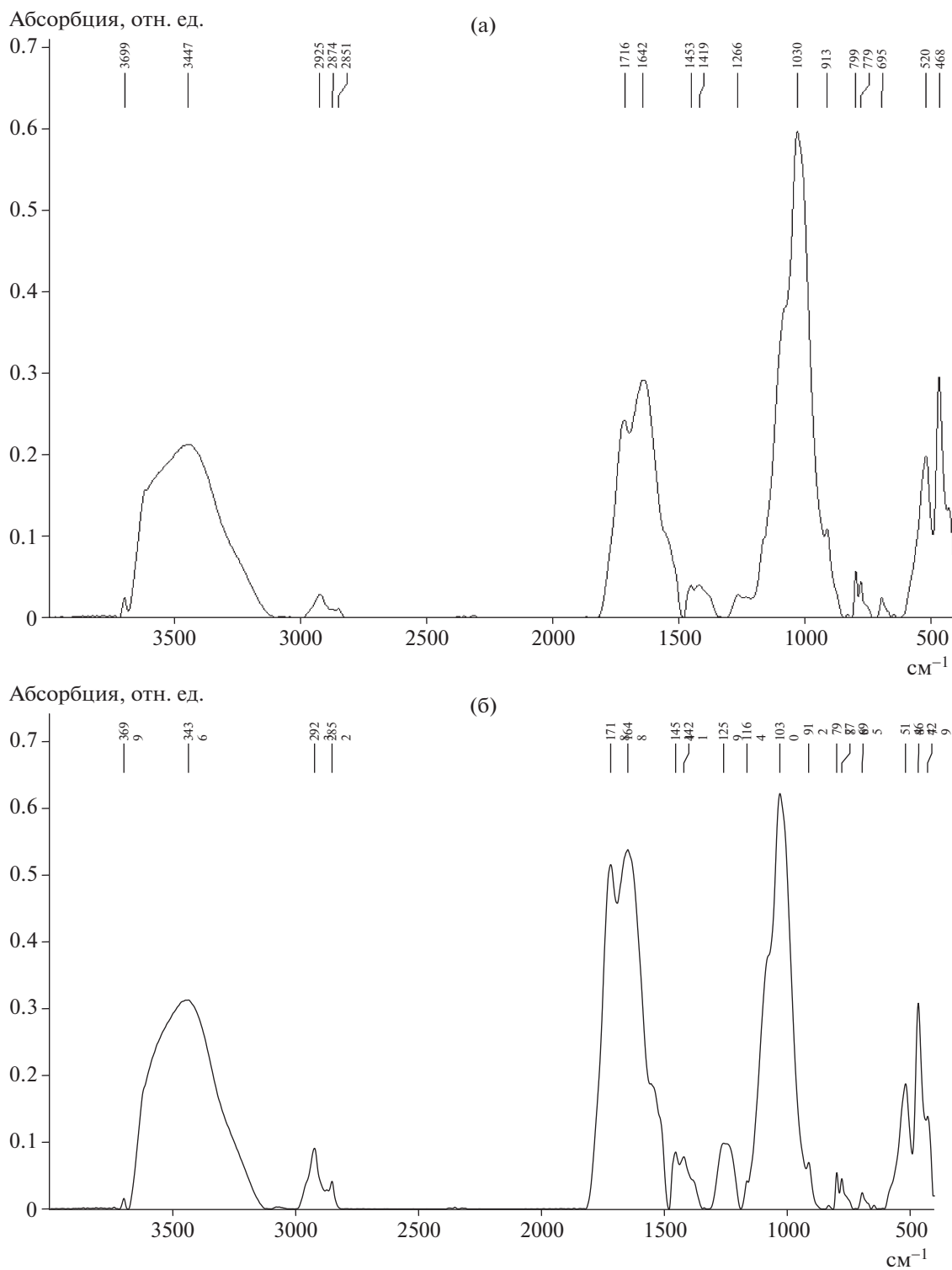


Рис. 2. Инфракрасный спектр гуминовых кислот дерново-подзолистой почвы: (а) — под смешанным лесом, (б) — под разнотравно-злаковым лугом.

водило к увеличению доли алифатических группировок, отношение Н : С составляло 1.43–1.56.

Проведенное исследование показало, что гуминовые кислоты, выделенные препаративно из

пахотной почвы длительного стационарного опыта и ее целинных аналогов, по содержанию конституционных элементов (С, Н, N, O) соответствовали средним показателям для класса гу-

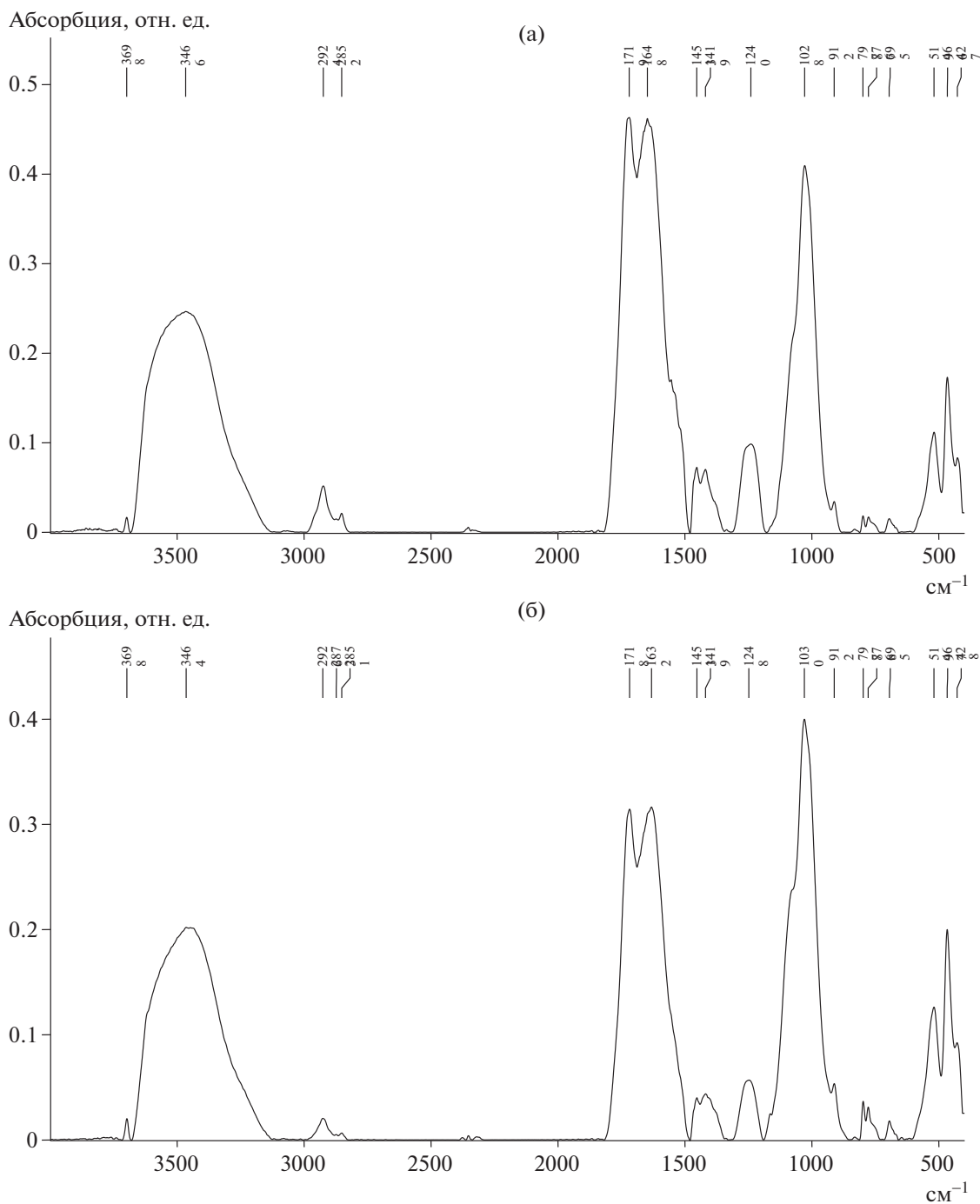


Рис. 3. Инфракрасный спектр гуминовых кислот дерново-подзолистой почвы: (а) — под бессменным посевом ячменя, (б) — при возделывании культур в зерновом севообороте (бобовых культур 0%), (в) — при возделывании культур в полевом типичном севообороте (бобовых культур 28.6%), (г) — при возделывании культур в полевом 7-польном севообороте (бобовых культур 42.8%).

миновых кислот дерново-подзолистых почв. В структуре гуминовых кислот преобладали алифатические фрагменты, отношение С : Н составляло 1.20–1.67. Сходство ГК пахотных и целинных почв обусловлено практически одинаковым набором факторов образования: почвы, растений, влаги, тепла, микроорганизмов, различия —

качественным составом поступавшего в почву органического материала и его количества, различной интенсивностью антропогенного воздействия и случайностью сочетания факторов [1].

Инфракрасная спектроскопия является обязательным и важнейшим диагностическим методом исследования гумусовых веществ. Метод позво-

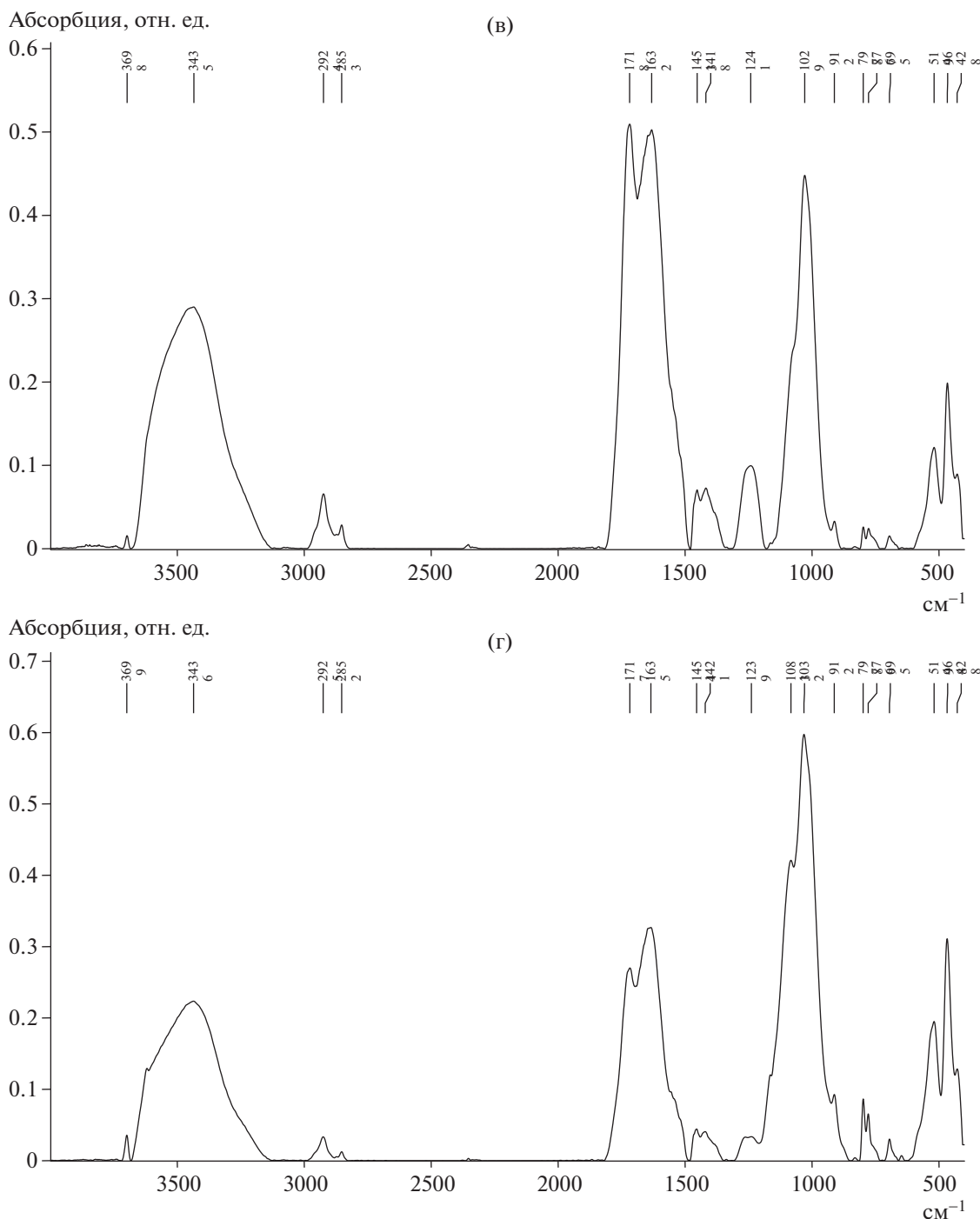


Рис. 3. Окончание.

ляет идентифицировать атомные группировки, дает информацию о типе связей и элементах структуры молекул гуминовых кислот [13, 25]. Совокупность и интенсивность полос поглощения позволяют судить о роли ароматических и алифатических фрагментов в структуре гуминовых кислот. При сравнительном изучении спектров было выявлено, что гуминовые кислоты из разных типов почв имели однотипные ИК-спек-

тры, что позволило говорить об общем принципе их построения. ИК-спектры используют как характерный диагностический признак гуминовых кислот, позволяют выявить и некоторые особенности, связанные с условиями их образования [27–29].

Инфракрасные спектры препаратов гуминовых кислот почвы под смешанным лесом и злако-

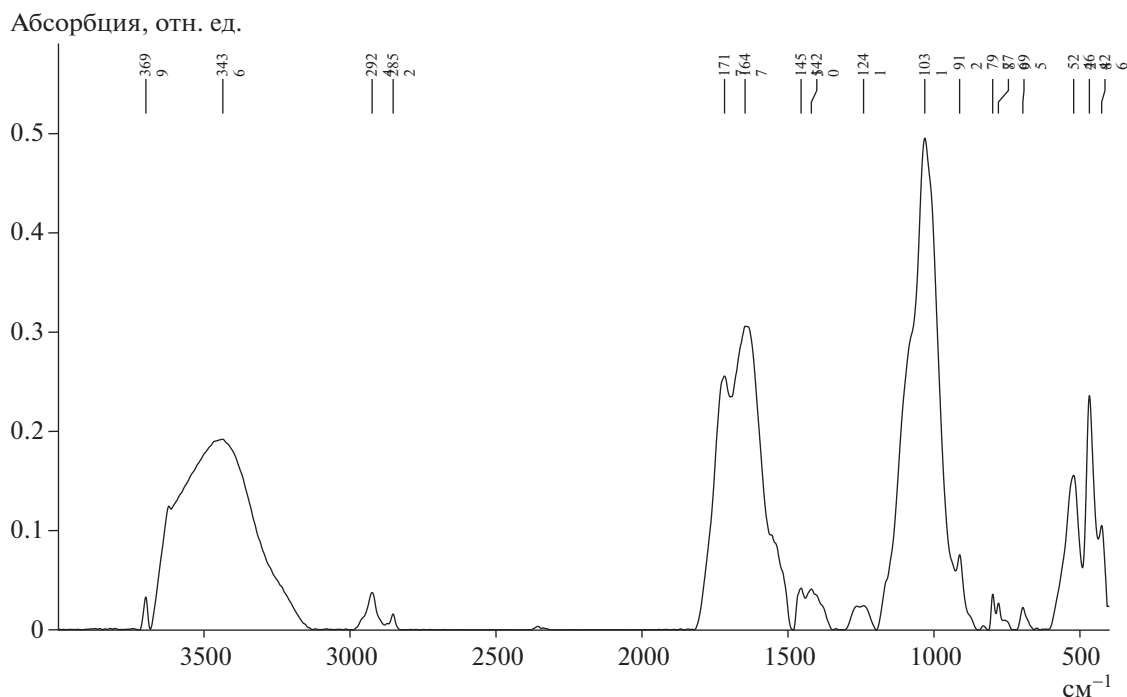


Рис. 4. Инфракрасный спектр гуминовых кислот залежной почвы.

во-разнотравным лугом были типичными для дерново-подзолистых почв (рис. 2). Они характеризуются бóльшим набором полос поглощения. Полосы поглощения в области 2800–3000 см⁻¹ обусловлены валентными колебаниями С–Н метильных (СН₃) и метиленовых (СН₂) группировок. Более сильное поглощение в этой области отмечено в спектре ГК почвы злаково-разнотравного луга, что указывало на большее количество в их структуре алифатических компонентов сравнительно низкой молекулярной массы, чем в ГК под смешанным лесом. Широкая полоса поглощения в области 3300–3500 см⁻¹ ответственна за водородные связи. Интенсивное поглощение в области 1700–1720 см⁻¹ обусловлено колебаниями групп >С=О карбоновых кислот.

На присутствие ароматических группировок в агрегатах ГК указывала полоса поглощения при 1605–1670 см⁻¹, которая обусловлена валентными колебаниями сопряженных двойных связей углеродных атомов. Полоса (плечо) в области 1510 см⁻¹ свидетельствовала о наличии ароматических С=С-связей в составе макромолекулы, однако интенсивность ее была слабой. Поглощение в области 1400–1470 см⁻¹ может быть отнесено к деформационным колебаниям связи С–Н в группах СН₂. Полосы поглощения с максимумом при 1200–1280 см⁻¹ обусловлены колебаниями связи С–О простых эфиров и им подобных соедине-

ний. Возможно, поглощение в этой области вызвано ассиметричными валентными колебаниями в группах С–О–С, что подтверждалось характерными симметричными колебаниями этой группы в области 1030 см⁻¹.

Исследованные гуминовые кислоты почвы длительного стационарного опыта имели полосы поглощения в широком диапазоне длины волны от 500 до 4000 см⁻¹. Изученные приемы земледельческого использования оказали слабое влияние на наличие наиболее характерных атомных группировок и интенсивность полос поглощения, обусловленную колебаниями этих групп (рис. 3, 4). Интенсивная полоса поглощения при 3436–3465 см⁻¹ обусловлена валентными колебаниями групп ОН, связанных межмолекулярными водородными связями. Поглощение в данной области было максимальным для гуминовых кислот типичного севооборота и минимальным для почвы залежи. Полосы поглощения (2929–2924 и 2849–2875 см⁻¹) обусловлены валентными колебаниями С–Н метильных (СН₃) и метиленовых (СН₂) группировок. Наиболее интенсивно эти полосы поглощения проявились в спектрах гуминовых кислот типичного севооборота, что свидетельствовало о наличии в структуре этих кислот достаточного количества концевых метильных групп. Интенсивность этой полосы незначительна и практически одинакова для ГК зернового севооборота и

севооборота с высоким содержанием бобовых, что могло быть вызвано разрушением алифатических структур и, следовательно, уменьшением содержания в них метильных и метиленовых группировок. В случае гуминовых кислот типичного севооборота отметили обратное, т.е. интенсивность поглощения этих полос возрастала из-за увеличения содержания в них алифатических группировок. Наличие вышеуказанных групп подтверждено полосами поглощения в области 1454–1418 см^{-1} .

В области 1800–1300 см^{-1} наиболее четкими и интенсивными были полосы поглощения 1718–1719 и 1632–1647 см^{-1} , присутствующие у гуминовых кислот всех вариантов. Они могли быть обусловлены наличием карбоксилат-ионов и деформационными колебаниями NH_2 -амидов (полоса Амид II). Полоса 1719–1717 см^{-1} обусловлена колебаниями $>\text{C}=\text{O}$ карбоновых кислот [13]. Судя по степени выраженности этой полосы, наибольшее количество карбоксильных групп в своем составе имели гуминовые кислоты вариантов “типичный севооборот” и “бессменный ячмень”. Наиболее слабо колебания группы $>\text{C}=\text{O}$ карбоновых кислот были выражены в гуминовых кислотах почвы севооборота с высоким (42.8%) насыщением бобовыми культурами и в почве залежи. Остальные полосы поглощения могли быть связаны с деформационными колебаниями NH_2 -амидов (полосы Амид I и Амид II), т.е. соединений аминокислотного характера. По общему виду спектров можно предположить, что в составе гуминовых кислот исследованных вариантов присутствовали азотсодержащие структуры типа аминокислот. Полоса поглощения в области 1647–1632 см^{-1} была обусловлена валентными колебаниями группы $\text{C}=\text{C}$ ароматических структур в супрамолекулярных агрегатах гуминовых кислот. Наиболее интенсивно эта полоса проявилась на ИК-спектре типичного севооборота, наименее – на спектре гуминовых кислот залежной почвы.

В области волновых чисел 1300–500 см^{-1} трактовка полос поглощения достаточно затруднительна. В этой области могут проявляться кислородсодержащие группировки различной природы (спирты, эфиры, фенолы), т.е. группы OH. Можно предположить, что в пределах волновых чисел 1300–1000 см^{-1} полосы поглощения обусловлены кислородсодержащими группировками ГК.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, гуминовые кислоты, выделенные из пахотной почвы длительного опыта и ее целинных аналогов, по содержанию конституционных элементов (C, H, N, O, S) соответствовали средним показателям для класса гуминовых кислот дерново-подзолистых почв. Содержание углерода в ГК пахотной и целинной дерново-подзолистой почвы составило 28.3–33.5, водорода – 40.1–47.5, кислорода – 19.6–27.9, азота – 2.1–2.5 и серы – 0.1–0.2 ат.%. В структуре ГК преобладали алифатические фрагменты (соотношение $\text{H} : \text{C} = 1.20\text{--}1.67$). Различия ГК пахотных и целинных почв обусловлены качественным составом поступающего в почву органического материала, его количеством и интенсивностью антропогенного воздействия. Установлено, что насыщение полевого севооборота бобовыми культурами до 42.9% позволило повысить долю алифатических группировок в структуре гуминовых кислот почвы (отмечено максимальное соотношение $\text{H} : \text{C} = 1.67$). Ведение 5-польного зернового севооборота способствовало повышению доли устойчивых ароматических структур (отмечено минимальное соотношение $\text{H} : \text{C} = 1.20$), что свидетельствовало о преобладании процессов минерализации органического вещества над накоплением гуминовых веществ. Также в почве под зерновым севооборотом отмечено обеднение структуры ГК азотом (отмечено максимальное соотношение $\text{C} : \text{N} = 16.2$). Соотношение $\text{O} : \text{C}$ ГК в опыте возрастало с уменьшением антропогенной нагрузки на почву и было максимально в ГК залежи – 0.95. В почве залежи отмечена высокая степень окисленности гуминовых кислот ($W = +0.53$), что могло свидетельствовать о наиболее благоприятных условиях гумификации органического вещества.

Гуминовые кислоты, выделенные из почвы различных вариантов длительного опыта, имели однотипные ИК-спектры. По наличию полос поглощения в области 1718–1719 (колебания группы $\text{C}=\text{O}$ карбоновых кислот) и 1632–1647 см^{-1} (валентные колебания сопряженных двойных связей) можно предположить, что в супрамолекулярных агрегатах присутствуют ароматические структуры, которые более интенсивно выражены в спектрах гуминовых кислот почвы в вариантах типичного севооборота и бессменного посева ячменя. Агрегаты гуминовых кислот почвы севооборота с высоким насыщением бобовыми и почвы под смешанным лесом имели более разветвленную структуру, по-видимому, они состоят из большого количества индивидуальных мономеров различной молекулярной массы с большим количеством алифатических группировок. Это подтвер-

ждается интенсивным поглощением в области 2929–2849, 1400–1470 см⁻¹, вызванным валентными колебаниями метильных и метиленовых группировок.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Semenov V.M., Tulina A.S., Semenova N.A., Ivanikova L.A.* Humification and nonhumification pathways of the organic matter stabilization in soil: a review // *Euras. Soil Sci.* 2013. Т. 46. № 4. С. 355–368. <https://doi.org/10.1134/S106422931304011X>
2. *Иванов А.Л., Козут Б.М., Семенов В.М., Тюрина Оберландер М., Ваксман Шанбахер Н.* Развитие учения о гумусе и почвенном органическом веществе: от Тюрина и Ваксмана до наших дней // *Бюл. Почв. ин-та им. В.В. Докучаева.* 2017. № 90. С. 3–38. <https://doi.org/10.19047/0136-1694-2017-90-3-38>
3. *Kholodov V.A., Konstantinov A.I., Kudryavisev A.V., Perminova I.V.* Structure of humic acids in zonal soils from ¹³C-NMR data // *Euras. Soil Sci.* 2011. V. 44. P. 976–983. <https://doi.org/10.1134/S1064229311090043>
4. *Kleber M., Johnson M.G.* Advances in understanding the molecular structure of soil organic matter: Implications for interactions in the environment // *Adv. Agron.* 2010. V. 106. P. 77–142.
5. *Wershaw R.L.* Evaluation of conceptual models of natural organic matter (humus) from a consideration of the chemical and biochemical processes of humification // *Sci. Investigat. Rep.* 2004–5121. Virginia: U.S. Geological Survey, Reston, 2004. 44 p.
6. *Козут Б.М., Семенов В.М.* Эволюция доминирующих парадигм в учении о гумусе и почвенном органическом веществе // *Агрохимия.* 2015. № 12. С. 3–19.
7. *Kleber M., Sollins P., Sutton R.* A conceptual model of organo-mineral interactions in soils: self-assembly of organic molecular fragments into zonal structures on mineral surfaces // *Biogeochem.* 2007. V. 85. P. 9–24.
8. *Baveye P.C., Wander M.* The (bio) chemistry of soil humus and humic substances: why is the “new view” still considered novel after more than 80 years? // *Front. Environ. Sci.* 2019. V. 7 (27). P. 1–6. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2019.00027>
9. *Kholodov V.A., Farkhodov Yu.R., Yaroslavtseva N.V., Aydiev A.Yu., Lazarev V.I., Ilyin B.S., Ivanov A.L., Kulikova N.A.* Thermolabile and thermostable organic matter of chernozems under different land uses // *Euras. Soil Sci.* 2020. V. 53. P. 1066–1078. <https://doi.org/10.1134/S1064229320080086>
10. *Olk D.C., Bloom P.R., Perdue E.M., McKnight D.M., Chen Y., Fahrenhorst A., Senesi N., Chin Y.P., Schmitt-Kopplin P., Hertkorn N., Harir M.* Environmental and agricultural relevance of humic fractions extracted by alkali from soils and natural waters // *J. Environ. Qual.* 2019. V. 48 (2). P. 217–232. <https://doi.org/10.2134/jeq2019.02.0041>
11. *Piccolo A.* The supramolecular structure of humus substances: A novel understanding of humus chemistry and implications soil science // *Adv. Agron.* 2002. V. 75. P. 57–134. [https://doi.org/10.1016/s0065-2113\(02\)75003-7](https://doi.org/10.1016/s0065-2113(02)75003-7)
12. *Kleber M., Lehmann J.* Humic substances extracted by alkali are invalid proxies for the dynamics and functions of organic matter in terrestrial and aquatic ecosystems // *J. Environ. Qual.* 2019. V. 48. P. 207–216. <https://doi.org/10.2134/jeq2019.01.0036>
13. *Орлов Д.С.* Гумусовые кислоты почв и общая теория гумификации. М.: Изд-во МГУ, 1990. 325 с.
14. *Swift R.S.* Organic matter characterization (chap 35) // *Methods of soil analysis madison, wi* // *Soil Sci. Soc. Amer.* 1996. Part 3. P. 1018–1020.
15. *Агроклиматические ресурсы Пермской области / Под ред. Е.В. Григорчук. Л.: Гидрометеоздат, 1979. 156 с.*
16. *Еремченко О.З., Шестаков И.Е., Москвина Н.В.* Почвы и техногенные поверхностные образования урбанизированных территорий Пермского Прикамья. Пермь: Перм. гос. нац. исслед. ун-т, 2016. 252 с.
17. *Орлов Д.С., Гришина Л.А.* Практикум по химии гумуса. М.: Изд-во МГУ, 1981. 272 с.
18. *Звягинцев Д.Г., Бабьева И.П., Зенова Г.М.* Биология почв. М.: Изд-во МГУ, 2005. 445 с.
19. *Завьялова Н.Е., Широких И.Г., Васбиева М.Т., Фомин Д.С.* Влияние типов землепользования на прокарриотные сообщества и стабилизацию органического вещества дерново-подзолистой почвы // *Почвоведение.* 2021. № 2. С. 232–239. <https://doi.org/10.31857/S0032180X21020167>
20. *Завьялова Н.Е., Васбиева М.Т., Фомин Д.С.* Микробная биомасса, дыхательная активность и азотфиксация в дерново-подзолистой почве Предуралья при различном сельскохозяйственном использовании // *Почвоведение.* 2020. № 3. С. 372–378. <https://doi.org/10.31857/S0032180X20030120>
21. *Гасанова Е.С., Мязин Н.Г., Стекольников К.Е.* Изменение элементного состава гуминовых кислот чернозема выщелоченного под влиянием удобрений и мелиорантов на примере культур топинамбура и озимой пшеницы // *Агрохимия.* 2018. № 11. С. 27–32. <https://doi.org/10.1134/S0002188118110042>
22. *Мильхеев Е.Ю., Цыбенков Ю.Б.* Элементный состав гуминовых кислот дерновых лесных и луговых почв Селенгинского дельтового района (Западное Забайкалье) // *Вестн. СВФУ.* 2018. № 1. С. 13–19.
23. *Попов А.И.* Гуминовые вещества: свойства, строение, образование. СПб.: Изд-во СПбГУ, 2004. 248 с.
24. *Горбов С.Н., Безуглова О.С.* Элементный состав гуминовых кислот почв урбанизированных территорий (на примере Ростова-на-Дону) // *Почвоведение.* 2013. № 11. С. 1316–1324. <https://doi.org/10.7868/S0032180X13090025>
25. *Мотузова Г.В., Дерхам Х.М., Степанов А.А.* Сравнительная характеристика гуминовых кислот пахотных почв таежной, степной и полупустынной зон // *Почвоведение.* 2012. № 11. С. 1171–1180.
26. *Абакумов Е.В.* Элементный состав и структурные особенности гуминовых веществ молодых подзолов, формирующихся на отвалах песчаного карьера // *Почвоведение.* 2009. № 6. С. 666–673.

27. Старых С.Э., Курьянов А.Н., Белопухов С.Л., Мазиров М.А. Изучение влияния длительного применения удобрений на органическое вещество дерново-подзолистой почвы методом ИК-спектроскопии // *Агрохим. вестн.* 2019. № 2. С. 17–22. <https://doi.org/10.24411/0235-2516-2019-109999021>
28. Шевцова Л.К., Черников В.В., Сычев В.Г., Беличенко М.В., Рухович О.В., Иванова О.И. Влияние длительного применения на состав, свойства и структурные характеристики гумусовых кислот ос-
новных типов почв. *Сообщ. 1 // Агрохимия.* 2019. № 10. С. 3–15. <https://doi.org/10.1134/S0002188119100120>
29. Жеребцов С.И., Малышенко Н.В., Вотолин К.С., Андроханов В.А., Соколов Д.А., Дугаржав Ж., Исмагилов З.Р. Структурно-групповой состав и биологическая активность гуминовых кислот, полученных из бурых углей России и Монголии // *Химия тверд. топлива.* 2019. № 3. С. 19–25. <https://doi.org/10.1134/S0023117719030137>

Elemental Composition and Structure of Humic Acids in Sod-Podzolic Soil of a Long-Term Stationary Experiment and Its Virgin Analogs

N. E. Zavyalova^{a,#}, M. T. Vasbieva^a, and D. S. Fomin^a

^aPerm Federal Research Center of Ural Branch RAS
ul. Kultury 12, Perm region, Perm district, s. Lobanovo 614532, Russia

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

The elemental composition and structure of humic acids of arable sod-podzolic heavy loamy soil were studied and compared with virgin analogues (mixed forest, grass-grass meadow) and fallow. It was found that the saturation of the field crop rotation with legumes up to 42.9% allowed to increase the proportion of aliphatic groupings in the structure of humic acids of the soil (the maximum ratio H : C = 1.67 was noted). Conducting a 5-field grain crop rotation contributed to an increase in the proportion of stable aromatic structures and depletion of the structure of humic acids with nitrogen (the minimum ratio H : C = 1.20 and the maximum C : N = 16.2 were noted). The highest content of oxygen-containing groups was determined in the composition of humic acids of fallow soil (C : O = 0.95). According to the results of IR-Fourier spectroscopy, aromatic structures were more intensely expressed in the spectra of humic acids of the soil of a typical crop rotation and permanent barley crops.

Key words: elemental analysis, atomic ratios, humic acids, IR-spectroscopy, crop rotations, fallow, permanent sowing of crops.

УДК 631.879.3:631.41:631.415.12:631.445.4(470.57)

ВЛИЯНИЕ ДЕФЕКТА НА АГРОХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА И БУФЕРНУЮ СПОСОБНОСТЬ ЧЕРНОЗЕМА ВЫЩЕЛОЧЕННОГО ПРЕДУРАЛЬСКОЙ СТЕПНОЙ ЗОНЫ РЕСПУБЛИКИ БАШКОРТОСТАН

© 2022 г. Д. Х. Фазыльянов^{1,*}, Ф. И. Назырова¹, Г. А. Гималетдинова²¹Уфимский институт биологии УфИЦ РАН
450054 Уфа, просп. Октября, 69, Россия²Центр агрохимической службы “Башкирский”
450059 Уфа, ул. Рихарда Зорге, 19/1, Россия

*E-mail: nazyfli@mail.ru

Поступила в редакцию 13.01.2022 г.

После доработки 22.04.2022 г.

Принята к публикации 10.06.2022 г.

Изучили влияние известкового материала – дефектата свеклосахарного производства на агрохимические свойства чернозема выщелоченного и кислотно-основную буферность почвы в полевом производственном опыте. Внесение дефектата сахарного производства (в дозе 6.5 т/га) в паровое поле в чернозем выщелоченный способствовало снижению кислотности почвы и значительному увеличению буферной площади в кислотном интервале. Заметно возросло количество обменного кальция в почве и повысилась урожайность озимой пшеницы.

Ключевые слова: чернозем выщелоченный, дефектат, урожайность, агрохимические свойства почвы, буферность.

DOI: 10.31857/S0002188122090046

ВВЕДЕНИЕ

Повышение плодородия деградированных почв, в том числе черноземов выщелоченных, улучшение их физико-химических свойств, нейтрализация излишней кислотности почв остаются актуальными агрохимическими задачами при выращивании агрокультур. Преобладающими в почвенном покрове пахотных почв Башкортостана являются черноземы выщелоченные, которые занимают 2006 тыс. га (14% общей площади республики). Под сельскохозяйственные угодья занято 1723 тыс. га, в том числе под пашней – 1335, под лесом – 145 тыс. га. Им принадлежит ведущее место в почвенном покрове Предуральской степной зоны [1].

На плодородие почвы решающее влияние оказывают ее гумусное состояние и почвенно-поглощающий комплекс, которые являются определяющими в проявлении ее буферных свойств и кислотно-основного равновесия в ней. Кислотно-основную буферность почв при этом можно использовать в качестве интегрального показателя агроэкологического состояния почв. Ее параметры позволяют судить об устойчивости почвы к кислотным и щелочным воздействиям применяемых удобрений, в частности, и позволяют вычислить дозы внесения извести для нейтрализации кислотности почвы до необходи-

мого или оптимального уровня ее реакции среды [2, 3]. Одним из эффективных методов снижения кислотности почв является использование дефектата сахарного производства в качестве более усвояемого удобрения, чем молотый известняк. В отличие от известковой муки, дефектат выделяется большей площадью поверхности мелких частиц, что делает его более реакционноспособным. При его внесении в почву может быть решено сразу 2 проблемы – повышение почвенного плодородия и утилизация дефектата как отхода производства [4, 5]. Дефектат складывают в отстойниках на территории заводов, что является источником загрязнения окружающей среды пылью карбоната кальция и других химических элементов в его составе. В настоящее время на заводах установлено современное фильтрационное оборудование, позволяющее получать дефектат с высоким содержанием сухих веществ – до 80%. Кроме нейтрализации кислотности, дефектат повышает содержание питательных веществ в почве. Дефектат эффективен в почвах с гидролитической кислотностью ≥ 2.0 мг-экв/100 г почвы и превосходит по эффективности известковую муку при внесении в эквивалентном по CaO количестве. Последствие дефектата отмечено на урожайность зерновых культур и сахарной свеклы на

протяжении 10–12 лет [6]. По многим результатам исследований на черноземах выщелоченных, имеющих кислую реакцию среды, целесообразно сочетать применение минеральных удобрений с периодическим внесением дефеката [7–9]. Использование дефеката способствует уменьшению загрязнения окружающей среды за счет снижения объемов сбрасываемых отходов, более того, процесс их утилизации в виде внесения в почву в качестве известкового материала на близлежащих полях имеет более низкие энергозатраты, по сравнению с другими известьесодержащими мелiorантами. Производственный опыт в Чишминском р-не проводили в первую очередь в целях утилизации побочной продукции производства местного свеклосахарного производства.

Цель работы – изучение влияния известкования почвы дефекатом сахарного производства на фоне внесения минеральных удобрений на агрохимические свойства чернозема выщелоченного, его буферную способность в кислотном-основном интервале и продуктивность озимой пшеницы в условиях Предуральской степной зоны Республики Башкортостан.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Производственные опыты проводили в 2016–2020 гг. в Чишминском р-не на черноземе выщелоченном тяжелосуглинистом в зернопаровом севообороте: озимая пшеница–сахарная свекла–яровая пшеница–занятый пар (сидерат – горчица 30 т/га)–озимая пшеница. Образцы почв для анализа отбирали осенью 2019 г. перед внесением дефеката в паровое поле с последующим посевом озимой пшеницы сорта Новоершовская и осенью 2020 г. после уборки урожая. Варианты опыта: 1 – контроль N10P26K26 (93 кг д.в./га при посеве в рядки) + КАС-28 (карбамидно-аммиачная смесь 42 кг д.в./га в подкормку), 2 – дефекат 5 т/га + N10P26K26 (93 кг д.в./га при посеве в рядки) + КАС-28 (42 кг д.в./га в подкормку), 3 – дефекат 6.5 т/га + N10P26K26 (93 кг д.в./га при посеве в рядки) + КАС-28 (42 кг д.в./га в подкормку). Общая площадь опытного поля – 660000 м², учетной делянки – 60000 м². Повторность опыта – трехкратная. Мощность гумусового горизонта – 45–60 см. Плотность почвы – 1.14 г/см³.

Агрохимические показатели и физико-химические свойства изучали общепринятыми методами согласно руководствам по химическому анализу почв [10]: валовое содержание гумуса – по Тюрину, валовый азот – по Корнфильду, содержание фосфора и калия в почве – по Мачигину [11]. Степень подвижности калия и фосфора определяли по методу ЦИНАО, ОСТ 10–271, п. 5 “Определение легкоподвижного фосфора и ка-

лия в почве с использованием кальций-хлор вытяжки”. Для характеристики буферной способности в кислотном-основном интервале использовали метод непрерывного потенциометрического титрования (НПТ). Буферную площадь рассчитывали методом численного интегрирования по формуле трапеции [12].

Состав дефеката ОАО “Чишминский сахарный завод”: 56.8% CaCO₃, 6.2% MgO, 10% органического вещества, 0.7% N, 0.55% P₂O₅ и 0.46% K₂O. Содержание микроэлементов, мг/кг: Cu – 2.86, Co – 0.29, Mn – 31.0, Zn – 2.85, Mo – 2.90. Массовая доля влаги – 22.9%. По проверенным показателям образцы соответствовали требованиям ТУ 9112-005-00008064-95, осадок фильтрационный II класса.

Посев озимой пшеницы проводили 4 сентября 2019 г. в благоприятных условиях, температура воздуха была в пределах среднесезонной нормы, количество осадков за август было больше на 4.5% от нормы. В период весенней вегетации озимой пшеницы в 2020 г. май месяц характеризовался осадками меньше на 28.8% от нормы, температура воздуха была выше на 3.3°C. Норма высева семян в рядки составляла 170 кг/га при глубине заделки 4–5 см.

Основная характеристика агрохимических показателей почвенного покрова опытного участка до закладки опыта приведена в табл. 1. Степень подвижности фосфора и калия: P₂O₅ – 0.15, K₂O – 5.2 мг/л в 0.02 н. CaCl₂. Статистическая обработка – определение ошибки разности средних независимых выборок проводили по критерию существенности разности: $t = d/s_d$ – достоверно различающиеся величины по отношению к контролю при уровне значимости $P = 0.05$.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

При внесении в почву дефеката в дозе 6.5 т/га отмечено наиболее выраженное снижение кислотности: рН_{H₂O} – на 0.6 ед., рН_{KCl} – на 1.35 ед. (табл. 1). При этом количество обменно-поглощенного кальция повысилось на 2.5 смоль (экв)/100 г почвы. Наблюдали тенденцию к снижению гидролитической кислотности и количества Mg²⁺ в составе ППК. Таким образом, поглощающий комплекс чернозема выщелоченного (насыщенный основаниями на 93%) обстался стабильным, при этом соотношение обменного магния к количеству кальция, равное 1 : 4, не сужалось. Черноземы выщелоченные изначально характеризуются высоким содержанием гумуса и большой насыщенностью основаниями. Поэтому внесение дефеката в почву на содержание гумуса существенно не повлияло.

Таблица 1. Кислотно-основная буферность чернозема выщелоченного

Вариант	pH_{H_2O} в НТТ*	pH_{KCl}	Ca^{2+}	Mg^{2+}	$S_{кисл}$	$S_{щел}$
	ед. pH		смоль (экв)/100 г почвы		см ²	
N10P26K26 + КАС-28 (фон, контроль)	6.61	5.45	43	11	31.9	37.3
Фон + дефекат 5.0 т/га	6.71	5.75	48	9	33.9	37.7
Фон + дефекат 6.5 т/га	7.21	6.71	51	9	44.3	34.1

*НТТ – начальная точка непрерывного потенциометрического титрования почвенной суспензии.

Таблица 2. Агрохимические свойства чернозема выщелоченного при внесении дефеката (средние 3-х повторностей)

Вариант	Гумус, %		pH_{KCl} , ед. pH		H_g , ммоль (экв)/100 г почвы		N, P ₂ O ₅ , K ₂ O					
							мг/кг почвы					
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2		
N10P26K26 + КАС-28 (фон, контроль)	7.5	7.6	5.4	5.4	3.9	4.1	174	102	108	123	97	110
Фон + дефекат 5.0 т/га	7.6	7.7	5.5	6.4*	3.9	1.3	168	113	129	124	101	108
Фон + дефекат 6.5 т/га	7.8	7.8	5.3	6.8*	3.8	0.7*	175	124	127	125	115	101
HCP ₀₅				0.5		0.6		57		64		13

Примечание. В графе 1 – в начале опыта, 2 – в конце опыта.

Уменьшение кислотности почвы положительно отразилось на повышении ее общей буферной способности в кислотном интервале. Относительно контрольного варианта буферная площадь исследованной почвы в этом же варианте с внесением в почву большей дозы дефеката в кислом диапазоне увеличилась на 10, в щелочном – уменьшилась на 4 см². При внесении дефеката в почву в дозе 5 т/га буферная способность против подкисления заметно повысилась, в то время как против подщелачивания она осталась на уровне контроля.

Удобрение дефекатом не оказало существенного влияния на содержание общего гумуса в черноземе выщелоченном (табл. 2). Его среднее содержание генетически обусловлено в пределах степного Предуралья и характеризуется слабой подвижностью, хотя она и больше, чем у почв южной и северо-восточной лесостепи, в связи с различиями условий почвообразования. Почти 80% от суммы гуминовых кислот в них приходится на 2-ю фракцию, связанную с кальцием [13].

При внесении дефеката содержание фосфора оставалось стабильным. Содержание калия при внесении меньшей дозы дефеката 5.0 т/га было на уровне контрольного варианта, а при внесении дефеката в дозе 6.5 т/га его количество снизилось на 9 мг/кг (но разность средних оказалась несущественной по *t*-критерию Стьюдента при $P = 0.95$). Изменение содержания элементов питания и баланс между фосфором и калием в черноземах выщелоченных после известкования могут быть

различными в зависимости от их степени подвижности, а также степени ухудшения других параметров плодородия конкретной почвы. Уменьшение содержания калия в черноземе выщелоченном при известковании отмечали в своих опытах и другие исследователи. При этом для сохранения положительного баланса между фосфором и калием в почвах предложено при известковании вносить дополнительно более высокие дозы калийных удобрений [14–17].

Через год после внесения дефеката в почву наблюдали незначительное повышение подвижности калия (K₂O): в контроле – 4.41, в варианте с внесением дефеката 5.0 т/га – 6.64, в варианте с дозой дефеката 6.5 т/га – 5.03 мг/л в 0.02 н. CaCl₂. Количество подвижного фосфора возросло в 2 раза: 0.17, 0.44, 0.36 мг/л соответственно вариантам опыта. Именно данная группа фосфатов определяет условия питания растений, поскольку цикл их превращений в почве от времени внесения удобрений до поглощения растениями короче, чем для всех других форм фосфорных соединений [18]. В фосфатном фонде черноземов выщелоченных в регионе содержание фосфора невысокое – 2–5 мг/100 г почвы. Эти почвы преимущественно относятся к группе слабо обеспеченных подвижным фосфором. Учитывая это обстоятельство и исходя из аналитических данных подвижности фосфора можно утверждать, что внесение дефеката оправданно может способ-

Таблица 3. Содержание элементов питания, урожайность и показатели качества зерна и соломы озимой пшеницы (2020 г.)

Вариант	Зерно								Солома					
	урожайность, ц/га	сухое вещество	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	клейковина	протеин	ИДК, ед. прибора	урожайность, ц/га	сухое вещество	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	протеин
N10P26K26 + КАС-28 (фон, контроль)	59	87.6	2.06	0.28	0.71	24.7	12.9	67.2	77	92.3	0.33	0.04	1.76	2.06
Фон + дефекат 5.0 т/га	60	87.8	2.11	0.27	0.68	25.2	13.1	68.2	78	94.7	0.33	0.04	2.06	2.11
Фон + дефекат 6.5 т/га	62	88.5	2.16	0.32	0.66	25.9	13.5	68.2	80	93.8	0.45	0.05	2.23	2.52
НСР ₀₅	2								3					

ствовать увеличению количества доступных форм фосфора в почве.

По обеспеченности обменным калием до 70% площади пахотных почв отнесены в группу высоко- и среднеобеспеченных, его содержание меняется в широких пределах (7.8–17.9 мг/100 г почвы). Хотя повышение степени подвижности калия, выявленное в опыте, было статистически незначимым, его тенденция к возрастанию показала, что применение дефеката целесообразно для пополнения запасов быстроусвояемых форм калия.

Черноземы выщелоченные Предуралья характеризуются высоким содержанием общего азота в Апах – 0.40–0.60%, его запасы в слое 0–50 см составляют 18–24 т/га, а в слое 0–100 см – 27–33 т/га. До 90–95% соединений азота этих почв составляют органические формы, преобладающими среди них являются негидролизующие и трудногидролизующие соединения, содержание легкогидролизующей фракции значительно меньше, ≈15% [13]. Усиление биологических процессов мобилизации труднодоступных форм азота в этом случае является первоочередной задачей агрономелиорации. Результаты опыта показали, что содержание общего азота после известкования уменьшилось во всех вариантах опыта: в контроле – на 72, в варианте с внесением дефеката в дозе 5.0 т/га – на 55, в варианте с внесением дефеката 6.5 т/га – на 40 мг/кг. Эти изменения могли быть связаны как с вероятным усилением минерализационных процессов гумификации в почве после известкования, так и с потерей определенного количества азота в результате потребления растениями и выноса его урожаем.

Урожайность озимой пшеницы на фоне комплексных удобрений была статистически значимо больше в известкованных вариантах. При внесении дефеката в почву в дозе 5.0 т/га урожай-

ность озимой пшеницы повысилась на 1.0, в дозе 6.5 т/га – на 2.6 ц/га (табл. 3).

Содержание азота, фосфора и калия в зерне незначительно изменялось, и в вариантах опыта находилось примерно на одинаковом уровне. По индексу деформации клейковина была оценена в основном 1-й группой качества, а именно как хорошая с хорошей эластичностью в вариантах с внесением дефеката. Анализ сухого вещества соломы также подтвердил положительный эффект последствия удобрения почвы дефекатом на ее урожайность, содержание азота в ней через год после его внесения в почву.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, внесение дефеката сахарного производства в паровое поле в дозе 6.5 т/га в чернозем выщелоченный способствовало снижению кислотности, повышению его буферной способности в кислотном диапазоне и повышению урожайности озимой пшеницы. Внесение дефеката в дозе 5.0 т/га также положительно повлияло на буферную способность против подкисления, в то время как в щелочном она осталась на уровне контроля. На содержание гумуса, азота, фосфора и калия существенного влияния использование дефеката не оказало, эти показатели оставались стабильными.

Данные производственного опыта позволили сделать вывод, что использование дефеката свеклосахарного производства ООО «НЕПАЛ Чишмы» в качестве известкового мелиоранта не оказало отрицательного влияния на агрохимические и физико-химические свойства чернозема выщелоченного. Целесообразность его применения в целях утилизации очевидна, особенно на обедненных кальцием и магнием кислых почвах Пре-

дуралья как в близлежащих, так и в отдаленных полях от местонахождения этого сахарного завода.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Хазиев Ф.Х.* Почвы Республики Башкортостан и регулирование их плодородия. Уфа: Изд-во Гилем, 2007. 285 с.
2. *Надточий П.П.* Кислотно-основная буферность почвы – критерий оценки ее качественного состояния // Почвоведение. 1998. № 9. С. 1094–1102.
3. *Кираев Р.С., Хабиров И.К., Чанышев И.О., Абдуллин М.М.* Воспроизводство и оптимизация физико-химических свойств лесостепных черноземов Башкортостана. Уфа: РИО РУНМЦ Госкомнауки РБ, 2000, 236 с.
4. *Пигорев И.Я., Беседин Н.В., Недбаев В.Н., Мальшева Е.В.* Окультуривание зональных почв Черноземья отходами свеклосахарного производства // Вестн. Курск. ГСХА. 2017. № 1. С. 15–20.
5. *Кожокина А.Н.* Изменение агрохимических свойств чернозема выщелоченного под влиянием удобрений // Роль молодых ученых в решении актуальных задач АПК. Мат-лы Международ. научн.-практ. конф. молод. ученых и обучающихся, посвящ. 115-летию СПб. ГАУ. СПб., 2019. С. 12–15.
6. Известкование и применение дефеката на кислых почвах Орловской области. Орел: ВНИИЗБК, 2015. 56 с.
7. *Кожокина А.Н.* Динамика физико-химических свойств чернозема выщелоченного в звене зернопаропропашного севооборота под влиянием удобрений и известкования // Инновационные технологии и технические средства для АПК. Мат-лы Международ. научн.-практ. конф. молод. ученых СПб., 2019. С. 130–135.
8. *Козловских В.А., Кириков Н.И., Кожокина А.Н.* Кислотно-основные свойства чернозема выщелоченного при внесении удобрений // Роль молодых ученых и исследователей в решении актуальных задач АПК / Под ред. Бухтоярова Н.И., Дерканосовой Н.М., Гулевского В.А. 2016. С. 46–50; 2020. С. 44–47.
9. *Осинов А.В., Жуков А.С., де Souza Бело К.М.* Влияние дефеката на агрохимические свойства чернозема выщелоченного Западного Предкавказья // Энтузиасты аграрной науки. Сб. ст. по мат-лам Всерос. научн.-практ. конф., посвящ. 100-летию кафедры почвоведения Кубан. ГАУ им. Трубилина и 80-летию члена-корр. РАН Кудеярова В.Н. 2019. С. 321–324.
10. Агрохимические исследования почв. М.: Наука, 1975. 656 с.
11. *Аринушкина Е.Б.* Руководство по химическому анализу почв. М.: Изд-во МГУ, 1970. 91 с.
12. *Назырова Ф.И.* Влияние удобрений на буферные свойства чернозема типичного карбонатного // Агрохимия. 2002. № 2. С. 5–12.
13. *Хазиев Ф.Х., Кольцова Г.А., Рамазанов Р.Я.* Почвы Башкортостана. Т. 1. Воспроизводство плодородия: зонально-экологические аспекты. Уфа: Изд-во Гилем, 1977. 309 с.
14. *Берсенева А.О., Ломанцов А.А., Брехов П.Т.* Влияние удобрений и извести на структуру урожая озимой пшеницы // Вестн. студ. научн. общ-ва. 2017. Т. 8. № 1. С. 43–44.
15. *Мязин Н.Г., Кожокина А.Н.* Влияние удобрений на изменение содержания элементов питания в почве, продуктивность и качество корнеплодов сахарной свеклы // Вестн. Воронеж. ГАУ. 2013. № 3 (38). С. 15–21.
16. *Брехов П.Т.* Влияние удобрений и извести на урожай и качество озимой пшеницы на черноземе выщелоченном // Современные проблемы сохранения плодородия черноземов. Мат-лы Международ. научн.-практ. конф., посвящ. 170-летию В.В. Докучаева / Под ред. Бухтоярова Н.И., Дерканосовой Н.М., Гулевского В.А. 2016. С. 46–50.
17. *Берсенева А.О., Анисеева А.Ю., Брехов П.Т.* Эффективность удобрений и извести на черноземе выщелоченном в стационарном опыте // Вестн. студ. научн. общ-ва. 2019. Т. 10. № 1. С. 12–14.
18. *Глазунова Н.М.* О равновесии между фосфатами почвы и солевым раствором // Бюл. ВИУА. 1976. № 28. С. 14–20.

Effect of Defecate on Agrochemical Properties and Buffering Capacity of Leached Chernozem of the Pre-Ural Steppe Zone of the Republic of Bashkortostan

D. H. Fazylyanov^{a, #}, F. I. Nasyrova^a, and G. A. Himaletdinova^b

^aUfa Institute of Biology UfaSC RAS
prosp. October 69, Ufa 450054, Russia

^bAgrochemical Service Center “Bashkirsky”
ul. Richarda Sorge 19/1, Ufa 450059, Russia

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

The influence of calcareous material – defecate of sugar beet production on the agrochemical properties of leached chernozem and acid-base buffering of the soil in the field production experience was studied. The introduction of sugar production defecate (at a dose of 6.5 t/ha) into the steam field in leached chernozem contributed to a decrease in soil acidity and a significant increase in the buffer area in the acid range. The amount of exchangeable calcium in the soil has increased markedly and

Key words: leached chernozem, defecate, yield, agrochemical properties of soil, buffering.

УДК 631.812

ДИНАМИКА ПРОИЗВОДСТВА И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ В РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ В КОНТЕКСТЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ МИРОВОЙ ЭКОНОМИКИ

© 2022 г. В. А. Захаренко

Федеральный исследовательский центр “Немчиновка”

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

E-mail: ZWA@mosniish.ru

Поступила в редакцию 06.04.2022 г.

После доработки 08.05.2022 г.

Принята к публикации 10.06.2022 г.

Представлены результаты оценки потенциала объемов, фактических показателей производства и использования минеральных удобрений в мировом масштабе и в отдельных странах, включая ведущие страны и Россию в динамике за последние 40 лет (1977–2017 гг.). За отмеченные годы по общим показателям объемов производства или по отдельным секторам производства азотных, фосфорных, калийных минеральных удобрений Россия занимала места в пятерке ведущих стран мира (Китай, США, Индия, Индонезия). По показателям использования минеральных удобрений за учитываемые годы Россия не входила в перечень ведущих стран. На основании балансовых расчетов в период 10-ти последних анализируемых лет использование производимых минеральных удобрений в России в 2010 г. составило 33,3, в 2020 г. – 23,0%.

Ключевые слова: страны мира, Россия, США, Китай, Индия, минеральные удобрения, азотные удобрения, фосфорные удобрения, калийные удобрения, потенциал производства, фактическое производство, применение в аграрном секторе, баланс использования удобрений.

DOI: 10.31857/S0002188122090137

ВВЕДЕНИЕ

Мировые тенденции к росту производства и использования минеральных удобрений рассматривают в связи с потребностями выращивания продукции растениеводства для обеспечения возрастающего населения продуктами питания, животноводства – кормами и промышленность – растительным сырьем. Это достигается, как показано в практике мирового земледелия, при сохранении и повышении продуктивности выращиваемых сельскохозяйственных культур за оцениваемый период последних сорока лет. В мире в целом и в отдельных странах, включая Россию, за этот период происходили существенные изменения темпов развития производства и применения производимых промышленными предприятиями минеральных удобрений при существенных экономических изменениях развития аграрного сектора, в частности, в Российской Федерации при переходе от социалистической экономики к рыночной. Цель работы – исследование этих изменений в Российской Федерации в контексте показателей мировой экономики.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Основными методами исследования были методы описательной статистики [1] (группировки, определение среднего арифметического, динамики показателей потенциала производства, его реализации и использования на мировом рынке и в России, баланс показателей связи объемов производства и использования минеральных удобрений в связи с уровнями сельскохозяйственного производства).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В период после распада СССР – страны, занимавшей первое место в мире по производству минеральных удобрений, на первое место вышел Китай, а Российская Федерация заняла 5-е место с показателем 11 189 тыс. т, уступив Китаю с объемом производства 27 582, США – 26 977, Канаде – 12 495 и Индии – 9 089 тыс. т. По объемам использования минеральных удобрений в сельском хозяйстве в 1996–1997 гг. Россия занимала 13-е место с показателем 1 850 тыс. т после Испании и Австрии [2].

Таблица 1. Динамика развития мирового агропромышленного сектора [3]

Показатель	1977 г.	2007 г.	2017 г.
Численность населения, всего, млн человек	5905.0	6705.9	7631.1
в т.ч. сельскохозяйственного	3219.8	3342.8	3414
Занятость в сельском хозяйстве, семей, %	40.3	35	28.5
ВВП на душу населения, долл. США	10393	12719	15545
Энергия диеты, ккал/сут/на человека	2716	2792	2908
Уборочная площадь культур, млн га	1189.2	1262.4	1424
Площадь под биологическим земледелием, тыс. га	—	31815	69217
Постоянно орошаемая площадь, оснащенная техникой, тыс. га	279137	314660	337670
Леса, % общих земельных ресурсов	31.4	31	30.7
Использование удобрений, тыс. т			
азотных, в форме N	83407.2	96504.1	109137.2
фосфорных, в форме P ₂ O ₅	34580.9	39605.8	45451.4
калийных в форме K ₂ O	23336.7	31665	37635.8

Таблица 2. Мировые показатели использования форм действующих веществ минеральных удобрений (среднее, ежегодно за 2016–2020 гг.), тыс. т [4]

Показатель	Азот	Фосфор	Калий	Всего
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	НРК
Мощность производства	187897	61810	60457	310164
Возможные поставки	166885	50916	46666	264467
Другие виды использования	36066	6474	5674	48214
Материалы, доступные для производства удобрений	130871	44462	40993	216326
Спрос на удобрения	95287	44026	35022	174335
Потенциальный баланс	15586	40379	17970	73935

При анализе развития мирового агропромышленного комплекса (АПК) были использованы показатели развития основной аграрной сферы в связи с развитием промышленной сферы для обеспечения потребностей аграрного производства минеральными удобрениями за 40-летний период (1977–2017 гг.) (табл. 1). Суммарные показатели формирования потенциала мирового баланса минеральных удобрений для форм азота (N), фосфора (P₂O₅) и калия (K₂O) в среднем ежегодно за 5 лет (2016–2020 гг.) представлены в табл. 2.

В работе [5] представлены показатели доли мощностей производства минеральных удобрений, занимаемым Российской Федерацией в мировом объеме. Отмечено, что Россия занимает в перечне 10 передовых стран 2-е место в мире с показателями в 2017 г. 87.8, в 2018 г. — 87.2 млн т после Китая (в 2017 г. — 22.7, в 2018 г. — 31.2 млн т), опережая Канаду, США и Индию (табл. 3).

Мощности Российской Федерации по производству минеральных удобрений характеризуются полным набором питательных веществ (НРК), подобно Китаю и США, в то время как другие страны имеют мощности для производства перечня минеральных удобрений, ограниченные 1–2 питательными веществами (табл. 4).

Мировые показатели объемов использования минеральных удобрений в 2017 г. составляли 190.1 млн т действующих веществ (д.в.) при общих объемах мощностей 305.0 млн т (62.3%), в 2018 г. — соответственно 188.8 и 3010.4 млн т (60.9%) (табл. 5).

Показатели объемов мощностей производства минеральных удобрений характеризуются наибольшим ассортиментом, востребованным в мировом аграрном секторе, включающим в качестве основных форм азотных удобрений карбамид,

Таблица 3. Объем мощностей по производству удобрений (суммарно NPK) в мире (2017, 2018 гг.), млн т

Страна	2017 г.	2018 г.
Китай	87.8	87.2
РФ	28.7	31.2
Канада	27.1	28.0
США	23.0	23.5
Индия	15.0	15.0
Беларусь	8.8	8.9
КСА	7.4	7.2
Марокко	6.5	7.3
Индонезия	6.2	7.3
Германия	6.2	6.2
Прочие	88.6	88.5
Всего	305	310

аммиачную селитру и КАС, фосфорных – ДАМ и МАФ и калийных – хлористый калий (табл. 6).

В настоящее время прогнозируется рост мощностей производства азотных, фосфорных и ка-

лийных удобрений для обеспечения спроса на рынке минеральных удобрений в зависимости от объемов потребления и структуры применения питательных веществ. Динамика развития мощностей учитывает изменения торговых потоков (объемов и структуры перечней удобрений). При этом сохраняется общая тенденция к изменению структуры (объемов в тоннаже): первое место занимают производственные мощности сектора азотных удобрений, второе – фосфорных и третье – калийных. В секторе производства азотных удобрений в мире перестал играть ведущую роль Китай, но который в сегменте производства фосфорных удобрений занял первое место. Укрепил позиции в производстве фосфора Марокко. Россия в 2018 г. вошла в тройку лидеров – поставщиков азотных удобрений на мировой рынок за счет ввода новых мощностей производства карбамида и стала вторым государством-поставщиком по величине поставок фосфорных удобрений.

Прогноз роста рынка минеральных удобрений рассматривается с перспективой возможных благоприятных погодных условий и увеличения посевов культур, прежде всего, зерновых. К 2023 г.

Таблица 4. Объем мировых мощностей по производству азотных, фосфорных и калийных удобрений (2017, 2018 гг.), млн т

Страна	N		P		K	
	2017 г.	2018 г.	2017 г.	2018 г.	2017 г.	2018 г.
Китай	59.0	58.4	22.1	22.1	6.7	6.7
РФ	15.9	15.9	3.4	3.5	9.36	10.7
США	13.4	14.1	8.5	8.4	1	1
Марокко			6.5	7.4	6.48	7.3
Индия	12.8	12.7	2.2	2.2		
Тунис			2.0	2.0		
Бразилия			1.5	1.6		
Беларусь					7.7	7.9
Иордания			1.2	1.2	1.5	1.5
Мексика			0.9	0.9		
Индонезия	5.6	5.7				
Тринидад и Тобаго		4.99				
Украина	4.6	4.6				
Канада	4.3	4.4			22.4	23.3
Германия					3.6	3.5
КСА	4.3	4.3				
Иран	4	4.26				
Туркменистан					0.8	0.8
Чили					1.7	1.7
Прочие	56.0	55.6	9.1	9.2	2.4	2.5
*Всего	185.1	187.0	63.4	63.5	59.6	63.0

Таблица 5. Объем мирового использования минеральных удобрений, тыс. т

Элемент	2016 г.	2017 г.	2018 г.	2019 г.
N	107.1	106.4	106.5	107.1
P ₂ O ₅	45.4	46.3	45.3	46.0
K ₂ O	35.9	37.4	37.0	37.4
Итого	188.5	190.1	188.8	190.5

Таблица 6. Динамика мировых мощностей производства основных форм минеральных удобрений, млн т

	2019 г.	2020 г.	2021 г.	2022 г.	2023 г.
Азотные удобрения					
Карбамид	97.22	98.67	102.27	102.715	104.15
Аммиачная селитра	30.35	30.79	30.94	31.22	31.39
КАС	11.07	11.23	11.23	11.22	11.22
Фосфорные удобрения					
МАФ	14.81	14.58	14.98	14.98	14.98
ДАМ	29.19	29.19	30.20	31.20	34.11
Калийные удобрения					
Хлорид калия	58.66	60.08	60.10	61.13	63.58

прогнозируется спрос на минеральные удобрения на уровне до 203 млн т. Максимальный прогнозный показатель объема мирового рынка минеральных удобрений, с учетом развития промышленных предприятий, определяется 268 млн т д.в. Почти 80% прироста потребления может при этом приходиться на страны Латинской Америки, Южной Азии, Африки и Восточной Европы.

В отношении ценовой политики на минеральные удобрения сохраняется влияние следующих факторов: динамики цен на зерновые культуры, на аренду и использование складов для запасов урожая, изменения цен национальных валют. На первый план выходят макроэкономические тенденции, трансформирующие конкурентную среду геополитические факторы, вносящие коррективы в глобальные торговые потоки. Значительными также становятся прогрессивные тенденции в экологическом земледелии ряда стран, включающих и Россию. В развитых странах дозы внесения удобрений в пахотные земли достигли оптимума на единицу площади, и поэтому интенсификация сельского хозяйства ожидается за счет повышения эффективности применяемых удобрений, роста совместного применения макроудобрений с микроэлементами и органическими удобрениями. Это относится прежде всего к тенденциям к развитию экологического земледелия

в Китае и Индии с учетом экологических и экономических соображений.

По данным IFA, за 2018–2023 гг. объемы инвестиций в мировое производство минеральных удобрений могут достичь 110 млрд долл. США, при авансировании строительства 70 новых установок с суммарной мощностью 65 млн т в 2019–2023 гг. (табл. 6).

Также можно ожидать, что развитие мирового рынка при вводе новых мощностей будет вызывать повышение конкуренции для производства минеральных удобрений в России. Однако при этом в ближайшие годы российское производство азотных и смешанных удобрений будет сохранять устойчивые позиции (при достаточно умеренной государственной политике в области индексирования цен на газ). Развитие новых российских компаний в прогнозном периоде будет способствовать росту производства и экспортных поставок хлорида калия на мировой рынок. Ситуация на калийном рынке будет определяться производственно-сбытовой политикой мировых компаний, скоростью выхода новых рудников, а также закупочной политикой главных покупателей удобрений – Китая и Индии. В мировом контексте тенденций функционирования Российского сектора производства минеральных удобрений будет связано с развитием аграрного сектора страны (табл. 7).

При высоких показателях развития мощностей производства минеральных удобрений после распада СССР в Российской Федерации отмечен крайне низкий рост использования минеральных удобрений в отечественном аграрном секторе. Это связано с переходом страны к новой экономической формации – рыночной экономике, характеризующейся многоукладным аграрным сектором с частной собственностью на землю и с основным экономическим законом рыночной экономики – получения максимальной прибыли. При стабильном росте объемов производства минеральных удобрений в мире Россия отстает по показателям их применения от высокоразвитых стран первой десятки мира (табл. 8).

Динамика показателей баланса производства и использования минеральных удобрений с 2010 по 2020 г. была следующей: общие ресурсы с 2010 г. в объеме 17648 тыс. т увеличились к 2020 г. до 23582 тыс. т, производство удобрений – соответственно с 17889 до 24913 тыс. т, общего использования удобрений – с 17648 до 24913 тыс. т, продаж для использования на внутреннем рынке, включая аграрный сектор, – лишь с 5092 до 5794 тыс. т. По существу внутри страны в аграрном секторе из

Таблица 7. Динамика развития агропромышленного сектора Российской Федерации

Показатель	1997 г.	2007 г.	2017 г.
Население общее, млн человек	147.7	143.3	145.7
занятое в сельском хозяйстве, семей, %	39.4	37.9	36.8
ВВП на душу населения (рыночная стоимость готовых товаров и услуг, долл. США)	14051	22799	24791
Энергия диеты, ккал/день/на человека	2907	3289	3407
Площадь сельскохозяйственных угодий, % от общей площади	13.3	13.2	13.2
Уборочная площадь культур, млн га	59.3	52.2	62.5
Площадь под биологическим земледелием, тыс. га		34	1680
Орошаемая площадь, тыс. га	4990	4435	4300
Леса, % общих земельных ресурсов			
Использовано удобрений, тыс. т			
азотных	654.2	1043.8	1512.8
фосфорных	313.2	408.9	589.9
калийных	198.8	208.2	370.3

Таблица 8. Ресурсы и использование минеральных удобрений (100% питательных веществ), тыс. т

Показатель	2010 г.	2016 г.	2017 г.	2018 г.	2019 г.	2020 г.
Ресурсы	17648	20502	22906	22035	19443	25382
в т.ч. производство	17889	29539	22567	22962	23703	24913
Импорт	34	88	213	218	206	183
Имеется запасов	275	127	-126	1145	4467	-287
Использование	17648	20502	22906	22035	194443	25232
Продажа на внутреннем рынке	5092	4998	6345	5253	2925	5794
Экспорт	12557	15504	16561	16782	16518	16588

Таблица 9. Производство минеральных удобрений в АПК России

Показатель	2010 г.	2016 г.	2017 г.	2018 г.	2019 г.	2020 г.
Производство минеральных удобрений в АПК (100% питательных веществ), млн т						
всего	17.48	20.57	23.03	22.92	23.7	24.9
азотные	7.59	9.38	9.99	10.42	10.9	11.2
фосфорные	3.15	3.54	3.99	4	4.1	4.2
калийные	6.74	7.75	9.05	8.5	8.7	9.5

общего производства 17879 тыс. т в 2010 г. было использовано только 5992 тыс. т или 33.3%, а в 2020 г. — соответственно 5794 из произведенных 25232 тыс. т или 23.0%.

Производство минеральных удобрений по группам питательных веществ свидетельствует о более высоком стабильном производстве азотных удобрений и меньшем производстве фосфорных и калийных удобрений (табл. 9). Динамика внесе-

ния произведенных минеральных удобрений по группам питательных веществ в сельскохозяйственных организациях представлена в табл. 10.

Структура внесенных удобрений в зависимости от действующих веществ достаточно стабильная: на азот приходится 61, фосфор — 24 и калий — 15%. Самым востребованным минеральным удобрением остается аммиачная селитра, на которую приходится более 50% закупок. Это объяс-

Таблица 10. Динамика использования минеральных удобрений в сельскохозяйственных организациях РФ

Показатель	2010 г.	2016 г.	2017 г.	2018 г.	2019 г.	2020 г.
Внесено минеральных (100% питательных веществ), млн т						
всего	1.9	2.3	2.5	2.5	2.7	3.0
азотных	1.2	1.4	1.5	1.5	1.7	1.9
фосфорных (включая фосфорную муку)	0.4	0.5	0.6	0.6	0.6	0.7
калийных	0.3	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4
Внесено удобрений, кг д.в./га	38	49	55	56	51	60
Внесено на всей посевной площади, %	42	53	58	59	61	67

Таблица 11. Предприятия, поставляющие минеральные удобрения на внутренний рынок РФ

Сегмент азотных удобрений	МХК “ЕвроХим”, ОХК “Уралхим”, ГК “Акрон”, ПАО “Фосагро”, СДС “Азот”, “Куйбышевазот”, АО “Аммоний”, “Минудобрения” (Россошь), “Газпром нефтехим Салават” и другие (с малым производством, менее 5% от суммарного объема)
Сегмент фосфорсодержащих удобрений	“ФосАгро” (выпуск >50%), МКХ “Евро”, “УРАЛХИМ”
Сегмент выпуска удобрений с 3-мя питательными элементами	Предприятия группы “Фосагро” (≈38%), “Акрон” (<30%), “Минудобрения” (Россошь), “Еврохим”, “УРАЛХИМ” и другие с малым производством

нятся ее дешевизной. Однако растет доля удобрений с содержанием 3-х элементов (NPK), жидких и фосфорных комплексных. Наибольшее количество калия в долевого соотношении питательных веществ приходится на потребление картофелем и сахарной свеклой, для остальных культур – азота.

Рынок предприятий, производящих и обеспечивающих сельскохозяйственные предприятия и хозяйства удобрениями в России, представлен в табл. 11. Важно учесть, что позиции российских компаний усиливаются за счет присутствия зарубежного капитала, в частности: “УРАЛХИМ” и “Уралкалий” подписали вхождение в акционерный капитал бразильской компании “Fertilizantes Heringer”, обанкротившейся в 2019 г.; “УРАЛХИМ” сохраняет интерес к инвестициям в производство в Зимбабве. Также компания намерена создать с “Grupo Opaia SA” совместное производство аммиака и карбамида мощностью 12 млн т на территории Анголы; “ФосАгро” может принять участие в освоении второго по величине в ЮАР месторождения фосфатов “Elandsfontein”.

Ориентиры развития промышленного производства минеральных удобрений заложены в “Стратегии развития химического и нефтехимического комплекса на период до 2030 года” с внесением удобрений в Российской Федерации с 39.0 кг д.в./га в 2012 г. до 50.5 кг/га – 2030 г. и до 55.7 кг д.в./га в 2035 г. В числе приоритетов обес-

печения аграрного сектора России удобрениями определяется производство зерновых и зернобобовых, масличных культур, овощей открытого грунта, развития виноградных насаждений, производства продукции плодово-ягодных насаждений. При этом самые значимые изменения ожидаются на рынке минеральных удобрений в производстве и использовании хлорида калия за счет роста производства на новом калийном руднике “ЕвроХим” и проекта “Уралкалия” и “Акрона”, до 6 млн т в физическом весе. В этот период возможен также рост производства карбамида более чем на 3 млн т, аммиачной селитры – на 1.8 млн т. На предприятии “ФосАгро” возможен рост мощностей производства сложных удобрений на 1 млн т.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, Российская Федерация за годы экономических реформ аграрного сектора существенно повысила потенциал производства и реализации в аграрном секторе минеральных удобрений, занимая ведущие места в приоритетной пятерке стран-производителей минеральных удобрений в мире. При этом анализ баланса прихода и расхода произведенных удобрений в аграрном секторе Российской Федерации показал, что из производимых в стране минеральных удобрений значительная часть поставляется для реали-

зации на мировой рынок и значительно в меньших объемах – на внутренний рынок для использования в отечественном аграрном секторе. При этом показатели урожайности сельскохозяйственных культур при недостаточном использовании удобрений для восстановления вынесенных урожаем объемов питательных веществ из почвы вызывают опасения невосполнимых потерь почвенного плодородия.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Захаренко В.А., Сударииков Г.В., Хардииков Ю.С., Захаренко А.В. Оптимизация фитосанитарного состояния сельскохозяйственных угодий с использованием программ для ПЭВМ. Вып. 4. М., 2001. 80 с.
2. Захаренко В.А. Мировые тенденции производства и использования минеральных удобрений // Агрохимия. 2000. № 3. С. 14–15.
3. FAO statistics. World food and agriculture. Statistical pocketbook. Rome, 2019. 254 p.
4. Mineral Fertilizer Use and Environment. World Fertilizer trends and outlook to 2020. IFA Production fertilizer in 2020. 27 p.
5. Волкова А.В. Рынок минеральных удобрений. НИУ ВШЭ. М.: Центр развития, 2019. 52 с.

Dynamics of Production and Use of Mineral Fertilizers in the Russian Federation in the Context of Global Economic Indicators

V. A. Zakharenko

Federal Research Center "Nemchinovka"

ul. Agrochemikov 6, Moscow region, Odintsovo district, p. Novoivanovskoye 143026, Russia

E-mail: ZWA@mosniish.ru

The results of the assessment of the potential of volumes, actual indicators of production and use of mineral fertilizers on a global scale and in individual countries, including leading countries and Russia in dynamics over the past 40 years (1977–2017). Over the years, Russia has occupied the places in terms of total production volumes or in individual sectors of production of nitrogen, phosphorus, potassium mineral fertilizers. In the top five countries of the world (China, USA, India, Indonesia). According to the indicators of the use of mineral fertilizers for the years under consideration, Russia was not included in the list of leading countries. Based on balance sheet calculations during the last 10 analyzed years, the use of produced mineral fertilizers in Russia in 2010 amounted to 33.3, in 2020–23.0%.

Key words: countries of the world, Russia, USA, China, India, mineral fertilizers, nitrogen fertilizers, phosphorus fertilizers, potash fertilizers, production potential, actual production, application in the agricultural sector, balance of fertilizer use.

УДК 631.559:631.8

ОЦЕНКА ВЕЛИЧИНЫ ПРИБАВКИ УРОЖАЯ ПОЛЕВЫХ КУЛЬТУР ПО ИНДЕКСУ ЭФФЕКТИВНОСТИ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ

© 2022 г. С. А. Шафран

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

E-mail: shafran38@mail.ru

Поступила в редакцию 11.04.2022 г.

После доработки 07.05.2022 г.

Принята к публикации 10.06.2022 г.

Изложен новый подход к оценке эффективности применения минеральных удобрений под зерновые культуры в административных районах и субъектах федерации на основе комплекса факторов, влияющих на их эффективность. Это типы почв и их агрохимические свойства, структура посевных площадей зерновых культур и их отзывчивость на минеральные удобрения. Таким показателем может быть индекс эффективности удобрений, который представляет собой относительную величину и включает в себя перечисленные факторы. Результаты исследований показали, что влияние типа (подтипа) почв, их агрохимические свойства и географическое положение оказали большое воздействие на величину индекса эффективности удобрений. Индекс эффективности азотных удобрений понижался при продвижении с севера на юг и снижении агрохимической окультуренности почв. Эффективность фосфорных удобрений уменьшалась по мере увеличения содержания подвижного фосфора в почвах, что нашло отражение в величине индекса эффективности. Действие калийных удобрений зависело в основном от степени обеспеченности почв подвижным калием, и соответственно изменялся индекс их эффективности. Апробация индексов эффективности минеральных удобрений в субъектах федерации дала обнадеживающие результаты.

Ключевые слова: тип (подтип) почв, агрохимические свойства, эффективность удобрений, зерновые культуры, индекс эффективности удобрений.

DOI: 10.31857/S0002188122090101

ВВЕДЕНИЕ

Многочисленными полевыми опытами НИИ и агрохимической службы показано, что действие минеральных удобрений на урожайность полевых культур зависит от многих факторов, наиболее важными среди них являются почвенно-климатические условия. Например, эффективность азотных удобрений понижается в направлении с севера на юг. На дерново-подзолистых почвах прибавка урожая озимой пшеницы от N60 составляла 8.1 ц/га, а на каштановых – 2.9 ц/га. Более детальное изучение факторов, влияющих на эффективность азота, свидетельствуют о том, что внутри каждой почвенно-климатической зоны его действие также неодинаково и определяется агрохимическими свойствами почв.

В последние годы во ВНИИА им. Д.Н. Прянишникова разработано несколько нормативно-справочных документов, в которых подробно представлены данные о влиянии агрохимических свойств основных типов почв страны на эффек-

тивность применения минеральных удобрений под зерновые культуры, картофель, лен-долгунец и сахарную свеклу. На основе данных нормативов разработан метод определения доз питательных веществ в расчете на получение запланированного урожая при разработке систем удобрения в севооборотах и ежегодного проектирования их в полях, исходя из агрохимических свойств почв и экономических возможностей хозяйства [1]. Использование этого метода дает возможность проектировать применение удобрений с оценкой их экономического эффекта и составить соответствующий прогноз в зависимости от цен на удобрения и сельскохозяйственную продукцию.

Наряду с этим, в деле рационального использования минеральных удобрений немаловажную роль играют управленческие решения на различных уровнях руководства, начиная с административных районов и заканчивая страной в целом. Сюда относятся регулировка цен на удобрения и сельскохозяйственную продукцию, дотации, льго-

ты, кредиты и т.п. Для того чтобы соответствующие учреждения могли более грамотно выполнять данную работу, нужна более совершенная научно обоснованная информационная база. Подобные материалы также важны для предприятий, которые выпускают минеральные удобрения, чтобы лучше сориентироваться, куда поставлять свою продукцию. В настоящее время такой информацией они не располагают.

В связи с этим, в наших исследованиях была поставлена цель – разработать интегральный показатель оценки эффективности минеральных удобрений на зерновых культурах в зависимости от комплекса факторов, включая почвенные разновидности, агрохимическую характеристику пахотных почв, структуру посевных площадей зерновых культур и нормативную эффективность удобрений.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Научной основой для разработки интегрального показателя, характеризующего эффективность применения минеральных удобрений под зерновые культуры, послужили “Региональные нормативы окупаемости минеральных удобрений прибавкой урожая зерновых культур” [1]. В этих нормативах представлены данные, которые отражают влияние комплекса агрохимических свойств основных почвенных разновидностей страны на прибавку урожайности от минеральных удобрений.

В связи с тем, что виды минеральных удобрений оказывают далеко не равнозначное влияние на прирост урожая от их внесения под зерновые культуры, разработку индексов эффективности проводили отдельно для азотных, фосфорных и калийных удобрений.

Зерновые культуры, возделываемые в нашей стране, в силу своих биологических особенностей по-разному отзываются на минеральные удобрения и поэтому при разработке индексов эффективности это было учтено при расчетах. Для этого использовали нормативные данные, отражающие величину прибавки урожая по типам (подтипам) почв при внесении различных доз минеральных удобрений под озимую пшеницу, озимую рожь, яровую пшеницу, яровой ячмень и овес. Из нормативных данных следует, что наибольшую прибавку среди зерновых культур можно получить на озимой пшенице, возделываемой на дерново-подзолистых почвах. Это относится к азотным, фосфорным и калийным удобрениям, но при этом влияние агрохимических свойств почв на прибавку урожая было различным. Эффективность азота возрастала при снижении степени

кислотности и увеличении содержания в почве подвижных форм фосфора и калия, а фосфорных и калийных удобрений – снижалась по мере возрастания степени обеспеченности почв P_2O_5 и K_2O . Подобная закономерность отмечена для всех изученных почвенных разновидностей.

Для установления “нормативного” индекса эффективности за 100 баллов принимали прибавку урожая озимой пшеницы на дерново-подзолистых почвах. Затем прибавки урожая всех изученных видов зерновых культур сопоставляли во всех вариантах сочетаний агрохимических свойств с наибольшей прибавкой. Например, самая высокая прибавка урожая озимой пшеницы при внесении N60 составляла 11.4 ц/га, на более кислой почве и низкой степени обеспеченности подвижными формами фосфора и калия – только 5.5 ц/га. Путем деления этой величины на 5.5 и умножении ее на 100 получаем 48. Следовательно, индекс эффективности азотных удобрений, внесенных под озимую пшеницу, равен полученной величине. Аналогично устанавливали индексы эффективности фосфорных и калийных удобрений.

Рассчитав подобным образом индексы эффективности остальных зерновых культур, определяли средневзвешенный показатель для всех культур изученного объекта по доле каждой из них в структуре посевных площадей.

В связи с тем, что содержание минерального азота в почве является крайне нестабильным показателем, при агрохимическом обследовании почв его определять с периодичностью 5–10 лет не имеет смысла, и поэтому в расчетах данных показатель не учитывали.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты исследования показали, что агрохимические свойства почв оказывали весьма значительное влияние на эффективность применения азотных удобрений под зерновые культуры. Прибавка урожая изученных культур при внесении одной и той же дозы азота варьировала в широких пределах. При переходе почвы из группы повышенной степени обеспеченности подвижными формами фосфора и калия в низкую прибавка урожая озимой пшеницы снижалась в 1.7 раза, озимой ржи и яровой пшеницы в – 2.2, ячменя – в 1.5 и овса – в 1.3 раза (табл. 1). Абсолютные прибавки урожая зерновых культур также существенно отличалась друг от друга. Прирост урожая озимой пшеницы в 2 раза превосходил овес при повышенной степени обеспеченности почвы P_2O_5 и K_2O , тогда при низком содержании данных элементов питания – только в 1.5 раза.

Таблица 1. Влияние агрохимических свойств дерново-подзолистых почв на прибавку урожая зерновых культур от внесения N60, ц/га

Содержание в почве, мг/кг		Озимая пшеница	Озимая рожь	Яровая пшеница	Яровой ячмень	Овес
P ₂ O ₅	K ₂ O					
>100	>120	11.4	7.1	7.5	9.2	5.8
	81–120	10.9	6.5	7.2	9.1	5.6
	≤80	9.6	5.8	6.3	8.0	5.5
51–100	>120	11.2	6.2	5.9	9.3	5.9
	81–120	10.7	5.5	5.6	9.2	5.7
	≤80	9.3	4.8	4.7	8.1	5.6
≤50	>120	8.6	4.7	4.7	7.3	4.8
	81–120	8.1	4.0	4.4	7.2	4.6
	≤80	6.8	3.3	3.5	6.1	4.5

Следовательно, овес в меньшей степени реагирует на агрохимическое окультурирование почв по сравнению с озимой пшеницей.

Используя приведенные данные, был проведен расчет индексов эффективности азотных удобрений при их внесении в дозе 60 кг/га под изученные зерновые культуры (табл. 2). Поскольку наибольшая прибавка урожая зерна получена при повышенном содержании подвижных форм фосфора и калия, ее приняли за 100, а остальные прибавки урожая сопоставили с этой величиной. Оказалось, что индекс эффективности азотных удобрений заметно снижался по мере снижения содержания P₂O₅ и K₂O в почвах. Это касалось всех без исключения культур. Для озимой пшеницы он уменьшился на 40%, озимой ржи и яровой пшеницы – в 2 раза, ячменя и овса – в 1.3 раза. Между культурами отмечены также значительные различия. Самый низкий индекс эффективности оказался у овса, который в 2 раза был меньше по сравнению с озимой пшеницей при повышенном содержании P₂O₅ и K₂O и в 1.5 раза при низкой степени обеспеченности почв этими элементами питания. Из рассмотренного материала можно сделать вывод, что индекс эффективности азотных удобрений зависит от агрохимических свойств почв и отзывчивости зерновых культур на внесение азотных удобрений.

Немаловажное значение в решении поставленной задачи имеет изучение влияния типов и подтипов почв на эффективность применения азотных удобрений под ведущие зерновые культуры. Результаты обобщения обширного экспериментального материала позволило ответить на ряд вопросов. Опыты, проведенные с озимой пшеницей на 7-ми почвенных разновидностях, дали определенные представления об эффектив-

ности азотных удобрений в основных зонах ее возделывания.

Результаты обобщения полевых опытов свидетельствуют о том, что почвенные разновидности оказывали большое влияние на величину прибавки урожая озимой пшеницы от внесения одной и той же дозы азотных удобрений. Эффективность азотных удобрений снижалась при продвижении с севера на юг, что соответствовало ранее установленным закономерностям. В то же время, внутри каждой изученной почвенной разновидности отчетливо отмечено влияние агрохимических свойств почв на величину прибавки урожая озимой пшеницы при внесении азотных удобрений. Наиболее высокая прибавка урожая получена на дерново-подзолистых почвах, далее идут серые лесные, черноземы выщелоченные, типичные, обыкновенные, карбонатные и каштановые почвы. Для всех рассмотренных почвенных разновидностей агрохимические свойства играли заметную роль в эффективности азотных удобрений (табл. 3). При этом с продвижением с севера на юг возрастал диапазон изменений величины прибавки урожая. На дерново-подзолистых почвах повышение агрохимического окультурирования от низкой до повышенной способствовало увеличению прибавки урожая озимой пшеницы в 1.7 раза, на серый лесных – в 1.8, на черноземах выщелоченных и обыкновенных и каштановых почвах – в 2.0 раза.

В соответствии с этим изменялся индекс эффективности азотных удобрений, который уменьшался по мере снижения содержания подвижных форм фосфора и калия в почвах и продвижения исследований в южном направлении (табл. 4). Эффективность азотных удобрений в большей степени уменьшалась на почвах, которые характеризовались худшими агрохимически-

Таблица 2. Индексы эффективности азотных удобрений на зерновых культурах, возделываемых на дерново-подзолистых почвах

Содержание в почве, мг/кг		Озимая пшеница	Озимая рожь	Яровая пшеница	Яровой ячмень	Овес
P ₂ O ₅	K ₂ O					
>100	>120	100	62	66	81	51
	81–120	96	57	63	80	49
	≤80	84	51	55	70	48
51–100	>120	98	54	52	82	52
	81–120	94	48	49	81	50
	≤80	82	42	41	71	49
≤50	>120	75	41	41	64	42
	81–120	71	35	39	63	40
	≤80	60	29	31	54	39

Таблица 3. Влияние типа почв на прибавку урожая озимой пшеницы от внесения N60, ц/га

Содержание в почве, мг/кг		Дерново-подзолистые почвы	Серые лесные почвы	Черноземы				Каштановые почвы
P ₂ O ₅	K ₂ O			выщелоченные	типичные	обыкновенные	карбонатные	
Выше среднего	Выше среднего	11.4	7.5	6.5	5.2	4.2	2.2	2.2
	Среднее	10.9	7.0	6.0	5.2	3.8	2.2	2.2
	Низкое	9.6	6.1	5.4	4.8	3.3	1.9	1.9
Среднее	Выше среднего	11.2	7.2	5.8	5.0	3.8	2.0	2.0
	Среднее	10.7	6.7	5.3	5.0	3.4	2.0	2.0
	Низкое	9.3	5.8	4.7	4.5	2.9	1.8	1.8
Низкое	Выше среднего	8.6	5.5	4.3	3.8	3.0	1.6	1.1
	Среднее	8.1	5.0	3.8	3.8	2.6	1.5	1.1
	Низкое	6.8	4.1	3.2	3.4	2.1	1.3	0.9

ми свойствами. На почвах с повышенным содержанием P₂O₅ и K₂O индекс эффективности азотных удобрений понизился в 5 раз, на почвах с низкой степенью обеспеченности этими элементами питания – почти в 8 раз.

В отличие от азотных удобрений на эффективность применения фосфорных удобрений наибольшее влияние оказывало содержание подвижного фосфора в почвах. Изменение степени их обеспеченности от низкого до высокого уровня способствовало увеличению урожайности в 2 с лишним раза. Подобная закономерность отмечена для всех без исключения почв и касалась всех зерновых культур, по которым было проведено обобщение.

Анализ полученных данных показал, что несмотря на различную урожайность зерновых, полученную на разных типах (подтипах) почв, их ге-

нетические свойства оказывали гораздо меньшее воздействие на продуктивность по сравнению с содержанием подвижного фосфора. Аналогичная закономерность проявилась также при оценке эффективности фосфорных удобрений, вносимых под зерновые культуры, но в обратной последовательности. Внесение 45 кг P₂O₅/га на дерново-подзолистых почвах с низким содержанием подвижного фосфора обеспечивало получение прибавки урожая озимой пшеницы в 6.1 ц/га, озимой ржи – 5.0, яровой пшеницы – 4.2 и ярового ячменя – 5.3 ц/га, а с высоким – 0.4, 0.3, 0.2 и 0.4 ц/га соответственно (табл. 5). Согласно представленным данным, изменялся индекс эффективности фосфорных удобрений (табл. 6), т.е. с увеличением степени обеспеченности почвы подвижным фосфором снижался индекс эффективности фосфорных удобрений.

Таблица 4. Индексы эффективности азотных удобрений на озимой пшенице на различных почвах

Содержание в почве, мг/кг		Дерново-подзолистые почвы	Серые лесные почвы	Черноземы				Каштановые почвы
P ₂ O ₅	K ₂ O			выщелоченные	типичные	обыкновенные	карбонатные	
Выше среднего	Выше среднего	100	66	57	46	37	19	19
	Среднее	96	61	52	46	33	19	19
	Низкое	84	54	47	42	20	17	17
Среднее	Выше среднего	98	62	50	43	32	17	17
	Среднее	94	58	45	43	30	17	17
	Низкое	82	50	40	38	25	16	15
Низкое	Выше среднего	75	46	36	32	27	13	9
	Среднее	71	42	31	32	22	13	9
	Низкое	60	34	26	28	17	11	8

Таблица 5. Влияние содержания подвижного фосфора в дерново-подзолистых почвах на прибавку урожая зерновых культур от внесения фосфорных удобрений в дозе P45, ц/га

Содержание подвижного фосфора	Озимая пшеница	Озимая рожь	Яровая пшеница	Яровой ячмень
Низкое	6.1	5.0	4.2	5.3
Среднее	2.1	1.7	1.4	1.8
Повышенное	0.8	0.7	0.6	0.7
Высокое	0.4	0.3	0.2	0.4

Таблица 6. Индексы эффективности фосфорных удобрений на зерновых культурах, возделываемых на дерново-подзолистых почвах

Содержание подвижного фосфора	Озимая пшеница	Озимая рожь	Яровая пшеница	Яровой ячмень
Низкое	100	80	70	86
Среднее	35	27	24	31
Повышенное	14	11	9	13
Высокое	6	5	4	6

Географические закономерности снижения эффективности фосфорных удобрений при продвижении с севера на юг, как это было установлено по отношению к азотным удобрениям, отчетливо не проявились. Представленные данные свидетельствовали о том, что разница в прибавке урожая между почвами была невелика. Наиболее заметна она на почвах с низким содержанием подвижного фосфора. Например, на дерново-подзолистых почвах прибавка урожая озимой пшеницы составила 6.1 ц/га, на каштановых – 3.7, а при высокой степени обеспеченности – 0.4 и 1.9 ц/га соответственно (табл. 7). Наибольшая

разница в прибавке урожая озимой пшеницы от фосфорных удобрений между дерново-подзолистыми и каштановыми почвами составила 2.4 ц/га. Однако эта разница была в несколько раз меньше по сравнению с теми, которые характеризовали прибавку урожая на почвах с высоким и низким содержанием P₂O₅.

Определение индексов эффективности фосфорных удобрений показало их изменчивость в зависимости от содержания подвижного фосфора в почвах и почвенных разновидностях. Наибольшее влияние на данный показатель оказывала

Таблица 7. Влияние типа почв на прибавку урожая озимой пшеницы от внесения фосфорных удобрений в дозе P45, ц/га

Содержание подвижного фосфора	Дерново-подзолистые почвы	Серые лесные почвы	Черноземы				Каштановые почвы
			выщелоченные	типичные и обыкновенные	южные	карбонатные	
Низкое	6.1	5.0	4.2	3.0	4.8	4.4	3.7
Среднее	2.1	1.8	1.4	1.0	1.6	1.5	2.8
Повышенное	0.8	0.7	0.6	0.4	0.6	0.6	2.1
Высокое	0.4	0.4	0.3	0.1	0.2	0.3	1.9

Таблица 8. Индексы эффективности фосфорных удобрений на озимой пшенице на различных почвах

Содержание подвижного фосфора	Дерново-подзолистые почвы	Серые лесные почвы	Черноземы				Каштановые почвы
			выщелоченные	типичные и обыкновенные	южные	карбонатные	
Низкое	100	82	67	50	79	73	63
Среднее	35	29	22	17	26	25	47
Повышенное	14	12	9	6	9	10	35
Высокое	6	7	4	3	4	4	31

степень обеспеченности почв подвижными фосфатами. Повышение содержания P_2O_5 от низкого до высокого снижало индекс эффективности в 10 и более раз, исключая каштановые почвы, где разница составила только двукратную величину (табл. 8). Больших различий в величине индексов эффективности фосфорных удобрений между типами почв не выявлено за исключением черноземов типичных и обыкновенных, в которых разница с дерново-подзолистыми почвами составила 50%.

По данным Географической сети опытов с удобрениями и агрохимической службы, эффективность калийных удобрений понижается с севера на юг, что объясняется, с одной стороны, различием в содержании подвижного калия в почвах, с другой, – их водным режимом. Действие калийных удобрений на увеличение урожая зерновых культур проявляется на почвах с низким содержанием подвижного калия. На дерново-подзолистых почвах повышение содержания K_2O приводило к снижению прибавки урожая зерновых культур от калийных удобрений (табл. 9). Внесение K45 обеспечивало получение прироста урожая при низком содержании калия от 1.7 до 4.4, а при повышенном – от 0.4 до 0.6 ц/га. Среди изученных культур наибольшей отзывчивостью на калийные удобрения выделялся ячмень яровой, который считается более требовательной культурой к условиям калийного питания, т.к. у него более короткий период потребления питательных веществ по сравнению с другими зерно-

выми культурами. Индексы эффективности калийных удобрений имели большие различия между культурами, среди которых наиболее высоким он оказался у ячменя ярового (табл. 10).

Аналогичная закономерность влияния содержания подвижного калия на эффективность калийных удобрений прослежена на других типах почв. По мере увеличения обеспеченности почв калием снижалась прибавка урожая озимой пшеницы от калийных удобрений не только на дерново-подзолистых, но и на серых лесных почвах, черноземах выщелоченных и обыкновенных. Все это нашло отражение в определении индексов эффективности калийных удобрений.

Согласно полученным данным, наиболее заметной разница в величине индексов эффективности калийных удобрений оказалась на дерново-подзолистых почвах. На черноземах отсутствовали данные полевых опытов, проведенных на почвах с низким содержанием K_2O . В связи с этим, о влиянии их обеспеченности подвижным калием пришлось судить только по средней и повышенной группам. Тем не менее, различия оказались достаточно убедительными.

Таким образом, полученные данные позволяют судить об эффективности минеральных удобрений в зависимости от структуры посевных площадей, удельного веса почвенных разновидностей и агрохимических свойств почв каждого объекта, взятого для исследования. Апробацию

Таблица 9. Эффективность применения калийных удобрений под зерновые культуры на дерново-подзолистых почвах в дозе K45

Содержание подвижного калия	Озимая пшеница	Озимая рожь	Яровая пшеница	Яровой ячмень	Овес
Прибавка урожая, ц/га					
Низкое	3.0	3.3	1.7	4.4	3.3
Среднее	1.0	1.1	0.9	1.5	1.1
Повышенное	0.4	0.5	0.4	0.6	0.5
Индексы эффективности					
Низкое	100	106	63	145	110
Среднее	36	36	27	48	33
Повышенное	15	15	15	21	14

Таблица 10. Эффективность применения калийных удобрений на разных почвах в дозе K45

Содержание подвижного калия	Дерново-подзолистые	Серые лесные	Черноземы выщелоченные	Черноземы обыкновенные
Прибавка урожая, ц/га				
Низкое	3.0	2.7	—	—
Среднее	1.0	0.9	1.4	1.3
Повышенное	0.4	0.4	0.6	0.4
Индексы эффективности				
Низкое	100	90	—	—
Среднее	33	30	47	43
Повышенное	13	13	20	13

метода определения индексов эффективности было решено провести на субъектах федерации Нечерноземной зоны, которые отличаются по комплексу факторов, влияющих на урожайность зерновых культур. Для этого использовали данные агрохимической характеристики пахотных почв по состоянию на 1 января 2021 г. и сведения о структуре посевных площадей, которая сложилась за последние 5 лет. Результаты исследования приведены в табл. 11, из которой следует, что индексы эффективности минеральных удобрений между регионами значительно отличались друг от друга. Показатели для азотных удобрений изменялись от 33 (Свердловская обл.) до 86 (Калининградская обл.). Такая большая разница объясняется с одной стороны лучшей степенью обеспеченности почв подвижными формами фосфора и калия, с другой — наличием в структуре посевных площадей зерновых культур яровой пшеницы, которая менее отзывчива на внесение азотных удобрений по сравнению с озимой. Достаточно высокий индекс эффективности азотных удобрений отмечен в Московской, Ленинградской, Псковской и Вологодской обл., в которых содержание подвижного фосфора относилось к высо-

кой группе обеспеченности, а подвижного калия — к повышенной. Кроме того, на эффективность азотных удобрений оказывали влияние типы почв. В тех регионах, где значительный удельный вес в пахотных почвах занимают выщелоченные черноземы (Орловская, Рязанская, Тульская, Свердловская обл., Республика Мордовия), индексы эффективности не превышали 50.

Средневзвешенное содержание подвижного фосфора варьировало в больших пределах, в 8-ми регионах оно относилось к высокой степени обеспеченности, в 4-х — к средней и остальные — к повышенной, что нашло отражение в величине индексов эффективности фосфорных удобрений. При среднем содержании P_2O_5 в почвах он составлял >20 , при высоком — только 2–6, но это не означает, что данные регионы не нуждаются во внесении фосфорсодержащих удобрений, т.к. несмотря на высокое среднее содержание подвижного фосфора в этих регионах имеется немалое количество площадей с недостаточной обеспеченностью P_2O_5 . Например, в Московской обл. насчитывается 12% таких почв, в Брянской — 23, в Республике Марий-Эл — 31% и т.п.

Таблица 11. Индексы эффективности минеральных удобрений на зерновых культурах по состоянию на 01.01.2021 г.

Область, республика, край	Содержание в почве, мг/кг		Азотные удобрения	Фосфорные удобрения	Калийные удобрения
	P ₂ O ₅	K ₂ O			
Брянская	173	94	55	5	39
Владимирская	141	97	53	9	34
Ивановская	95	86	61	21	37
Калужская	104	90	53	9	36
Костромская	119	103	58	6	34
Московская	199	141	71	6	20
Орловская	101	136	45	10	27
Рязанская	99	108	37	25	23
Смоленская	125	93	65	9	35
Тверская	153	93	57	2	34
Тульская	121	122	43	4	22
Ярославская	127	94	63	7	36
Вологодская	140	113	72	10	43
Калининградская	123	178	86	12	15
Ленинградская	207	150	79	5	19
Новгородская	185	112	65	4	31
Псковская	161	111	79	5	36
Марий Эл	164	103	69	5	37
Мордовия	123	151	41	10	21
Чувашская	163	126	51	5	19
Кировская	112	130	64	9	17
Нижегородская	120	129	49	10	21
Пермский	91	124	54	20	16
Свердловская	101	138	33	8	13
Удмуртская	93	—	54	24	39

Эффективность применения калийных удобрений под зерновые культуры так же, как и фосфорных, находится в большой зависимости от содержания подвижного калия в почвах, что хорошо прослежено для представленных в таблице данных. Индекс эффективности калийных удобрений наиболее высоким оказался в Брянской, Владимирской, Ивановской, Калужской, Костромской, Смоленской, Тверской, Вологодской, Псковской обл. и Республике Марий-Эл, в которых содержание K₂O в пахотных почвах находилось в пределах средней группы обеспеченности и у которых в структуре пашни значительный удельный вес занимали песчаные и супесчаные почвы (Брянская, Владимирская, Ивановская, Костромская, Тверская, Псковская, Вологодская обл.). Более низкие индексы эффективности зафиксированы в регионах, где содержание подвижного калия находилось на более высоком уровне — это Московская, Калининградская, Ленинградская, Кировская, Нижегородская обл.

Регионы, в которых имеются черноземы выщелоченные, также отличались более низкими индексами эффективности калийных удобрений. Сюда можно отнести Орловскую, Рязанскую, Тульскую, Кировскую, Нижегородскую и Свердловскую обл., Пермский край, Республики Мордовия и Чувашия.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты исследования показали, что агрохимические свойства почв оказывали весьма значительное влияние на эффективность применения минеральных удобрений под зерновые культуры.

Наибольшая прибавка урожая от внесения азотных удобрений получена при повышенном и высоком содержании подвижных форм фосфора и калия на дерново-подзолистых почвах, которая составила 11.4 ц/га.

Индекс эффективности азотных снижался при снижении содержания P_2O_5 и K_2O в почвах: озимой пшеницы – на 40%, озимой ржи и яровой пшеницы – в 2 раза, ячменя и овса – в 1.3 раза.

Среди почвенных разновидностей наиболее высокие прибавки урожая от азотных удобрений получены на дерново-подзолистых почвах. При продвижении с севера на юг снижался индекс эффективности азотных удобрений независимо от содержания P_2O_5 и K_2O в почвах.

На эффективность фосфорных удобрений наибольшее влияние оказывало содержание подвижного фосфора в почвах. Генетические свойства почв оказывали меньшее воздействие на урожай зерновых культур по сравнению с содержанием подвижного фосфора. Прибавка урожая озимой пшеницы при низком содержании подвижного фосфора составляла 6.1 ц/га, озимой ржи – 5.0, яровой пшеницы – 4.2, ярового ячменя – 5.3 ц/га, с высоким – 0.4, 0.3, 0.2 и 0.4 ц/га соответственно. Аналогично изменялся и индекс эффективности фосфорных удобрений – с увеличением степени обеспеченности почв подвижным фосфором снижался индекс эффективности фосфорных удобрений.

Наибольшее действие калийных удобрений проявлялось на почвах с низким содержанием подвижного калия. При увеличении содержания подвижного калия в почвах снижалось действие калийных удобрений. Индексы эффективности при этом снижались в 6–7 раз и составляли между культурами 15–21, между типами почв 13–20 раз.

Апробация индексов эффективности минеральных удобрений в регионах Нечерноземной зоны показала, что полученные показатели в значительной степени различались между изученными объектами и в значительной мере отображали различия по содержанию подвижных форм фосфора и калия в почвах, по почвенному покрову и структуре посевных площадей зерновых культур. Наибольшей эффективностью азотных удобрений выделялись Московская, Ленинградская, Калининградская, Вологодская и Псковская обл., фосфорных – Ивановская, Рязанская обл., Пермский край и Удмуртская Республика, калийных – Брянская, Владимирская, Ивановская, Калужская, Костромская, Смоленская, Тверская, Псковская обл. и Республика Марий-Эл.

Таким образом, для оценки эффективности минеральных удобрений можно успешно использовать показатель – индекс эффективности удобрений, который включает в себя комплекс факторов, влияющих на действие удобрений. Апробация этого показателя на субъектах федерации Нечерноземной зоны оказалась достаточно обнадеживающей, и его можно использовать для принятия управленческих решений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Региональные нормативы окупаемости минеральных удобрений прибавкой урожая зерновых культур. М.: ВНИИА, 2016. 115 с.

Estimation of the Increase in the Yield of Field Crops by the Efficiency Index of Mineral Fertilizers

S. A. Shafran

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

E-mail: shafran38@mail.ru

A new approach to assessing the effectiveness of the use of mineral fertilizers for grain crops in administrative districts and subjects of the federation on the basis of a set of factors affecting their effectiveness is presented. These are the types of soils and their agrochemical properties, the structure of the sown areas of grain crops and their responsiveness to mineral fertilizers. Such an indicator can be the fertilizer efficiency index, which is a relative value and includes the listed factors. The results of the research showed that the influence of the type (subtype) of soils, their agrochemical properties and geographical location had a great impact on the value of the fertilizer efficiency index. The efficiency index of nitrogen fertilizers decreased as they moved from north to south and the agrochemical cultivation of soils decreased. The effectiveness of phosphorus fertilizers decreased as the content of mobile phosphorus in soils increased, which was reflected in the value of the efficiency index. The effect of potash fertilizers depended mainly on the degree of provision of soils with mobile potassium, and the index of their effectiveness changed accordingly. The approbation of mineral fertilizer efficiency indices in the constituent entities of the federation has yielded encouraging results.

Key words: type (subtype) of soils, agrochemical properties, fertilizer efficiency, crops, fertilizer efficiency index.

УДК 579.64:631.8:631.55:633.11

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ БИОПРЕПАРАТОВ АССОЦИАТИВНОЙ АЗОТФИКСАЦИИ В РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩИХ ТЕХНОЛОГИЯХ

© 2022 г. О. Ф. Хамова¹, Н. Н. Шулико^{1,*}, Е. В. Тукмачева¹¹Омский аграрный научный центр 644012 Омск, просп. Королева, 28, Россия

*E-mail: shuliko@anc55.ru

Поступила в редакцию 29.03.2022 г.

После доработки 11.04.2022 г.

Принята к публикации 10.06.2022 г.

В полевых опытах “СибНИИСХ” (в настоящее время “Омский АНЦ”) в 2014–2017 гг. с яровой мягкой пшеницей сорта Омская 36 изучили действие биологических препаратов на рост и развитие растений, величину урожая и качество растениеводческой продукции, размеры вовлечения дополнительного количества азота в агроценоз в зависимости от уровня плодородия почвы, погодных условий вегетационного периода. Установлено положительное влияние бактеризации семян при минимизации обработки почвы на ее биологические и агрохимические свойства. Применение биопрепаратов способствовало увеличению численности агрономически важных групп микроорганизмов: нитрифицирующих бактерий, фосфатмобилизаторов, снижало численность почвенных грибов, а вместе с этим и вероятность заболеваний растений. Прибавка урожайности пшеницы за годы исследования составила 1.5–1.6 ц/га или 7–9% к контролю. Чистый доход при применении биопрепаратов увеличился на 639 руб./га, уровень рентабельности составил 69–70% при 60% в контроле. Потребление азота атмосферы растениями пшеницы составило в среднем за 2014–2016 гг. при инокуляции семян пшеницы Ризоагрином 11–16, БиоВайсом – 8–10 кг/га.

Ключевые слова: биопрепараты, микроорганизмы, биологическая активность, нитратный азот, азотфиксация, продуктивность, яровая пшеница.

DOI: 10.31857/S0002188122090083

ВВЕДЕНИЕ

В условиях южной лесостепной зоны Омского Прииртышья все шире распространяются ресурсосберегающие технологии обработки почвы [1, 2]. Замена отвальной обработки поверхностными (минимизация) приводит к увеличению засоренности полей и дифференциации пахотного слоя по плодородию, что негативно влияет на эффективное плодородие и азотный режим почв. Оставление стерни и соломы расширяет соотношение C : N в поверхностном слое почвы и приводит к дефициту нитратного азота [3, 4]. Отсутствие оборота пласта ухудшает фитосанитарную ситуацию и способствует накоплению фитопатогенов в почве. В этой связи, по выражению академика РАН В.И. Кирюшина, “минимизация обработки почвы невозможна без химизации”, т.е. без применения пестицидов и внесения азотных удобрений [5].

Однако в настоящее время применение минеральных удобрений и пестицидов в сельскохозяйственном производстве является довольно за-

тратным агроприемом. В этой связи более рационально использование биологического азота, источником которого являются микроорганизмы ассоциативной азотфиксации в составе биопрепаратов комплексного действия для инокуляции семян небобовых растений [6].

Азотфиксация в почве связана с прижизненными выделениями растениями богатых энергией, доступных для микроорганизмов углеводов и органических кислот, продуктов фотосинтеза растений, положительно влияющих на жизнедеятельность почвенной микрофлоры. Корневые диазотрофы способствуют улучшению питания растений на 10–45%. По данным предыдущих исследований [7, 8], эффект от инокуляции в условиях Омского Прииртышья составляет от 6 до 30 кг д.в. N/га. Следовательно, необходимо искать пути усиления ассоциативной азотфиксации в агроценозах [9].

Увеличение роли ассоциативной азотфиксации в ризосфере растений связано с инокуляцией семян возделываемых культур активными штам-

Таблица 1. Биологическая активность чернозема выщелоченного в зависимости от применения биопрепаратов (2014–2016 гг.)

Вариант	Бактерии, растущие на МПА, млн КОЕ/г	Микроорганизмы, растущие на КАА, млн КОЕ/г	Олигонитрофилы, млн КОЕ/г	Мобилизующие фосфаты, млн КОЕ/г	Нитрификаторы, тыс. КОЕ/г	Грибы, тыс. КОЕ/г	Целлюлозоразрушающие, тыс. КОЕ/г	Каталаза, см ³ О ₂ /мин/г	Уреаза, мг NH ₃ /г	Инвертаза, мг инвертного сахара/г	Разложение целлюлозы, %	Суммарная биологическая активность, %
2014 г.												
Контроль	43.4	37.2	151	166	2.56	61.6	173	1.32	0.783	20.0	47.1	100
БиоВайс	42.0	36.8	161	146	2.95	52.3	194	1.32	0.793	19.9	53.9	101
Ризоагрин	37.7	32.3	152	200	2.61	62.9	163	1.34	0.82	19.7	56.1	101
2015 г.												
Контроль	47.3	31.4	133	118	2.67	122	114	1.35	0.707	12.5	54.1	100
БиоВайс	41.1	31.1	156	153	4.31	218	137	1.38	0.732	13.3	67.5	117
Ризоагрин	48.8	34.8	131	171	4.54	110	166	1.36	0.730	13.4	64.2	115
2016 г.												
Контроль	29.5	28.7	131	64.9	1.68	83.6	66.6	1.28	0.949	16.7	56.5	100
БиоВайс	50.4	53.0	172	104	1.98	60.5	68.3	1.37	0.970	16.3	56.1	116
Ризоагрин	39.8	40.3	143	125	2.55	45.0	90.3	1.33	1.034	16.6	63.3	116

мами азотфиксирующих микроорганизмов, что способствует сохранению почвенного плодородия, усилению вклада биологического азота в питание зерновых, благоприятно влияет на азотный баланс почв [10]. В настоящее время для практики сельского хозяйства на основе ассоциативных азотфиксирующих микроорганизмов созданы биопрепараты комплексного действия, которые используют в виде инокулянтов различных сельскохозяйственных культур, а также для опрыскивания посевов [11].

В этой связи, цель работы – изучение влияния препаратов на основе высокоэффективных штаммов азотфиксаторов на биологическую активность почвы, продуктивность возделываемой пшеницы и размеры азотфиксации.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Территория проведения исследования – южная лесостепная зона Омской обл., опытное поле Омского АНЦ с преобладанием среди почвенного покрова черноземов выщелоченных с содержанием гумуса в пахотном слое 6.8–7.0%. Количество нитратного азота в годы исследования 2014–2017 гг. по шкале Гамзикова для слоя 0–20 см перед посевом

классифицировалось как низкое и очень низкое, подвижного фосфора и калия (по Чирикову) – высокое. Учитывая низкое содержание в почве азота нитратов, вносили аммиачную селитру в дозе N30.

Исследование проводили с почвой под посевом мягкой яровой пшеницы среднераннего сорта Омская-36 селекции Омского АНЦ. Сорт обладает высокой потенциальной урожайностью в сочетании с засухоустойчивостью.

Микробиологические препараты на основе ассоциативных азотфиксаторов (БиоВайс производства ООО “Планта-Плюс”, г. Томск и Ризоагрин производства ВНИИСХМ г. Санкт-Петербург–Пушкин) применяли для инокуляции семян пшеницы согласно рекомендациям разработчиков.

Аналитические исследования почвы, определение общего азота в растениях пшеницы проводили общепринятыми микробиологическими и агрохимическими методами [12–14].

Агрометеорологические условия в 2015–2016 гг. сложились благоприятно для роста и развития зерновых (ГТК 1.08–1.09). Лето 2014 г. было засушливым, ГТК был равен 0.68. Вегетационный

Таблица 2. Содержание азота нитратов в ризосфере пшеницы (мг/кг) при инокуляции семян и обработке посевов БиоВайсом, 2014–2016 г.

Вариант	Кущение	Колошение	Налив зерна
Контроль	3.0	0.3	0.8
Инокуляция	6.6	0.5	0.1
Инокуляция + обработка в кущение	10.9	0.1	0.6

период 2017 г. был умеренно засушливым, ГТК в течение лета менялся от 0.24 до 1.24. Дожди, прошедшие в июле, спасли растения от засухи.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Одним из определяющих факторов функционирования агроценозов является влага. В засушливом 2014 г. существенных различий в количестве микроорганизмов между вариантами опыта с применением биопрепаратов и контролем не обнаружено. Разница между вариантами составляла от 3–4 до 15–21%. В этих пределах несколько увеличилась под влиянием препарата БиоВайс численность нитрификаторов, целлюлозоразрушающих микроорганизмов, снизилось количество почвенных грибов, в том числе фитопатогенов. Активность определяемых ферментов была на уровне контроля. Под влиянием биопрепаратов возросла целлюлозолитическая активность почвы – на 11–19% к контролю. В целом суммарная биологическая активность вариантов опыта составляла 100–101% (табл. 1).

В 2015–2016 гг., характеризующихся более значительным увлажнением вегетационных перио-

дов (ГТК > 1), общая численность микроорганизмов в ризосфере пшеницы при инокуляции семян биопрепаратами возрастала в варианте с препаратом БиоВайс на 25 и 50%, с Ризоагрином – на 19 и 37% соответственно относительно контроля. Разница в сравнении с контролем была более значительной, чем в 2014 г. В 2015 г. под влиянием биопрепаратов существенно, на 61–70% увеличилось количество нитрификаторов, на 30–45% – фосфатмобилизующих бактерий, на 19 и 45% усилилась целлюлозолитическая активность почвы.

В 2016 г. в варианте с препаратом БиоВайс при увеличении общей численности бактерий в ризосфере пшеницы на 50% к контролю, количество грибов уменьшилось на 28%. Аналогичную закономерность отметили в варианте с Ризоагрином: общая численность микроорганизмов увеличилась на 37% относительно контроля, количество почвенных грибов уменьшилось на 46%. Среди определенных групп бактерий при применении БиоВайса на 61% к контролю увеличилось количество нитрификаторов, на 40% – фосфатмобилизующих бактерий. При использовании для инокуляции пшеницы Ризоагрина численность этих видов бактерий возросла в большей степени по отношению к контролю – на 52 и 92% соответственно.

В среднем за 2014–2016 гг. в вариантах с инокуляцией семян яровой пшеницы препаратами БиоВайс и Ризоагрин отмечено увеличение суммарной биологической активности почвы ризосферы на 9–12% относительно контроля (рис. 1).

В вариантах опыта с применением биопрепаратов в почве отмечено более высокое в сравнении с контролем содержание азота нитратов в фазе кущения пшеницы – в 2 раза. При опрыскива-

Таблица 3. Фитотоксичность чернозема выщелоченного под посевом пшеницы при применении биопрепарата БиоВайс (ризосфера) (2016 г.)

Вариант	Кущение		Колошение		Налив зерна	
	длина корня, см					
	см	% к контролю	см	% к контролю	см	% к контролю
Чистая вода	4.69	–	4.69	–	4.69	–
Контроль	3.79	–19	5.62	20	6.29	34
Инокуляция	6.20	32	5.44	16	7.01	49
Инокуляция + обработка в кущение	6.86	46	6.21	32	7.41	58
Инокуляция + обработка в кущение + выход в трубку	5.35	14	4.34	–7	8.41	79
Инокуляция + обработка по всходам, кущение, выход в трубку	5.87	26	8.33	78	6.43	37

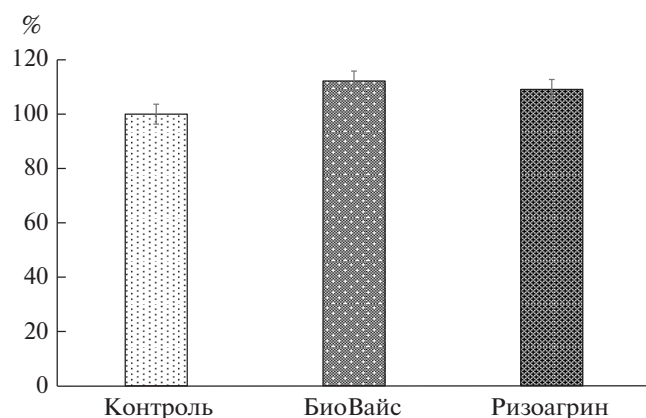


Рис. 1. Биологическая активность почвы ризосферы пшеницы в зависимости от применения биопрепаратов, 2014–2016 гг.

нии посевов пшеницы в этот период препаратом БиоВайс количество азота нитратов превышало контроль в 3 раза. В течение вегетационного периода содержание $N-NO_3$ в почве снижалось вследствие выноса его культурой во всех вариантах опыта (<5 – очень низкое, согласно шкале обеспеченности почв нитратным азотом в слое 0–20 см [3]) (табл. 2).

Токсикоз почв обусловлен в значительной мере накоплением токсических веществ, образуемых микроорганизмами, принадлежащими к различным систематическим группам. Токсические свойства почв проявляются в подавлении роста растений и микроорганизмов. Токсичность почвенной вытяжки вариантов опыта определяли с помощью биотеста по проращиванию тест-куль-

туры редиса. Обычно берутся мелкие семена, обладающие небольшим запасом питательных веществ и более подверженные влиянию внешней среды. Токсичной считается вытяжка из почвы, вызывающая угнетение развития проростков и корней не менее, чем на 20% [15]. При возделывании пшеницы и обработке БиоВайсом не только семян, но и растений, по отношению к контролю (чистой воде) общая токсичность почвы не была обнаружена. Биологическая токсичность почвы, когда длина проростков редиса опытных вариантов сравнивалась с почвенным контролем, также отсутствовала (табл. 3).

Критерием эффективного плодородия является урожайность возделываемой культуры. В 2014–2017 гг. при применении бактериализации семян получена прибавка 1.5–1.6 ц зерна/га по отношению к контролю. Чистый доход от использования препаратов ассоциативной азотфиксации был равен в среднем 639 руб./га, при уровне рентабельности 70% (рис. 2, табл. 4).

Имея контрольный вариант, в котором азотфиксации не происходило, можно рассчитать потребление культурой фиксированного микроорганизмами азота воздуха по разности. Полученное количество фиксированного азота – не общий размер азотфиксации, ведь расчеты основываются на данных анализа растений, поэтому азот, фиксированный микроорганизмами, но не потребленный культурой или возвращенный в почву с опадом и корневыми выделениями, не может быть учтен [16].

В годы исследования за счет ассоциативной азотфиксации дополнительно к почвенному азо-

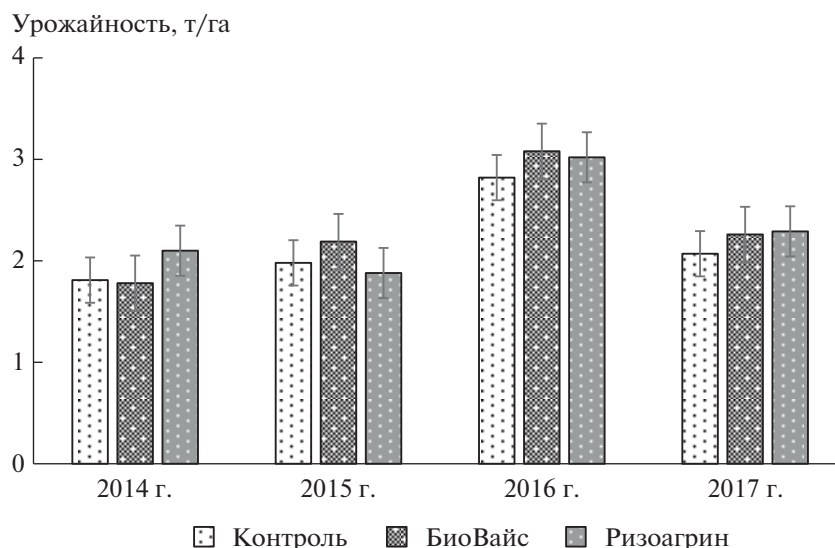


Рис. 2. Влияние биопрепаратов комплексного действия на урожайность зерна яровой пшеницы (2014–2017 гг.), т/га.

Таблица 4. Экономическая эффективность применения биопрепаратов БиоВайс и Ризоагрин (2014–2017 гг.)

Показатель	Варианты		
	контроль	БиоВайс	Ризоагрин
Урожайность, т/га	2.17	2.32	2.33
Общая прибавка, т/га	–	0.15	0.16
Затраты на средства химизации (гербициды, удобрения), руб./га	932.74	932.74	932.74
Затраты на биопрепараты, руб.	–	37	44
Затраты общие, руб.	6099.09	6136.09	6180.09
Себестоимость 1 ц продукции, руб.	281.06	264.49	265.24
Себестоимость дополн. продукции, руб.	–	396.73	424.38
Цена реализации, руб.	4500.00	4500.00	4500.00
Стоимость товарной продукции, руб.	9765.00	10440.00	10485.00
Чистый доход, руб.	3665.91	4303.91	4304.91
Уровень рентабельности, %	60	70	70

ту, используемому растениями, получено 11–16 кг N/га при инокуляции семян пшеницы Ризоагрином и 8–10 кг/га – при инокуляции БиоВайсом.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, в засушливых условиях вегетационных периодов 2014 и 2017 гг. предпосевная обработка семян пшеницы биопрепаратами комплексного действия БиоВайс и Ризоагрин повышала стрессоустойчивость растений к засухе, что оказало положительное влияние на численность микроорганизмов ризосферы и продуктивность культуры. Применение бактериализации семян способствовало увеличению численности агрономически важных групп микроорганизмов, снижало численность почвенных грибов, а вместе с этим и вероятность заболеваний растений. Токсичности почвы ризосферы при использовании биопрепаратов не обнаружено. Потребление азота атмосферы растениями пшеницы составило в среднем за 2014–2017 гг. при инокуляции семян пшеницы Ризоагрином 11–16 кг/га, БиоВайсом – 8–10 кг/га. Прибавка урожайности пшеницы в среднем за годы исследования составила 1.5–1.6 ц/га (6.9–7.4%) к контролю. Чистый доход при применении биопрепаратов увеличился на 639 руб./га, уровень рентабельности составил 69–70% при 60% в контроле.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Холмов В.Г., Юшкевич Л.В. Интенсификация и ресурсосбережение в земледелии лесостепи Западной Сибири. Омск: ОмГАУ, 2006. 395 с.
2. Юшкевич Л.В., Хамова О.Ф., Щитов А.Г., Шулико Н.Н., Тукмачева Е.В. Агроэкологические особенности возделывания ячменя в лесостепи Западной Сибири // Плодородие. 2019. № 4 (109). С. 42–46.
3. Гамзиков Г.П. Агрохимия азота в агроценозах. Новосибирск: РАСХН, Сиб. отд.-ние, 2013. 790 с.
4. Гамзиков Г.П. Проблемы экспериментальной агрохимии: Научн.-педагог. агрохим. школа акад. РАСХН Г.П. Гамзикова. Новосибирск: ООО “Печатное изд-во Агро-Сибирь”, 2013. 448 с.
5. Кирюшин В.И. Экологизация земледелия и технологическая политика. М.: МСХА, 2000. 473 с.
6. Белимов А.А. Взаимодействия ассоциативных бактерий с растениями роль абиотических и биотических факторов. ФРГ: Palmarium, 2012. 221 с.
7. Шулико Н.Н. Влияние длительного применения удобрений на агрохимические и биологические свойства чернозема выщелоченного и продуктивность ячменя в южной лесостепи Западной Сибири: Дис. ... канд. с.-х. наук. Новосибирск, 2017. 169 с.
8. Шулико Н.Н., Хамова О.Ф., Воронкова Н.А., Тукмачева Е.В., Дороненко В.Д. Влияние комплексного применения удобрений и биопрепаратов на эффективное плодородие чернозема выщелоченного и продуктивность ячменя // Агрохимия. 2019. № 2. С. 13–20.
9. Садыков Б.Ф. Биологическая азотфиксация в агроценозах. Уфа, 1989. 109 с.
10. Тихонович И.А., Завалин А.А., Благовещенская Г.Г., Кожемяков А.П. Использование биопрепаратов – дополнительный источник элементов питания растений // Плодородие. 2011. № 3 (60). С. 9–13.
11. Тихонович И.А., Проворов Н.А. Симбиозы растений и микроорганизмов: молекулярная генетика агросистем будущего. СПб.: Изд-во СПбГУ, 2009. 210 с.

12. *Теплер Е.З., Шильникова В.К.* Практикум по микробиологии. Учеб. пособ. для вузов / Под ред. В.К. Шильниковой. М.: Дрофа, 2004. 256 с.
13. *Агрохимические методы исследования почв.* М.: Наука, 1975. 655 с.
14. *Тихомирова Л.Д.* Способ определения эффективного плодородия почвы // А.с. № 338196, СССР. Оpubл. 1972. Бюл. № 16.
15. *Минеев В.Г., Ремне Е.Х., Воронина Л.П., Коваленко Л.В.* Определение суммарной токсичности почвы, корневой системы и конечной продукции при применении химических средств защиты растений; методика и результаты // Вестн. с.-х. науки. 1991. № 6 (417). С. 63–71.
16. *Завалин А.А.* Биопрепараты, удобрения и урожай. М.: ВНИИА, 2005. 302 с.

Efficiency of Use of Biological Preparations of Associative Nitrogen Fixation in Resource-Saving Technologies

O. F. Khamova^a, N. N. Shuliko^{a,#}, and E. V. Tukmacheva^a

^a *Omsk Agrarian Research Center
prosp. Koroleva 28, Omsk 644012, Russia*

[#] *E-mail: shuliko@anc55.ru*

In the field experiments of SIBNIISH (currently Omsk ASC) in 2014–2017 with spring soft wheat of the Omsk-36 variety, the effect of biological preparations on plant growth and development, the yield and quality of crop production, the extent of the involvement of additional nitrogen in the agrocenosis, depending on the level of soil fertility, weather conditions of the growing season were studied. The positive effect of bacterization of seeds with minimization of tillage on its biological and agrochemical properties has been established. The use of biological preparations contributed to an increase in the number of agronomically important groups of microorganisms: nitrifying bacteria, phosphate mobilizers, reduced the number of soil fungi, and with it the likelihood of plant diseases. The increase in wheat yield over the years of the study was 1.5–1.6 c/ha or 7–9% of the control. Net income from the use of biological products increased by 639 rubles / ha, the level of profitability was 69–70% with 60% in control. Atmospheric nitrogen consumption by wheat plants averaged over 2014–2016 inoculation of wheat seeds with Rhizoagrin 11–16, biovice – 8–10 kg/ha.

Key words: biological products, microorganisms, biological activity, nitrate nitrogen, nitrogen fixation, productivity, spring wheat.

УДК 634.8:631.811.98

МОДЕЛИ РЕАЛИЗАЦИИ ЭФФЕКТОВ ФИЗИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ПРИ ФОРМИРОВАНИИ КОРНЕЙ ВИНОГРАДА: ГИПОТЕЗЫ И ПРАКТИКА

© 2022 г. Р. Э. Казахмедов^{1,*}, М. А. Магомедова¹, С. Б. Саидова¹

¹Дагестанская селекционная опытная станция виноградарства и овощеводства – филиал Северо-Кавказского федерального научного центра садоводства, виноградарства, виноделия
368601 Дербент, ул. Вавилова, 9, Россия

*E-mail: kre_05@mail.ru

Поступила в редакцию 18.03.2022 г.

После доработки 27.04.2022 г.

Принята к публикации 10.06.2022 г.

Сформулировали основные механизмы и предложили модели реализации эффектов действия физиологически активных соединений (ФАС) на корнесобственные растения винограда. Изучили особенности формирования/регенерации корней винограда, в том числе при повреждении и применении ФАС. Исследование проводили в период с 2012 по 2021 г. в лабораторных, вегетационных и полевых опытах и методических указаниях. Объектами исследования были плодоносящие корнесобственные растения сортов Мускат дербентский, Слава Дербента и ФАС: ФАС-1 цитокининового действия – ЦАС, ФАС-2 ауксинового действия – НАС, ФАС-3 трофического действия – ЭАС и препарат корневин 1 г/л. Обработка опытных растений растворами ФАС проводили по листовой поверхности в 2 срока: 1 – перед началом цветения (1-я декада июня) и 2 – перед началом созревания урожая (1-я декада августа). В 2016–2021 гг. обработку опытных растений не проводили. Укороченные черенки и саженцы сортов Агадаи, Ркацители, Августин, Бианка, Молдова, Первенец Магарача обрабатывали ФАС следующим образом: корневин – предпосадочное вымачивание черенков, обработка ЦАС или ЦАС+НАС+ЭАС при достижении побегом длины 5–10 см (1-й срок) и 15–20 см (2-й срок) – опрыскиванием листовой поверхности растений. Перед посадкой черенков почву вспахали, внесли удобрение (нитроаммофоска 66 г/м²). Посадка черенков была проведена в 1-й декаде апреля. Орошение – капельное. Элементы учета – длина, диаметр, доля вызревания побега, количество, соотношение, диаметр, масса и длина корней различных типов. Установлено, что механизмы гормональной регуляции формирования/регенерации корней были различными, в зависимости от состояния корневой системы и биологических особенностей сортов. Предложены теоретические/методические положения (гипотезы) и приведены обобщенные экспериментальные данные многолетних исследований, которые позволили продемонстрировать эффективность применения ФАС на основе предложенных моделей для решения актуальных проблем виноградарства при возделывании корнесобственных насаждений винограда.

Ключевые слова: виноград (*Vitis vinifera* L.), филлоксеры, корнесобственная культура, гормональная регуляция, физиологически активные соединения, устойчивость, качество, корневая система.

DOI: 10.31857/S0002188122090071

ВВЕДЕНИЕ

Корневая система растений выполняет ряд жизненно важных функций: например, закрепляет растение в субстрате, поглощает воду с растворенными в ней минеральными солями и питательными элементами, транспортируя их в надземные части растений, осуществляет транспорт органических веществ по проводящей системе, запасание питательных веществ, образование фитогормонов и т.п. [1].

Для виноградного растения характерна развитая, мощная корневая система. За счет тонких мочек-корней, располагающихся на последнем порядке ветвления, виноградное растение увеличивает площадь поглощения и взаимодействия с почвенной средой. Такие корни быстро растут, увеличивают поглощающую способность и активность корневой системы и позволяют эффективнее использовать питательные вещества, а также синтезируют фитогормоны, такие как ци-

токинины, гиббереллины, абсцизовую кислоту [2, 3].

Корни и надземная часть растений непрерывно взаимодействуют, непосредственное взаимодействие происходит через проводящую ткань, которая образована клетками флоэмы и ксилемы. Ксилема обеспечивает транспорт растворов химических веществ от корня до всех других органов растения, флоэма транспортирует растворы в обратном направлении – от определенных органов растения по стеблю вниз к корню.

Ауксин, цитокинин, гиббереллин, абсцизовая кислота и этилен известны как основные фитогормоны. Позже были обнаружены брассиностероиды, салициловая кислота, стриголактон и жасмоновая кислота. Фитогормоны играют важную роль на каждом из этапов жизненного цикла и классифицируются в соответствии с их физиологическим воздействием на растения. Выделяют 3 основные группы фитогормонов, влияющие на рост и развитие (стимуляцию и ингибирование ростовых показателей), – ауксины, цитокинины, стриголактон, гиббереллины и брассиностероиды; цветение и репродукцию – этилен, абсцизовая кислота; реакцию на стресс – салициловая и жасмоновая кислоты [4].

Филлоксера относится к семейству тлей и является опаснейшим вредителем винограда, вызывает гибель корневой системы сортов вида *Vitis vinifera*, и, вследствие этого происходит снижение урожая, ухудшение его качества, а также гибель растений [5–7]. Переход на привитую культуру винограда не решил проблему в полной мере, т.к. выявились некоторые негативные последствия при эксплуатации привитых насаждений (высокая изреженность насаждений к началу плодоношения, подверженность кустов бактериальному раку и хлорозу, задержка созревания урожая, снижение качества виноматериалов, значительные материальные затраты для восстановления насаждений после экстремально низких температур, повышение пестицидной нагрузки на ампелоценозы при возделывании восприимчивых к болезням и филлоксере сортов в привитой культуре). С учетом недостатков привитой культуры проблема остается актуальной [8]. Ввиду этого считаем необходимым сохранение и расширение корнесобственной культуры винограда [9]. Фундаментальным решением проблемы должно стать создание и внедрение устойчивых к вредителю генотипов на основе современных достижений генетики и селекции, пригодных для выращивания в корнесобственной культуре [10].

Одним из важных факторов устойчивого развития отрасли виноградарства является обеспеченность ее высококачественным посадочным материалом. Применение регуляторов роста растений (*PPP*) – наиболее распространенный способ получения посадочного материала, а препараты ауксина считаются наиболее физиологически активными.

При этом следует отметить, что предпосадочное применение *PPP* на новых сортах и межвидовых гибридах винограда, толерантных к филлоксере, не всегда проявляет желаемую высокую эффективность в силу их генетических особенностей. Это, в свою очередь, влечет за собой поиск иных подходов и способов повышения качества посадочного материала. Ввиду этого, проведен ряд исследований с целью изучения влияния физиологически активных веществ (*ФАС*) на качество посадочного материала при обработке листовой поверхности на начальных этапах формирования корневой системы и использования укороченных черенков винограда [11–13].

На протяжении 2012–2021 гг. были проведены исследования по изучению влияния *ФАС* на регенерацию, развитие элементов корневой системы, в т.ч. при различной степени повреждения корней в рамках НИР по разработке способов повышения устойчивости к филлоксере. Разработаны модели и технологические регламенты применения *ФАС* для повышения физиологического иммунитета к филлоксере [12, 14, 15].

Наши исследования показали [10–17], что механизмы гормональной регуляции формирования/регенерации корней различны, в зависимости от состояния корневой системы и биологических особенностей сортов. В этой связи считаем актуальным разработку теоретических/методических положений (гипотез), которые позволят повысить эффективность применения *ФАС* для решения актуальных проблем виноградарства при возделывании корнесобственных насаждений винограда.

Цель работы – сформулировать основные механизмы и предложить модели реализации эффектов *ФАС* на корнесобственных растениях винограда. Предмет исследования – особенности формирования/регенерации корней винограда, в том числе при повреждении и применении *ФАС*.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследование проводили в период с 2012 по 2021 г. в лаборатории ДСОСВиО, в ЦКП “Аналитический” СКФНЦСВВ в лабораторных, вегетационных и полевых опытах, используя методиче-

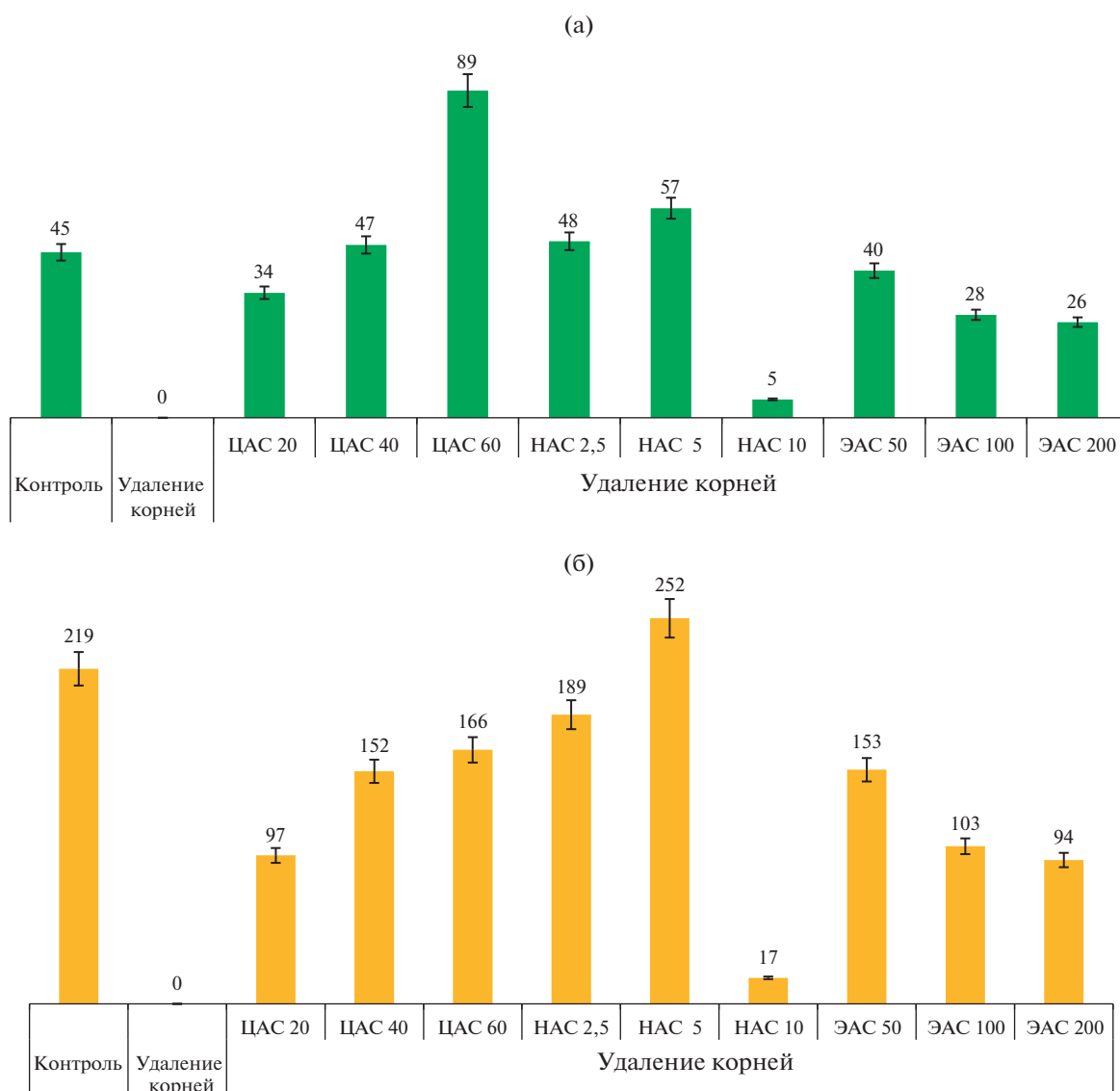


Рис. 1. Влияние ФАС на количество и длину корней модельных растений винограда сорта Агадаи (2018 г.): (а) – шт./растение, (б) – см.

ские указания [18–22]. Полевые исследования проводили на экспериментальной базе Ампе­ло­графической коллекции Дагестанской селек­ционной опытной станции виноградарства и ово­щеводства – филиала СКФНЦСВВ.

Объектами исследования были плодоносящие корнесобственные растения сортов Мускат дер­бентский, год закладки опыта – 2012, Слава Дер­бента, год закладки опыта – 2017 в ампе­ло­графической коллекции ДСОСВиО, год посадки насажде­ний – 1997. Изучали действие физиологически активных соединений (ФАС): ФАС-1 цитокини­нового действия – ЦАС, ФАС-2 ауксинового дей­ствия – НАС, ФАС-3 трофического действия – ЭАС и препарата корневин 1 г/л. Состав и кон­

центрации растворов ФАС являются интеллекту­альной собственностью авторов. Обработку опытных растений сорта Мускат дербентский растворами ФАС проводили в 2012–2015 гг. по листовой поверхности в 2 срока: 1-й – перед на­чалом цветения (1-я декада июня) и 2-й – перед началом созревания урожая (1-я декада августа). В 2016–2021 гг. обработку опытных растений не проводили. Обработку опытных растений сорта Слава Дербента проводили в 2017–2020 гг. в те же сроки, состав раствора содержал в предпола­гае­мом оптимальном соотношении все препара­ты ФАС для практического применения и апроба­ции результатов НИР.

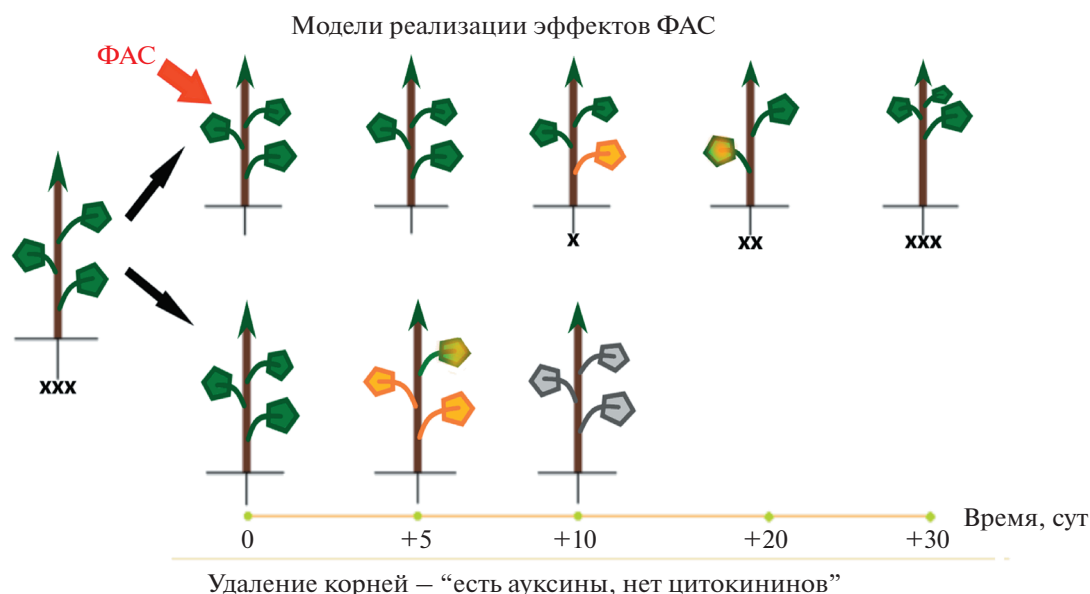


Рис. 2. Модель 1 – “есть ауксины, нет цитокининов” (удаление корней, гибель корней) (2021 г.).

Укороченные черенки и саженцы сортов Агадаи, Ркацители, Августин, Бианка, Молдова, Первенец Магарача обрабатывали ФАС следующим образом: препаратом корневин – при предпосадочном вымачивании черенков, растворами ЦАС или ЦАС + НАС + ЭАС – опрыскиванием листовой поверхности растений при достижении побегами длины 5–10 см (1-й срок) и 15–20 см (2-й срок). Перед посадкой черенков почву вспахали, внесли удобрение (нитроаммофоска 66 г/м²). Посадка черенков была проведена в 1-й декаде апреля. Орошение – капельное. На протяжении всего вегетационного периода проводили необходимые мероприятия – агротехнические и по защите от болезней и вредителей (фунгициды – Абига Пик 7.5 г/л, Привент 0.5 мг/л, инсектицид – Карачар 0.75 мл/л.). Внесение удобрения: 10.06.19 г. – нитроаммофоска 115 г/м², 24.07.19 г. – монокалия фосфат (P₂O₅ – 52%, K₂O – 34%). Элементы учета – длина, диаметр, доля вызревания побега, количество, соотношение, диаметр, масса и длина корней различных типов.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

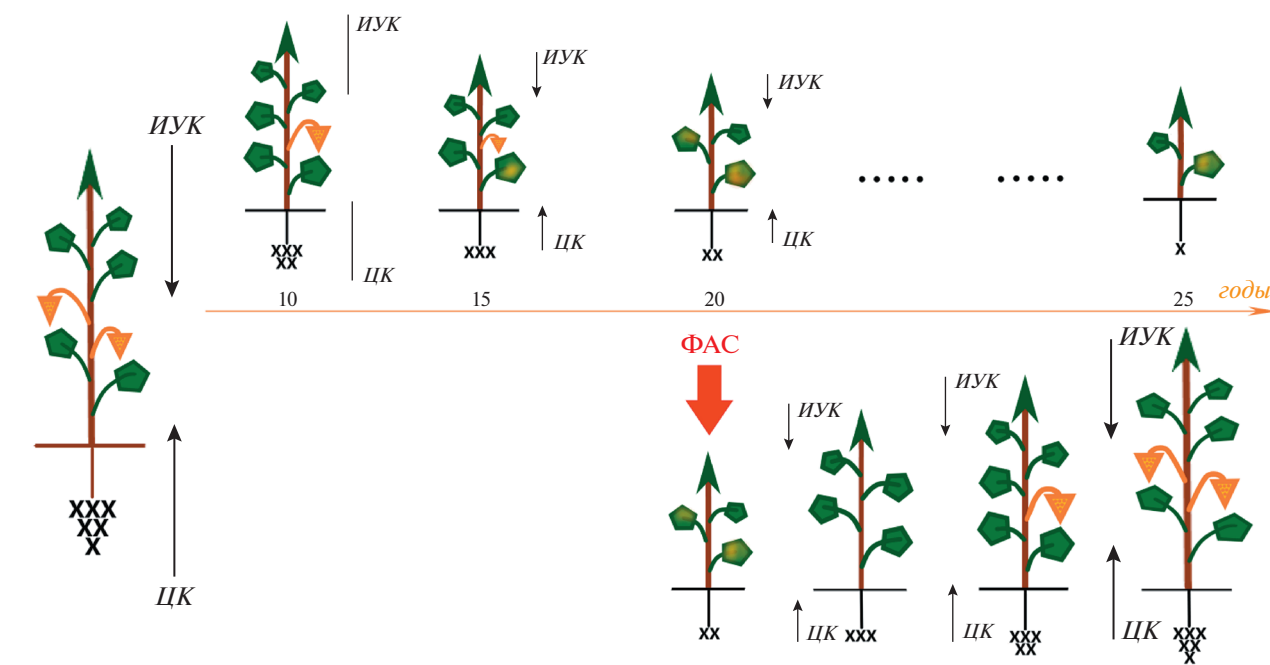
Многолетние исследования по изучению особенностей формирования и развития корней винограда при применении экзогенных ФАС гормонального и трофического действия как в лабораторных условиях, так в полевых исследованиях, показали, что их влияние определялось состоянием корневой системы, степенью развитости полярных органов – апексов побегов и корней.

В этой связи эффекты применения ФАС на растениях винограда реализовались разными путями, и изучение данных механизмов имело большое практическое значение для успешного использования ФАС на растениях винограда различного возраста и состояния при ведении корнесобственной культуры винограда.

На основании экспериментальных данных, было выдвинуто несколько гипотез о возможных механизмах реализации эффектов ФАС, предложены соответствующие модели, в основе которых был выявленный ранее морфофизиологический эффект применения ФАС, способствующий восстановлению корневой системы при полном ее удалении [11].

Ниже представлены гипотетические модели формирования и развития корней в зависимости от степени развития собственной корневой системы. Было установлено, что обработка листовой поверхности растений винограда с удаленной корневой системой препаратами гормонального и трофического действия способствовали восстановлению корней. При этом степень влияния ФАС определяли природа веществ и концентрация раствора (рис. 1).

Модель 1 – “есть ауксины, нет цитокининов” (удаление корней, гибель корней). Модель соответствует восстановлению корневой системы молодых растений винограда после искусственного удаления корней. Надо отметить, что у молодых растений винограда с удаленной корневой системой на 3-и сут отмечали снижение тургора ли-



Повреждение филлоксерой – “недостаток цитокининов и ауксинов”

Рис. 3. Модель 2 – “недостаток цитокининов/недостаток ауксинов” (повреждение корневой филлоксерой) (2021 г.).

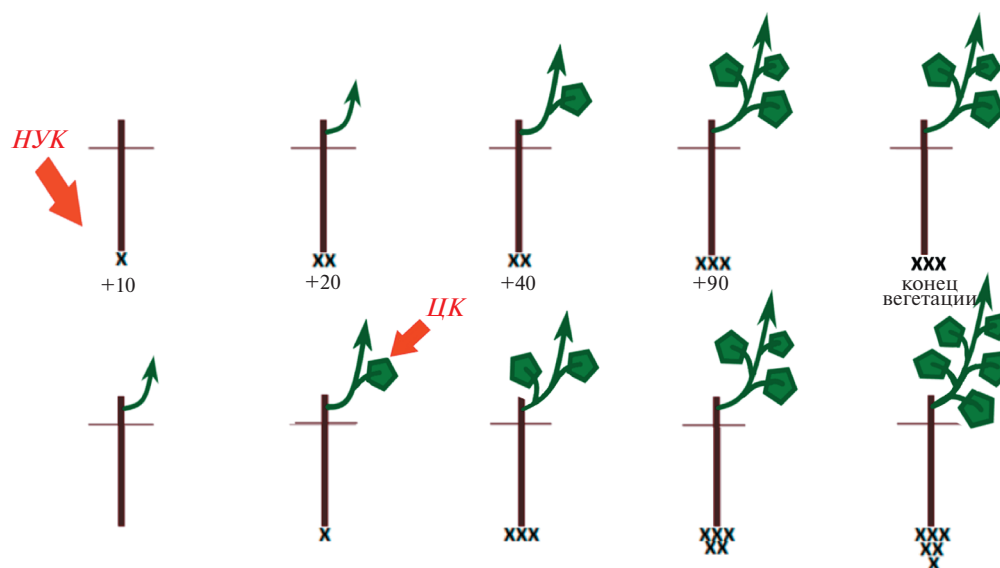
ствьев, на 5-е сут – разрушение хлорофилла, увядание листьев. На 10-е сут опытные растения погибли полностью. Растения с удаленной корневой системой, но обработанные по листовой поверхности раствором ФАС, на 5-е сут не имели признаков повреждения корней. На 10-е сут проявлялись признаки угнетения растений (пожелтение нижних листьев, высыхание апекса побега). Однако к 20-м сут растения восстанавливали точку роста (апекс побега) за счет развития самого верхнего пасынка побега, что способствовало формированию новых корней и восстановлению поврежденных в силу гормонального взаимодействия апексов побега (ауксины) и корней (цитоконины) (рис. 2).

Практические аспекты использования данной модели заключаются в ее применении при закладке новых насаждений черенковым материалом, при повреждении или гибели части корней плодоносящих растений в силу различных биотических и абиотических факторов.

Модель 2 “недостаток цитокининов/недостаток ауксинов” (повреждение корневой филлоксерой). Известно, что значительные площади виноградников в РФ являются корнесобственными, а в республике Дагестан они занимают более 70% промышленных насаждений, при этом регион относится к зоне сплошного заражения филлоксерой. В этой связи актуальна разработка методов

поддержания жизнеспособности корнесобственных насаждений винограда, увеличения срока их эксплуатации. На 5–7-й год после посадки корнесобственные растения большинства сортов винограда на фоне филлоксеры испытывают угнетение. Основная непосредственная причина снижения жизнеспособности кустов – нарушение нормального функционирования корневой системы, как источника цитокининов и дальнейшего нарушение гормонального взаимодействия апексов корней и побегов. Последовательное снижение выработки цитокининов, в последующем – ауксинов снижает ростовые процессы растения, фотосинтетическую деятельность, накопление ассимилятов в корнях и побегах, что приводит к полной потере физиологической устойчивости не только к филлоксере, но и другим вредителям и грибным болезням. И только экзогенное применение по листовой поверхности физиологически активных соединений различного механизма действия в различных сочетаниях и концентрациях, в зависимости от биологических особенностей сортов позволяет восстановить нормальное функционирование виноградного растения, в т.ч. на фоне заражения филлоксерой (рис. 3).

По результатам агробиологических исследований и анализа плодоносности кустов на опытных растениях сортов Мускат дербентский и Слава Дербента, установлено повышение показателей



Укоренение черенков – “нет ауксинов, нет цитокининов”

Рис. 4. Модель реализации эффектов ФАС: укоренение черенков – “нет корней, нет цитокининов” (2021 г.).

плодоносности и сохранения урожая после рекомендуемых 3-летних обработок раствором ФАС листовой поверхности угнетенных филлоксерой корнесобственных растений (табл. 1, 2).

Модель 3 – “нет ауксинов, нет цитокининов” (черенки, получение корнесобственного посадочного

материала). Известно, что сорта межвидовой гибридизации, толерантные к корневой филлоксере, имеют более низкие показатели приживаемости черенков, чем сортов *Vitis vinifera* L. Более того, черенки большинства сортов межвидового происхождения слабо реагируют на применение ауксиновых препаратов.

Таблица 1. Влияние физиологически активных соединений на урожайность сорта Мускат Дербентский (2013–2021 гг., ДСОСВиО)

Вариант	Урожай с 1-го куста, кг									
	2013 г.	2014 г.	2015 г.	2016 г.	2017 г.	2018 г.	2019 г.	2020 г.	2021 г.	среднее за 2017–2021 гг.
Контроль без обработки	18.0	8.6	6.1	5.7	2.5	5.5	3.43	0.9	0.4	2.5
ЦАС	19.9	17.4	11.9	8.0	15.8	10	34.8	22.2	12.4	19.0
НАС	16.4	12.6	8.1	8.4	10.1	7.5	27.5	18.3	10.7	14.8
ЭАС	19.4	15.2	12.1	8.0	19.7	8	18.1	20.4	11	15.4
ЦАС + НАС	11.2	8.0	4.0	9.6	9.8	6.5	5.6	9.3	2.4	6.7
ЦАС + ЭАС	23.1	12.8	7.6	14.6	14.1	13.2	25.8	8.7	7.8	13.9
ЦАС + НАС + ЭАС	14.0	10.7	7.4	12.0	14	7.6	16.3	8.4	7	10.7

Таблица 2. Показатели продуктивности сорта Слава Дербента (2019–2021 гг.)

Вариант	Количество гроздей на 1 куст, шт.			Масса грозди, г			Общий прирост куста, % к контролю			Массовая концентрация сахаров, г/дм ³			Урожай с 1-го куста, кг		
	2019 г.	2020 г.	2021 г.	2019 г.	2020 г.	2021 г.	2019 г.	2020 г.	2021 г.	2019 г.	2020 г.	2021 г.	2019 г.	2020 г.	2021 г.
Опыт	15.1	15.3	19.5	179	234	223	145	119	141	185	189	215	2.7	3.6	4.5
Контроль	14.2	12.5	14.4	156	190	202	100	100	100	169	172	195	2.2	2.4	2.8
НСР ₀₅	2.6												0.4		

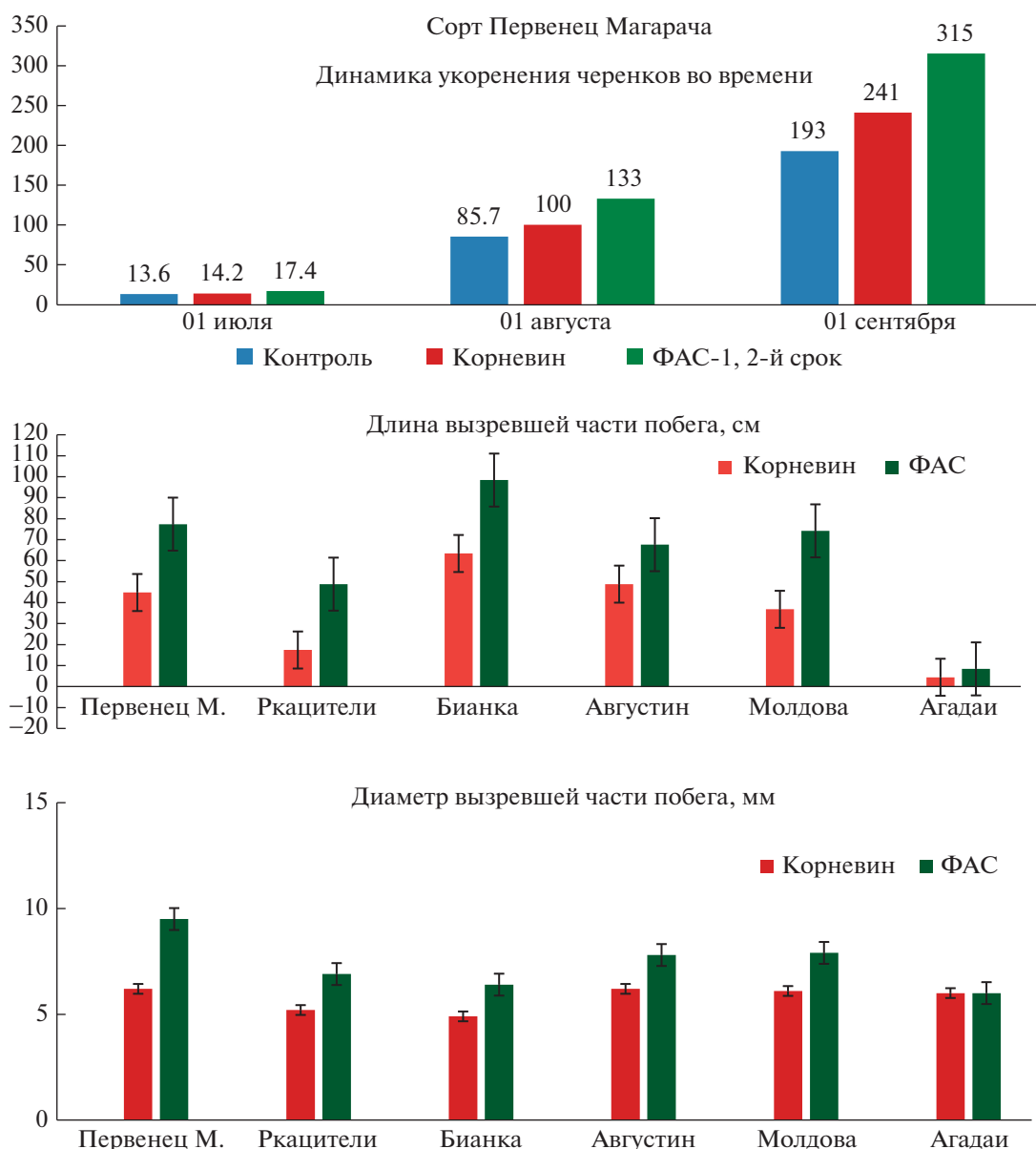


Рис. 5. Характеристика посадочного материала при применении ФАС.

На основании результатов исследований и анализа литературы [23–27], было предположено, что различная приживаемость и реакция на обработку ауксином черенков сортов *V. vinifera* L. и сортов межвидового происхождения обусловлена разным гормональным статусом, в частности, уровнем ауксинов и степенью экспрессии генов, в т.ч. и при экзогенном применении ауксиновых препаратов, а также, что применение ауксинов нарушает естественные процессы формирования полярных органов винограда как лианы – апексов побега и корней – источников ИУК и цитокининов. Полагаем, что некорневое применение раствора ФАС на основе синтетического ауксина

и цитокинина компенсирует недостаток гормонов в молодом растении в начале формирования корневой системы, способствует установлению оптимального гормонального баланса и взаимодействия между апексом побега (ИУК) и корнями (ЦК), что приводит к лучшей закладке, формированию и развитию элементов корневой системы и всего молодого растения (саженца) винограда у сортов межвидового происхождения по сравнению с применением ауксинового препарата корневин (НУК) (рис. 4).

Исследования показали, что имеются различия в сортовой реакции на предпосадочное применение корневина и ФАС по листовой поверх-

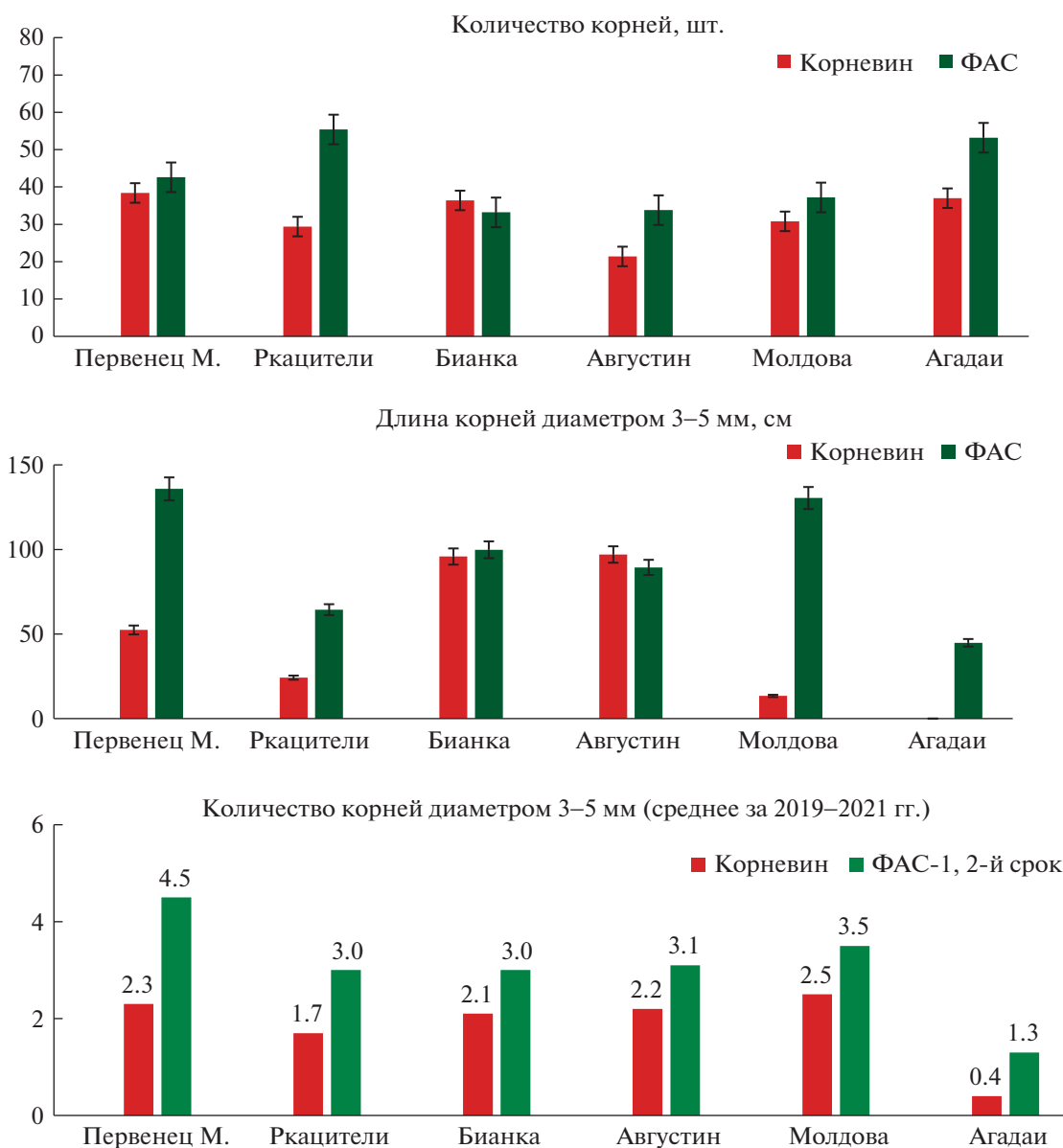


Рис. 5. Окончание.

ности. На основании исследований 2019–2021 гг. выделены по каждому сорту оптимальные регламенты применения ФАС, позволяющие получить необходимые параметры корнесобственного посадочного материала [10, 13].

Наблюдения за развитием растений после применения ФАС показали, что достижение лучших показателей формирования элементов корневой системы является следствием интенсивного нарастания надземной части саженцев (источника ауксинов), что в свою очередь способствует через межорганные отношения и гормональные взаимодействия более ранней закладке и интенсивному формированию новых точек роста (кон-

чиков корней – источников цитокининов) и их развитию в корневой системе. Соответственно, чем раньше формируются новые элементы корневой системы, тем большей степени развития они достигают к окончанию вегетации, и их параметры достигают показателей, необходимых для получения качественного стандартного корнесобственного посадочного материала.

Установлено, что у всех сортов применение ФАС по листовой поверхности повышало показатели, характеризующие качество корнесобственного посадочного материала (диаметр и длина вызревшей части побега, количество и длина корней) в сравнении с вариантом препосадоч-

ного применения корневина. При этом реакция была близкой у сортов Первенец Магарача и Молдова: оптимальными условиями достижения эффективности была обработка молодых растений по листовой поверхности раствором ФАС-1 во 2-й срок (при длине побегов 15–20 см) и у сортов Бианка и Августин при обработке ФАС-2 в 1-й срок (при длине побегов 5–10 см) (рис. 5).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, физиологически активные соединения (ФАС) гормональной природы позволяют управлять развитием корневой системы винограда на различных этапах и при различных состояниях виноградного растения. Механизмы гормональной регуляции формирования/регенерации корней различны, в зависимости от состояния корневой системы и биологических особенностей сортов. Предложены модели реализации эффектов ФАС, использование которых позволяет управлять формированием и развитием корнесобственных растений винограда, а также сохранить продуктивность плодоносящих корнесобственных насаждений виноградного растения. Практические аспекты использования моделей заключаются в их применении при закладке новых насаждений черенковым материалом, при повреждении или гибели части корней плодоносящих растений в силу влияния различных биотических и абиотических факторов.

Предложены теоретические/методические положения (гипотезы) и приведены обобщенные экспериментальные данные многолетних исследований, которые позволяют повысить эффективность применения ФАС для решения актуальных проблем виноградарства при возделывании корнесобственных насаждений винограда.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Смирнов К.В., Малтабар Л.М., Раджабов А.К., Мутузок Н.В. Виноградарство / Под ред. Смирнова К.В. М.: МСХА, 1998. 511 с.
2. Richards D. The Grape root system // Horticult. Rev. 2011. V. 5. P. 127–168. <https://doi.org/10.1002/9781118060728.ch3>
3. Xu X. Root systems // representations of lie algebras and partial differential equations. 2017. P. 61–93. <https://doi.org/10.1007/978-981-10-6391-6-3>
4. Sezgina M., Kalyab M. Phytohormones // Bitlis Eren Univers. J. Sci. Technol. 2018. V. 8 (1). P. 35–39. <https://doi.org/10.17678/beuscitech.386726>
5. Eitle M.W., Loackera J., Meng-Reitererb J., Schuhmacher R., Griessera M., Forneck A. Polyphenolic profiling of roots (*Vitis* spp.) under grape phylloxera (*D. vitifoliae* Fitch) attack // Plant Physiol. Biochem. 2019, V. 135. P. 174–181
6. Griesser M., CarolineLawo N., Crespo-Martinez S. Phylloxera (*Daktulosphaira vitifoliae* Fitch) alters the carbohydrate metabolism in root galls to allowing the compatible interaction with grapevine (*Vitis* spp.) roots // Plant Sci. 2015. V. 234. P. 38–49.
7. Eitle M.W., Griesser M., Vankova R., Dobrev P., Aberer S., Forneck A. Grape phylloxera (*D. vitifoliae*) manipulates SA/JA concentrations and signalling pathways in root galls of *Vitis* spp. // Plant Physiol. Biochem., 2019, V. 144. P. 85–91.
8. Малых Г.П., Керимов В.С. Улучшение среды произрастания корнесобственных насаждений винограда на зараженных филлоксерой каштановых почвах // Вестн. Дон. ГАУ. 2018. № 21 (28). С. 43–50.
9. Казахмедов Р.Э. Филлоксера и виноград: концепция сохранения и расширения корнесобственной культуры в Дагестане // Рус. виноград. 2018. № 7. С. 247–255.
10. Kazakhmedov R.E., Magomedova M. Biochemical characteristics of roots and quality of own-rooted planting material of grape varieties tolerant to phylloxera when using biologically active substances and hormones // BIO Web. Conf. Inter. Sci. Conf. 2021. С. 03004.
11. Казахмедов Р.Э. Физиологические аспекты повышения толерантности винограда к корневой филлоксере // Агрохимия. 2019. № 6. С. 18–26.
12. Казахмедов Р.Э. Модели повышения устойчивости к филлоксере и качества винограда методом гормональной регуляции // Агрохимия. 2021. № 8. С. 27–42. <https://elibrary.ru/item.asp?id=46350955>
13. Казахмедов Р.Э., Петров В.С., Саидов Б.М., Абдуллаева Т.И. Формирование корневой системы у толерантных к филлоксере сортов винограда при некорневом применении физиологически активных соединений // Плодовод-во и виноград-во Юга России. 2020. № 63 (3). С. 121–134.
14. Казахмедов Р.Э. Гипотеза формирования устойчивости винограда к корневой филлоксере // IX Съезд общ-ва физиол. Раст. России “Физиология растений – основа создания растений будущего”. Тез. докл. Казань, 2019. С. 199.
15. Казахмедов Р.Э. Гипотезы диагностики устойчивости сортов винограда к филлоксере // Научн. тр. Северо-Кавказ. ФНЦ садоводства, виноградарства, виноделия. 2019. Т. 25. С. 175–182.
16. Казахмедов Р.Э., Шихсефиев А.Т. Биохимическая основа толерантности винограда и гормональная регуляция физиологической устойчивости к филлоксере // Пробл. развития АПК региона. 2016. № 4. С. 22–25.
17. Казахмедов Р.Э., Шихсефиев А.Т. Влияние физиологически активных соединений на развитие элементов корневой системы модельных растений винограда // Пробл. развития АПК региона. 2015. № 3. С. 40–43.
18. Лазаревский М.А. Изучение сортов винограда // Ростов н/Д.: Изд-во Ростов. ун-та. 1963. 151 с.
19. Кискин П.Х. Филлоксера. Кишинев, 1977. 210 с.
20. Недов П.Н. Иммуитет винограда к филлоксере и возбудителям гниения корней и его практическое

- использование: Автореф. дис. ... д-ра биол. наук. Ленинград, 1978. 40 с.
21. Недов П.Н. Иммуитет винограда к филлоксеру и возбудителям гниения корней. Кишинев: Штиинца, 1977. 171 с.
22. Петров В.С., Алейникова Г.Ю., Морморштейн А.А. Методы исследований в виноградарстве. Учеб. пособ. Краснодар: Северо-Кавказ. ФНЦ садовод-ва, виноград-ва, винодел., 2021. 147 с.
23. Ларькина М.Д., Никулушкина Г.Е., Щербаков С.В. Филлоксероустойчивые гибридные формы винограда технического направления для совершенствования сортимента // Плодовод-во и виноград-во Юга России. 2014. № 29 (5). С. 10–17.
24. Никольский М.А., Панкин М.И., Султанова З.К., Казыбаева С.Ж., Сычева Е.С. Улучшение качественных показателей саженцев винограда под воздействием регуляторов роста // Винод. и виноград-во. 2016. № 4. С. 46–50.
25. Никулушкина Г.Е., Ларькина М.Д. Потенциал сортов Анапской ЗОСВИВ технического направления, толерантных к филлоксеру // Научн. тр. Гос. научн. учрежд-я Северо-Кавказ. Зонал. НИИ садовод-ва и виноград-ва РАСХН. 2014. Т. 6. С. 184–188.
26. Никулушкина Г.Е., Ларькина М.Д. Технические сорта винограда селекции АЗОС, толерантные к филлоксеру, – потенциал отечественного виноградарства // Виноград-во и винодел. 2015. Т. 45. С. 56–58.
27. Никулушкина Г.Е., Хмырова И.Л., Коваленко А.Г. Новые гибридные формы винограда селекции АЗОСВИВ – потенциал отечественного виноградарства // Плодовод-во и виноград-во Юга России. 2017. № 47 (5). С. 33–40.

Models of Realization of the Effects of Physiologically Active Compounds in the Formation of Grape Roots: Hypotheses and Practice

R. E. Kazakhmedov^{a,#}, M. A. Magomedova^a, and S. B. Saidova^a

^aDagestan Breeding Experimental Station of Viticulture and Vegetable growing – Branch of the North Caucasus Federal Scientific Center of Horticulture, Viticulture, Winemaking ul. Vavilova 9, Derbent 368601, Russia

[#]E-mail: kre_05@mail.ru

The main mechanisms were formulated and models were proposed for the realization of the effects of the action of physiologically active compounds (PAC) on the root-related plants of grapes. We studied the peculiarities of the formation/regeneration of grape roots, including in case of damage and application of PAC. The study was conducted in the period from 2012 to 2021 in laboratory, vegetation and field experiments and methodological guidelines. The objects of the study were fruiting root-bearing plants of the Derbent Muscat, Derbent Glory and PAC: PAC-1 of cytokinin action – TsAS, PAC-2 of auxin action – NAS, PAC-3 of trophic action – EAS and the drug kornevin 1 g/l. The treatment of experimental plants with PAC plants was carried out on the leaf surface in 2 periods: 1 – before the beginning of flowering (1st decade of June) and 2 – before the beginning of crop ripening (1st decade of August). In 2016–2021, the treatment of experimental plants was not carried out. Shortened cuttings and seedlings of Agadai, Rkatsiteli, Augustine, Bianca, Moldova, Magaracha's Firstborn were treated with PAC as follows: cornevin – pre-planting soaking of cuttings, processing of TsAS or TsAS + NAS + EAC when shoots reach a length of 5–10 cm (1st term) and 15–20 cm (2nd term) – spraying the leaf surface of plants. Before planting the cuttings, the soil was plowed, fertilized (nitroammophoska 66 g/m²). The planting of cuttings was carried out in the 1st decade of April. Irrigation is drip irrigation. The accounting elements are length, diameter, the proportion of shoot ripening, quantity, ratio, diameter, mass and length of roots of various types. It was found that the mechanisms of hormonal regulation of root formation/regeneration were different, depending on the state of the root system and the biological characteristics of the varieties. Theoretical/methodological provisions (hypotheses) are proposed and generalized experimental data of long-term studies are presented, which allowed to demonstrate the effectiveness of the use of PAC based on the proposed models for solving urgent problems of viticulture in the cultivation of root-related plantings of grapes.

Key words: grapes (*Vitis vinifera* L.), phylloxera, root culture, hormonal regulation, physiologically active compounds, stability, quality, root system.

УДК 631.83:633.11:551.50

КАЧЕСТВО ПШЕНИЦЫ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ РАЗЛИЧНЫХ ЗОН И ПОГОДНЫХ УСЛОВИЙ КУРГАНСКОЙ ОБЛАСТИ¹

© 2022 г. О. В. Вольнкина

Курганский научно-исследовательский институт сельского хозяйства – филиал Уральского федерального аграрного научно-исследовательского центра Уральского отделения РАН
641325 Курганская обл., Кетовский р-н, с. Садовое, ул. Ленина, 9, Россия

E-mail: volynkina.o@bk.ru

Поступила в редакцию 11.04.2022 г.

После доработки 07.05.2022 г.

Принята к публикации 10.06.2022 г.

Исследовано действие удобрений в экспериментах, проведенных на 3-х опытных полях Курганского НИИСХ. Урожайность яровой мягкой пшеницы была больше в северо-западной зоне, где размещено Шадринское опытное поле. По содержанию клейковины в зерне пшеницы преимущество было за восточной зоной, в которой находится Макушинское опытное поле. Среди полей севооборота более высокие показатели урожайности и качества зерна получены в первом посеве после пара. В остальных полях зернопарового севооборота и в посевах бессменной пшеницы близкие показатели были получены только в вариантах применения удобрений. Исследования выявили в этих зонах различия в оптимизации состава удобрения и доз азота и фосфора для повышения урожайности и качества зерна пшеницы.

Ключевые слова: почвенно-климатические условия, зоны Курганской обл., действие удобрений, погодные условия, оптимальный состав удобрения, дозы, азот, фосфор.

DOI: 10.31857/S0002188122090113

ВВЕДЕНИЕ

Качество мягкой яровой пшеницы оценивается многочисленными признаками, среди которых главное внимание обращается на белковость зерна и его натурную массу. Накопление белка пшеницей стимулируется теплой, солнечной погодой, особенно в период формирования и налива зерна, а также хорошими условиями азотного питания. Фактору влияния погоды периода вегетации на урожайность селекционеры отводят долю, равную 74.8% [1]. Для условий Саратовской обл. установлено: при повышении ГТК на единицу урожайность увеличивается на 6.46 ц/га, а содержание клейковины снижается на 9.55% [2].

Клейковинные белки занимают до 80% от всех четырех видов белка в зерне пшеницы [3]. Отмывание клейковины из шрота зерна достаточно простой и быстрый анализ. Поэтому в производственной практике качество пшеницы широко оценивается содержанием клейковины. По данным хлебной инспекции, за один из 10-летних периодов стабильно высоким количеством клейковины в зерне и муке пшеницы выделилось несколько регионов России. В эту группу попали области юга Урала и Западной Сибири. Особенно отличился центр и юг Омской обл., где высокому качеству пшеницы в этих пунктах сопутствовали благоприятные температурные условия в период налива зерна, а также почвы с хорошим азотным режимом [4].

Возможно ли выращивание ценной пшеницы (3-го класса) в Курганской обл.? Желательно рассматривать многолетние данные. В течение 27 лет урожайность и качество пшеницы в посевах хозяйств Курганской обл. исследовали в Управлении Росгосхлебинспекции и Департаменте сельского хозяйства и перерабатывающей промышленности. Характеристика обследованных партий пшеницы

¹ Исследование выполнено в Курганском научно-исследовательском институте сельского хозяйства – филиале УрФНИЦ УрО РАН в лабораториях агрохимии и земледелия в рамках Государственного задания Министерства науки и высшего образования по теме “Усовершенствовать систему адаптивно-ландшафтного земледелия для Уральского региона и создать агротехнологии нового поколения на основе минимизации обработки почвы, диверсификации севооборотов, рационального применения пестицидов и биопрепаратов, сохранения и повышения почвенного плодородия и разработать информационно-аналитический комплекс компьютерных программ, обеспечивающий инновационное управление системой земледелия”.

Таблица 1. Качество зерна пшеницы в Курганской обл. (1994–2012 гг.)

Доля 3-го класса пшеницы в обследованных партиях, %								
Высокая (>60%)			Средняя (39–60%)			Низкая (<35%)		
год	урожайность, ц/га	доля 3-го класса, %	год	урожайность, ц/га	доля 3-го класса, %	год	урожайность, ц/га	доля 3-го класса, %
1994	8.8	96	1997	17.1	39	2001	15.0	16
1995	10.4	91	2000	9.9	48	2002	13.9	17
1996	12.7	76	2005	15.3	52	2003	13.2	18
1998	7.4	89	2006	15.0	48	2011	22.0	33
1999	15.1	66	2007	16.2	43	2014	16.3	28
2004	13.1	63	2008	13.5	53	2015	16.6	11
2010	11.1	73	2009	15.1	53	2016	17.2	12
2012	12.0	80	2013	13.8	52	2017	22.3	14
			2020	13.9	55	2018	16.8	25
						2019	18.3	32
Среднее в группах								
8 лет	11.3	79	9 лет	14.4	49	10 лет	17.2	20

Примечание. 1994–2006 гг. – данные Росгосхлебинспекции, 2007–2020 гг. – сводка Департамента сельского хозяйства, по данным лабораторий элеваторов.

раскрывает степень устойчивости выращивания зерна 3-го класса (табл. 1).

Высокая доля ценной пшеницы неоднократно была отмечена в 1990-е годы. В начале 1990-х гг. в Курганской обл. еще вносили ≈ 30 кг д.в. удобрений/га посева. Удобрения, внесенные в годы внедрения интенсивной технологии возделывания пшеницы (1986–1988 гг.) в дозах до 40–60 кг/га, оказывали последствие. Хорошо подготовленные чистые пары поддерживали на уровне 15–20%. Поэтому в 1994 г., несмотря на обильное увлажнение с осадками за май–август в размере 303 мм, при теплом июне у 96% проанализированного зерна пшеницы содержание клейковины было $\leq 25\%$ (таким было в те годы требование к 3-му классу качества по содержанию клейковины в зерне). Следующие 3 года отличались недостатком влаги в период вегетации пшеницы (130–148 мм), что обеспечило 3-й класс 91, 89 и 76% зерна обследованных партий пшеницы соответственно. В 1999 г. при сумме осадков за май–август 253 мм и недлительной засухе в начале июня доля ценной пшеницы составила 66%. В этой группе было еще несколько засушливых лет с невысокой урожайностью и характерной для сухих лет повышенной белковостью пшеницы, когда в 3-й класс попало 63–80% зерна.

Несколько меньшие объемы пшеницы 3-го класса отмечены в средnezасушливые годы, в которые сократилось количество посевов кормовых

культур и зерновым доставались удобрения в дозах 12–20 кг д.в./га посева. Поэтому доля зерна 3-го класса составила 40–55% оцененных партий пшеницы.

Самым низким количеством пшеницы 3-го класса характеризовались влажные годы, когда за вегетацию выпадало 253–321 мм. В таких условиях обычно формируется большая биомасса растений с продуктивностью 13–15 ц/га зерна с пониженной белковостью. В 2015–2016 гг. условия роста пшеницы были ухудшены при поражении растений стеблевой ржавчиной. Низкими показатели качества зерна в этой группе были и в связи с уменьшением объемов применения удобрений. Например, пониженное содержание клейковины в зерне пшеницы в 2001–2003 гг. было связано не только с обилием осадков, но и с ухудшением азотного режима почвы, т.к. применение удобрений в области в этот период снизилось до 6–9 кг д.в./га посева. В сравнении с 1980-ми гг., когда вносили 40–60 кг д.в./га, объемы использования удобрений уменьшились в 6.6 раза. Анализ качества пшеницы за 27 лет показал, что в почвенно-климатических условиях Курганской обл. возможно выращивание зерна 3-го класса.

По уровню белковости и технологическим свойствам зерна сорта пшеницы делятся на 3 группы: сильные, ценные (средней силы) и слабые. В Российской Федерации в последние годы заметно снизилось производство сильной и даже

Таблица 2. Ограничительные нормы заготавливаемого зерна яровой мягкой пшеницы по классам

Класс/Показатель	Высший	1	2	3	4	5
Клейковина в зерне, %	36	32	28	23	18	Не ограничено
Качество клейковины, группа	1	1	1	2	2	
Натурная масса, г/л	750	750	750	750	750	750
Стекловидность, %		60	60	Не ограничено		
Число падения, с	>200	>200	>200	200–151	150–80	<80

Таблица 3. Зональные различия во влиянии удобрений на урожайность и качество мягкой яровой пшеницы в Курганской обл.

Вариант	Север области (Шадринский район, сортоучасток)			Юг области (Целинный р-н, Луговской совхоз)		
	1	2	3	1	2	3
Без удобрения	15.6	10.9	14.1	17.2	13.7	28.4
N60P20	24.7	10.7	18.0	18.2	14.3	28.9
N90P20	28.4	11.9	22.3	19.2	14.5	29.6

Примечание. В графе 1 – урожайность, ц/га, 2 – сырой протеин, %, 3 – клейковина, %.

ценной пшеницы, которые незаменимы в хлебопекарном производстве [5, 6]. Большое значение для получения зерна высокого качества имеет подбор сортов. Среди сортов, культивируемых в Курганской обл., лидерами по качеству считаются Омская 36, Новосибирская 29 и Ирень [7, 8]. В области наибольшее распространение, по данным апробации, получил сорт Омская 36 (сильная), занимавший ранее 40% и в последние годы – 21.2% посевов пшеницы. Доля площадей посевов нескольких других сортов была следующей: Уралосибирская – 11, Жигулевская (сильная) – 9.8, Икар – 8.5, Радуга (среднепоздний сорт селекции Курганского НИИСХ) – 7.4, Тобольская – 6, Боевчанка – 4.9%. Большая часть сортов входит в список ценных пшениц, однако потенциал ценных и сильных сортов пшеницы реализуется лишь на богатых агрофонах. Качество зерна оценивают по установленным к каждому классу пшеницы требованиям. У 6-ти классов имеются ограничительные нормы для ряда показателей по ГОСТу 9353-90 (табл. 2).

В опытах Курганского НИИСХ высоким содержанием клейковины в зерне и муке отличались посевы пшеницы после чистого пара, где надежность выращивания пшеницы 3-го класса была равна 90–100% лет [9, 10]. В других посевах без удобрений желаемый уровень – не менее 23% клейковины в зерне – достигали лишь в засушливые годы. За счет удобрений и во влажные годы существенно повышались урожайность пшеницы и качество зерна.

В зависимости от зоны области качество пшеницы различалось. В связи с лучшим обеспечением теплом и солнечным освещением растений в посевах юго-восточных районов белковость зерна была больше, чем на северо-западе. Это очевидно показали результаты зональных опытов Курганского НИИСХ, проведенные в течение 2-х лет в 1960-х гг. В силу лучшей влагообеспеченности пшеницы в опыте в северной лесостепи запасы питательных веществ почвы и удобрения расходовались в большей мере на формирование урожая, чем на качество зерна. В степной зоне области урожайность пшеницы меньше зависела от применения удобрений, а более благоприятные для накопления белка погодные условия в сочетании с улучшением питания растений способствовали повышению содержания в зерне клейковины (табл. 3).

Южные районы области неоднократно сдавали на элеваторы большие партии ценной, а иногда и сильной пшеницы. В 1968, 1976 гг. 3 района Курганской обл. – Половинский, Притобольный и Целинный – заготавливали ценную пшеницу в объеме 37–52% от суммарного ее количества во всех 24 районах. При внедрении интенсивной технологии возделывания пшеницы в 1986–1988 гг. и в северо-западных районах многие хозяйства за счет расширения объемов химизации земледелия выращивали пшеницу с содержанием клейковины в зерне ≤23–25% [10].

На сортоучастках области применяли интенсивную технологию возделывания пшеницы. Тем

Таблица 4. Агрохимическая характеристика почвы опытных полей (слой 0–20 см)

Показатель	Поле		
	Центральное	Шадринское	Макушинское
Подтип чернозема	выщелоченный	выщелоченный	обыкновенный солонцеватый
Гранулометрический состав	средне-суглинистый	тяжело-суглинистый	тяжело-суглинистый
pH _{KCl} , ед. рН, 1970/2008 гг.	6.3/5.5	6.5/5.1	7.3/7.4*
Содержание гумуса, %	3.1–4.5	5.3–7.4	4.5–5.5
P ₂ O ₅ по Чирикову, мг/кг	37–50	74	28**
K ₂ O по Чирикову, мг/кг	200–250	120–150	170–190
N-NO ₃ после пара, кг/га, 0–100 см	117	85	194
N-NO ₃ под посевами, удаленными от пара, кг/га, 0–100 см	42–55	49–58	85–117

*pH_{H₂O}. **Есть данные по Мачигину – 30 мг/кг.

не менее, зональные различия зачастую оказывались более значимыми, чем сортовые. Например, в 1998 г. на Далматовском сортоучастке (предшественник – горох) содержание клейковины в муке сортов Жигулевская, Омская 29 и Скэнт 1 было равно 34–36%, а на Белозерском (значительно южнее, предшественник – однолетние травы) – 39–40%, сила муки соответственно была равна 395–435 и 412–553 ед. альвеографа, общая хлебопекарная оценка – 4.8 и 4.9–5.0 баллов [11].

В пределах одного географического пункта качество пшеницы менялось по годам в связи с разнообразием погодных условий. В засушливые годы уменьшался расход питательных веществ на прирост биомассы, а накопление азота в зерне повышалось. К тому же в фазе налива зерна в него поступали сначала белковые вещества, позднее – углеводы. В засуху второй период обычно сокращен, и доля белка в зерне, как правило, больше. Во влажные годы налив и созревание пшеницы были более растянуты. После первичного притока белковых веществ в зерно поступало много углеводов при различных размерах снижения доли белка.

Цель работы – показать роль удобрений и погодных условий в выращивании ценной пшеницы в разных зонах Курганской обл.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Эксперименты, результаты которых взяты для демонстрации действия удобрений на урожайность и качество яровой мягкой пшеницы, были заложены на 3-х опытных полях Курганского НИИСХ. В табл. 4 представлена агрохимическая характеристика почвы опытных полей.

Стационарные опыты длительностью 40–50 лет нацелены на изучение состава удобрения и доз азота в разных полях севооборотов и в бесменных посевах культур. Повторность вариантов трехкратная. Общая площадь делянок – 240–270, учетная – 80–90 м². Высевали районированные сорта сельскохозяйственных культур. Среднее количество осадков за период вегетации в зонах области было следующим: северо-западная зона – 200–228, восточная – 185–211, центральная – 190–207 мм. Подготовка пара предусматривала осеннюю вспашку и 4–5 культиваций летом для устранения сорной растительности. Вид обработки почвы в остальных полях – вспашка в Шадринском и Макушинском опытах. В последнем с 1999 г. вспашка заменена мелкой обработкой почвы. Посев проводили дисковой сеялкой СЗ–3,6. На всех опытных полях применяли гербициды из группы 2,4–Д, в последнее время – с добавлением граминцидов. Учет урожая вели напрямую комбайном Sampro-500 с отбором образца для определения влажности и сорности бункерной массы зерна. Исполнителями исследований на Шадринском опытном поле были Г.Н. Харин, С.М. Овсянникова и В.П. Новоселов. На Макушинском опытном поле эксперименты выполняли А.П. Попов, Г.П. Попов, Л.П. Попова и Л.Г. Степанова. Руководили этими исследованиями В.И. Овсянников, М.А. Глухих и С.Д. Гилев.

Эксперимент на Центральном опытном поле имел 2 этапа – в 1971–1998 гг. 7 ротаций севооборота: кукуруза – 2 пшеницы – овес при вспашке, затем в 1999–2020 гг. выращивали бесменную пшеницу после стерни. Во 2-й части этого опыта с осени оставляли стерню, затем весной почву разрыхляли при посеве стерневой сеялкой СКП–2,1

Таблица 5. Влияние удобрений на урожай и качество зерна пшеницы на Шадринском опытном поле, 1972–2011 гг.

Показатель	ГТК _{5–8}			Среднее
	1.30–2.29	0.88–1.09	0.47–0.78	
1-я пшеница после пара				
Число лет (из 40 лет опыта)	22	12	6	40
Урожайность (N0P0), ц/га	31.4	18.8	11.9	24.7
Прибавка урожайности от N40P30, ц/га	4.1	3.2	1.3	3.4
Клейковина (N0P0), %	26.7	27.5	32.6	27.8
Прибавка клейковины от N40P30, %	2.2	1.9	0.9	1.9
2-я пшеница после пара				
Число лет	29	4	7	40
Урожайность (N0P0), ц/га	18.8	13.3	11.5	17.0
Прибавка урожайности от N40P30, ц/га	10.7	6.0	1.2	8.6
Клейковина (N0P0), %	22.9	26.9	29.9	24.6
Прибавка клейковины от N40P30, %	0.8	1.9	0.7	0.9
3-я пшеница после пара				
Число лет	29	6	5	40
Урожайность (N0P0), ц/га	16.4	15.3	9.8	15.4
Прибавка урожайности от N40P30, ц/га	14.4	4.5	2.4	11.4
Клейковина (N0P0), %	21.6	21.7	27.2	22.3
Прибавка клейковины от N40P30, %	4.9	4.5	2.9	4.6
Бессменная пшеница				
Число лет	23	11	6	40
Урожайность (N0P0), ц/га	15.1	13.4	11.4	14.1
Прибавка урожайности от N40P30, ц/га	10.9	4.4	1.6	7.7
Клейковина (N0P0), %	19.7	23.2	30.6	22.3
Прибавка клейковины от N40P30, %	4.1	3.2	1.7	3.5

с сошником культиваторного типа. Стационар заложен в 1971 г. В.И. Волюнкиным, с 1993 г. по настоящее время исполнителем опыта является О.В. Волюнкина. Анализ материалов 3-х опытов сделан автором статьи.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Применение удобрений наряду с повышением урожайности улучшало качество пшеницы, повышая крупность зерна и содержание белковых веществ. В лучших условиях увлажнения на северо-западе области больше была урожайность зерна пшеницы и ее отзывчивость на удобрения, но хуже качество зерна. Азотный режим чернозема выщелоченного характеризовался величиной накопления нитратного азота в пару в 1-метровом слое в количестве 85 кг/га на Шадринском опытном поле (северо-запад области), на Центральном – 117 кг/га. На Макушинском опытном поле почва – обыкновенный солонцеватый чернозем,

азотный режим которого характеризовался еще более высоким накоплением нитратного азота в пару – до 194 кг/га в 1-метровом слое почвы [12]. Азотный режим почвы во многом определял как урожайность, так и белковость зерна пшеницы. Поэтому у пшеницы после пара обычно высокими были и сбор зерна, и содержание белковых веществ в нем. В других посевах для получения близких результатов требовались удобрения [13–15].

Шадринское опытное поле. В северо-западной зоне области в лучших условиях увлажнения регулировать качество зерна пшеницы сложнее, на что указали данные эксперимента Шадринского опытного поля в зернопаровом севообороте и в бессменном посеве пшеницы. В силу лучшего увлажнения растений в этой зоне 87–90% лет за период опыта характеризовались средним и сильным действием удобрений. Во влажные годы в большинстве лет в опыте получены высокие урожаи пшеницы даже без удобрения – 16–31 ц/га в севообороте с паром и 15 ц/га – бессменной пше-

Таблица 6. Сбор клейковины с урожаем пшеницы на фоне применения N40P30 (Шадринское опытное поле, 1972–2011 гг.), кг/га

Место посева пшеницы в севообороте	Действие удобрений		
	высокое	среднее	слабое
1-й после пара	984	624	468
2-й после пара	727	609	497
3-й после пара	878	518	432
Бессменный	603	527	437

ницы. При этом содержание клейковины в зерне было низким, особенно с удалением культуры от пара, где в контроле в такие годы в зерне пшеницы содержалось лишь 19–22% клейковины (табл. 5).

С применением удобрений зависимость от погодных условий несколько уменьшалась. При испытании в опыте доз азота N40–80–120 на фоне P30 основная часть прироста урожая была от первой дозы N40, результаты в вариантах применения этой дозы показаны в табл. 5. Двойная доза N80 давала вдвое–втрое меньшую прибавку, тройная доза N120 была неэффективной. Это дало основание считать оптимумом дозу азота между 1-й и 2-й испытанными дозами. Сбор клейковины с урожаем удобренной пшеницы был самым высоким во влажные годы, достигая 603–984 кг/га, в то время как в условиях недостатка влаги равнялся 437–497 кг/га. В эксперименте на Шадринском опытном поле (при ежегодной вспашке) даже у бессменной пшеницы в годы с достаточным увлажнением за счет внесения N40P30 средняя урожайность достигла 26.0 ц/га при высоком сборе клейковины (603 кг/га), опускаясь при засухах до 12.5 ц/га и 437 кг/га. Итак, с помощью удобрений влажные годы переставали быть препятствием для выращивания качественного зерна пшеницы (табл. 6).

В опыте было предусмотрено и отдельное внесение P30. Одностороннее фосфорное удобрение

слабо действовало как на урожайность пшеницы, так и на качество зерна, поскольку почва была неплохо обеспечена подвижным фосфором (74 мг/кг). Азотное удобрение в полях севооборота по-разному влияло на качество зерна. За счет удобрения N40P30 даже при повышенном увлажнении число лет с 3-м классом качества заметно увеличивалось. Повышение дозы азота с N40 до N80 в 1-м посеве после пара положительно влияло редко, во 2-м посеве – в 60% лет, в 3-м посеве – 50% и в 76% лет в бессменном посеве пшеницы. Без удобрения на 2-й и 3-й культурах после пара 3-й класс качества зерна отмечали лишь в 62.5% и 47.5% лет соответственно. Улучшение азотного питания повышало частоту выращивания зерна 3-го класса до 92.5–95% лет (табл. 7).

Макушинское опытное поле. В действии удобрений в этом опыте большую роль сыграло очень низкое содержание подвижного фосфора в слое 0–20 см обыкновенного солонцеватого чернозема и высокое накопление нитратного азота в паровом поле (табл. 4). Поэтому в посеве 1-й пшеницы после пара условия роста становились оптимальными при внесении одного фосфорного удобрения. Лишь 3 раза за 45 лет при недостатке влаги эффект от применения P20 не проявился. Уровень прибавки урожайности по годам менялся. В посеве 1-й пшеницы после пара в течение 19 лет средний эффект от применения P20 составил 8.2 ц/га, в течение 16 лет прирост урожая был более умеренным (3.4 ц/га) и лишь в течение 10 лет он снижался до 1.2 ц/га. Средняя за 45 лет прибавка от применения P20 составила 5.0 ц/га при урожайности в контроле 22.7 ц/га (табл. 8).

В следующих полях одно фосфорное удобрение было тоже эффективным, обеспечивая рост урожайности на 3.3–3.1 ц/га в севообороте с паром и 4.4 ц/га – бессменной пшеницы. Азотно-фосфорное удобрение способствовало дальнейшему приросту урожайности. Причем 20–25 лет добавление азота к фосфору давало дополнительно еще 5 ц/га. От малой дозы азота N20 в сочета-

Таблица 7. Повторяемость показателей качества зерна пшеницы на уровне требований к 3-му классу за 40 лет опыта (Шадринское опытное поле, 1972–2011 гг.), % лет

Место посева пшеницы в севообороте	Варианты				
	Без удобрения	P30	N40P30	N80P30	N120P30
1-й после пара	85.0	82.5	92.5	92.5	95
2-й после пара	62.5	52.5	77.5	92.5	97.5
3-й после пара	47.5	47.5	87.5	95	100
Бессменный	42.5	42.5	67.5	92.5	97.5

Таблица 8. Влияние погодных условий и удобрений на урожайность пшеницы на обыкновенном солонцеватом черноземе Макушинского опытного поля за 45-летний период опыта (1970–2014 гг.)

Посев пшеницы после пара	Показатель	ГТК _{5–8}			Среднее
		1.14–1.62	0.88–1.03	0.33–0.70	
1-й	Число лет	19	16	10	45
	Урожайность (N0P0), ц/га	24.9	22.5	18.9	22.7
	Прибавка от P20, ц/га	8.2	3.4	1.5	5.0
2-й	Число лет	20	16	9	45
	Урожайность (N0P0), ц/га	20.0	17.5	15.5	18.2
	Прибавка от N20P20, ц/га	8.0	4.7	2.3	5.7
3-й	Число лет	21	14	10	45
	Урожайность (N0P0), ц/га	18.9	15.3	12.2	16.3
	Прибавка от N20P20, ц/га	8.7	4.3	0.9	5.6
Бессменный	Число лет	25	13	7	45
	Урожайность (N0P0), ц/га	15.3	10.9	6.1	12.6
	Прибавка от N20P20, ц/га	8.5	4.9	2.3	6.5

Таблица 9. Эффективность применения азота под 1-ю культуру после пара и повышения дозы азота до N40 в других полях на урожайность пшеницы на обыкновенном солонцеватом черноземе Макушинского опытного поля (1970–2014 гг.)

Посев пшеницы в севообороте	Показатель	Дополнительный эффект от применения N20 под 1-ю пшеницу и повышения дозы азота до N40 в других полях	
1-й после пара	Число лет	9	за все 45
	Урожайность (P20), ц/га	24.1	27.7
	Прибавка от добавления N20, ц/га	5.3	0.8
2-й	Число лет	17	45
	Урожайность (N20P20), ц/га	26.8	23.9
	Прибавка от применения N20, ц/га	3.8	0.9
3-й	Число лет	19	45
	Урожайность (N20P20), ц/га	25.3	21.9
	Прибавка от применения N20, ц/га	3.4	1.3
Бессменный	Число лет	15	45
	Урожайность (N20P20), ц/га	22.8	19.1
	Прибавка от применения N20, ц/га	3.6	1.2

нии с P20 средняя прибавка составила 5–6 ц/га, а в части лет она повышалась в 1.5–1.6 раза.

Стоит ли добавлять азот к фосфору в 1-м посеве после пара? Показано, что в течение 9 лет был обнаружен дополнительный рост урожая от добавления N20 к P20 под пшеницу после пара, когда общая прибавка от N20P20 повышалась до 9.0 ц/га, а от одного фосфора в эти годы – только на 3.7 ц/га. Однако другие 36 лет добавление азота в посевах пшеницы после пара сопровождалось сохранением или снижением урожайности. Полагаясь на средний эффект (0.8 ц/га), получается, что добавление азотного удобрения в дозе N20 в

1-м посевах пшеницы после пара на солонцеватом черноземе восточной зоны области было нецелесообразным (табл. 9).

В полях, удаленных от пара и в бессменном посевах пшеницы увеличение дозы азота с N20 до N40 в части лет давало дополнительно 3.4–3.8 ц/га, но такой эффект отмечен 17 лет во 2-м посевах после пара, 19 лет – в 3-м посевах и 15 лет – в бессменных посевах пшеницы. В засушливые годы эффект не проявлялся или урожайность даже несколько снижалась. Поэтому средняя прибавка от увеличения дозы азота с N20P20 до N40P20 была невысокой – 0.9–1.3 ц/га.

Оценка качества зерна в этом опыте сделана не во все годы опыта. По имеющимся данным, азотный режим обыкновенного солонцеватого чернозема оказывался в основном благоприятным для выращивания ценной пшеницы. Например, по 12-летним наблюдениям (2001–2012 гг.), даже в бессменном посеве пшеницы при условии внесения удобрения качество зерна на уровне 3-го класса было в 75% лет. В эти годы высевали сорта Новосибирская 89, Новосибирская 15 и Омская 36 после мелкой обработки почвы. Их урожайность от азотно-фосфорного удобрения N40P20 повышалась в среднем за 12 лет с 12 до 20 ц/га. Содержание клейковины в зерне бессменной пшеницы на фонах без удобрения и N40P20 равнялось 24 и 27% при частоте 3-го класса 58 и 75% лет.

На Макушинском опытном поле и во влажный год за счет лучшего азотного режима почвы и питания растений качество зерна отвечало требованиям к 3-го класса. В 2011 г. за май–август выпало 207 мм осадков. В зернопаровом севообороте урожайность пшеницы Омская 36 составила 40–58 ц/га, содержание клейковины в зерне – 27–31%, бессменной пшеницы – 25 ц/га без удобрения и 37 на фоне N40P20, содержание клейковины соответственно – 21 и 28%. В засушливые годы, как и обычно, отмечена низкая урожайность с хорошим качеством зерна. При резкой засухе лета 2010 г. урожайность пшеницы снизилась до 5–10 ц/га при содержании клейковинных белков в зерне 28–33%.

Центральное опытное поле. В 1990-х гг. из-за упадка животноводческой отрасли в земледелии Курганской обл. уменьшились посевы кормовых культур. Поэтому наряду с зернопаровыми севооборотами возросла доля повторных посевов зерновых культур. К тому же на 50% посевов пшеницу стали сеять после минимальных видов обработки почвы – мелкой или нулевой. В такой технологии для выращивания ценной пшеницы особенно необходимо усиление азотного питания растений с помощью внесения удобрений. В течение 22 лет исследовали влияние удобрений в условиях достаточно жесткой технологии – при возделывании бессменной пшеницы после стерни. Опыт проведен в 1999–2020 гг. на Центральном опытном поле Курганского НИИСХ. Сорта пшеницы: 12 лет – Терция и следующие 10 лет – Зауралочка (обе селекции Курганского НИИСХ, в списке ценной пшеницы). На участке эксперимента на Центральном опытном поле было низкое содержание подвижного P₂O₅ в почве (40 мг/кг), поэтому прирост урожая пшеницы от одного азотного удобрения в среднем был равен 2–3 ц/га, тогда как применение азотно-фосфорного

удобрения обеспечивало прибавки 4–6 ц/га. Одно фосфорное удобрение в повторных посевах пшеницы слабо действовало, повышая урожайность на 1 ц/га. При совместном внесении азота и фосфора происходило не сложение эффектов от их отдельного применения, а положительное взаимодействие. Замечено, что в части лет и на качество пшеницы сильнее воздействовало совместное применение азота с фосфором.

При сравнении доз азота оказалось, что применение N20P20 повышало только урожайность, а качество зерна на уровне 3-го класса за 22 года отмечено в 38% лет, то есть на уровне контроля. При внесении N40P20 в 62% лет на стерневом фоне показано одновременное повышение урожайности и улучшение качества зерна пшеницы. Средний сбор клейковины с урожаем в этом варианте был равен 383 кг/га при 207 кг/га в варианте без удобрения (табл. 10).

На базе зональных стационарных опытов установлено, что фосфорное удобрение P20–30 было эффективным лишь при содержании в почве подвижного P₂O₅ 20–30–40 мг/кг. Такие поля есть во всех зонах области. Почв, бедных фосфором, в пашне Курганской обл. насчитывается 62%. На Макушинском опытном поле обыкновенный солонцеватый чернозем особенно беден подвижным фосфором (28 мг/кг), но имеет улучшенный азотный режим, благоприятствующий получению зерна высокого качества. В этом случае сильнее всего действует фосфорное удобрение. По-другому складывается влияние фосфора, когда почвенные условия меняются. Например, на Шадринском опытном поле тяжелосуглинистый выщелоченный чернозем богаче подвижным P₂O₅ (74 мг/кг), но нитратов в пару накапливается меньше, чем на других опытных полях (табл. 4). При таком уровне содержания P₂O₅ в почве во 2-м и 3-м посевах после пара можно обходиться применением одного азотного удобрения.

Проявлению эффекта от фосфорного удобрения содействует хорошая обеспеченность растений азотом, которая обычно складывается после пара и после других предшественников за счет азотного удобрения. Средние рекомендуемые дозы удобрений под пшеницу отличаются в зависимости от зоны области. Для центральной зоны рекомендуемые дозы – N40–50P15–20, восточной – N20–30P15–20 и для северо-запада области – N50–70P15–20. Такие дозы способны одновременно повысить продуктивность пшеницы и качество зерна.

Сохранность качества зерна. Недостаточно вырастить ценную пшеницу, надо сохранить ее ка-

Таблица 10. Влияние состава удобрения и доз азота на урожайность и качество бессеменной пшеницы после стерни (Центральное опытное поле, 1999–2020 гг.)

Вариант	Урожайность (ее изменения), ц/га	Прибавка урожайности (ее варьирование по годам с ГТК _{5–8} 0.78–0.93–1.38), ц/га	Клейковина в зерне (изменения ее величины), %	Сбор клейковины с урожаем, кг/га	3-й класс качества зерна за 22-летний период, % лет
N0P0	9.8 (4.8–16.8)	–	21.1 (13*–33)	207	38
N20	11.6 (6.5–20.1)	1.8 (0.9–2.3–4.1)	24.5 (16–33)	284	57
N40	12.3 (6.2–20.9)	2.5 (0.8–2.4–6.4)	25.5 (18–35)	314	62
N20P20	13.2 (6.5–22.8)	3.4 (1.4–2.5–4.8)	21.3 (11–31)	281	38
N40P20	15.2 (6.8–26.2)	5.4 (1.4–4.7–9.6)	25.2 (14–37)	383	62
HCP ₀₅	1.3–2.1		3.2		

*Резкое снижение качества пшеницы в 2016 г. вызвано поражением растений стеблевой жвачкой.

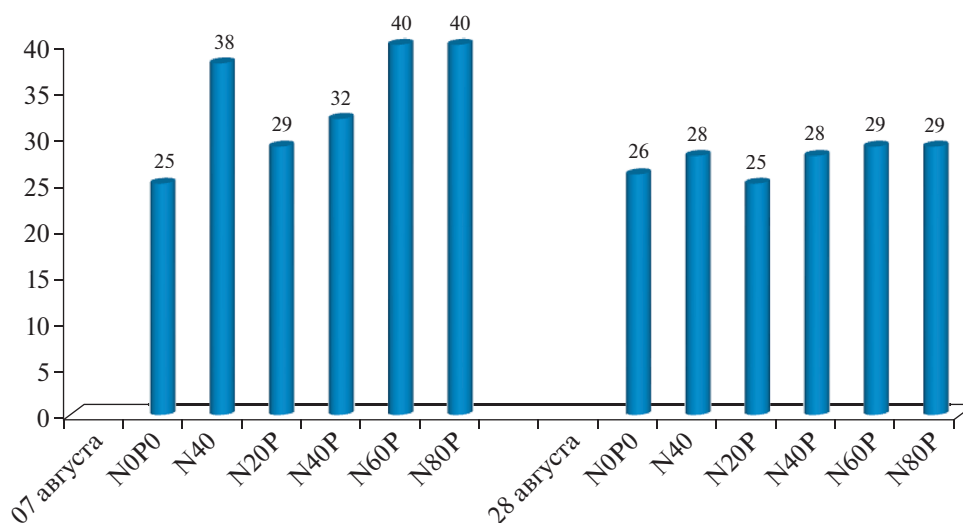
чество до срока уборки. В отсутствии специального опыта по оценке качества зерна при разных сроках уборки есть наблюдения за изменением качества в зависимости от 2-х сроков – при своевременном отборе снопов пшеницы и запоздалой комбайновой уборке. Например, в 1983 г. по истечении 17 сут перестоя созревших растений (30 августа–15 сентября) ухудшилась оценка качества пшеницы по фаринограмме. Степень разжижения теста повысилась с оптимальной величины 70–80 до 100–120 ед. фаринографа.

В 1999 г. при обильных осадках на перестоявших посевах зерно стало обесцвеченным. Снизились следующие признаки качества: стекловидность – на 20–30%, натурная масса – на 50 г/л, выход муки – с 69–72 до 67–69%. Число падения стало неудовлетворительным – 62 с. В 2012 г. зер-

но снопов, взятых 13 августа, было янтарным, а после осадков 23 мм к 20 августа – матовым.

В 2020 г. при посеве пшеницы в опыте 16 мая полная спелость зерна наступила уже 7 августа. Августовские осадки в количестве ≈60 мм, выпавшие после 7 августа, вызвали стекание зерна и снижение содержания клейковины с 32–40% до 26–28% (рис. 1). Стоит сказать, что несмотря на осадки, характерная для сорта Зауралочка 1-я группа качества клейковины по величине упругости ИДК сохранилась и после дождей.

В опытах наряду с количественными показателями качества пшеницы изучены технологические свойства зерна, которые важны в процессах переработки пшеницы. Эти показатели будут обсуждены в отдельном материале. Желательно, чтобы удобрения, повышая урожайность, сохра-

**Рис. 1.** Содержание клейковины в зерне пшеницы на 7 и 28 августа 2020 г.

няли технологические свойства, присущие ценным и сильным сортам пшеницы. Большинство имеющихся данных показало, что влияние удобрений на свойства теста и хлеба было положительным: увеличивалась сила муки и объемный выход хлеба из 100 г муки.

Экономическая эффективность. Говоря в целом о проблеме качества любой продукции, можно сказать, что не надо искать главный показатель. Комплекс показателей определит экономический эффект, на него и следует ориентироваться при выборе технологии возделывания пшеницы. Экономически приемы выращивания высокобелковой пшеницы оцениваются в 3-х аспектах. Во-первых, чем выше содержание и качество белка в хлебных и прочих продуктах из зерна пшеницы, тем выше компенсация потребности человека в белке с помощью более дешевого растительного белка. Во-вторых, зерно, достигшее по качеству уровня 1–3 классов, перерабатывается с наименьшими отклонениями от технологий, принятых в мукомольном и хлебопекарном производствах. В части посевов удается получить зерно с содержанием клейковины 30–40%, такая пшеница обладает высокой смесительной ценностью для улучшения партий с низким содержанием белка в зерне. И, наконец, стоимость ценной и сильной пшеницы во все годы была значительно выше, чем слабой. По годам преимущество в цене зерна 3-го класса по отношению к 4-му колебалось от 70 до 150 руб./ц. Можно привести пример подсчетов в 2-х вариантах применения N20P20 и N40P20 с урожайностью 13.2 и 15.2 ц/га, в которых 3-й класс был отмечен в 38% лет в первом из них и 62% лет – во втором (табл. 10). По ценам 2020 г. (1040 и 960 руб./ц) средневзвешенная цена пшеницы в вышеназванных вариантах составила 1100 и 1136 руб./ц. Соответственно стоимость урожая для этих 2-х технологий была равна 14520 и 17374 руб./га, прибыль – 4186 и 5865 руб./га. Только за счет улучшения качества пшеницы прибыль возросла на 1679 руб./га. В настоящее время цены на зерно 3-го и 4-го классов поднялись до 1400 и 1300 руб./ц, что могло бы усилить эффект, но повысились и затраты на технологию в связи с подорожанием удобрений.

ВЫВОДЫ

1. Наиболее надежными для выращивания сильной или ценной пшеницы на черноземах Курганской обл. являются посевы по хорошо подготовленному пару, где в 1-метровом слое почвы в 3-х зонах области накапливается нитратного азота до 85–117–194 кг/га. На почвах, бед-

ных подвижным фосфором (20–30–40 мг P₂O₅/кг), при высокой обеспеченности растений азотом в полях после пара внесение дозы P20 способствует более полному использованию растениями азота пара.

2. В удаленных от пара посевах азотно-фосфорное удобрение одновременно повышало урожайность пшеницы и качество зерна. На трех опытных полях определены уровни экономически выгодных доз: для обыкновенного солончатого чернозема Макушинского опытного поля – N20–30P20, для среднесуглинистого выщелоченного чернозема Центрального поля – N40–50P20 и для тяжелосуглинистого выщелоченного чернозема Шадринского опыта при хорошей обеспеченности подвижным фосфором – N50–60–70.

3. Для производства сильной и ценной пшеницы более благоприятными почвенно-климатические условиями характеризуются южная и восточная зоны Курганской обл. В удобряемых посевах и в других зонах возможно получение качественного зерна пшеницы.

4. Погодные условия во всех зонах области регулируют уровень урожайности и качества пшеницы равно, как и степень воздействия минеральных удобрений. По данным Шадринского опытного поля, в северо-западной зоне области сбор клейковинных белков с урожаем удобряемой пшеницы самым высоким оказался во влажные годы – до 727–984 кг/га в зернопаровом севообороте и 603 кг/га – в бессменном посеве пшеницы, понижаясь до 432–497 кг/га при засухах. На менее урожайных стерневых фонах на Центральном опытном поле даже при внесении удобрения N40P20 сбор клейковины был меньше и в среднем составил 383 кг/га при 207 кг/га в контроле.

5. Достигнутое в разных технологиях качество пшеницы сохранялось при своевременном проведении уборки в фазе полной спелости зерна. Перестой на корню при выпадении осадков за этот период приводил к ухудшению многих показателей качества зерна.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Новохатин В.В., Шеломенцева Т.В.* Рост урожайности яровой мягкой пшеницы в Северном Зауралье // Вестн. РАСХН. 2014. № 4. С. 14–17.
2. *Маркин Б.К.* Особенности формирования и моделирования качества зерна яровой мягкой пшеницы // Зерн. культуры. 2000. № 6. С. 15–17.
3. *Пенс Дж.В., Ниммо К.К., Хепберн Ф.Н.* Белки // Пшеница и оценка ее качества. М.: Колос, 1968. С. 199–241.

4. Суднов П.Е. Агротехнические приемы повышения качества зерна пшеницы. М.: Колос, 1965. 190 с.
5. Алтухов А.И. Производство пшеницы в стране растет, но качество ее снижается // Эконом. сел.-хоз. и перерабат. предприятий. 2016. № 11. С. 2–10.
6. Сычев В.Г., Милащенко Н.З., Шафран С.А. Агрохимические аспекты получения высококачественного зерна в России // Плодородие. 2018. № 1 (100). С. 18–19.
7. Зайцева И. Сорты – лидеры // Новое сел. хоз-во. 2014. № 1. С. 56–57.
8. Захарова Н.Н., Захаров Н.Г., Гаранин М.Н. Формирование качества зерна озимой и яровой мягкой пшеницы в условиях лесостепи среднего Поволжья // Вестн. Ульяновск. ГСХА. 2016. № 1(33). С. 14–20.
9. Волюнкин В.И., Волюнкина О.В., Новоселов В.П. Влияние погодных условий на урожай и качество пшеницы в Курганской области // Вестн. РАСХН. 2008. № 3. С. 32–34.
10. Волюнкина О.В., Волюнкин В.И. Рекомендации по технологии выращивания высококачественного зерна ценных сильных сортов яровой мягкой пшеницы в Курганской области и формированию товарных партий ценной пшеницы. Куртамыш: Куртамышская типография, 2014. 88 с.
11. Научные основы систем земледелия Курганской области: рекомендации. РАСХН, Курганский НИИСХ. Курган, 2001. 296 с.
12. Система земледелия Курганской области. ВАСХНИЛ, СО, Курганский НИИЗХ. Новосибирск, 1988. 216 с.
13. Невольнева Е.В. Влияние различных агроприемов на урожайность и качество озимой пшеницы в условиях ЦЧЗ // Инновационные технологии возделывания белого люпина и других зерновых культур. Мат-лы Всерос. научн.-практ. конф. с междунар. участием Белгородского НИИСХ 13–15 июня 2017 г. Белгород: Белгородский НИИСХ, 2017. С. 346–350.
14. Журавлев Д.Ю., Климова Н.Ф., Ярошенко Т.М., Пронько В.В. Влияние минеральных удобрений на качество зерна культур зернопарового севооборота на южных черноземах Поволжья // Итоги выполнения программы фундаментальных научных исследований государственных академий на 2013–2020 гг. Всерос. коорд. совещ. научн. учрежд. – участников Географ. сети опытов с удобр. 16–17 апреля 2018 г. М.: ВНИИА, 2018. С. 86–91.
15. Грабовец А.И., Бирюков К.Н., Фоменко М.А. Сравнительная характеристика урожайности и количества белка в зерне сортов озимой пшеницы и триктиале на Дону // Земледелие. 2020. № 7. С. 25–28.

Wheat Quality Depending on Different Zones and Weather Conditions of the Kurgan Region

O. V. Volynkina

*Kurgan Research Institute of Agriculture – Branch of the Ural Federal Agrarian Research Center of the Ural Branch of the RAS
ul. Lenina 9, Kurgan region, Ketovsky district, s. Sadovoye 641325, Russia*

E-mail: volynkina.o@bk.ru

The effect of fertilizers was studied in experiments conducted on 3 experimental fields of the Kurgan Research Institute. The yield of spring soft wheat was higher in the north-western zone, where the Shadrinsky experimental field is located. According to the gluten content in wheat grain, the advantage was for the eastern zone, in which the Makushinsky experimental field is located. Among the crop rotation fields, higher yields and grain quality were obtained in the first sowing after steam. In the remaining fields of the grain-fallow crop rotation and in permanent wheat crops, similar indicators were obtained only in fertilizer application options. Studies have revealed differences in the optimization of fertilizer composition and doses of nitrogen and phosphorus in these zones to increase the yield and quality of wheat grain.

Key words: soil and climatic conditions, zones of the Kurgan region, the effect of fertilizers, weather conditions, optimal fertilizer composition, doses, nitrogen, phosphorus.

УДК 631.416

НОРМИРОВАНИЕ ХИМИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ В ПОЧВАХ АГРОЦЕНОЗОВ С УЧЕТОМ ИХ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО ЗНАЧЕНИЯ

© 2022 г. Л. П. Воронина^{1,2,*}, К. Э. Поногайбо¹

¹Центр стратегического планирования и управления медико-биологическими рисками здоровью
Федерального медико-биологического агентства
119121 Москва, Погодинская ул., 10, стр. 1, Россия

²Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова
119991 Москва, Ленинские горы, 1, стр. 12, Россия

*E-mail: LVoronina@cspmz.ru

Поступила в редакцию 06.04.2022 г.

После доработки 08.05.2022 г.

Принята к публикации 10.06.2022 г.

В связи с актуальностью совершенствования методического материала по санитарно-гигиеническому нормированию поллютантов в почве и часто возникающими дискуссиями по поводу использования существующих нормативов для почв агроценоза представлялось целесообразным выделить и определить основные позиции в существующем методическом подходе по определению ПДК поллютантов для почв сельскохозяйственного использования. Для того, чтобы установленные ПДК не противоречили нормальному функциональному предназначению агроценозов, необходимо руководствоваться не только принципом “не навреди” – не допуская присутствие высокой концентрации поллютанта, но и “не навреди” – строгим контролем, ограничивая тем самым присутствие необходимого количества питательных веществ для формирования качественной сельскохозяйственной продукции. Поиск источников, посвященных исследованиям по применению санитарно-гигиенических нормативов в почвах сельскохозяйственного использования, проводили в научной электронной библиотеке eLIBRARY.ru и в библиографических, реферативных базах данных Research Gate, Springer Link, Scopus, Science Direct, Web of Science. Данный аналитический обзор определяет ряд основных позиций, которые необходимо учитывать в гигиенических подходах нормирования химических веществ в почвах агроценозов.

Ключевые слова: агроценоз, методика нормирования, предельно-допустимая концентрация химических веществ, качество сельскохозяйственных почв.

DOI: 10.31857/S0002188122090125

СОЦИАЛЬНЫЕ ПРЕДПОСЫЛКИ

Деятельность человека в природе осуществляется в рамках сложной социально-экологической системы [1]. Особый интерес представляет связь сельскохозяйственных территорий (агроценозов – биогеоценозов, созданных человеком (искусственных экосистем), обладающих определенным видовым составом и определенными взаимоотношениями между компонентами окружающей среды. Их высокая продуктивность обеспечивается интенсивной технологией подбора высокоурожайных сортов растений, удобрений) и природных экосистем [2]. При изучении антропогенно-созданного ландшафта (агроценоза) стоит учитывать его характеристику по сравнению с незатронутой эффективной деятельностью человека территорией [3]. Экологические законы, поддерживающие биоразнообразие и сохранение, ограничивают рас-

ширение сельскохозяйственных площадей, что является одной из причин интенсификации сельского хозяйства и, на сегодня, поиска инновационных стратегий устойчивого (сбалансированного) аграрного природопользования [4]. Технологии интенсификации аграрного природопользования, увеличивающие эффективность и объемы сельскохозяйственного производства, истощают агроэкосистему и актуализируют в ней необходимость контроля и нормирования. Особое внимание общественности приурочено к качеству окружающей среды и безопасности пищевых продуктов [5], что является лимитирующим фактором в увеличении интенсификации аграрного природопользования.

На сегодняшний день особенности рыночных отношений в процессе землепользования привели к тому, что основное внимание уделяется социаль-

но-экономической ориентации, а экологические проблемы имеют второстепенное значение. Поэтому важность экологической составляющей в системе устойчивого использования земель агроценозов с каждым годом становится все более значимой. Оптимизация использования сельскохозяйственных земель предполагает как достижение параметров плодородия и продуктивности, так и нормализацию экологических аспектов, представленных конкретными качественными и количественными показателями, в частности, уровнем экологической устойчивости территории [6].

Для устойчивого функционирования агроценоза необходимо анализировать процессы, происходящие в каждой локальной экосистеме [7]. Такая сепарация продиктована разнообразием природных систем, которая может оптимально регулировать платежную политику, связанную с нормативными гигиеническими показателями агроценоза [8].

Экологическое равновесие и устойчивость агроценоза складываются из баланса противоположно направленных процессов: продукционно-го и деструкционно-го, гумификации и минерализации, выноса и поступления питательных веществ, уплотнения и разуплотнения почвы, формирования структуры и разрушения, эрозийных процессов и почвообразования и т.п. Причем все эти процессы может регулировать человек. В сельскохозяйственных ландшафтах необходимо задать такие параметры, в которых нагрузки, нарушающие экологические параметры, находились бы в рамках защитной емкости среды. Необходимо подчеркнуть, что для агроценоза основной принцип определения предельно-допустимых концентраций (ПДК) для почв, связанный с установлением способности почвы в зависимости от вида землепользования сохранять устойчивость при антропогенной нагрузке, декларируемый в ст. 3 ФЗ “Об охране окружающей среды” (Федеральный закон от 10.01.2002 № 7 (ред. от 05.02.2007) “Об охране окружающей среды”), не является единственно действующим. ПДК – такое содержание химических элементов в среде, которое в течение длительного времени не вызывает прямого или косвенного негативного влияния на здоровье человека, включая отдаленные последствия.

В качестве критерия в данном случае выступает и предел поступления этого вещества в растение (МДУ) – максимально допустимые уровни (или ДОК – допустимые остаточные концентрации) пестицида в пищевых и фуражных продуктах, в почве и других объектах, устанавливаемые

на основании результатов изучения токсичности препаратов для различных организмов.

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ СОСТАВЛЯЮЩАЯ КАК ОТРАЖЕНИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ АНТРОПОГЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ

Основные поллютанты, существующие в природе, определяются, нормируются и контролируются, что является общепланетарным исследовательским направлением в целях сохранения окружающей среды и здорового образа жизни на нашей планете. Регулированию качества почв посвящено много работ как отечественных, так и зарубежных авторов [9–13]. Изучение вопросов нормирования поллютантов в рамках контроля за почвенными свойствами сельскохозяйственных объектов можно отнести к целевому направлению в этих исследованиях, которое нуждается в индивидуальном подходе.

Общий подход предполагает установление экологических нормативов на основе поиска и раскрытия основных закономерностей между состоянием природной среды и антропогенным воздействием на среду, далее по установленным закономерностям в изменении системы “степень воздействия–состояние” в соответствии с областью исследования разрабатывают критерии и показатели норм качества.

Для изучения эколого-гигиенических характеристик почв в сельскохозяйственных ландшафтах используют все подходы, применяемые в области научно-методических изысканий экологического нормирования почв.

ПОДХОД К ОПРЕДЕЛЕНИЮ СУММАРНОГО ПОКАЗАТЕЛЯ ЗАГРЯЗНЕНИЯ В АГРОЦЕНОЗАХ

На сельскохозяйственных площадях ведут мониторинговые эколого-гигиенические исследования, контролируют основные токсиканты. Предельно-допустимые концентрации (ПДК) элементов и их соединений в среде являются санитарно-гигиеническим критерием качества окружающей среды. В основе принципа нормирования лежит методика, нацеленная не на выявление зон бедствия, а предупреждающая негативные антропогенные воздействия на окружающую среду и, таким образом, защищающая человека от их воздействия.

Существующие ПДК учитывают при расчете следующих коэффициентов загрязнения территории: коэффициент загрязнения K_0 (K_0 – фактическое содержание к ПДК) и коэффициент

концентрации химического вещества, учитывающий фоновое содержание элемента в почве (K_c – фактическое содержание к фоновому содержанию), который впоследствии используют для расчета суммарного показателя загрязнения (Z_c , МУ 2.1.7.730-99 Гигиеническая оценка качества почвы населенных мест) [14]. При расчете суммарного показателя загрязнения (Z_c) необходимо обратить внимание, что должны суммироваться только коэффициенты K_i , превышающие фоновое значение ($K_i > 1$). В ряде документов данная позиция не отражена, в связи с чем при расчете Z_c может принимать отрицательные величины. Кроме того, увеличение количества коэффициентов может привести к снижению показателя Z_c , тем самым снижая расчетный уровень загрязнения [15].

При сравнении 2-х описанных выше подходов к расчету коэффициентов загрязнения можно заметить, что в первом случае оценка загрязнения обусловлена превышением фактического содержания загрязняющих почву компонентов над полученными в лабораторных условиях и утвержденными показателями ПДК. Во втором случае оценка загрязнения определенным компонентом основывается на анализе сопряженных геохимических и агрохимических результатов исследования окружающей среды. Для исследований в агроландшафте второй вариант является более актуальным, т.к. при анализе агроценоза стоит сконцентрировать внимание не только лишь на абсолютных величинах концентраций загрязнителей, но и на свойствах почвы.

При исследованиях сельскохозяйственных земель выбор фона вызывает трудности в связи с тем, что почвы в результате постоянного воздействия трансформируются и существенно отличаются от естественных ненарушенных почв. Именно поэтому при его выборе необходимо учитывать не только тип почвы, распространенной на участке до ее сельскохозяйственного освоения, но и кислотность, содержание гумуса, гранулометрический состав и прочие агрохимические характеристики в соответствии с существующими стандартными анализами, основная часть которых представлена в табл. 1, 2.

Данная информация позволяет наиболее точно подобрать фон и провести корректный сравнительный анализ для изучаемой территории. Стоит иметь в виду, что использование фоновых показателей позволяет проследить изменения в накоплении загрязняющих веществ в почвах и оценить направленность данного процесса при оценке экологического состояния сельскохозяйственных земель. В это же время гигиенические

нормативы, регламентирующие предельно допустимые уровни накопления в почвах загрязняющих веществ, позволяют определить степень опасности поступления избыточного количества поллютантов в почву и их негативное влияние на растения [16]. Опасность загрязнения тем больше, чем меньше буферная способность почвы, которая зависит от гранулометрического состава, содержания органического вещества, кислотности почвы и т.п. Но даже при продуманных учетных позициях в экологическом мониторинге не удастся учесть многие факторы, регулирующие токсичность почвы.

Индивидуальные условия (химическая и биологическая составляющие почвы, обеспечивающие плодородие и отражающие способность выполнять ее защитные функции), и особенности произрастания растений (физиологические особенности культуры, потребность влаги, питания, температурный режим и др.) усложняют решения вопросов унифицированного подхода в разработке ПДК.

РЯД ОСОБЕННОСТЕЙ, КОТОРЫЕ НЕОБХОДИМО УЧИТЫВАТЬ В НОРМИРОВАНИИ ПОЛЛЮТАНТОВ В АГРОЦЕНОЗЕ

Почвы сельскохозяйственных территорий нацелены на выращивание растений и, как следствие, внесения макро- и микроэлементов для поддержания и воспроизводства почвенного плодородия. Оптимальные показатели содержания элементов питания для растений в почве в ряде случаев могут достигать и превышать установленные величины ПДК. В перечень загрязняющих веществ, в отношении которых применяют меры государственного регулирования в области охраны окружающей среды, вошли такие питательные макроэлементы, как азот (NO_3^-) и фосфор (P_2O_5), нормативная величина которых находится на “нормальном” уровне обеспеченности грунта элементами питания [17–19].

Ограничение содержания микроэлементов (меди, цинка, бора, молибдена, марганца и др.) в соответствии с соблюдением ПДК их в почве не всегда может быть приемлемо для агроценоза, т.к. их дефицит может привести к повышению заболеваемости растений и снижению урожайности сельскохозяйственных культур [20, 21]. Растительные культуры могут испытывать как недостаток, так и избыток микроэлементов. Их доступность зависит не от валового содержания в почве, а от содержания подвижных форм – это то, на что следует обращать особое внимание при целевом

Таблица 1. Нормативная база методов почвенных исследований

Показатель	Нормативно-техническая документация на методы исследований
Органическое вещество, %	ГОСТ 26213-91
Общий азот, %	ГОСТ 26107-84
pH, ед.	ГОСТ 26483-85
Гидролитическая кислотность, ммоль/100 г	ГОСТ 26212-91
Подвижный фосфор и обменный калий по методу Чирикова/по методу Мачигина, мг/кг	ГОСТ 26204-91/ГОСТ 26205-91
Обменный натрий, ммоль/100 г	ГОСТ 26950-86
Сумма поглощенных оснований, ммоль/100 г	ГОСТ 27821-88
Емкость катионного обмена, ммоль/100 г	ГОСТ 17.4.4.01-84
Валовой фосфор, %	ГОСТ 26261-84
Валовой калий, %	
Валовой цинк, мг/кг	
Валовой кадмий, мг/кг	
Валовой свинец, мг/кг	
Валовой марганец, мг/кг	
Валовая медь, мг/кг	
Валовая ртуть, мг/кг	
Подвижный цинк, мг/кг	ГОСТ Р 50686-94
Подвижная медь, мг/кг	ГОСТ Р 50683-94
Подвижный марганец, мг/кг	ГОСТ Р 50685-94
Подвижная сера, мг/кг	ГОСТ 26490-85
Подвижный бор, мг/кг	ГОСТ Р 50688-94
Подвижное железо, мг/кг	ГОСТ 27395-87
Подвижный кобальт, мг/кг	ГОСТ Р 50683-94
Подвижный кадмий, мг/кг	
Подвижный свинец, мг/кг	
Валовой мышьяк, мг/кг	МУ по определению тяжелых металлов в кормах и растениях и их подвижных соединений в почвах. М.: ЦИНАО, 1993 г.
Распределение структурных отдельностей по размерам	По методу Н.И. Саввинова
Гранулометрический состав	По методу Н.А. Качинского

для агроценоза гигиеническом нормировании [22, 23].

В ряде работ проведенная оценка содержания микроэлементов в почвах и растительной продукции с учетом качества продукции выявила отсутствие избытка тяжелых металлов в почвах и растениях и дефицит микроэлементов. Обнаружено, что вследствие буферности почв по отношению к тяжелым металлам и буферным механизмам растений поступление металлов в товарную часть растительной продукции, особенно в зерно и плоды, невелика, и она остается экологически безопасной даже на загрязненных почвах [20–28].

Во многих научных работах выполнен анализ нормирования элементов в почвах агроценозов. Например, А.И. Сысо (2008, 2017), рассматривая и сравнивая два подхода – биогеохимический и гигиенический, указывал на присутствующие противоречия. В основе медико-географического анализа территории лежит биогеохимический подход. Данный подход заключается в наблюдении за биогеохимическими провинциями, где избыток или недостаток определенных химических элементов обусловлен природными условиями. Благодаря наблюдению можно установить связь между качественной и количественной характе-

Таблица 2. Физико-химическая и санитарная характеристики пахотных почв, предусмотренные в почвенном паспорте

Физико-химическая характеристика	
Влажность горизонта во время отбора проб, %	
Структура почвы	
Гранулометрический состав почвы	
Объемная масса почвы, г/см ³	
Общая пористость почвы, %	
Содержание гумуса, %	
Содержание общего азота, %	
Соотношение углерод:азот (C:N)	
Кислотность почв (рН): рН солевой вытяжки, рН водного раствора	
Емкость катионного обмена	
Насыщенность основаниями, %	
Содержание карбоната кальция (CaCO ₃), %	
Электропроводимость насыщенного водного раствора по ГОСТ 26423	
Состав обменных катионов по ГОСТ 26487	
Содержание подвижного фосфора	
Содержание подвижного калия	
Состав и общее содержание солей в водной вытяжке по ГОСТ 26423–ГОСТ 26428	
Санитарное состояние почвы	
Показатели санитарного состояния почвы – в соответствии с ГОСТ 17.4.2.01	
Санитарно-бактериологические обязательные показатели	
1. лактозоположительные кишечные палочки (колиформы), индекс	
2. энтерококки (фекальные стрептококки), индекс	
3. патогенные микроорганизмы (по эпидпоказаниям), индекс	
Санитарно-гельминтологический показатель – яйца и личинки гельминтов (жизнеспособные), шт./кг	
Санитарно-химические обязательные показатели:	
1. канцерогенные вещества, мкг/кг	
2. радиоактивные вещества, Ки/кг	

ристикой почвы и состоянием живых организмов и здоровьем людей.

Санитарно-гигиенический подход основан на ограничении, связанном с содержанием в почве ряда элементов, однако для почв агроценоза наравне с опасностью избыточного поступления веществ в растительную и животную продукцию возникает проблема дефицита эссенциальных микроэлементов. Автор обращает внимание на прогрессирующее снижение плодородия почв и, в частности, связанного с обеспеченностью микроэлементами (В, Cu, Mo, Ni, Zn). В связи с этим существующий гигиенический подход по ограничению элементов, многие из которых являются микроэлементами для растений сельскохозяйственных угодий, ведет к снижению качества продукции. Автор также подчеркивает, что относительно высокий уровень валового содержания

того или иного элемента может быть обусловлен природными металлогеническими особенностями территорий, а не техногенным загрязнением почв. Необходимо иметь в виду, что для агроценоза из-за нахождения данного элемента в химически прочных соединениях он не представляет опасности, т.к. не поступает в растительную продукцию в избыточном количестве [24, 26, 27].

Для понимания процессов, происходящих в агроценозе, необходимо учитывать валовое содержание элементов и подвижные их формы. Валовое содержание определяется непосредственно в почвенных пробах после их кислотного разложения, подвижные формы микроэлементов извлекают экстрагентами (индивидуальные – по методу Пейве–Ринькиса или групповые, например, ацетатно-аммонийным буфером с рН 4.8 [27]). Концентрации большинства микроэлементов

тов в пробах измеряют атомно-эмиссионным и атомно-абсорбционным методами в соответствии с ГОСТами, представленными в табл. 1.

Важно отметить, что если при гигиенической оценке почв руководствоваться только превышениями ПДК, то как показали результаты исследований, чернозем может оказаться весьма неблагоприятной почвой. Установлено, что концентрация подвижных форм кобальта и других элементов (Cu, Ni, Cd, Pb) в разы больше, чем в серых лесных почвах. Целинные черноземы, как отмечают авторы, обладают большим запасом подвижных форм таких элементов, как свинец и марганец [23, 28].

Почвы агроценоза даже в рамках одного почвенного типа могут быть сформированы высокой и низкой культурой земледелия. В связи с чем они могут характеризоваться разной обеспеченностью элементами и при этом разной степенью устойчивости к загрязнителям разной этиологии (разная степень выраженности защитных функций, что отражает функционально-экологический подход) [29]. Для исследований по определению ПДК для агроценозов в стационарных опытах обязательно должны быть заложены варианты с высокой и низкой культурой земледелия. Нормируемая величина должна обеспечивать не превышение этого вещества в сельскохозяйственных культурах.

Учитываемый в санитарно-гигиеническом нормировании водно-миграционный показатель отражает массопоток элементов в системе почва-грунтовые воды. В связи с нестабильностью поведения поллютантов и зависимостью их миграции от многих факторов данный показатель не является преобладающим в подходах и принципах нормирования в агроценозе, однако может быть более актуален для сельскохозяйственных площадей, расположенных на низинных рельефах, пойменных почвах.

ТРАНСЛОКАЦИОННЫЙ ПОКАЗАТЕЛЬ КАК ПОКАЗАТЕЛЬ ВРЕДНОСТИ ПРИ ПОСТУПЛЕНИИ ПОЛЛЮТАНТОВ В РАСТЕНИЯ

Для нормирования веществ в почве агроценоза обязательным и лимитирующим показателем вредности выступает транслокационный (транслокационный показатель вредности – характеризует способность токсичных веществ переходить из почвы в растение), и лишь в отдельных случаях, в зависимости от источника загрязнения (максимальное загрязнение органическими веществами) – общесанитарный (общесанитарный

показатель характеризует влияние химического вещества на самоочищающую способность почвы и ее биологическую активность).

В рамках ряда исследований установлены особенности поступления отдельных элементов в растения и их распределения по органам. Большинство микроэлементов характеризуется низкой доступностью для растений (за исключением бора) и тяжелых металлов (за исключением кадмия) [30]. В сельскохозяйственных растениях, зерне, овощной и плодово-ягодной продукции, кормовых культурах контролируют отсутствие превышения максимально допустимого уровня (МДУ) содержания тяжелых металлов, остаточных количеств пестицидов, нитрозаминов и других ксенобиотиков. Для сельскохозяйственных растений, произрастающих в биогеохимических аномальных зонах, разработан комплекс технологических мероприятий с рекомендациями культур и севооборотов. Знание и учет физиологических особенностей растений применим к ряду биофильных макро- и микроэлементов. В растениях часто встречается недостаток молибдена, кобальта, йода, повсеместно происходит снижение содержания меди и цинка до уровня, критически недостаточного для нормального развития растительности, что может в ближайшем будущем негативно сказаться на продуктивности и качестве сельскохозяйственной продукции. Миграция тяжелых металлов по органам растений может быть представлена следующим рядом: корни – стебли – листья – плоды – клубни – семена. Причем содержание тяжелых металлов в тканях корня может увеличиваться в 100 и более раз, что свидетельствует о защитных возможностях растений, обусловленных присутствием физиологических барьеров в их органах [24, 27, 28, 30].

Содержание химических веществ в почвах должно быть сведено к определению таких предельных концентраций, при которых гарантируется получение гигиенически пригодных и качественных растительных продуктов.

ДИАГНОСТИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ДЕГРАДАЦИИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ПОЧВ

Важными этапами при оценке степени химического загрязнения с использованием нормативов в агроценозе являются определение степени деградации почв и потери их плодородия. Необходимо знать величину содержания органического вещества, биогенных элементов, реакцию среды, окислительно-восстановительных условий, структурного состояния, водного, воздушного и

температурного режимов, биологической активности почвы, фитосанитарного состояния почв [31, 32]. Перечень показателей уровня плодородия и методы их определения, к которым следует обратиться, представлены в паспорте почвы (табл. 2), который оформляется для используемых (эксплуатируемых) площадей (Паспорт почв. ГОСТ 17.4.2.03–86. Охрана природы. Почвы). Паспортизация полей производится для установления мероприятий по их охране, повышению плодородия и рациональному использованию.

Санитарно-гигиенические нормативы, применяемые на сельскохозяйственных площадях, должны учитывать циклы биогенных элементов и трансформацию органических веществ в агроценозе. К диагностическим признакам плодородных сельскохозяйственных почв, наряду с химической характеристикой, относится определение ряда биологических показателей. Снижение ферментативной активности почвы является одним из критериев для установления уровня ее деградации. Изменение структурной составляющей микроорганизмов в почве также является хорошим диагностическим признаком негативных изменений в окультуренных сельскохозяйственных почвах. Санитарно-гигиенические нормативы должны работать в рамках сохранения качества сельскохозяйственной продукции с учетом соблюдения экологических законов, обеспечивающих супрессивность (показатель почвенного здоровья, проявляемый в подавлении и/или элиминировании из почвенной фитопатосистемы отдельных видов фитопатогенов, обусловленный совокупным действием биологических, физико-химических и агрохимических свойств почвы) почв [33].

АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ ПОДХОДЫ К НОРМИРОВАНИЮ КАЧЕСТВА ПОЧВ

В природоохранной практике Евросоюза, США и Канады в настоящее время широко распространен подход, основанный на оценке экологических рисков для объектов окружающей среды (ООС) [34–36]. Оценка экологического риска – это процесс по определению вероятности негативного экологического последствия, которое может наступить в результате одного или нескольких совокупных негативных воздействий. Данный подход используют прежде всего для построения системы прогнозирования и предупреждения возникновения необратимых процессов в ООС, в том числе влияющих на здоровье человека.

Установление степени химического загрязнения (воздуха, воды и почвы) проводят с учетом

Таблица 3. Критерии экологического состояния объектов окружающей среды

Экологическое состояние	Показатель	Критерии оценки
Удовлетворительное	1	$C_i \leq \text{ПДК}_i$
Напряженное	2	$1 \text{ ПДК}_i < C_i \leq 10 \text{ ПДК}_i$
Критическое	3	$10 \text{ ПДК}_i < C_i \leq 30 \text{ ПДК}_i$
Кризисное	4	$30 \text{ ПДК}_i < C_i \leq 50 \text{ ПДК}_i$
Катастрофическое	5	$C_i > 50 \text{ ПДК}_i$

класса опасности и величин ПДК химических веществ. Таким образом, для количественного анализа опасности загрязнения (O) необходимо провести соответствующие измерения и оценку, включающую установленный перечень параметров:

$$O = \text{SUM}[C_i, \text{Date}, \text{District}, \text{ПДК}_i], \quad i \in N, \quad (1)$$

где C_i – величина концентрации, Date – дата измерения, District – анализируемый объект, ПДК_i – величина ПДК, N – количество измеряемых параметров.

В данной оценке может использоваться как индивидуальное, так и совокупное влияние химических, физических и биологических показателей. Вероятность наступления негативных явлений может быть представлена качественной и количественной оценкой. Оценка экологического риска включает несколько подготовительных этапов: характеристика риска, стадия постановки вопроса и планирование оценки риска. В основе количественного определения экологического риска лежит анализ кривых “доза–эффект” с применением вероятностного подхода. Для описания таких кривых предложено применять математическое моделирование и вычисление критических точек. В соответствии с полученными величинами экологическое состояние (\mathcal{E}) природных объектов классифицируют по-разному. Один из примеров классификации представлен в табл. 3 [37, 38].

Моделирование как альтернативный подход к нормированию отдельных веществ с учетом характеристик качества почв широко используется, что отражено в работах многих авторов. В частности, в работах [39, 40] представлена модель поведения поллютантов с учетом основных почвенных характеристик. Авторы наряду с моделью предлагают свой классификатор качества почв, отражающий их состояние (фоновое, переход-

ное, нарушенное), которое описывается суммарными показателями присутствующих в почве поллютантов, а совокупная характеристика приурочена к определенной категории (от I до IV). Критерием отнесения почвы к той или иной категории выступает параметр p , учитывающий нагрузку и состояние почв, т.е. являющийся функцией почвенного отклика R на нагрузку c ($p = f(R(c))$).

Использование моделирования для определения категории загрязнения почв агроценоза, возможно, представляется целесообразным, особенно в условиях необходимости учета суммарного действия поллютантов.

В почвенном нормировании необходимо предусмотреть присутствие биологического загрязнения агроценоза. В действующем СанПиН 1.2.3685-21 “Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания” загрязнение почв поллютантами оценивается с учетом опасности присутствия органических и неорганических веществ по классам опасности, а также учитывается степень микробиологического загрязнения почвы [41]. Общесанитарная позиция, которая является составной частью методического руководства по определению ПДК органических и неорганических веществ, требует отдельного рассмотрения.

Несомненно, все вышеперечисленные подходы могут быть рассмотрены и учтены в рамках нормирования поллютантов в агроценозе, но с учетом специфических составляющих и особенностей функционирования данной системы.

Критерии нормирования агроценозов теснейшим образом связаны со сбалансированностью почвенных процессов, устойчивостью почвенных характеристик и плодородием. В связи с чем, кроме интегрального индекса экологического состояния почвы (комплексный критерий качества – комплекс химических, физических и биологических методов), как указывают ряд авторов, следует учитывать показатель устойчивости органического вещества (сбалансированность потерь и воспроизводства органического вещества почвы) [42, 43].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Технологии интенсификации аграрного природопользования, увеличивающие эффективность и объемы сельскохозяйственного производства, оказывают двустороннее влияние. С одной стороны, происходит истощение агроэкосистемы, что приводит к дефициту элементов, с другой стороны, – загрязнение, что влияет на качество и безопасность продукции. Все это актуализирует необхо-

димость особого контроля и нормирования в агроценозах.

Подходы санитарно-гигиенического нормирования могут рассматриваться как с позиций масштабированности территорий (локальный, региональный, глобальный), так и с позиций вида химического/биологического воздействия.

Почвы сельскохозяйственных территорий нацелены на выращивание экологически безопасной растениеводческой и животноводческой продукции, на поддержание плодородия. Вместе с тем необходимо избежать загрязнения почв, которое может заставить прибегнуть к экстренным мерам для очистки территории и отказу от продукции. Экосистемный подход с гигиеническими предупреждающими мерами (нормирование и контроль), нацеленный на благополучие экосистем, их звеньев и компонентов, является основой благополучия и здоровья человека.

Содержание любого вещества в почвах не должно вызывать загрязнения выращиваемой на них растительной продукции выше установленного максимально допустимого уровня для растений (МДУ), что и служит критерием установления нормативов предельного содержания загрязняющих веществ в почвах сельскохозяйственных земель. Особый акцент следует сделать на формах нормируемых веществ.

При соблюдении условий потребностей растений для урожая и качества продукции должны быть учтены химические и биологические составляющие почвы, обеспечивающие плодородие, отражающие способность выполнять защитные функции, что важно как для экологического мониторинга, так и биогеохимической или гигиенической оценки. Почвы агроценоза даже в рамках одного почвенного типа могут быть сформированы высокой и низкой культурой земледелия. В связи с этим они могут характеризоваться разной степенью устойчивости к загрязнителям разной этиологии. В агроландшафте необходимо задать такие параметры сельскохозяйственному производству, в котором нагрузки, нарушающие экологические параметры, находились бы в рамках защитной емкости среды.

Гигиеническое нормирование агроценозов как функциональное зонирование территории имеет свою специфику и принципиальные различия, которые требуется рассмотреть, проанализировать и обязательно включить в методику нормирования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Berkes F.* Rethinking community-based conservation // *Conserv. Biol.* 2004. V. 18. P. 621–630.
2. *Tscharntke T., Klein A.M., Kruess A.* Landscape perspectives on agricultural intensification and biodiversity – ecosystem service management // *Ecol. Lett.* 2005. V. 8. P. 857–874.
3. *Fischer J., Brosi B., Daily G.C., Ehrlich P.R., Goldman R., Goldstein J., Lindenmayer D.B., Manning A.D., Mooney H.A., Pejchar L., Ranganathan J., Tallis H.* Should agricultural policies encourage land sparing or wildlife-friendly farming? // *Front Ecol. Environ.* 2008. V. 6 (7). P. 380–385. <https://doi.org/10.1890/070019>
4. *Stepanenko A.V.* Ekolohe-ekonomichni stratehiv systemi zabezpechennia ekolohichnoi bezpeky // *Nauk ta naukoznavstvo.* 2014. № 4. S. 77–89.
5. *Kupynets L.Ye.* Ekolohyzatsiia prodovolstvennoho kompleksa: teoriia, metodolohiia, mekhanyzm. Odesa: YPRON NAN Ukrain, 2010. 712 s.
6. *Dudych H., Dudych L.* Assessment of the ecological sustainability of agricultural land use in the territorial structure of region // *Scientific Papers Series Management, Economic Engineering in Agriculture and Rural Development.* 2018. V. 18. Iss. 4. P. 87–95.
7. *Hranovska L.M.* Teoretyko-metodolohichni aspekty upravlinnia rehionalnoi ekoloheekonomichnoi systemoi // *Zbalansovane pryrodokorystuvannia.* 2015. № 14. S. 31–37.
8. *Zhu C., Anlu Z., Kehao Z., Lingxiang H.* Can payment tools substitute for regulatory ones? Estimating the policy preference for agricultural land preservation // *Land Use Policy.* 2021. V. 100 № 104860. P. 1–14. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2020.104860>
9. *Матвеев Ю.М., Попова И.В., Чернова О.В.* Проблемы нормирования содержания химических соединений в почвах // *Агрохимия.* 2001. № 12. С. 54–60.
10. *Трофимов С.Я., Аммосова Я.М., Орлов Д.С.* Влияние нефти на почвенный покров и проблема создания нормативной базы по влиянию нефтезагрязнения на почвы // *Вестн. Моск. ун-та. Сер. 17, почвоведение,* 2000. № 2. С. 30–34.
11. *Яковлев А.С., Евдокимова М.В.* Экологическое нормирование почв и управление их качеством // *Почвоведение.* 2011. № 5. С. 594–596.
12. *Heemsbergen D., Warne M., McLaughlin M., Kooken R.* The Australian methodology to derive ecological investigation levels in contaminated soils // *CSIRO Land Water Sci. Rep.* 2009. V. 43. № 09.
13. *Wesselink L.G., Notenboom J., Tiktak A.* The consequences of the European Soil Framework Directive for Dutch policy // *MNP report.* 500094003. 2006. 31 p.
14. *Глебова И.В., Гридасов Д.С., Тутова О.А.* Анализ экологического мониторинга территорий Курской области // *Экология.* 2012. № 1. С. 74–78.
15. *Кунаков К.О.* Принципиальные разногласия в законодательстве при оценке категорий загрязнения почв тяжелыми металлами на стадии инженерно-экологических изысканий для разработки проектной документации // *Инж.-экол. изыскания – нормативно-правовая база, соврем. методы и оборудование.* 2017. С. 16–19.
16. *Добровольский О.В., Чернова О.В., Семенюк Л.Г., Богатырев Г.В.* Принципы выбора эталонных объектов при создании Красной книги почв России // *Почвоведение.* 2006. № 4. С. 387–395.
17. ГОСТ Р 53381–2009. Почвы и грунты. Грунты питательные. Технические условия.
18. Распоряжение Правительства Российской Федерации от 8 июля 2015 года № 1316-р “Об утверждении перечня загрязняющих веществ, в отношении которых применяются меры государственного регулирования в области охраны окружающей среды”. Характеристики загрязняющих веществ из раздела “III. Для почв”. УралНИИ “Экология”. Справ-к. 2017. 108 с.
19. *Коновалов А.Г., Рисник Д.В., Левич А.П., Фурсова П.В.* Обзор подходов к оценке экологического состояния и нормированию качества почв // *Междисципли. научн. и прикл. журн. “Биосфера”.* 2017. Т. 9. № 3. С. 214–229.
20. *Головатый С.Е.* Тяжелые металлы в агроэкосистемах. Минск: Институт почвовед. и агрохим., 2002. 140 с.
21. *Monnet F., Vaillant N., Vernay P., Coudret A., Sallanon H., Hitmi A.* Relationship between PSII activity, CO₂ fixation, and Zn Mn and Mg contents of *Lolium perenne* under zinc stress // *J. Plant Physiol.* 2001. V. 158. P. 1137–1144.
22. *Viehweger K., Geipel G.* Uranium accumulation and tolerance in *Arabidopsis halleri* under native versus hydroponic conditions // *Environ. Exp. Bot.* 2010. V. 69. P. 39–46.
23. *Левшаков Л.В.* Нормирование содержания тяжелых металлов в почве // *Вестн. Курск. ГСХА.* 2011. № 3 (3). С. 34–42.
24. *Ильин В.Б., Сысо А.И.* Микроэлементы и тяжелые металлы в почвах и растениях Новосибирской области. РАН СО, 2001. 226 с.
25. *Мотузова Г.В., Безуглова О.С.* Экологический мониторинг почв. М.: Академ. Проект, 2007. 237 с.
26. *Syso A.I.* Ecological and biogeochemical evaluation of elements content in soils and fodder grasses of the agricultural lands of Siberia // *J. Pharmaceut. Sci. Res.* 2017. Т. 9. № 4. С. 368–377.
27. *Сысо А.И., Ильин В.Б.* Эколого-агрохимическая оценка содержания микроэлементов в почвах и растительной продукции на юге Западной Сибири // *Пробл. агрохим. и экол.* 2008. № 2. С. 33–36.
28. *Головатый С.Е., Савченко С.В., Жуковский А.Г.* Научно-методические подходы к выявлению, оценке и учету загрязненных сельскохозяйственных земель // *Экол. вестн.* 2016. № 3 (37). С. 91–97.
29. *Воронина Л.П., Поногайбо К.Э., Савостикова О.Н.* Гигиена и санитария. 2022. Т. 101. № 3. С. 270–274.
30. *Битюцкий Н.П.* Минеральное питание растений. СПб., 2020. 562 с.
31. *Иванов А.Л., Кирюшин В.И., Гилев С.Д., Цымбаленко И.Н., Волынкин В.И., Степных Н.В.* Система адаптивно-ландшафтного земледелия Курганской области. Куртамыш: Куртамыш. типография, 2012. 493 с.
32. *Мыслыва Т.Н., Циавиа Ж.З., Шабрина Е.В.* Мониторинг земель сельскохозяйственного назначения в

- Республике Беларусь: проблемы и перспективы развития // Вестн. Белорус. ГАУ. 2017. № 2. С. 105–111.
33. Löbmann M.T., Vetukuri R.R., de Zinger L., Alsanius B.W., Grenville-Brigs L.J., Walter A.J. The occurrence of pathogen suppressive soils in Sweden in relation to soil biota, soil properties, and farming practices // *Appl. Soil Ecol.* 2016. V. 107. P. 57–65.
 34. Fairman R., Mead C.D., Williams W.P. Environmental risk assessment – approaches, experiences and information sources // *Monitoring and Assessment Research Centre, King's College, London, Copenhagen: EEA (European Environment Agency), 1998. 88 p.*
 35. Fishwick S. Soil screening values for use in UK ecological risk assessment. Bristol: Environment Agency, 2004. 281 p.
 36. Башкин В.Н., Припутина И.В. Управление экологическими рисками при эмиссии поллютантов. М.: Газпром ВНИИГАЗ, 2010. 185 с.
 37. Музгалевский А.А., Карлин Л.Н. Экологические риски: теория и практика. СПб.: РГГМУ, ВВМ, 2011. 448 с.
 38. Алексеев В.В., Куракина Н.И., Желтов Е.В. ГИС комплексной оценки состояния окружающей природной среды // *Агр. Rev.* 2007. № 1 (40). P. 16–17.
 39. Экологическое нормирование и управление качеством почв и земель / Под ред. Шоба С.А., Яковлева А.С., Рыбальского Н.Г. М.: НИИ-Природа, 2013. 390 с.
 40. Барсегян А.Г., Гендугов В.М., Глазунов Г.П., Горбатов В.С., Горленко А.С., Воробейчик Е.Л. Экологическое нормирование и управление качеством почв и земель. М.: НИИ-Природа, 2013. 310 с.
 41. СанПиН 1.2.3685-21 “Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания”.
 42. Авраменко П.М., Лукин С.В. Агрохимическое и агроэкологическое состояние почв Белгородской области. Белгород, 2001. 40 с.
 43. Кирюшин В.И. Проблема экологизации земледелия в России (Белгородская модель) // *Достиж. науки и техн. АПК.* 2012. № 12. С. 3–9.

Rationing of Chemicals in the Soils of Agrocenoses, Taking into Account Their Functional Significance

L. P. Voronina^{a,b,#} and K. E. Ponogaybo^a

^a*Center for Strategic Planning and Management of Biomedical Health Risks of the Federal Biomedical Agency Pogodinskaya ul. 10, p. 1, Moscow 119121, Russia*

^b*M.V. Lomonosov Moscow State University Leninskie gory 1, p. 12, Moscow 119991, Russia*

[#]*E-mail: LVoronina@cspmz.ru*

Due to the urgency of improving the methodological material on sanitary and hygienic regulation of pollutants in the soil and the frequent discussions about the use of existing standards for soils of agrocenosis, it seemed appropriate to identify and define the main positions in the existing methodological approach to determining the maximum permissible concentration (MPC) of pollutants for agricultural soils. In order for the established MPC not to contradict the normal functional purpose of agrocenoses, it is necessary to be guided not only by the principle of “do no harm” – preventing the presence of a high concentration of pollutants, but also “do no harm” – by strict control, thereby limiting the presence of the necessary amount of nutrients for the formation of high-quality agricultural products. The search for sources devoted to research on the application of sanitary and hygienic standards in soils of agricultural use was carried out in the scientific electronic library eLIBRARY.ru and in the bibliographic, abstract databases Research Gate, Springer Link, Scopus, Science Direct, Web of Science. This analytical review defines a number of basic positions that need to be taken into account in hygienic approaches to rationing chemicals in soils of agrocenoses.

Key words: agrocenosis, rationing methodology, maximum permissible concentration of chemicals, quality of agricultural soils.

УДК 632.122.2:531.631.878:631.445.41

ВЛИЯНИЕ БИОЧАРА НА ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ ЧЕРНОЗЕМА ОБЫКНОВЕННОГО ПРИ ЗАГРЯЗНЕНИИ НЕФТЬЮ, БЕНЗИНОМ И МАЗУТОМ[§]

© 2022 г. Т. В. Минникова^{1,*}, А. С. Русева¹, С. И. Колесников¹,
С. Ю. Ревина¹, В. Г. Гайворонский¹

¹Южный федеральный университет
344006 Ростов-на-Дону, ул. Б. Садовая, 105/42, Россия

*E-mail: loko261008@yandex.ru

Поступила в редакцию 17.01.2022 г.

После доработки 20.04.2022 г.

Принята к публикации 10.06.2022 г.

В работе оценили влияние биочара (древесного угля особой обработки) на экологическое состояние чернозема обыкновенного при загрязнении нефтью, бензином и мазутом. Для оценки экологического состояния моделировали загрязнение чернозема нефтью, бензином и мазутом в лабораторных условиях с последующим внесением биочара. Оценку экологического состояния проводили по реакции почвенной среды (рН), общему содержанию легкорастворимых солей, изменению окислительно-восстановительного потенциала, гидрофобности почв, эмиссии CO₂, фитотоксическим показателям тест-растений редиса. Бензин в почве при внесении биочара повышал щелочность почвы, изменял величину окислительно-восстановительного потенциала на восстановительный режим. Установлено, что биочар в дозе B_{0,5} увеличивал интенсивность эмиссии CO₂ в почве с мазутом и бензином на 41–129%. При этом длина побегов и корней редиса в почве с нефтью и бензином была простимулирована только при внесении B_{2,0}. Биочар за 30 сут эксперимента стимулировал экологические свойства почв с мазутом и бензином. Ряд устойчивости черноземов к внесению биочара по показателям экологического состояния следующий: мазут (86) > бензин (82) > нефть (57). Для восстановления экологических свойств почвы с нефтью требуется более продолжительный период ремедиации, чем 30 сут проведенного опыта.

Ключевые слова: биочар, нефтяные углеводороды, биологическая активность почв, биодиагностика.

DOI: 10.31857/S0002188122090095

ВВЕДЕНИЕ

Нефтяные углеводороды оказывают негативное воздействие на состояние окружающей среды, в том числе почвы [1–6]. После загрязнения почва содержит в своем составе преимущественно поверхностно-активные углеводороды (ПАУ) и соединения неуглеводородных компонентов [7]. Следует отметить, что в состав неуглеводородных компонентов входит небольшое количество тяжелых металлов, обладающих высокой токсичностью, стойкостью и огнеупорностью [8].

Одним из способов восстановления экологического состояния почв является внесение специальных веществ – ремедиантов. К этой широкой группе относят вещества, благотворно влияющие на форму нахождения металлов в почве, способствуют повышению биологической активности почв и восстановлению экологического состояния за счет различных механизмов воздействия на загрязняющие вещества [3, 4, 9–12]. Для восстановления плодородия таких почв следует применять экономичные и эффективные методы биологической ремедиации [13, 14]. Установлено, что по сравнению с механической очисткой почв от нефти и нефтепродуктов цена внесения сорбентов и ремедиантов при биорекультивации нефтезагрязненных почв составляет от 1.0–4.3 до 1.1–18.3 млн руб./га в зависимости от типа и дозы сорбента, в то время как стоимость механической рекультивации в 3–4 раза больше.

[§] Исследование выполнено при финансовой поддержке гранта Президента МК-175.2022.5 и проекта Министерства науки и высшего образования РФ по поддержке молодежной лаборатории “Агробиотехнологии для повышения плодородия почв и качества сельскохозяйственной продукции” в рамках программы развития межрегионального научно-образовательного центра Юга России (ЛабНОЦ-21-01АБ).

В связи с этим необходимо осуществлять поиск эффективных сорбентов химических загрязнителей, не наносящих вред окружающей среде, при нужной селективности поглощения. К одному из таких веществ органического происхождения относят биочар. Согласно Международной инициативе биочара – International Biochar Initiative (IBI) – наиболее стандартизированное определение биоугля – это твердый материал, производимый путем термохимической конверсии биомассы в анаэробных условиях [15–17]. Биочар является хорошим сорбентом и биостимулятором при различных видах загрязнения почв, как полициклические ароматические углеводороды, нефтяные углеводороды и тяжелые металлы [6, 18–21]. Кроме того, применение биочара в почве связано не только с его высоким содержанием углерода, но также со свойствами кондиционирования почвы [22–24]. При внесении биочара в почву с органическими поллютантами он действует как катализатор, окислитель, обеспечивает адсорбцию и разложение веществ [21, 25]. При этом биочар благоприятно влияет не только на содержание нефтяных углеводородов, но и на биологические и физические свойства почв [26]. Однако ранее не было изучено влияние ремедиантов на разложение нефтяных углеводородов в виде продуктов нефти, таких как бензин, мазут [2, 27]. Цель работы – оценка влияния биочара на экологическое состояние чернозема обыкновенного при его загрязнении нефтью, бензином и мазутом.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Объект исследования – чернозем обыкновенный карбонатный или *Typic Chernozem Calcic* (WRB, 2015). Место отбора почвы – Ботанический сад Южного федерального университета (координаты места отбора почв: 47°14'17.54"N 39°38'33.22"E). Почва обладала следующими свойствами: рН 8.3, содержание гумуса – 4.2%, запасы карбонатов кальция – 2400 т/га, поглощенные $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ – 40 мг-экв/100 г, ЕКО – 40–45 мг-экв/100 г [28].

Для загрязнения почв использовали нефть с плотностью 0.861 кг/м³, содержанием серы – 1.34%, массовой долей воды – 0.27%, концентрацией хлористых солей – 73 мг/дм³, массовой долей механических примесей – 0.006%, массовой долей парафина – 4.46%. Мазут исследовали с плотностью 923.4 кг/м³, вязкостью условной – 3.8, вязкостью кинематической – 29 мм²/с, температурой застывания – 15°C, содержанием серы – 1.71%, зольностью – 0.06%, с массовой долей воды – 0.09%. Бензин – с октановым числом 95.1,

массовой долей серы – <3 мг/кг, с массовой долей кислорода – 0.15%, с объемной долей этанола – 0.17%, изопропилового спирта – 0.17%, третбутилового спирта – 0.17%, изобутилового спирта – 0.17%, эфиров – 0.8%.

Биочар (Б) произведен компанией ООО “Диан Агро” при температуре 360–380°C из древесины березы (*Betula alba*) (марка А), ГОСТ 7657-84, без доступа кислорода, на ретортных установках. Фракции биочара имели размер частиц угля 0.5–5.0 см, рН 7.8, содержание С – 80–85, Н – 7.4, О – 43, N – 10.2, зола – 40–44%. Концентрация биочара, выбранная для восстановления состояния нефтезагрязненных почв, зависела от множества факторов: температуры пиролиза, вида исходного сырья, площади поверхности, пористости, фракционного состава, времени инкубации, содержания макроэлементов, функциональных групп и других факторов [29–32]. Рекомендуемой концентрации березового биочара в настоящее время не определено, но существуют лишь локальные предложения по ремедиации почв, загрязненных нефтяными углеводородами, при этом концентрация варьируется от 1 до 20% биочара от сухой массы почвы [6, 33, 34]. В почву вносили 5% биочара от массы почвы. Биочар вносили в почву после загрязнения нефтью и тщательно перемешивали. Для модельного эксперимента исследовали следующие концентрации биочара: предложенная концентрация биочара $B_{1,0}$ – 5%, меньше в 2 раза от предложенной концентрации – $B_{0,5}$ (2.5%) и больше в 2 раза от предложенной концентрации – $B_{2,0}$ (10%).

Для модельного эксперимента почву отбирали из верхнего пахотного горизонта (0–20 см), просушивали при комнатной температуре, тщательно перебирали от корней и прочих растительных компонентов. Для сохранения структуры почвы ее просеивали через сито 3 мм. В каждый вегетационный сосуд помещали 200 г почвы. Опыт выполнен в трехкратной повторности. Почву увлажняли и вносили нефть 5% от массы почвы. Почву с нефтью тщательно перемешивали. После этого этапа в почву с нефтью вносили биочар, предварительно измельченный и просеянный через сито 0.5 см. Почву с биочаром тщательно перемешивали во всем объеме сосуда. Вегетационные сосуды инкубировали при температуре 24–25°C при поддержании влажности почвы на уровне 25–30% в климатической камере Binder.

Схема эксперимента представлена на рис. 1. По истечении 30 сут от начала эксперимента почву доводили до воздушно-сухого состояния с последующим определением показателей ее экологического состояния.

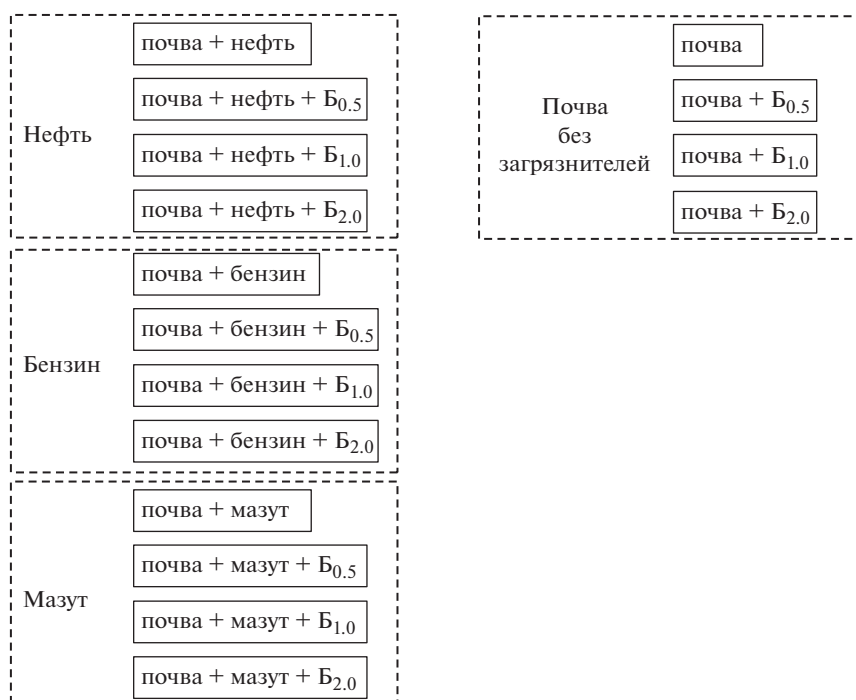


Рис. 1. Схема модельного эксперимента.

Оценку экологического состояния проводили по следующим показателям: реакция почвенной среды (рН), общее содержание легкорастворимых солей, окислительно-восстановительный потенциал, эмиссия CO₂, оценка гидрофобности, изменение фитотоксических свойств [35] (табл. 1).

Реакцию почвенной среды оценивали по стандартному методу оценки в почвенной вытяжке (почва : вода = 1 : 2.5) потенциометрическим методом на анализаторе HANNA HI 2211.

Общее содержание легкорастворимых солей в почве было определено кондуктометрическим методом в почвенной вытяжке (почва : вода = 1 : 2.5) анализатором HANNA inst. Total Dissolved HI 9034. Измерение проводили в мг/кг. Измерение данного показателя позволило определить степень засоленности почв (>5–7 г/л по ГОСТ 26423-85) [36]. Проходящие в почве биохимические процессы непосредственно связаны с окислительно-восстановительными условиями в почве, в том числе при загрязнении [37–40].

Таблица 1. Показатели экологического состояния почв

Показатель	Единица измерения	Метод измерения
Кислотность почв (рН)	ед. рН	Потенциометрический метод
Общее содержание легкорастворимых солей	мг/кг	Кондуктометрический метод
Окислительно-восстановительный потенциал	мВ	Вольтамперометрический метод
Гидрофобность почв	—	Оценка с помощью теста EP и WDPT
Эмиссия CO ₂	мг С/кг	Измерение портативным газоанализатором EGM-5 PP Systems (США)
Всхожесть	%	Оценка интенсивности начального роста редиса через 7 сут после начала вегетационного эксперимента
Длина побегов	мм	Оценка длины побегов редиса посевного через 7 сут после начала вегетационного эксперимента
Длина корней	мм	Оценка длины корней редиса посевного через 7 сут после начала вегетационного эксперимента

Окислительно-восстановительный потенциал определяли в почвенной вытяжке (почва : вода = 1 : 2.5) потенциометрическим методом на анализаторе ORP by HANNA HI 98120. Гидрофобность почв оценивали с помощью теста процентного содержания этанола — Ethanol Percentage (EP) и Water Drop Penetration Time (WDPT) [41, 42]. Тест WDPT измеряет, как долго отталкивающая способность сохраняется на поверхности почвы. Суть теста состоит в размещении капли дистиллированной воды на поверхности почвы и регистрации времени, необходимого для полного проникновения капли воды в почву. Для каждого теста WDPT небольшое количество почвы помещали в чашку Петри и выравнивали. Четыре капли (0.5 мкл) дистиллированной воды при 20°C наносили шприцем на поверхность образцов почвы. Время проникновения для каждой капли было зарегистрировано, и среднее время проникновения, принятое в качестве представителя WDPT для каждого образца. Классы WDPT были классифицированы в соответствии с методиками [42, 43]: смачиваемый (класс 1, WDPT ≤ 5 с), слегка водоотталкивающий (2, WDPT = 5–60 с), сильно водоотталкивающий (3, WDPT = 60–600 с). Интенсивность водопрочности измеряли с использованием теста процентного содержания этанола (EP) [41, 42]. Шесть капель стандартизированных растворов этанола в воде (0, 5, 10, 15, 20, 25, 30 и 35%) наносили на образцы почвы и наблюдали их поведение при мгновенной или кратковременной инфильтрации.

Выделение почвой CO₂ оценивали в течение всего эксперимента (с интервалом 3–4 сут) с помощью портативного газоанализатора EGM-5 PP Systems (США). Использовали инновационную технологию “Auto-Zero” и изолированную оптическую скамью с термостатическим управлением, которые обеспечивают быстрый прогрев, долговременную стабильность, точность и калибровку анализатора. Прибор оснащен внутренней перезаряжаемой литий-ионной батареей 7.2 В, обеспечивающей до 16 ч непрерывной работы. Это высокоточный, компактный не дисперсионный инфракрасный анализатор CO₂ с автоматической компенсацией температуры и давления. Точность определения составляет <1% от концентрации шкалы в калиброванном диапазоне.

Фитотоксичность почв оценивали по изменению показателей тест-растений редиса посевного (*Raphanus sativus* L.) сорта “18 дней” стандартными методами по изменению интенсивности начального роста (всхожести) и морфометрическим показателям (изменение длины побегов и корней) через 7 сут после начала вегетационного эксперимента и после его окончания (длительность

30 сут) [35]. Посев проводили в чашки Петри по 25 семян в каждую чашку в 3-кратной повторности. На протяжении 7 сут поддерживали температуру и воздухообмен в чашках. По истечении недели каждое растение извлекали из почвы, промывали и измеряли длину надземной части (побега) и корневой системы в миллиметрах. Результаты были обработаны как среднее повторностей в варианте.

Статистическая обработка полученных данных была проведена с использованием программного пакета Statistica 12.0. Статистические показатели (средние, дисперсия) были определены, а надежность различных образцов была установлена с использованием дисперсионного анализа (Student *t*-test).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Изменение физико-химических свойств чернозема. На скорость разложения нефти и нефтепродуктов оказывает влияние реакция почвенной среды, а также окислительно-восстановительный потенциал и содержание легкорастворимых солей [19]. Поскольку повышение рН может значительно снизить эффективность биоремедиации, следует провести дополнительные исследования в этой области. В табл. 2 представлены данные величины рН, общего содержания легкорастворимых солей и окислительно-восстановительного потенциала (ОВП).

Показатель рН для почвы без нефти, мазута и бензина соответствовал слабокислой реакции среды независимо от концентрации внесенного в почву биочара. После внесения нефти, мазута и бензина реакция среды повышалась до слабощелочной рН 7.2–7.3. Особенно сильное подщелачивание обнаружено в почве с бензином при любой концентрации биочара: на 16–17% больше, чем в контроле. При этом только при внесении биочара B_{0,5} и B_{1,0} в почву с нефтью реакция среды стабилизировалась: величины рН были больше только на 11 и 12% от контроля соответственно.

Содержание легкорастворимых солей в загрязненном черноземе варьировалось от 0.28–0.37 мг/кг. При внесении биочара в концентрации B_{2,0} в почву с мазутом общее содержание легкорастворимых солей снижалось на 11%. Остальные концентрации биочара не оказали воздействие на общее содержание легкорастворимых солей. При загрязнении нефтью установлено снижение содержания солей при любой концентрации биочара на 58–60% по сравнению с контролем (0.10–0.13 мг/кг).

В почве с бензином и мазутом содержание солей снижалось в меньшей степени, чем при за-

грязнении нефтью – на 14 и 20% соответственно. Наименьшее снижение общего содержания легкорастворимых солей по сравнению с контролем обнаружено в почве с бензином – на 10–12% меньше контроля. Окислительно-восстановительный потенциал почв без загрязнения нефтью и нефтепродуктами варьировался в диапазоне 310–335 мВ, в образцах почвы с нефтью – 322–327, мазутом – 309–317, бензином – 292–309 мВ. Такие различия между ОВП с разными нефтепродуктами были обусловлены переходом из окисленной в восстановленную форму с активизацией процессов денитрификации и повышения концентрации закисных соединений железа и марганца. Выявленная тенденция к восстановительному режиму прослежена в почве с бензином. Опасность перехода почвы в восстановительную форму может привести к изменению физических, биохимических показателей почв и влияет на плодородие [38, 44]. При ОВП, равном +250 мВ и меньше, в почве накапливаются восстановленные соединения железа, марганца, ртути в количествах, токсичных для растений.

Изменение гидрофобности чернозема. На рис. 2 представлено изменение гидрофобности почв, загрязненных нефтью, мазутом и бензином с последующим внесением биочара. После внесения биочара в концентрациях $B_{1,0}$ и $B_{2,0}$ почва с нефтью становилась более гидрофильной. Наибольшую гидрофобность установили для почв, загрязненных мазутом при всех концентрациях биочара. Это было связано с высокой плотностью и вязкостью мазута. Концентрация биочара оказывала воздействие на гидрофильность почвы при ее загрязнении нефтью. Чем больше была концентрация биочара, тем быстрее почва становилась гидрофильной.

Гидрофильность почвы служит косвенным индикатором процессов восстановления почвы: чем больше скорость пропускания влаги, тем лучше структура почвы и ее физические, физико-химические показатели. При изменении этих свойств почвы происходит воздействие на биохимические и микробиологические составляющие почвы, а значит на ее плодородие [45].

Изменение эмиссии CO_2 . В чистой почве без нефти и нефтепродуктов наблюдали эмиссию CO_2 в течение всего срока наблюдения до 1500 мг С/кг. Высокая гидрофобность нефтепродуктов, особенно мазута, значительно снижает биохимическую активность почв и продуктивность растений [46, 47]. На рис. 3 показано, что биочар в чистой почве оказывал стимулирующее влияние на эмиссию CO_2 , увеличив ее на 13–36%. Биочар не оказывал значительного воздействия на концентрацию CO_2 в почве с нефтью за 30 сут экспери-

Таблица 2. Изменение физико-химических свойств чернозема при загрязнении нефтью, мазутом и бензином

Вариант	pH	Общее содержание легкорастворимых солей, мг/кг	Окислительно-восстановительный потенциал, мВ
Без загрязнителей			
0	6.20 ± 0.12	0.28 ± 0.01	335.0 ± 2.0
$B_{0,5}$	6.20 ± 0.01	0.29 ± 0.02	315.3 ± 7.8
$B_{1,0}$	6.20 ± 0.01	0.25 ± 0.01	322.0 ± 1.5
$B_{2,0}$	6.40 ± 0.02	0.37 ± 0.01	310.5 ± 1.2
Нефть			
0	7.30 ± 0.11	0.13 ± 0.01	324.0 ± 2.3
$B_{0,5}$	6.90 ± 0.12	0.10 ± 0.01	322.3 ± 0.7
$B_{1,0}$	7.00 ± 0.11	0.10 ± 0.01	325.3 ± 0.8
$B_{2,0}$	7.10 ± 0.15	0.12 ± 0.01	327.0 ± 0.6
Мазут			
0	7.10 ± 0.04	0.24 ± 0.02	317.0 ± 5.0
$B_{0,5}$	7.10 ± 0.05	0.30 ± 0.03	315.0 ± 2.3
$B_{1,0}$	7.20 ± 0.04	0.25 ± 0.02	316.7 ± 0.8
$B_{2,0}$	7.30 ± 0.02	0.33 ± 0.02	309.0 ± 2.1
Бензин			
0	7.30 ± 0.01	0.22 ± 0.01	309.3 ± 4.6
$B_{0,5}$	7.30 ± 0.01	0.25 ± 0.01	292.7 ± 4.7
$B_{1,0}$	7.30 ± 0.12	0.25 ± 0.02	307.7 ± 2.0
$B_{2,0}$	7.30 ± 0.02	0.24 ± 0.01	309.3 ± 1.2

Примечание. $B_{1,0}$ – предложенная доза биочара (5% массы почвы), $B_{0,5}$ – половинная доза от предложенной дозы биочара, $B_{2,0}$ – удвоенная предложенная доза биочара.

мента. В почве с мазутом при концентрации $B_{2,0}$ эмиссия CO_2 ингибировалась на 52%. При внесении $B_{0,5}$ в почву с мазутом установлено повышение эмиссии CO_2 на 26-е сут на 41%. Напротив, в почве с бензином при внесении $B_{1,0}$ и $B_{0,5}$ наблюдали рост концентрации CO_2 на 114–129%. Внесение двойной дозы биочара вызывало ингибирование интенсивности дыхания почвы в период окончания эксперимента. Внесение микробиологических препаратов, инокулированных на гранулированные активированные угли, показало свою эффективность в разложении нефтяных углеводородов в почве. Одним из косвенных показателей разложения нефти является увеличение концентрации CO_2 . Применение биоугля создает лучшие условия для разлагающих микроорганизмов и роста растений за счет обратимой адсорбции токсичных компонентов и метаболитов нефти, повышения водоудерживающей способности почвы и общей пористости [48].

		Концентрация этанола, %						
Вариант эксперимента		0	5	10	15	25	30	35
Контроль (К) – незагрязненная почва	контроль + Б _{0.5} Б _{1.0} Б _{2.0}							
почва + нефть	нефть + Б _{0.5} Б _{1.0} Б _{2.0}							
почва + мазут	мазут + Б _{0.5} Б _{1.0} Б _{2.0}							
почва + бензин	бензин + Б _{0.5} Б _{1.0} Б _{2.0}							

Степень гидрофобности	Продолжительность, сек	Этанол, %	Индикатор
гидрофильные	<10	0	
слабо гидрофобные	10–60	5	
гидрофобные	60–600	10–15	
сильно гидрофобные	600–3600	25	
очень сильно гидрофобные	>3600	30–35	

Рис. 2. Изменение гидрофобности чернозема, загрязненного нефтью, мазутом и бензином после применения биочара.

Изменение всхожести, длины побегов и корней тест-растений редиса. Фитотоксические показатели редиса в чистой почве с внесением биочара изменялись в зависимости от концентрации биочара в почве (рис. 4). Всхожесть редиса при концентрациях внесения Б_{0.5} и Б_{1.0} была значительно меньше контроля. Только при дозе Б_{2.0} наблюдали ее повышение до уровня контроля. Установлено ингибирование длины побегов и корней редиса на незагрязненной почве с биочаром. В почве с нефтью всхожесть не достигла уровня контроля при любой концентрации биочара. При внесении Б в почву с мазутом наблюдали восстановление всхожести до уровня контроля, с бензином – при внесении дозы Б_{2.0}. Восстановление длины побегов и корней редиса до уровня контроля при загрязнении почвы бензином происходило после внесения дозы Б_{2.0}. Внесение той же дозы биочара в почву с нефтью стимулировало длину побегов и корней, но они отличалась от контроля на 35 и 23% соответственно. Выращивание пшеницы яровой (*Triticum vulgare* L.) и гороха посевного (*Pi-*

sum sativum L.) на нефтезагрязненной почве Республики Татарстан приводило к снижению урожайности зеленой массы растений на 23–59% [49]. Присутствие нефти и дизельного топлива в почве приводило к изменению структуры корневой системы пшеницы и гороха, также влияло на содержание хлорофилла и каротиноидов в листьях бархатцев (*Tagetes erecta* L.) [50]. Кроме этого, по показателям фитотоксичности целесообразно оценивать состояние почвы и содержание нефтяных углеводородов [51].

По усредненному показателю экологического состояния после применения биочара составили ряд устойчивости нефти и нефтепродуктов (по уменьшению устойчивости почвы при внесении биочара), % от контроля: Мазут (86) > Бензин (82) > Нефть (57). Наибольшее восстановление почвы после внесения биочара наблюдали при загрязнении мазутом (86% относительно контроля) и бензина (82% относительно контроля). При этом биочар, внесенный в почву с нефтью за 30 сут эксперимента, восстановил ≈50% физико-химических и биоло-

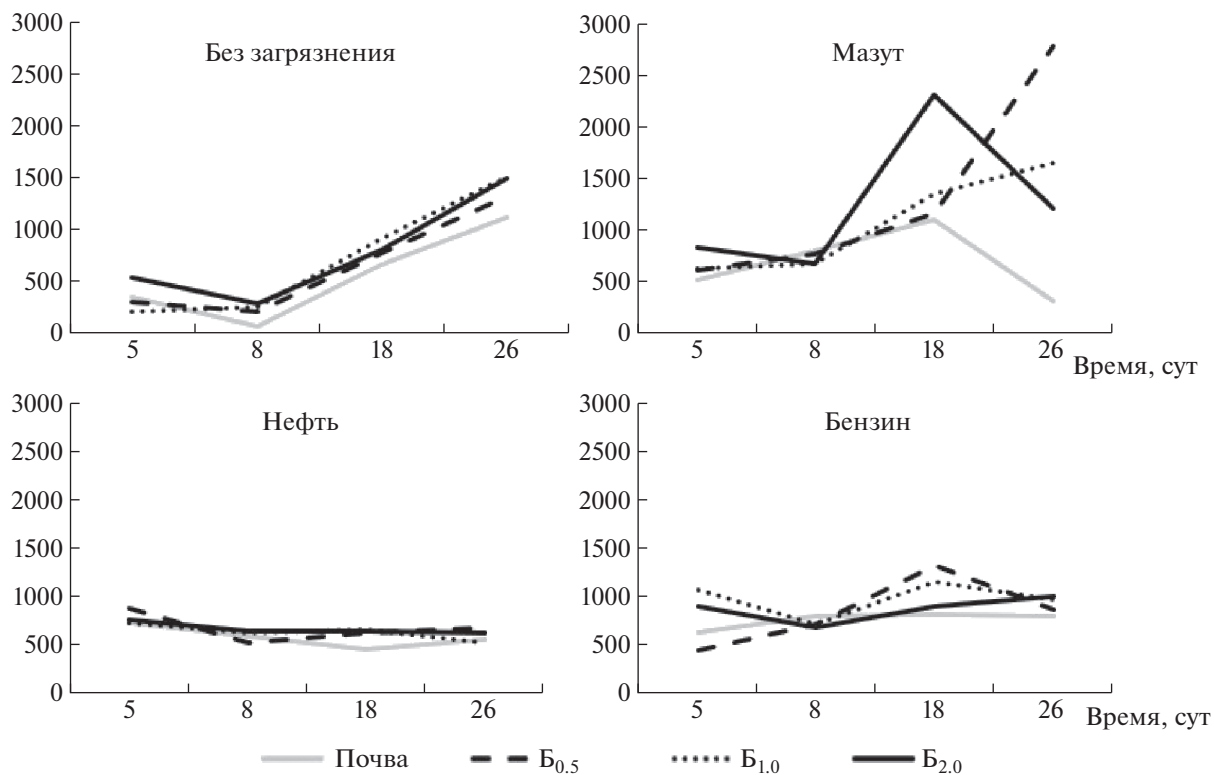


Рис. 3. Изменение эмиссии углекислого газа CO₂ чернозема, загрязненного нефтью, мазутом и бензином после применения биочара.

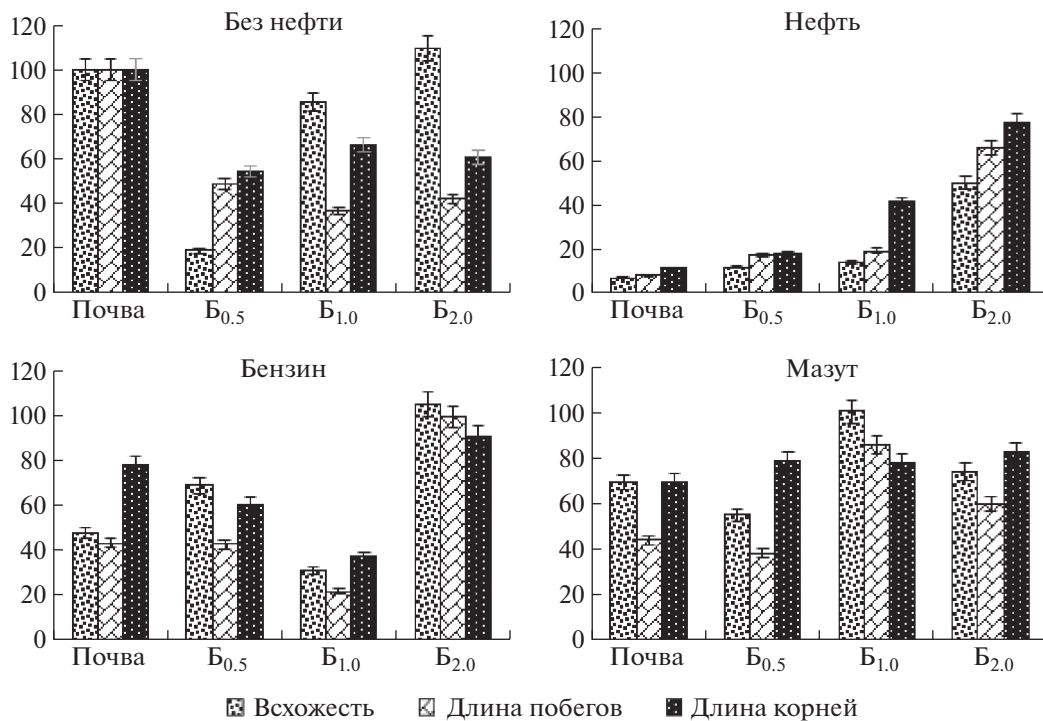


Рис. 4. Изменение фитотоксичности почв (по показателям всхожести, длины побегов и корней тест-растений редиса), загрязненных нефтью, мазутом и бензином после применения биочара.

гических свойств чернозема до уровня незагрязненной почвы (контроля). Для восстановления экологических свойств почвы с нефтью требовался более продолжительный период ремедиации. Степень разложения нефти и нефтепродуктов в почве зависит от многих факторов, в том числе концентрации и вида нефтепродукта, физико-химических и биохимических свойств почвы, вида и концентрации ремедианта, продолжительности ремедиации и других факторов [52–54].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, загрязнение бензином почвы при внесении биочара повышало кислотность почвы (рН), содержание легкорастворимых солей, изменяло величину окислительно-восстановительного потенциала до восстановительного режима. Загрязнение нефтью снижало содержание легкорастворимых солей в почве. Биочар в дозе $B_{0.5}$ увеличивал интенсивность эмиссии CO_2 в почве с загрязнением мазутом и бензином. При этом длина побегов и корней тест-растений реди-са в почве с нефтью и бензином была простимулирована при внесении дозы $B_{2.0}$. Согласно восстановлению экологических показателей почв при загрязнении нефтью, бензином и мазутом, наибольшее воздействие биочар оказывал на свойства почв с мазутом и бензином. Для восстановления экологических свойств почвы с нефтью требовался более продолжительный период ремедиации. Результаты исследования могут быть использованы при прогнозировании и диагностике восстановления почв, загрязненных нефтью и нефтепродуктами, с помощью показателей экологического состояния.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кузина А.А., Колесников С.И., Минникова Т.В., Гайворонский В.Г., Неведомая Е.Н., Тер-Мисакянц Т.А., Казеев К.Ш. Экологически безопасные концентрации нефти в почвах Черноморского побережья Кавказа // Экол. и пром-ть России. 2021. Т. 25. № 11. С. 61–65. <https://doi.org/10.18412/1816-0395-2021-11-61-65>
2. Kolesnikov S.I., Gaivoronskii V.G., Rotina E.N., Kazeev K.S., Val'kov V.F. Assessment of soil tolerance toward contamination with black oil in the south of Russia on the basis of soil biological indices: a model experiment // Euras. Soil Sci. 2010. Т. 43. № 8. С. 929–934. <https://doi.org/10.1134/S1064229310080107>
3. Minnikova T.V., Kolesnikov S.I., Denisova T.V. Effect of nitrogen and humic fertilizers on the biochemical state of oil-contaminated chernozem // South of Russia: ecol. develop. 2019. № 14 (2). P. 189–201. <https://doi.org/10.18470/1992-1098-2019-2-189-201>

4. Minnikova T., Kolesnikov S., Minkina T., Mandzhieva S. Assessment of ecological condition of Haplic Chernozem Calcic contaminated with petroleum hydrocarbons during application of bioremediation agents of various natures // Land. 2021. V. 10 (2). № 1–20. P. 169. <https://doi.org/10.3390/land10020169>
5. Наджафова С.И., Кейсерухская Ф.Ш., Гасанова З.П. Самоочищающая способность различных типов почв Азербайджана от нефтяного загрязнения в зависимости от их рН // Агрохимия. 2021. № 3. С. 82–87. <https://doi.org/10.31857/S0002188121040116>
6. Zahed M.A., Salehi S., Madadi R., Hejabi F. Biochar as a sustainable product for remediation of petroleum contaminated soil // Curr. Res. Green Sustain. Chem. 2021. V. 4. Iss. 100055.
7. Autry A.R., Ellis G.M. Bioremediation: an effective remedial alternative for petroleum hydrocarbon-contaminated soil // Environ. Prog. 1992. № 11. P. 318–323.
8. Urum K., Grigson S., Pekdemir T., McMenamy S. A comparison of the efficiency of different surfactants for removal of crude oil from contaminated soils // Chemosphere. 2006. V. 62. P. 1403–1410.
9. Переломов Л.В., Апрощенко Ю.М., Минкина Т.М., Переломова И.В., Бауэр Т.В., Пинский Д.Л. Органоглины – новый класс перспективных сорбентов для ремедиации химически загрязненных объектов окружающей среды // Агрохимия. 2021. № 8. С. 82–96. <https://doi.org/10.31857/S0002188121080111>
10. Minnikova T., Kolesnikov S., Ruseva A., Kazeev K., Minkina T., Mandzhieva S., Sushkova S. Influence of the biochar on petroleum hydrocarbon degradation intensity and ecological condition of haplic chernozem // Euras. J. Soil Sci. 2022. № 11 (2). P. 157–166. <https://doi.org/10.18393/ejss.1037798>
11. Тихомирова Е.И., Алексахин А.В., Кошелев А.В., Атаманова О.В. Разработка технологических решений и способов получения гумино-минеральных композиций для задач рекультивации нефтезагрязненных территорий // Теор. и прикл. экол. 2020. № 4. С. 203–209. <https://doi.org/10.25750/1995-4301-2020-4-203-209>
12. Sizmur T., Quilliam R., Puga A.P., Moreno-Jimenez E., Beesley L., Gomez-Eyles J.L. Application of biochar for soil remediation, agricultural and environmental applications of biochar // Adv. Barrier. 2016. V. 63. P. 295–324.
13. Слюсаревский А.В., Зиннатшина Л.В., Васильева Г.К. Сравнительный эколого-экономический анализ методов рекультивации нефтезагрязненных почв путем биорекультивации *in situ* и механической замены грунта // Экол. и пром-ть России. 2018. Т. 22. № 11. С. 40–45. <https://doi.org/10.18412/1816-0395-2018-11-40-45>
14. Кузина Е.В., Рафикова Г.Ф., Столярова Е.А., Логинов О.Н. Эффективность ассоциаций растений семейства бобовых и ростстимулирующих бактерий для восстановления нефтезагрязненных почв // Агрохимия. 2021. № 4. С. 87–96. <https://doi.org/10.31857/S0002188121040074>
15. Ahmad M., Rajapaksha A.U., Lim J.E., Zhang M., Bolan N., Mohan D., Vithanage M., Lee S.S., Ok Y.S. Biochar as a sorbent for contaminant management in soil and water:

- a review // *Chemosphere*. 2014. V. 99, P. 19–33.
<https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2013.10.071>
16. *Amarasingh, H.A.H.I., Gunathilake S.K., Karunathna A.K.* Ascertaining of optimum pyrolysis conditions in producing refuse tea biochar as a soil amendment // *Procedia Food Sci.* 2016. V. 6. P. 97–102.
 17. *Lahori A.H., Guo Z., Zhang Z., Ronghua L., Mahar A., Awasthi M.K., Shen F., Sial T.A., Kumbhar F., Wang P., Jiang S.* Use of Biochar as an amendment for remediation of heavy metal-contaminated soils: Prospects and challenges // *Pedosphere*. 2017. V. 27. P. 991–1014.
[https://doi.org/10.1016/S1002-0160\(17\)60490-9](https://doi.org/10.1016/S1002-0160(17)60490-9)
 18. *Anae J., Ahmad N., Kumar V., Thakur Vijay K., Gutierrez T., Yang X., Cai C., Yang Z., Coulon F.* Recent advances in biochar engineering for soil contaminated with complex chemical mixtures: Remediation strategies and future perspectives // *Sci. Total Environ.* 2020. V. 767. Iss. 144351.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.144351>
 19. *Bianco F., Race M., Papirio S., Oleszczuk P., Esposito G.* The addition of biochar as a sustainable strategy for the remediation of PAH contaminated sediments // *Chemosphere*. 2021. V. 263. Iss. 128274.
 20. *Saum L., Jiménez M.B., Crowley D.* Influence of biochar and compost on phytoremediation of oil-contaminated soil // *Inter. J. Phytoremed.* 2018. 20. 1. P. 54–60.
<https://doi.org/10.1080/15226514.2017.1337063>
 21. *Yang Y., Ye S., Zhang C., Zeng G., Tan X., Song B., Zhang P., Yang H., Li M., Chen Q.* Application of biochar for the remediation of polluted sediments // *J. Hazard. Mater.* 2021. V. 15. № 4. Iss. 124052.
<https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.124052>
 22. *Novak J.M., Busscher W.J., Laird D.L., Ahmedna M., Watts D.W., Niandou M.A.S.* Impact of biochar amendment on fertility of a southeastern Coastal Plain soil // *Soil Sci.* 2009. V. 174. P. 105–112.
<https://doi.org/10.1097/SS.0b013e3181981d9a>
 23. *Sohi S.P., Krull E., Lopezcapel E., Bol R.* A review of biochar and its use and function in soil // *Adv. Agron.* 2010. V. 105. P. 47–82.
[https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(10\)05002-9](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(10)05002-9)
 24. *Xiao X., Chen B., Chen Z., Zhu L., Schnoor J.L.* Insight into multiple and multilevel structures of biochars and their potential environmental applications: a critical review // *Environ. Sci. Technol.* 2018. V. 52. P. 5027–5047.
<https://doi.org/10.1021/acs.est.7b06487>
 25. *Yuan P., Wang J., Pan Y., Shen B., Wu C.* Review of biochar for the management of contaminated soil: Preparation, application and prospect // *Sci. Total Environ.* 2019. V. 659. P. 473–490.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.12.400>
 26. *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.
<https://doi.org/10.31857/S0002188121090052>
 27. *Kolesnikov S.I., Gayvoronskiy V.G., Kazeev K.S., Dadenko E.V., Denisova T.V., Tishchenko S.A.* Simulation of ordinary chernozem pollution by heavy oil to determine environmentally safe concentrations // *World Appl. Sci. J.* 2013. V. 25. 9. P. 1339–1342.
<https://doi.org/10.5829/idosi.wasj.2013.25.09.13409>
 28. *Вальков В.Ф., Казеев К.Ш., Колесников С.И.* Почвы Юга России. Ростов н/Дону: Изд-во “Эверест”, 2008. 276 с.
 29. *Liu H., Kumar V., Yadav V., Guo S., Sarsaiya S., Binod P., Sindhu R., Xu P., Zhang Z., Pandey A., Kumar Awasthi M.* Bioengineered biochar as smart candidate for resource recovery toward circular bio-economy: a review // *Bioengineered*. 2021. V. 12 (2). P. 10269–10301.
<https://doi.org/10.1080/21655979.2021.1993536>
 30. *Hoang S.A., Sarkar B., Seshadri B., Lamb D., Wijesekara H., Vithanage M., Liyanage C., Kolivabandara P.A., Rinklebe J., Lam S.S., Vinu A., Wang H., Kirkham M.B., Bolan N.S.* Mitigation of petroleum-hydrocarbon-contaminated hazardous soils using organic amendments: A review // *J. Hazard. Mater.* 2021. V. 416. Iss. 125702.
<https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.125702>
 31. *Wang Y., Li F., Rong X., Song H., Chen J.* Remediation of petroleum-contaminated soil using bulrush straw powder, biochar and nutrients // *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 2017. V. 98 (5). P. 690–697.
<https://doi.org/10.1007/s00128-017-2064-z>
 32. *Li X., Li Y., Zhang X., Zhao X., Sun Y., Weng L., Li Y.* Long-term effect of biochar amendment on the biodegradation of petroleum hydrocarbons in soil microbial fuel cells // *Sci. Total Environ.* 2019. V. 651. P. 796–806.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.09.098>
 33. *Dike C.C., Shahsavari E., Surapaneni A., Shah K., Ball A.S.* Can biochar be an effective and reliable biostimulating agent for the remediation of hydrocarbon-contaminated soils? // *Environ Int.* 2021. V. 154. Iss. 106553.
<https://doi.org/10.1016/j.envint.2021.106553>
 34. *Mukome F.N.D., Buelow M.C., Shang J., Peng J., Rodriguez M., Mackay D.M., Pignatello J.J., Sihota N., Hoellen T.P., Parikh S.J.* Biochar amendment as a remediation strategy for surface soils impacted by crude oil // *Environ. Pollut.* 2020. V. 265. Iss. 115006.
<https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.115006>
 35. *Казеев К.Ш., Колесников С.И., Акименко Ю.В., Даденко Е.В.* Методы биодиагностики наземных экосистем. Ростов н/Д.: Изд-во ЮФУ, 2016. 356 с.
 36. ГОСТ 26423-85 “Методы определения удельной электрической проводимости, рН и плотного остатка водной вытяжки”.
 37. *Савич В.И., Смарыгин С.Н., Гукалов В.В., Раскатов В.А., Поляков А.М.* Интегральная оценка окислительно-восстановительного состояния системы почва–растение // *Изв. ТСХА*. 2019. № 4. С. 19–31.
<https://doi.org/10.34677/0021-342-2019-4-19-31>
 38. *Шигаева Т.Д., Поляк Ю.М., Кудрявцева В.А.* Окислительно-восстановительный потенциал как показатель состояния объектов окружающей среды // *Биосфера*. 2020. 12. № 3. С. 111–124.
<https://doi.org/10.24855/BIOSFERA.V12I3.549>
 39. *Husson O.* Redox potential (Eh) and pH as drivers of soil/plant/microorganism systems: a transdisciplinary overview pointing to integrative opportunities for agronomy // *Plant and Soil*. 2013. V. 362. P. 389–417.
 40. *Savich V., Gukalov V., Sorokin A., Konakh M.* Agroecological evaluation of interrelationships of soil properties in

- time and space // *Dokuchaev Soil Bul.* 2021. P. 163–175. <https://doi.org/10.19047/0136-1694-2021-106-163-175>
41. *Badía D., Aguirre A.J., Martí C., Márquez M.A.* Sieving effect on the intensity and persistence of soil water repellency: a case study using different soil depths and soil types from NE-Spain // *Catena*. 2013. V. 108. P. 44–49. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2012.02.003>
 42. *Doerr S.H.* On standardizing the ‘water drop penetration time’ and the ‘molarity of an ethanol droplet’ techniques to classify soil hydrophobicity: a case study using medium textured soils // *Earth Surface Proc. Landforms*. 1998. V. 23. P. 663–668.
 43. *Bisdorn E.B.A., Dekker L.W., Schoube J.F.T.* Water repellency of sieve fractions from sandy soils and relationships with organic material and soil structure // *Geoderma*. 1993. V. 56. P. 105–118.
 44. *Горбачев В.Н., Бабинцева Р.М.* Экологический мониторинг земель: Учеб. пособ. по экол. мониторингу земель для студентов и аспирантов специальностей “Экология”, “Природопользование”, “Почвоведение”. Ульяновск: УлГУ, 2006. 109 с.
 45. *Судницын И.И., Егоров Ю.В., Бобков А.В., Кириченко А.В.* Влияние структуры почв на их гидрофизические свойства // *Вестн. Моск. ун-та. Сер. 17. Почвоведение*. 2014. Т. 1. С. 14–19.
 46. *Байчоров Р.А.* Действие нефти и нефтепродуктов на свойства почв и продуктивность растений // *E-Scio*. 2020. Т. 2 (41). С. 143–148.
 47. *Кириченко О.А., Иманова Е.Л.* Влияние углеводородов на состав микробного сообщества в луговой глеевой почве // *Вестн. ДО РАН*. 2015. Т. 5 (183). С. 29–34.
 48. *Kondrashina V.S., Strijakova E.R., Zinnatshina L.V.* Influence of activated carbon and other additives on bioremediation rate and characteristics of petroleum-contaminated soils // *Euras. Soil Sci.* 2018. Т. 183. № 4. С. 150. <https://doi.org/10.1097/SS.0000000000000234>
 49. *Utombaeva A.A., Petrov A.M., Zainulgabidinov E.R., Ignatiev Yu.A.* Development of one- and dicotyledon plants on reclaimed oil-contaminated alluvial turf soils // *Bul. Nizhnevartovsk State Univ.* 2022. V. 1 (57). С. 91–101. <https://doi.org/10.36906/2311-4444/22-1/10>
 50. *Киреева Н.А., Григориади А.С., Баширова Р.М., Амирова А.Р.* Использование бархатцев прямостоячих *Tagetes erecta* L. для фиторемедиации почвы, загрязненной нефтяными углеводородами // *Агротехника*. 2012. № 5. С. 66–72.
 51. *Шагидуллин Р.Р., Петров А.М., Иванов Д.В., Тарасов О.Ю., Шагидулина Р.А., Буфатина М.А.* Методические подходы к нормированию содержания нефти и продуктов ее трансформации в почвах // *Экол. и пром-ть России*. 2011. № 6. С. 24–28.
 52. *Бузмаков С.А.* Восстановление земель при различных уровнях загрязнения нефтью // *Зап. Горн. ин-та*. 2013. Т. 203. С. 128–132.
 53. *Петрова Т.А., Рудзиш Э.* Рекультивация техногенно-нарушенных земель с применением осадков сточных вод в качестве мелиорантов // *Зап. Горн. ин-та*. 2021. Т. 251. С. 767–776. <https://doi.org/10.31897/PMI.2021.5.16>
 54. *Фомичева Н.В., Рабинович Г.Ю., Смирнова Ю.Д., Филонов А.Е.* Новые биосредства для ремедиации нефтезагрязненной почвы // *Изв. Иркут. гос. ун-та. Сер. Биол. Экол.* 2020. Т. 31. С. 19–29. <https://doi.org/10.26516/2073-3372.2020.31.19>

Influence of Biochar on the Ecological State of Ordinary Chernozem under Pollution with Oil, Gasoline and Fuel Oil

T. V. Minnikova^{a,*}, A. S. Ruseva^a, S. I. Kolesnikov^a, S.Yu. Revina^a, and V. G. Gaivoronsky^a

^a*Southern Federal University Rostov-on-Don
ul. B. Sadovaya 105/42, Rostov-on-Don 344006, Russia*

^{*}*E-mail: loko261008@yandex.ru*

The work assessed the effect of biochar (B) (charcoal of special treatment) on the ecological state of ordinary chernozem when contaminated with oil, gasoline and fuel oil. To assess the ecological state, pollution of chernozem with oil, gasoline and fuel oil was simulated in the laboratory with subsequent introduction of biochar. The ecological state was assessed by the reaction of the soil environment (pH), the total content of easily soluble salts, changes in redox potential, soil hydrophobicity, CO₂ emissions, phytotoxic parameters of radish test plants. Gasoline in the soil, when applying biochar, increased the alkalinity of the soil, changed the value of the redox potential to the reduction mode. It was found that biochar at a dose of B_{0,5} increased the intensity of CO₂ emissions in the soil with fuel oil and gasoline by 41–129%. At the same time, the length of shoots and roots of radish in the soil with oil and gasoline was stimulated only when B_{2,0} was applied. Biochar stimulated the ecological properties of soils with fuel oil and gasoline for 30 days of the experiment. The range of resistance of chernozems to the introduction of biochar according to the indicators of the ecological state is as follows: fuel oil (86) > gasoline (82) > oil (57). To restore the ecological properties of the soil with oil, a longer period of remediation is required than 30 days of the experiment.

Key words: biochar, petroleum hydrocarbons, biological activity of soils, biodiagnostics.

**Титова В.И. Агрохимия—2021. Н. Новгород, 2021. 208 с.
ISBN 978-5-6046715-1-1**

DOI: 10.31857/S000218812209006X

В конце 2021 г. в Нижнем Новгороде было издано учебное пособие “Агрохимия—2021”, предназначенное для подготовки кадров высшей квалификации по соответствующей специальности. Его автор — Вера Ивановна Титова, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, заведующая кафедрой агрохимии и агроэкологии факультета почвоведения Нижегородской государственной сельскохозяйственной академии, заслуженный агрохимик РФ и заслуженный работник высшей школы РФ.

На учебные пособия редко пишутся рецензии, однако это издание заслуживает того, чтобы оно не осталось незамеченным: пособие посвящено анализу направлений развития агрохимической науки начала XXI века, которые уже есть в практике сельскохозяйственного производства и находят отражение в научных публикациях.

Особенность пособия состоит в том, что отдельные его разделы, достаточно хорошо изложенные в ставших классическими учебниках агрохимии, написаны конспективно, в то же время современные направления агрохимической науки и некоторые вопросы, связанные с ее понятийным аппаратом и нормативами, — весьма обстоятельно.

Учебное пособие состоит из 6 глав, каждая из которых содержит от 2-х до 5-ти параграфов (подразделов). В первой главе автор подвергла обстоятельному анализу базовые понятия агрохимии — “удобрения” и “агрохимикаты”, используемые нередко как синонимы. Опираясь на нормативные документы (ГОСТ 20432-83 “Удобрения. Термины и определения”, ГОСТ EN 13535-2013 “Удобрения и известковые материалы. Классификация”, документ СП 92.13330.2012 “Склады сухих минеральных удобрений и химических средств защиты растений”, СанПиН 1.2.1077-01 “Гигиенические требования к хранению, применению и транспортировке пестицидов и агрохимикатов” и др.), автор констатирует, что “в настоящее время в понятие “агрохимикаты”, кроме хорошо известных любому агрохимику удобрений и химических мелиорантов, включены еще и дру-

гие химические соединения, применяемые в процессе выращивания растений, вещества для регулирования плодородия почв, удобрения биологического происхождения, а также природные материалы и искусственные субстраты, используемые в защищенном грунте”. Далее, как вывод и предложение следует: “В таком случае агрохимия как наука в практическом ее предназначении становится теоретической основой всей химизации земледелия, исследования в которой должны касаться не только собственно удобрений, но и массы других веществ природного и искусственного происхождения, используемых с целью обеспечения питания растений, а также создания оптимальных условий для роста и развития растений”. С этими утверждениями автора трудно не согласиться.

Также в первой главе уделено внимание вопросу классификации удобрений. По мнению автора, традиционная классификация минеральных удобрений требует уточнения. Это обусловлено тем, что на рубеже и в начале XXI века ассортимент удобрений значительно изменился: расширилось производство комплексных твердых и жидких минеральных удобрений с введением в их состав различных макро- и микроэлементов, в том числе на основе хелатов; активно развивается производство микробиологических удобрений и регуляторов роста. Ею предложена следующая классификация минеральных удобрений (рис. 1).

Вторая глава пособия посвящена основам питания растений и общей характеристике почв и растений. В ней в сжатой форме изложены общеизвестные сведения о химическом и элементном составе растений, краткие сведения по составу почвы, о поглотительной способности почв, о взаимодействии удобрений с почвой, в том числе о влиянии удобрений на pH почвы, о роли и значении почвенной микробиоты в функционировании агрофитоценозов, о химической мелиорации почв (известковании и гипсовании). Отдельным параграфом приведена краткая характеристика общих свойств минеральных удобрений — химических, физико-химических, физико-механиче-



Рис. 1. Предложения к современной классификации минеральных удобрений.

ских, а также показателей годности удобрений к хранению, для внесения, безопасности при использовании (взрывоопасности, пожароопасности, влияния на окружающую среду). Заключительный фрагмент параграфа посвящен оригинальности удобрений и проблеме их подделок. Автор справедливо указывает, что недобросовестные «производители» чаще всего подделывают жидкие комплексные удобрения для некорневых подкормок, стимуляторы роста и микробные препараты.

Третья глава представляет краткое описание в тривиальном ключе традиционных минеральных удобрений – азотных, фосфорных, калийных, комплексных и микроудобрений. Приведенная в ней информация не выходит за пределы учебников по курсу агрохимии, поэтому не требует дополнительного освещения.

В четвертой главе говорится о технологиях и приемах внесения удобрений. Рассмотрены следующие вопросы: общие понятия о приемах внесения удобрений, внесение удобрений при посеве, листовые подкормки, внесение удобрений с поливной водой (способом фертигации).

В данной главе достаточно подробно изложены требования по эффективному внесению удобрений с поливной водой: знание физиологических запросов сельскохозяйственных культур к их водному и питательному режиму; оценка состояния почвы (субстрата) и качество поливной воды при фертигации. Перечислены преимущества использования удобрений способом фертигации, основные из которых – снижение доз удобрений на единицу продукции (поскольку коэффициент использования элементов питания растениями при оптимальном водном режиме в почве повышается по сравнению с другими спо-

собами подкормки), возможность контроля содержания и соотношения между элементами в подаваемом растению растворе на каждой стадии развития растения с учетом его потребностей в питательных элементах.

В пятой главе представлен материал о современных модификациях минеральных удобрений – об удобрениях контролируемого действия, жидких комплексных удобрениях, микроудобрениях нового поколения.

Автором подчеркнута, что при использовании практически всех традиционных минеральных удобрений (за некоторым исключением – фосфорных) наибольшее количество элементов высвобождается из них на ранних стадиях развития растений, а к более поздним стадиям онтогенеза по разным причинам их в почве остается намного меньше. Поглощение же элементов растениями идет неравномерно, чаще всего – с минимумом в фазе проростков, с постепенным нарастанием потребления до фазы цветения и последующим снижением интенсивности к концу вегетации. Этим обстоятельством обусловлено использование удобрений контролируемого действия – медленнодействующих азотных удобрений, капсулированных удобрений сложного химического состава, удобрений с ингибиторами (уреазы и нитрификации).

Значительный объем учебного пособия отдан органическим удобрениям на рубеже XXI века, чему посвящена его шестая глава. В ней справедливо указано, что в настоящее время группа удобрений, традиционно объединенных понятием “органические удобрения”, существенно расширилась и видоизменилась не только за счет расширения “линейки” форм отходов животноводства и птицеводства, но и за счет органосодержащих отходов других производств – спирт- и сахарных заводов, льноперерабатывающих предприятий, очистных сооружений коммунально-бытового хозяйства и многого другого.

В этой главе автором уделено достаточно пристальное внимание вопросу классификации органических удобрений, обусловленное разницей в трактовке понятий и терминов в государственных стандартах и нормативно-правовых документах (перечень которых приведен в пособии) по отдельным видам и формам органических удобрений. Обращено внимание в этой главе и на санитарно-гигиенические требования к органическим удобрениям, применяемым в сельском хозяйстве.

Рецензия не может в полной мере отразить материал, приведенный в учебном пособии. Поэтому правильнее будет его прочитать и по-новому взглянуть на отдельные положения агрохимии, уже с позиций начала XXI века.

Поскольку учебная литература – фундамент для подготовки квалифицированных специалистов, издание данного пособия своевременно. Оно, несомненно, внесет свой вклад в повышение уровня подготовки кадров высшей квалификации. По содержанию материала и доступности его изложения, соответствия современному уровню научно-технических достижений в области агрохимии и агроэкологии рецензируемое учебное пособие полностью отвечает предъявляемым требованиям к изданиям подобного рода.

В заключение хотелось бы отметить, что это учебное пособие будет весьма полезно не только аспирантам и магистрантам, для которых оно предназначено, но и для широкого круга исследователей – агрохимиков, агроэкологов, земледельцев, растениеводов, а также практических работников, интересующихся агрохимией и агроэкологией, связанных по роду деятельности с проблемами сохранения плодородия почв и повышения продуктивности отечественного земледелия. Несмотря на небольшой тираж пособия (всего 300 экз.), доступ к нему легко организовать, достаточно автору выложить в Интернет электронную версию издания для свободного пользования.

А. В. Ивойлов