

**Растениеводство, защита и биотехнология растений****Вологжанина Е.Н., Баталова Г.А.**

Новые перспективные сорта и линии плёнчатого и голозёрного овса укосного и универсального направления 3

**Полонский В.И., Герасимов С.А., Сумина А.В., Зюте С.А.**

Адаптивность образцов голозерного ячменя по содержанию  $\beta$ -глюканов в зерне и его крупности в условиях Восточной Сибири 8

**Пономарева М.Л., Пономарев С.Н., Маннапова Г.С., Гильмуллина Л.Ф.**

Методы исследования качества цельносмолотой муки из зерна ржи 13

**Петрищев В.С., Агасьева И.С.**

Материалы к диптерофауне (Diptera: Brachycera) урбо- и агроэкосистем Краснодара и окрестностей Эльхотова (Северная Осетия) 22

**Зеленева Ю.В., Аблова И.Б., Судникова В.П., Мохова Л.М., Конькова Э.А.**

Морфолого-культуральные свойства возбудителей септориозов зерновых культур из различных агроклиматических зон Российской Федерации 27

**Агрочововедение и агроэкология****Воронин А.Я., Савин И.Ю.**

Диэлектрический облик почв как основа их агроэкологического мониторинга 33

**Юдин С.А., Ермолаев Н.Р., Белобров В.П., Завалин А.А.**

Нулевая обработка почвы и ее роль в накоплении гумуса в типичных черноземах 39

**Русева А.С., Минникова Т.В., Колесников С.И., Ревина С.Ю., Евстегнеева Н.А., Труфанов Д.А.**

Влияние Байкал ЭМ-1 на экологическое состояние чернозема обыкновенного при загрязнении нефтью, мазутом и бензином 43

**Н.А. Воронкова, Н.Ф. Балабанова**

Влияние экологических факторов на эмиссию  $\text{CO}_2$  из пахотной лугово-черноземной почвы лесостепи Западной Сибири 51

**Зоотехния и ветеринария****Х.К. Худякова, В.Г. Косолапова**

Определение структурных углеводов и лигнина в кормовых травах по Ван-Соесту и Кизелю 55

**Мифтахутдинов А.В., Сайфульмулюков Э.Р., Пономарева Т.А.**

Тепловой и транспортный стресс в промышленном птицеводстве: проблемы и решение 60

**Е.А. Сизова, Е.В. Яушева, Ю.А. Хлопко, С.В. Лебедев, О.В. Маршинская, Т.В. Казакова**

Оценка влияния биоаккумуляции микроэлементов в шерсти и молоке коров на кишечный микробиом 66

*Plant Growing, Plant Protection and Biotechnology*

- Vologzhanina E.N., Batalova G.A.**  
New promising varieties and lines of covered and naked oats for moving and universal use 3
- Polonskiy V.I., Gerasimov S.A., Sumina A.V., Zute S.A.**  
Adaptability of naked barley accessions in terms of the content of  $\beta$ -glucans in grain and its size in the conditions of Eastern Siberia 8
- Ponomareva M.L., Ponomarev S.N., Mannapova G.S., Gilmullina L.F.**  
Research techniques for the quality wholemeal rye flour 13
- Petrishchev V.S., Agasyeva I.S.**  
Species diversity of Diptera in the Central zone of Krasnodar Krai and North Ossetia 22
- Zeleneva Yu.V., Ablova I.B., Sudnikova V.P., Mokhova L.M., Konkova E.A.**  
Morphological and cultural properties of grain septoria pathogens in various agroclimatic zones of the Russian Federation 27

*Agricultural Soil Science and Agroecology*

- Voronin A.Ya., Savin I.Yu.**  
Dielectric vision of soils as a basis of its agroecological monitoring 33
- Yudin S.A., Ermolaev N.R., Belobrov V.P., Zavalin A.A.**  
No-Till and its role in humus accumulation in typical chernozem 39
- Ruseva A.S., Minnikova T.V., Kolesnikov S.I., Revina S.Yu., Evstegneeva N.A., Trufanov D.A.**  
Influence of Baikal EM-1 on the ecological state of haplic chernozem after oil, fuel and gasoline pollution 43
- Voronkova N. A, Balabanova N. F.**  
Influence of environmental factors on CO<sub>2</sub> emissions from arable Meadow-chernozem soil of forest-steppe western siberia 51

*Animal Science and Veterinary Medicine*

- Khudyakova H.K., Kosolapova V.G.**  
Determination of structural carbohydrates in forage grasses by methods Van-Soest and Kiese 55
- Miftakhutdinov A.V., Sayfulmulukov E.R., Ponomareva T.A.**  
Heat and transport stress in industrial poultry: problems and solution 60
- Sizova E.A., Yausheva E.V., Khlopko Y.A., Lebedev S.V., Marshinskaia O.V., Kazakova T.V.**  
Assessment of the effect of bioaccumulation of trace elements in the wool and milk of cows on the intestinal microbiome 66

**Растениеводство, защита и биотехнология растений**

УДК 633.13:631.526.32:631.559

DOI: 10.31857/S2500262722040019, EDN: GDEYXP

**НОВЫЕ ПЕРСПЕКТИВНЫЕ СОРТА И ЛИНИИ ПЛЁНЧАТОГО И ГОЛОЗЁРНОГО ОВСА УКОСНОГО И УНИВЕРСАЛЬНОГО НАПРАВЛЕНИЯ**

**Е.Н. Вологжанина**, кандидат сельскохозяйственных наук, **Г.А. Баталова**, академик РАН  
 Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока им. Н.В. Рудницкого,  
 610007, Кировская обл., Киров, ул. Ленина, 166А  
 E-mail: helen.vol@list.ru

*Исследования проводили с целью оценки сортов и линий плёнчатого и голозёрного овса для кормового и универсального использования, способных формировать стабильные урожаи зерна в условиях Кировской области и выделения наиболее перспективных высокоадаптивных, экологически пластичных генотипов, наиболее полно реализующих потенциал продуктивности в меняющихся условиях среды. Представлены результаты изучения 18 сортов и перспективных линий плёнчатого и голозёрного овса в конкурсном сортоиспытании в условиях Кировской области в период с 2019 по 2021 гг. Агроклиматические условия в годы исследований были контрастными. Установлена зависимость урожайности зерна от ГТК в период от всходов до вымётывания: для плёнчатых генотипов –  $r=0,85$ , для голозёрных –  $r=0,87$ . В наиболее благоприятных условиях, сложившихся в 2019 г., наблюдали увеличение продолжительности периода вегетации от всходов до вымётывания у плёнчатого овса до 48 дней, у голозёрного – до 47 дней. Это способствовало развитию более высокорослых растений: у плёнчатых генотипов – 98,2 см, у голозёрных – 95,2 см, что на 21,2 см и 20,5 см соответственно больше, чем в неблагоприятных условиях 2021 г. Среди плёнчатых генотипов выделен сорт высокоинтенсивного типа универсального направления Медведь, характеризовавшийся высокой урожайностью зерна (6,4 т/га) и зелёной массы (35,3 т/га), высокой пластичностью и стабильностью по признаку урожайность зерна. К плёнчатым овсам укосного использования отнесены линии 178h13 и 200h15 с урожайностью зелёной массы 37,6 т/га и 25,6 т/га соответственно. Среди голозёрных генотипов наибольшую урожайность зерна сформировал сорт Багет (4,4 т/га), зелёной массы – линия 36h13 (24,8 т/га). Большинство изученных голозёрных генотипов имеют высокую пластичность.*

**NEW PROMISING VARIETIES AND LINES OF COVERED AND NAKED OATS FOR MOVING AND UNIVERSAL USE**

**Vologzhanina E.N., Batalova G.A.**  
 Federal Agricultural Research Center of the North-East named N.V. Rudnitsky  
 610007, Kirovskaya obl., Kirov, ul. Lenina, 166A  
 E-mail: helen.vol@list.ru

*The results of study of 18 varieties and promising lines of covered and naked oats in the competitive variety test of the FARC of the North-East (Kirov region) in the period from 2019 to 2021 are presented. The purpose of the research was to assess the varieties and lines of covered and naked oats for feed and universal use, capable of forming stable grain yields in the conditions of the Kirov region as well as select the most promising highly adaptive, ecologically plastic genotypes that most fully realize its productive potential under changing environmental conditions. The agroclimatic conditions during the study period were contrasting. The dependence of grain yield on HTC in the period from sowing to heading was established:  $r = 0.85$  for covered genotypes and  $r = 0.87$  for naked genotypes. Under the most favorable conditions of 2019, an increase up to 48 days in the duration of the growing season from seedlings to heading in covered and 47 days in naked oats was observed. This favored the development of higher plants – 98.2 cm in covered; 95.2 cm in naked genotypes, which is 21.2 cm and 20.5 cm higher in average for corresponding sets of genotypes, respectively, than in unfavorable conditions of 2021. Among the covered genotypes, a Medved' variety of high-intensity type of the universal use is selected, characterized by a high grain (6.4 t/ha) and green mass yield (35.3 t/ha), high plasticity and stability in terms of grain yield. Lines 178h13 and 200h15 with green mass yields of 37.6 t/ha and 25.6 t/ha, respectively, are classified as covered oats of hay use. Among the naked genotypes, the largest grain yield was formed by the Baget variety (4.4 t/ha), the green mass – line 36h13 (24.8 t/ha). Most of the naked genotypes studied have high plasticity.*

**Ключевые слова:** овёс (*Avena sativa* L.), урожайность, зелёная масса, пластичность, стабильность, условия вегетации.

**Key words:** oats, yield, green mass, plasticity, stability, growing conditions.

Во многих регионах России в связи с неблагоприятными и нестабильными метеоусловиями сельхозпроизводители сталкиваются с проблемой формирования устойчивой кормовой базы в животноводстве. Овёс – универсальная культура, способная обеспечить формирование высоких урожаев зерна и зелёной массы [1]. Большое внимание при производстве корма уделяется его качеству и питательности. Зерно овса, как и зелёную массу, характеризует высокое содержание необходимых питательных элементов. Например, в условиях Сибири среди всех культур, возделываемых на зелёную массу, наибольшей питательностью и содержанием обменной энергии обладает овёс [2].

Кроме того, яровой плёнчатый овёс отличается высокой степенью адаптивности к условиям возделывания [3, 4]. В последние годы большое внимание уделяют голозёрному овсу [5]. Однако отсутствие плёнки приводит к большей травмируемости зародыша и повреждаемости болезнями, что делает его более чувствительным к условиям возделывания. В благоприятных условиях он формирует высокие, стабильные урожаи зелёной массы и зерна. При этом зерно овса голозёрного превосходит плёнчатые сорта по содержанию белка и жира [6, 7].

Сорта овса по-разному реагируют на условия среды. Поэтому возникает необходимость создания устойчивых к лимитирующим факторам сортов, обладающих

высокой урожайностью и качеством продукции [8, 9, 10, 11, 12].

Цель исследований – оценить сорта и линии плёнчатого и голозёрного овса для кормового и универсального использования, способные формировать стабильные урожаи зерна и зелёной массы в условиях Кировской области и выделить перспективные высокоадаптивные, экологически пластичные генотипы, наиболее полно реализующие потенциал продуктивности в меняющихся условиях среды.

**Методика.** Работу проводили в 2019–2021 гг. на базе ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока (Кировская область). Изучали 18 перспективных и включенных в Госреестр РФ сортов и линий плёнчатого и голозёрного овса питомника конкурсного испытания в соответствии с методикой [13]. В качестве стандартов использовали общепринятые по Волго-Вятскому региону (в период исследований), включенные в Государственный реестр сорта Кречет (плёнчатый) и Вятский (голозёрный). Индекс условий среды ( $I_j$ ), коэффициент регрессии ( $b_j$ ) и индекс стабильности ( $S_j^2$ ) определяли по S.A. Eberhart, W.A. Russell [14], вклад генотипа и условий среды в формирование урожайности – по Н.А. Плохинскому [15], гидротермический коэффициент (ГТК) – по А.И. Селянинову [16], показатель селекционной ценности ( $S_c$ ) – по В.В. Хангильдину [17]. Учёт зелёной массы проводили в фазе вымётывания.

Почва опытного участка дерново-подзолистая среднесуглинистая на элювии пермских глин с небольшой мощностью перегнойного горизонта. Содержание гумуса низкой – 2,43...2,51 % (по Тюрину, ГОСТ 26213-91), подвижного фосфора и калия – соответственно

температурный режим в мае обусловил интенсивное накопление эффективного тепла, и на 31 мая сумма эффективных температур достигла 320,4 °С, что на 120 °С больше средней многолетней величины. В июне и июле наблюдали от умеренно теплой до жаркой, сухую или с периодически выпадающими грозовыми дождями разной интенсивности, погоду. Август характеризовался сильной жарой и почвенной засухой, за месяц выпало 37 мм осадков, или 48 % нормы.

Для обработки экспериментальных данных методами дисперсионного и корреляционного анализов использовали пакет селекционно-ориентированных программ AGROS, версия 2.07, пакета прикладных программ Microsoft Excel 2007.

**Результаты и обсуждение.** Продуктивность овса в большой степени определяет продолжительность периода вегетации и погодные условия. Для Волго-Вятского региона больше подходят скороспелые сорта. Однако они более низкорослы и менее продуктивны. Наибольшее количество питательных веществ овёс накапливает в период от всходов до вымётывания, когда происходит закладка и формирование генеративных органов. Поэтому условия развития овса в этот период играют важную роль в формировании урожайности.

При достаточном увлажнении (ГТК=1,74) в 2019 г. отмечена наибольшая продолжительность периода от всходов до вымётывания: у плёнчатых сортов и линий 48 дней, у голозёрных – 47 дней (табл. 1). Установлена существенная ( $P > 0,95$ ) положительная корреляция между величиной ГТК и продолжительностью периода вегетации: у плёнчатых овсов –  $r=0,91$ , у голозёрных –  $r=0,98$ .

Табл. 1. Зависимость высоты растений и продолжительности периода вегетации «всходы – вымётывание» от условий года

Год	Период вегетации, дней		V, %	$I_j$	Высота, см.		V, %	$I_j$
	min-max	Хср			min-max	Хср		
<b>Плёнчатые</b>								
2019	46...50	48	2,9	3,81	80,7...115,8	98,2	11,6	10,07
2020	43...48	46	3,5	1,37	83,7...107,7	89,2	10,0	1,07
2021	39...40	39	2,2	-5,19	69,7...91,2	77,0	12,9	-11,30
<b>Голозёрные</b>								
2019	47...48	47	1,1	3,26	76,7...108,4	95,2	12,2	9,37
2020	45...47	46	1,6	2,26	77,1...99,4	91,6	9,5	2,48
2021	38...40	39	1,8	-5,52	66,8...82,0	74,7	6,3	-11,85

334...339 мг/кг и 200...245 мг/кг почвы (по Кирсанову, ГОСТ 26207-91), кислотность – 5,7...6,0 ед. рН (ГОСТ 26212-91).

Анализ метеорологических условий в период исследований выполнен по данным Кировского областного центра по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды. Они были контрастными по количеству осадков и температурному режиму и характеризовались величинами от близких к средним многолетним до засушливых и хорошо увлажнённых. В мае 2019 г. погода изменялась от жаркой до прохладной с заморозками, в июне была преимущественно сухая с редкими сильными ливнями. По накоплению суммы эффективных температур вегетационный период был типичным для области. Вегетационный период 2020 г. характеризовался неустойчивой по температуре погодой, от очень тёплой до холодной, с небольшими, временами сильными, осадками в мае и июне. В первой половине июля преобладала очень тёплая и жаркая, преимущественно сухая или с небольшими, временами сильными, ливнями погода. В 2021 г. погода чаще была тёплой и жаркой. Повышенный

В условиях достаточного увлажнения в 2019 г. сформировались более высокорослые, по сравнению с 2020 и 2021 гг., растения. Между высотой растений и продолжительностью периода вегетации установлена достоверная (при  $P > 0,95$ ) положительная корреляционная зависимость  $r=0,68$  и  $r=0,71$  у плёнчатых и голозёрных генотипов соответственно.

Неблагоприятные для развития овса условия сложились в 2021 г., индекс условий среды ( $I_j$ ) для плёнчатых сортов и линий овса был равен 11,30, для голозёрных – 11,85. На фоне недостаточного увлажнения (ГТК=0,92) и повышенных температур наблюдали сокращение продолжительности периода от всходов до вымётывания до 39 дней как у плёнчатых ( $I_j=-5,19$ ), так и голозёрных ( $I_j=-5,52$ ) генотипов, что привело к депрессии среднего показателя высоты растений до 77 см и 74,7 см соответственно. Установлена средней степени положительная связь ГТК и высоты растений для плёнчатых сортов и линий овса ( $r=0,60$ ) и высокая положительная ( $r=0,69$ ) для голозёрных. Стрессовые условия в большей степени повлияли на вариабельность показателей плёнчатых овсов.

Табл. 2. Характеристика перспективных сортов и линий овса по кормовой продуктивности (2019–2021 гг.).

Сорт, линия	Урожайность, т/га		Сбор сухого вещества, т/га	Высота, см	Общая кустистость, шт.
	зерна	зелёной массы			
<b>Плёнчатые</b>					
174h15	5,7±1,4	22,9±2,1	6,1±0,2	86,2±4,9	1,2±0,09
4h14	5,8±1,1	22,3±2,6	5,6±0,8	90,6±12,2	1,3±0,07
200h15	5,5±1,2	25,6±0,9	8,1±0,7	82,8±1,1	1,4±0,15
Медведь	6,4±1,7	35,3±9,2	9,2±0,7	101,6±7,4	1,4±0,21
325h12	6,2±1,4	24,7±8,0	7,6±2,4	89,5±1,5	1,2±0,03
Фалёнец	5,8±1,8	19,5±1,8	5,5±0,3	81,6±10,4	1,2±0,12
178h13	5,5±1,3	37,6±11,1	9,9±2,1	97,1±6,5	1,5±0,29
196h15	5,4±1,4	21,0±4,2	6,7±0,9	85,5±9,7	1,5±0,17
Кречет (стандарт)	5,6±1,1	20,0±3,0	6,1±1,0	78,7±7,3	1,4±0,09
HCP <sub>05</sub>	0,5	2,8	0,9	8,9	0,1
<b>Голозёрные</b>					
63h11	3,7±1,3	20,6±1,2	5,8±1,6	79,0±3,6	1,6±0,30
11h12o	4,0±1,4	22,2±6,2	7,5±1,6	79,6±5,1	1,6±0,13
114h12	4,3±1,6	21,4±3,4	6,1±0,9	86,0±6,9	1,3±0,19
74h12	3,7±1,7	17,3±6,0	6,0±1,6	82,3±7,8	1,7±0,18
Багет	4,4±1,8	17,1±3,2	4,2±0,2	82,9±10,1	1,6±0,06
72h11	4,1±1,7	18,9±3,4	5,0±0,3	90,6±6,7	1,5±0,20
4h12	4,3±1,5	16,2±3,1	5,1±1,2	86,2±7,0	1,3±0,15
36h13	4,0±1,2	24,8±7,0	7,1±2,1	93,2±8,9	1,5±0,12
Вятский (стандарт)	3,9±1,6	21,4±6,8	6,5±1,4	92,7±10,7	1,3±0,12
HCP <sub>05</sub>	0,3	2,5	0,5	8,1	0,1

Коэффициент вариации для периода вегетации был равен 2,2...3,5 %, для высоты растений – 10,0...12,9 %. Сорта и линии голозёрного овса были более стабильны – 1,1...1,8 % и 6,3...12,2 % соответственно.

Наибольшую ценность представляют сорта, обладающие высокой кормовой продуктивностью, которая складывается из урожайности зерна и зелёной массы. За три года исследований плёнчатые сорта были более продуктивны, чем голозёрные. Самые благоприятные условия для формирования высокой урожайности зерна отмечали в 2019 г., что выразилось в тёплой с умеренным количеством осадков погоде в период «вымётывание – созревание» (ГТК=1,40). В среднем урожайность составила 8,0 т/га у плёнчатых и 6,6 т/га у голозёрных генотипов, индексы условий среды при этом были равны 2,27 и 2,56 соответственно. Для формирования высокой урожайности зелёной массы овса наиболее благоприятными были условия периода «всходы – вымётывание» в 2020 г. (ГТК=1,81). Средняя урожайность зелёной массы у плёнчатых сортов и линий составила 30,8 т/га, у голозёрных – 24,3 т/га. Однако высокая температура в период формирования зерна привела к сокращению продолжительности периода от вымётывания до созревания, стерилизации части цветков метёлки и, как следствие, к снижению ее продуктивности. В жёстких условиях вегетации 2021 г. на фоне высоких температур и достаточного увлажнения в период формирования зерна наблюдали неравномерное созревание посевов, что негативно отразилось на урожайности зерна, которая в среднем по плёнчатым генотипам составила 3,3 т/га ( $I_j = -2,45$ ) и по голозёрным – 1,3 т/га ( $I_j = -2,77$ ).

На урожайность зерна значительное влияние оказали продолжительность периода вегетации от всходов до вымётывания ( $r=0,91$  при  $P > 0,95$ ) и ГТК за этот период: для плёнчатого овса –  $r=0,85$ , голозёрного –  $r=0,87$ . Аналогичная зависимость отмечена между показателями ГТК за периоды «всходы – вымётывание» и продолжи-

тельностью межфазного периода «всходы – вымётывание» –  $r=0,91$  и  $r=0,98$  соответственно.

Изученные сорта и линии характеризовались изменчивостью, относительно стандарта, как по кормовой продуктивности в целом, так и по составляющим ее компонентам. Наиболее высокую урожайность зерна сформировали плёнчатый сорт Медведь – 6,4 т/га и линия 325h12 – 6,2 т/га (табл. 2). При этом у наиболее высокорослого сорта Медведь (101,6 см) отмечали высокую урожайность зелёной массы – 35,3 т/га и сухого вещества – 9,2 т/га, что позволяет отнести его к группе сортов универсального назначения.

Среди изученного набора плёнчатых генотипов наибольшая урожайность зелёной массы (37,6 т/га) и сбор сухого вещества (9,9 т/га) отмечены у линии 178h13, при невысокой, относительно стандарта, урожайности зерна. Эта линия характеризуется хорошей кустистостью и высотой растений, что позволяет отнести ее к овсам укосного направления. Все сорта и линии превосходили по высоте стандарт Кречет. В исследованиях отмечена достоверная положительная связь высоты растений с урожайностью зерна ( $r=0,72$  при  $P > 0,95$ ) и средней степени положительная между урожайностью зелёной массы и высотой растения ( $r=0,59$ ).

Как отмечено ранее, голозёрный овёс в период исследований уступил по урожайности зерна овсу плёнчатому на 1,1 т/га (HCP<sub>05</sub>=0,8), зелёной массы – на 5,4 т/га (HCP<sub>05</sub>=5,7). Среди голозёрных сортов и линий не выделено генотипов универсального назначения. Наиболее высокую, относительно стандарта, урожайность зерна сформировали линии 114h12, 4h12 (4,3 т/га) и сорт Багет (4,4 т/га), одновременно сбор зелёной массы и сухого вещества у них были на уровне или ниже стандарта. К овсам укосного направления можно отнести линии 11h12o и 36h13, у которых урожайность зелёной массы и сбор сухого вещества составили 22,2 и 7,5 т/га и 24,8 и 7,1 т/га соответственно. Линия 36h13 была самой высокорослой (93,2 см) в наборе изучаемых

**Табл. 3. Некоторые параметры экологической адаптивности и пластичности сортов плёнчатого овса по признаку «урожайность зерна», 2019–2021 гг.**

Сорт, линия	Урожайность, т/га		$b_i$	$S_i^2$	Эффект генотипа	Генетическая гибкость	Sc
	$X_{lim}$	$X_{opt}$					
Плёнчатые							
174h15	3,2	8,2	1,05	0,07	-0,06	5,73	2,25
4h14	3,8	7,7	0,83	0,05	0,00	5,78	2,85
200h15	3,2	7,3	0,87	0,16	-0,28	5,26	2,43
Медведь	3,4	9,4	1,26	0,08	0,62	6,40	2,33
325h12	3,7	8,3	0,99	0,19	0,48	5,99	2,76
Фалёнец	3,0	9,2	1,30	0,83	0,06	6,09	1,88
178h13	3,3	7,7	0,92	0,04	-0,25	5,52	2,40
196h15	2,9	7,8	1,04	0,00	-0,34	5,33	2,01
Ст. Кречет	3,4	6,8	0,74	0,99	-0,22	5,08	2,76
Голозёрные							
63h11	1,3	5,8	0,85	0,07	-0,34	3,52	0,82
11h12o	1,3	6,3	0,93	0,01	-0,10	3,81	0,84
114h12	1,2	6,8	1,05	0,13	0,24	4,03	0,78
74h12	0,8	6,5	1,07	0,01	-0,32	3,66	0,45
Багет	1,1	7,3	1,16	0,05	0,39	4,23	0,69
72h11	1,4	7,3	1,09	0,64	0,07	4,33	0,77
4h12	1,7	6,8	0,97	0,00	0,29	4,25	1,05
36h13	1,7	6,0	0,81	0,01	-0,05	3,87	1,14
Ст. Вятский	1,0	6,7	1,07	0,02	-0,13	3,86	0,59

голозёрных сортов и линий. Голозёрные овсы обладают большей кустистостью, чем плёнчатые, что является положительным качеством при возделывании культуры на зелёный корм.

Сорта и линии по-разному реагировали на изменяющиеся условия среды. Наибольшую пластичность и стабильность по признаку «урожайность зерна» среди плёнчатых овсов наблюдали у линий 174h15, 196h15, сорта Медведь (табл. 3). Показатель пластичности ( $b_i$ ) варьировал от 1,04 до 1,26, стабильности ( $S_i^2$ ) – от 0,00 до 0,08. Достаточно высокая пластичность ( $b_i=0,92$ ) и стабильность ( $S_i^2=0,04$ ) отмечены для перспективной линии укосного направления 178h13. Величины этих показателей свидетельствуют о том, что генотипы отзывчивы на улучшение условий среды и способны формировать стабильный урожай при их ухудшении. В разрезе изученных плёнчатых генотипов наибольшей продуктивностью отличались сорт Медведь и линия 325h12, о чём свидетельствует величина показателя эффекта генотипа. Кроме того, сорт Медведь обладает высокой генетической гибкостью – 6,40. Наибольшая селекционная ценность отмечена у стандарта Кречет, линии 325h12 (2,76), линии 4h14 (2,85). Высокой урожайностью зерна в благоприятных условиях среды ( $b_i=1,30$ ) характеризовался сорт Фалёнец (эффект генотипа 0,06). Однако при их ухудшении происходило снижение величины этого показателя ( $S_i^2=0,83$ ), что позволяет отнести его к сортам высокоинтенсивного типа.

Большинство генотипов голозёрного овса обладали высокой пластичностью ( $b_i=0,81...1,16$ ) и стабильностью ( $S_i^2=0,00...0,07$ ). Немногим менее стабильной была линия 114h12 ( $S_i^2=0,13$ ). Значимая селекционная ценность отмечена у линий 63h11, 11h12o, 4h12, 36h13 ( $Sc=0,82...1,14$ ). Наиболее продуктивными согласно показателю эффекта генотипа (0,07...0,39) с высокой степенью соответствия признака условиям внешней

среды (генетическая гибкость – 4,03...4,33) были линии 114h12, 72h11, 4h12 и сорт Багет.

Максимальный в опыте сбор сухого вещества в среднем по плёнчатым генотипам (8,48 т/га) наблюдали в 2020 г., что обусловлено соответствующим индексом условий среды ( $I_j=1,29$ ). Линия 325h12 проявила максимальную в опыте пластичность ( $b_i=3,14$ ) и достаточно высокую стабильность ( $S_i^2=0,67$ ) по сбору сухого вещества, это подтверждает положительный показатель эффекта генотипа (0,43) (табл. 4). При этом указанная линия проявила высокую генетическую гибкость (7,92). К генотипам, способным формировать высокую урожайность сухого вещества в меняющихся условиях среды, при минимуме затрат (экстенсивный тип) по результатам исследований отнесены линия 174h15 ( $b_i=0,31$ ;  $S_i^2=0,01$ ), характеризующаяся высоким показателем селекционной ценности ( $Sc=5,34$ ) и сорт Фалёнец ( $b_i=0,32$ ;  $S_i^2=0,11$ ).

Наиболее урожайная по сбору сухого вещества линия 178h13 отличалась высокой пластичностью (2,60) и низкой стабильностью (3,68). При этом ее характеризует ряд таких положительных качеств, как высокая селекционная ценность (5,08), величина продуктивности по признаку «сбор сухого вещества» (эффект генотипа 2,69) и степень соответствия признака условиям внешней среды (генетическая гибкость 10,63). По совокупности показателей линия относится к генотипам экстенсивного типа.

Высокоурожайный сорт Медведь (9,2 т/га сухого вещества), равно как и линия 200h15 (8,1 т/га), обладали низкой пластичностью (0,43 и 0,42 соответственно) и низкой стабильностью (2,22). Однако генотипы проявили высокую генетическую гибкость Медведь – 9,18, 200h15 – 8,19, селекционную ценность (7,08 и 6,08 со-

**Табл. 4. Некоторые параметры экологической адаптивности и пластичности сортов плёнчатого овса по признаку «сбор сухого вещества», 2019–2021 гг.**

Сорт, линия	Сбор сухого вещества, т/га		$b_i$	$S_i^2$	Эффект генотипа	Генетическая гибкость	Sc
	$X_{lim}$	$X_{opt}$					
Плёнчатые							
174h15	5,7	6,4	0,31	0,01	-1,10	6,05	5,34
4h14	4,3	7,2	-0,32	3,82	-1,62	5,76	3,38
200h15	7,0	9,4	0,42	2,22	0,94	8,19	6,08
Медведь	8,0	10,4	0,43	2,22	1,99	9,18	7,08
325h12	3,8	12,0	3,14	0,67	0,43	7,92	2,43
Фалёнец	4,9	5,8	0,32	0,11	-1,73	5,34	4,68
178h13	7,2	14,0	2,60	3,68	2,69	10,63	5,08
196h15	5,7	8,4	1,05	1,06	-0,53	7,07	4,49
Ст. Кречет	4,2	7,2	1,06	1,87	-1,10	5,71	3,50
Голозёрные							
63h11	3,4	8,9	-0,79	14,99	-0,13	6,17	2,21
11h12o	4,7	10,0	0,43	14,35	1,61	7,35	3,50
114h12	5,1	7,8	1,59	0,00	0,13	6,45	4,00
74h12	2,8	7,9	1,83	9,78	0,07	5,34	2,11
Багет	3,7	4,5	0,16	0,32	-1,71	4,12	3,47
72h11	4,4	5,4	0,45	0,25	-0,94	4,91	3,99
4h12	3,0	7,2	-0,05	8,86	-0,78	5,13	2,15
36h13	3,6	10,9	3,46	5,74	1,21	7,29	2,37
Ст. Вятский	3,8	8,5	1,93	5,60	0,58	6,14	2,87

ответственно) и высокую степень соответствия признака условиям среды (1,99 и 0,94 соответственно).

Среди изученного набора генотипов овса голозёрного большую отзывчивость на улучшение условий среды проявили линии 114h12 ( $b_i=1,59$ ), 74h12 ( $b_i=1,83$ ), 36h13 ( $b_i=3,46$ ) и сорт Вятский ( $b_i=1,93$ ). При этом для линии 114h12 характерны высокая стабильность признака ( $S_i^2=0,00$ ), селекционная ценность ( $Sc=4,00$ ), генетическая гибкость (6,45) и положительный эффект генотипа (0,13). К генотипам экстенсивного типа с высокой селекционной ценностью можно отнести сорт Багет ( $b_i=0,16$ ;  $S_i^2=0,32$ ) и линию 72h11 ( $b_i=0,45$ ;  $S_i^2=0,25$ ). Линию 11h12o, с наибольшим сбором сухого вещества (7,5 т/га), характеризует высокая селекционная ценность ( $Sc=3,50$ ), генетическая гибкость (7,35) и положительный эффект генотипа (1,61).

Таким образом, по результатам трёх лет изучения выделены сорта и линии плёнчатого и голозёрного овса со стабильно высокими показателями кормовой продуктивности. Среди плёнчатых генотипов выделен высокоинтенсивный сорт универсального назначения Медведь, характеризующийся высокой урожайностью зерна (6,4 т/га), зелёной массы (35,3 т/га) и сухого вещества (9,2 т/га), высокими генетической гибкостью и степенью соответствия признака условиям внешней среды, как по урожайности зерна, так и по сбору сухого вещества. Схожими характеристиками обладает линия 325h12. Линии 178h13 и 200h15 с высокой урожайностью зелёной массы (37,6 и 25,6 т/га соответственно) и сбором сухого вещества (9,9 и 8,1 т/га соответственно), с пониженной, относительно стандарта, урожайностью зерна, отнесены к генотипам укосного использования. Обе линии обладают высокой селекционной ценностью. По совокупности признаков (низкая пластичность, высокая стабильность, высокая генетическая гибкость, положительный эффект генотипа по сбору сухого вещества) их можно отнести к линиям экстенсивного типа, способным обеспечивать стабильный сбор сухого вещества в неблагоприятных условиях среды при минимуме затрат.

Среди голозёрных генотипов не выделено сортов и линий универсального использования. Наибольшую урожайность зелёной массы сформировали линии 11h12o (22,2 т/га) и 36h13 (24,8 т/га) с высокими показателями эффекта генотипа, генетической гибкости и селекционной ценности, которые могут возделываться для получения кормовой массы. Несмотря на невысокую, относительно плёнчатых генотипов, урожайность зерна и зелёной массы, почти все изученные голозёрные овсы имеют высокий показатель пластичности и в благоприятных условиях способны обеспечивать высокую продуктивность посевов.

#### Литература.

1. Жуйкова О.А., Баталова Г.А. Адаптивность линий и сортов овса голозерного в условиях Кировской области // *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2019. №20 (2). С. 118-125. doi: 10.30766/2072-9081.2019.20.2.118-125
2. Продуктивная и питательная ценность кормовых культур в условиях Сибири / В.К. Ивченко, В.Н. Романов, В.М. Литвау и др. // *Вестник КрасГАУ*. 2016. № 11 (122). С. 9-15.
3. «Тобояк» – сорт овса ярового универсального использования / М.Н. Фомина, Ю.С. Иванова, О.А. Пай и др. // *Труды по прикладной ботанике, генетике и селек-*

- ци. 2021. Т. 182. № 2. С. 107-113. doi: 10.30901/2227-8834-2021-2-107-113
4. Фомина М.Н., Брагин Н.А. Влияние элементов технологии на реализацию биологического ресурса у сортов овса нового поколения в зоне северной лесостепи Тюменской области // *Достижения науки и техники АПК*. 2020. Т. 34. №3. С. 22-25. doi: 10.24411/0235-2451-2020-10304
5. Селекция овса голозёрного сорта Вировец / Г.А. Баталова, И.Г. Лоскутов, С.Н. Шевченко и др. // *Российская сельскохозяйственная наука*. 2019. №4. С. 8-11. doi: 10.31857/S2500-2627201948-11
6. Голозёрный овёс – перспективное сырьё для переработки / Н. Р. Андреев, В. Г. Гольдштейн, Л. П. Новосовская и др. // *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2019. №20 (5). С. 447-455. doi: 10.30766/2072-9081.2019.20.5.447-455.
7. Бездогов А.В., Ялунина А.Д. Оценка сортов голозёрного овса по продуктивности и реакции на климатические условия Среднего Урала // *Интерактивная наука*. 2016. № 10. С. 94-101. doi: 10.21661/r-114765.
8. Оценка параметров адаптивности сортов озимой мягкой пшеницы / И.А. Рыбась, Д.М. Марченко, Е.И. Некрасов и др. // *Зерновое хозяйство России*. 2018. №4 (58). С. 51-54. doi: 10.31367/2079-8725-2018-58-4-51-54.
9. Влияние дозы и времени обработки препаратом «КАС 28» на развитие растений овса / Г.А. Баталова, Е.М. Лисицын, Е.Н. Вологжанина и др. // *Таврический вестник аграрной науки*. 2021. № 4 (28). С. 9-21. doi: 10.33952/2542-0720-2021-4-28-9-21.
10. Трифунтова И.Б., Асеева Т.А. Кормовая продуктивность сортов и линий овса конкурсного сортоиспытания в агроклиматических условиях Дальнего Востока // *Вестник российской сельскохозяйственной науки*. 2021. №3. С. 50-53. doi: 10.30850/vrsn/2021/3/50-53.
11. Pereira H.S. Genetic, environmental and genotype x environment interaction effects on the common bean grain yield and commercial quality // *Semina: Ciencias Agrarias, Londrina*. 2017. V. 38. No. 3. P. 1241–1250. doi: 10.5433/1679-0359.2017v38n3p1241.
12. Canega V.A., Турсумбекова Г.Ш. Урожайность, экологическая пластичность и стабильность сортов яровой мягкой и твердой пшеницы в южной лесостепи Тюменской области // *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2020. №21 (2). С. 114-123. doi: 10.30766/2072-9081.2020.21.2.114-123.
13. Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур / Под общ. ред. М.А. Федина. М.: Колос, 1985. Вып. 1, 2. 267 с.
14. Пакудин В.З., Лопатина Л.М. Оценка экологической пластичности и стабильности сортов сельскохозяйственных культур // *Сельскохозяйственная биология*. 1984. №4. С. 109-113.
15. Плохинский Н.А. Биометрия. Новосибирск: Изд-во СО АН СССР, 1961. 364 с.
16. Селянинов Г.Т. О сельскохозяйственной оценке климата // *Труды по сельскохозяйственной метеорологии*. 1928. Вып. 20. С. 165-177.
17. Хангильдин В.В. О принципах моделирования сортов интенсивного типа // *Генетика количественных признаков сельскохозяйственных растений*. М.: Наука, 1978. С. 111-116.

Поступила в редакцию 31.05.2022  
После доработки 18.06.2022  
Принята к публикации 04.07.2022

**АДАПТИВНОСТЬ ОБРАЗЦОВ ГОЛОЗЕРНОГО ЯЧМЕНЯ ПО СОДЕРЖАНИЮ В-ГЛЮКАНОВ В ЗЕРНЕ И ЕГО КРУПНОСТИ В УСЛОВИЯХ ВОСТОЧНОЙ СИБИРИ\***

**В.И. Полонский<sup>1,2</sup>**, доктор биологических наук, **С.А. Герасимов<sup>3</sup>**, **А.В. Сумина<sup>1,4</sup>**, кандидаты сельскохозяйственных наук, **С.А. Зюте<sup>5</sup>**, доктор сельскохозяйственных наук

<sup>1</sup>Красноярский государственный аграрный университет  
660049, Красноярск, просп. Мира, 90

<sup>2</sup>Сибирский федеральный университет  
660041, Красноярск, просп. Свободный, 79  
E-mail: vadim.polonskiy@mail.ru

<sup>3</sup>Красноярский научно-исследовательский институт сельского хозяйства – обособленное подразделение Федерального исследовательского центра «Красноярский научный центр СО РАН»  
660036, Красноярск, ул. Академгородок, 50  
E-mail: g-s-a2009@yandex.ru

<sup>4</sup>Хакасский государственный университет им. Н.Ф. Катанова  
655000, Абакан, ул. Ленина, 90  
E-mail: alenasumina@list.ru

<sup>5</sup>Стендский научный центр, Институт агроресурсов и экономики,  
Дизстенде, Талсинский край LV 3258, Латвия  
E-mail: sanita.zute@arei.lv

*Исследования проводили с целью определения пластичности и стабильности образцов ячменя по содержанию  $\beta$ -глюканов в зерне и массе 1000 зерен, а также анализ связи между показателями адаптивности образцов по этим признакам. Изучали 8 образцов голозерного ячменя из коллекции ВИР, которые выращивали в условиях Восточной Сибири в течение 2016–2018 гг. Содержание  $\beta$ -глюканов измеряли на автоматическом зерновом анализаторе Infratec Analyzer1241. По каждому изучаемому признаку рассчитывали 2 параметра пластичности (коэффициент экологической вариации CV и показатель стрессоустойчивости d) и 4 показателя стабильности (параметр гомеостатичности Нот, показатель уровня и стабильности сорта ПУСС, фактор стабильности SF и показатель селекционной ценности сорта Cs). Наибольшей стабильностью по содержанию  $\beta$ -глюканов в зерне и/или массе 1000 зерен в изученной выборке отличался образец Нудум 95, превысивший в среднем по величинам этих показателей стабильности сорт-стандарт Омский голозерный 1 соответственно в 2,2 и 1,7 раза. Коэффициенты корреляции между величинами Cs по содержанию  $\beta$ -глюканов в зерне и массе 1000 зерен со средними значениями этих признаков составляли соответственно  $r=0,844$  и  $r=0,956$ . Следовательно, отбор голозерного ячменя на повышенный уровень  $\beta$ -глюканов в зерне и/или массе 1000 зерен не будет сопровождаться снижением стабильности образцов по этим признакам. Между параметрами стабильности образцов Нот и ПУСС, вычисленными для массы 1000 зерен с одной стороны и таковыми, определенными для содержания  $\beta$ -глюканов в зерне с другой, установлена существенная положительная корреляционная связь ( $r=0,752$  и  $r=0,862$ ). Этот факт свидетельствует о принципиальной возможности косвенной оценки адаптивности образцов ячменя по содержанию  $\beta$ -глюканов в зерне на основе определения их адаптивности по массе 1000 зерен.*

**ADAPTABILITY OF NAKED BARLEY ACCESSIONS IN TERMS OF THE CONTENT OF B-GLUCANS IN GRAIN AND ITS SIZE IN THE CONDITIONS OF EASTERN SIBERIA**

**Polonskiy V.I.<sup>1,2</sup>, Gerasimov S.A.<sup>3</sup>, Sumina A.V.<sup>1,4</sup>, Zute S.A.<sup>5</sup>**

<sup>1</sup>Krasnoyarsk State Agrarian University,  
660049, Krasnoyarsk, prosp. Mira, 90

<sup>2</sup>Siberian Federal University,  
660041, Krasnoyarsk, prosp. Svobodnyi, 79  
E-mail: vadim.polonskiy@mail.ru

<sup>3</sup>Krasnoyarsk Research Institute of Agriculture, affiliated to Krasnoyarsk Scientific Center, Siberian Branch of the RAS,  
660036, Krasnoyarsk, ul. Akademgorodok, 50  
E-mail: g-s-a2009@yandex.ru

<sup>4</sup>N.F. Katanov Khakass State University,  
655000, Abakan, ul. Lenina, 90  
E-mail: alenasumina@list.ru

<sup>5</sup>Stende Research Centre, Institute of Agricultural Resources and Economics,  
Dizstende, Talsinskii krai LV 3258, Latvia  
E-mail: sanita.zute@arei.lv

*The aim of the work is to determine the plasticity and stability of barley accessions by the content of  $\beta$ -glucans in the grain and 1000 grain weight, as well as to analyze the relationship between the adaptability of accessions according to these characteristics. We studied 8 accessions of naked barley from the VIR collection, which were grown in Eastern Siberia during 2016-2018. In each accession, 1000 grain weight and the content of  $\beta$ -glucans in them were determined. The latter was measured on an automatic grain analyzer*

\*работа выполнена согласно госзаданию ФИЦ КНЦ СО РАН, тема № FWES-2021-0039 «Изучение, подбор генетического материала для создания новых адаптивных сортов и разработка технологий первичного и промышленного семеноводства новых сортов зерновых культур».

*Infratec Analyzer1241. For each trait, 2 parameters of accession plasticity were calculated (coefficient of ecological variation CV and stress resistance index d) and 4 indicators of their stability (parameter of homeostaticity Hom, indicator of the level and stability of the CSL variety, stability factor SF and indicator of the breeding value of the Cs variety). The greatest stability in the content of β-glucans and 1000 grain weight in the studied accessions was distinguished by the accession Nudum 95, which exceeded these indicators of stability on average relative to the standard variety Omsk naked 1 respectively by 2.2 and 1.7 times. The correlation coefficients between the Cs index for the content of β-glucans in grain, as well as for 1000 grain weight and the average values of these signs had significant values, respectively,  $r=0.844$  and  $0.956$ . This means that the selection of naked barley for an increased level of β-glucans in the grain and/or 1000 grain weight will not be accompanied by a decrease in the stability of the accessions according to these signs. A significant positive correlation has been established between the stability parameters of Hom and CSL accessions calculated for 1000 grain weight on the one hand and those determined for the content of β-glucans in grain on the other hand,  $r = 0.752$  and  $0.862$ . This fact indicates the principal possibility of indirect assessment of the adaptability of barley accessions by the content of β-glucans in grain on the basis of determining their adaptability by 1000 grain weight.*

**Ключевые слова:** *Hordeum vulgare L*, оценка, пластичность, стабильность, β-глюканы, масса 1000 зерен

**Key words:** *Hordeum vulgare L*; evaluation; plasticity; stability; β-glucans; 1000 grain weight

В общем виде селекцию можно представить как искусственную эволюцию. При этом, по словам академика В.К. Шумного, она работает «... на продуктивность возделываемых видов, что иногда приводит к частичной потере адаптивности. В этом различия и противоречия между эволюцией и селекцией на потребности человека» [1]. Одна из актуальных задач растениеводства сегодня заключается не только в повышении урожая и его качества, но и стабильном их проявлении. Для ее решения следует попытаться снять отмеченное противоречие между эволюцией и селекцией, учитывая степень приспособленности сортов к условиям возделывания на основе оценки их адаптивного потенциала.

По результатам 13-летнего испытания в центральных районах Нечерноземной зоны различных образцов яровой и озимой пшеницы, ячменя, овса, тритикале, созданных за последние 30 лет, было установлено увеличение разрыва между минимальной и максимальной урожайностью, усиление зависимости создаваемых сортов от экологических факторов [2]. Как известно, для резко континентального климата Восточной Сибири характерно наличие неблагоприятных факторов внешней среды, проявление которых сопровождается снижением стабильности величины и качества урожая по годам выращивания. Все это свидетельствует о том, что на современном этапе селекционного процесса показателям стабильности образцов по урожайности и другим хозяйственно ценным признакам необходимо уделять пристальное внимание.

Ячмень (*Hordeum vulgare L.*) – важная зерновая культура, которая динамично набирает популярность в качестве сырья с высокимнутрицевитическим потенциалом, необходимым для изготовления функциональных продуктов здорового питания [3, 4, 5]. Это обусловлено самым высоким среди зерновых содержанием β-глюканов в составе клеточных стенок эндосперма и алейронового слоя зерна ячменя [6, 7]. Польза для здоровья этих уникальных полисахаридов, включая снижение

холестерина, регулирование уровня глюкозы в крови и противоараковое воздействие, широко известно [8, 9].

В последние годы в литературе появились результаты научных исследований, касающиеся содержания β-глюканов в зерне различных образцов ячменя, выращенных в контрастных климатических условиях [10, 11]. При этом информации об адаптивности (стабильности и пластичности) конкретных сортов ячменя по величине этого показателя в доступной литературе найти не удалось.

Цель исследования – определение пластичности и стабильности выращенных в условиях Восточной Сибири образцов голозерного ячменя по признакам «содержание β-глюканов в зерне», «масса 1000 зерен» и анализ связи между величинами показателей адаптивности образцов по этим хозяйственно-ценным признакам.

**Методика.** В качестве объектов исследования использовали 8 образцов голозерного ячменя из коллекции ФИЦ Всероссийского института генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова. Работу проводили в течение в 2016–2018 гг. [12]. Культуру выращивали на опытных полях Красноярского НИИ сельского хозяйства ФИЦ КНЦ СО РАН, расположенных в Восточной Сибири (лесостепная зона Красноярского края). Почва опытного участка представлена черноземом обыкновенным маломощным, характеризующимся следующими агрохимическими показателями: содержание гумуса (по Тюрину) – 6,00 %, N-NO<sub>3</sub> (ионометрический экспресс-метод) – 31,3 мг/кг почвы, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (по Мачигину) – 5,00 мг/100 г почвы, K<sub>2</sub>O (по Мачигину) – 21,9 мг/100 г почвы, реакция почвенного раствора в водной вытяжке – нейтральная (рН – 6,2). Предшественник – чистый пар. Метеоусловия в годы исследования были контрастными: 2016 и 2017 г. – влажные (ГТК – соответственно 1,59 и 1,47); 2018 г. – засушливый (ГТК – 0,75).

После уборки урожая в каждом образце определяли массу 1000 зерен и содержание в них β-глюканов.

**Табл. 1. Результаты двухфакторного дисперсионного анализа влияния условий выращивания и генотипа на характеристики зерна ячменя**

Характеристика зерна	Источник варьирования	Число степеней свободы	Средний квадрат	Вклад факторов, %	F <sub>φ</sub>	F <sub>0,5</sub>
Содержание β-глюканов	год	2	6,64	65,4	162,4	3,15
	генотип	7	3,27	32,2	80,0	2,16
	год и генотип	14	0,24	2,4	5,87	1,90
Масса 1000 зерен	год	2	141,74	18,1	210,9	3,15
	генотип	7	623,25	79,3	927,5	2,16
	год и генотип	14	20,46	2,6	30,5	1,90

**Табл. 2. Показатели адаптивности и результаты ранжирования различных образцов ячменя по содержанию β-глюкоанов в зерне**

№ по каталогу ВИР	Название образца	Показатель адаптивности и ранг						Сумма рангов
		CV, %	d	Hom	ПУСС, %	SF	Cs	
30919	Омский голозерный 1 (стандарт)	10,1/4,5 <sup>1</sup>	-0,77/3	0,56/4	100,0/3	0,83/4	3,58/4	22,5
27471	Korona Laschego	8,7/2	-0,60/2	0,73/2	91,2/4	0,85/2	3,24/7	19
30167	CDC Richard	13,6/6	-1,04/6	0,27/7	55,0/8	0,76/7	2,91/8	42
31108	CDC Mc Guire	10,1/4,5	-0,80/5	0,50/5	90,1/5	0,82/5	3,36/5	29,5
30956	NS GL 1	9,9/3	-0,78/4	0,59/3	113,3/2	0,84/3	3,82/2	17
13328	Нудум 155	16,5/8	-1,67/8	0,19/8	79,2/6	0,72/8	3,63/3	41
29453	Нудум 7566	14,4/7	-1,07/7	0,28/6	64,6/7	0,77/6	3,28/6	39
31125	Нудум 95	4,9/1	-0,51/1	2,08/1	282,6/1	0,91/1	4,72/1	6
Коэффициент корреляции Спирмена		0,94*	0,93*	0,96*	0,95*	0,96*	0,63	–

<sup>1</sup>в числителе – показатели адаптивности, в знаменателе – значения рангов;  
\*величины коэффициентов корреляции Спирмена между рангами по отдельным параметрам адаптивности и суммой рангов существенны при p ≤ 0,05.

Содержание β-глюкоанов измеряли на автоматическом зерновом анализаторе Infratec Analyzer 1241 с использованием 50 мл кюветы. Стандартная ошибка измерения на приборе составляла 0,3 %. Повторность определения исследуемых показателей двукратная.

По каждому из изучаемых признаков впоследствии рассчитывали шесть параметров адаптивности образцов ячменя, которые были разделены на две группы, основываясь на известном методическом подходе [13]. В первую группу вошли показатели экологической пластичности образцов, которые характеризуют способность генотипа изменять значения признака в различных условиях среды: коэффициент экологической вариации CV [14] и показатель стрессоустойчивости d, отражающий размах варьирования значений признака [15]. Во вторую группу включили параметры стабильности образцов, свидетельствующие о их способности обеспечивать устойчивый урожай в условиях действия разных экологических факторов: показатель уровня и стабильности сорта ПУСС [16], параметр гомеостатичности Hom [17], фактор стабильности SF [18] и показатель селекционной ценности сорта Cs [19]. При ранжировании образцов в соответствии с используемым критерием оценки адаптивности генотипов ячменя, за-

ключающемся в минимальной изменчивости уровня изучаемых характеристик зерна по годам выращивания, высшие ранги присваивали образцам, обладающим наименьшим их варьированием (минимальные значения CV, d) и наибольшей их стабильностью (максимальные значения Hom, ПУСС, SF и Cs).

Статистическую обработку данных проводили с использованием стандартных компьютерных программ Microsoft Excel.

**Результаты и обсуждение.** Факторы «год» и «генотип» оказывали статистически значимое влияние на изучаемые параметры зерна ( $F_{\text{факт}} > F_{0,5}$ ). При этом изменчивость признака «содержание β-глюкоанов в зерне» обусловлена в основном внешними факторами, «масса 1000 зерен» – генотипом (табл. 1).

Наименьшей пластичностью и наибольшей стабильностью по содержанию β-глюкоанов в зерне (табл. 2) отличался образец Нудум 95, у которого значения CV и d были меньше, чем у сорта-стандарта Омский голозерный 1 в 2,1 и 1,5 раза, величины Hom, ПУСС, SF и Cs больше соответственно в 3,7, 2,8, 1,1 и 1,3 раза. Аналогичная картина отмечена по пластичности и стабильности массы 1000 зерен (табл. 3): Нудум 95 характеризовался более низкими величинами CV и d (в 1,6 и

**Табл. 3. Показатели адаптивности и результаты ранжирования различных образцов ячменя по массе 1000 зерен**

№ по каталогу ВИР	Название образца	Показатель адаптивности и ранг						Сумма рангов
		CV, %	d	Hom	ПУСС, %	SF	Cs	
30919	Омский голозерный 1 (стандарт)	5,3/3 <sup>1</sup>	-4,7/4	1,81/3	100,0/3	0,90/3	43,4/3	19
27471	Korona Laschego	13,6/8	-8,8/8	0,28/8	22,0/8	0,78/8	26,4/8	48
30167	CDC Richard	6,5/6	-4,8/5	1,23/5	58,8/7	0,88/5,5	33,9/7	35,5
31108	CDC Mc Guire	3,7/2	-2,8/1	3,66/2	100,7/2	0,93/2	35,2/5	14
30956	NS GL 1	5,9/5	-4,6/3	1,45/4	68,2/6	0,89/4	35,1/6	28
13328	Нудум 155	7,7/7	-8,2/7	0,85/7	96,1/4	0,86/7	45,7/2	34
29453	Нудум 7566	6,7/4	-6,0/6	1,20/6	89,6/5	0,88/5,5	42,4/4	30,5
31125	Нудум 95	3,4/1	-3,2/2	4,81/1	208,7/1	0,94/1	49,2/1	7
Коэффициент корреляции Спирмена		0,96*	0,89*	0,95*	0,93*	0,97*	0,71	–

<sup>1</sup>в числителе – показатели адаптивности, в знаменателе – значения рангов;  
\*величины коэффициентов корреляции Спирмена между рангами по отдельным параметрам адаптивности и суммой рангов существенны при p ≤ 0,05.

**Табл. 4. Связь между средними величинами содержания β-глюканов в зерне, массы 1000 зерен образцов ячменя и показателями их адаптивности по этим признакам**

Признак	Значения коэффициентов корреляции					
	CV	d	Ном	ПУСС	SF	Cs
Содержание β-глюканов	-0,120	-0,224	0,503	0,661	0,137	0,844*
Масса 1000 зерен	-0,436	0,014	0,293	0,716*	0,398	0,956*

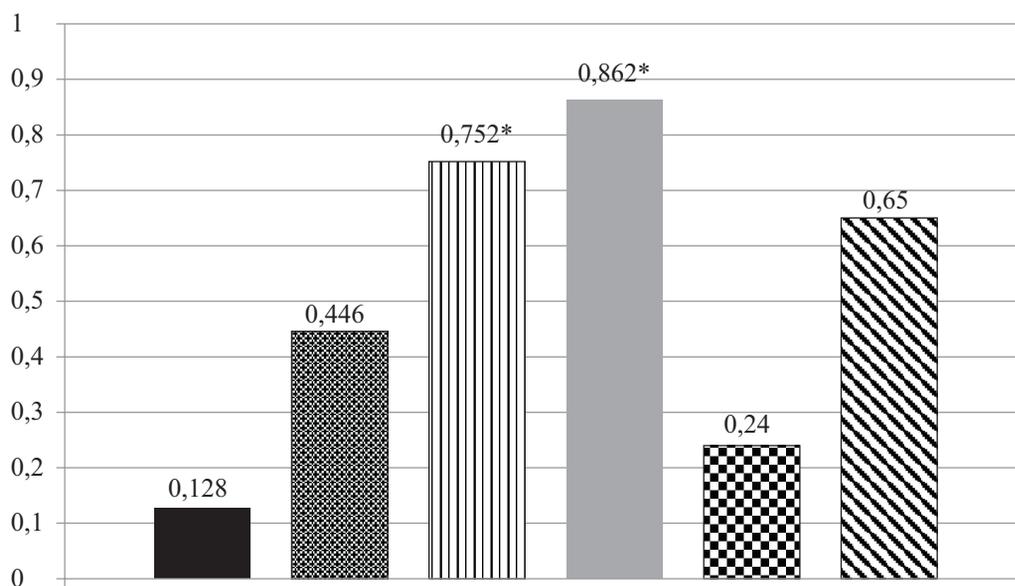
\*достоверно при  $p \leq 0,05$

1,5 раза) и более высокие Ном, ПУСС и Cs (соответственно в 2,7, 2,1, 1,1 раза). В итоге Нудум 95 характеризовался минимальной в опыте суммой рангов для параметров адаптивности по изучаемым признакам.

Следует подчеркнуть хорошее совпадение результатов ранжирования образцов по их адаптивности, определяемых на основе разных показателей пластичности и стабильности (см. табл. 2 и 3). Это подтверждают существенные величины коэффициентов корреляции Спирмена между рангами по отдельным параметрам адаптивности и суммой рангов (кроме показателя Cs). Полученные результаты дают основание предполагать, что все используемые параметры адаптивности по химическому и физическому признакам зерна характеризуют один и тот же образец ячменя практически одинаково. Иначе говоря, повышенный уровень пластичности образца предполагает его пониженную стабильность и наоборот. Такое заключение подтверждают результаты других исследователей [19], согласно которым показатели стабильности (Ном, SF и Cs) отрицательно коррелируют с параметрами пластичности (Cv).

по содержанию β-глюканов в зерне и/или его крупности, отличались повышенным уровнем этих признаков. Другими словами, отбор голозерного ячменя на повышенный уровень β-глюканов в зерне и/или массы 1000 зерен будет способствовать увеличению экологической стабильности образцов по этим признакам.

Результаты расчета связи между значениями одноименных показателей адаптивности образцов ячменя по изучаемым характеристикам зерна свидетельствуют о наличии сильной достоверной положительной связи между показателями Ном и ПУСС по массе 1000 зерен и по содержанию β-глюканов в зерне (см. рисунок). Это позволяет предположить высокую вероятность создания образцов ячменя с повышенной стабильностью по рассматриваемому химическому признаку зерна при отборе форм, отличающихся высокой стабильностью по крупности зерна и наоборот. Такие результаты свидетельствуют о принципиальной возможности косвенной оценки адаптивности образцов ячменя по содержанию в нем β-глюканов на основе ее определения для массы 1000 зерен. Это дает возможность реализовать неповреждающий скрининг



**Связь между одноименными показателями адаптивности по содержанию β-глюканов и величине массы 1000 зерен образцов ячменя (\*значения коэффициентов корреляции существенны при  $p \leq 0,05$ ): ■ – Cv; ▨ – d; ▤ – Ном; ▩ – ПУСС; ▧ – SF; ▦ – Cs.**

Между содержанием β-глюканов в зерне и массой 1000 зерен отмечены как положительные, так и отрицательные значения коэффициентов корреляции с показателями стабильности. При этом содержание β-глюканов характеризовалось достоверной связью с параметром Cs, масса 1000 зерен – с ПУСС и Cs (табл. 4). Зарегистрированный эффект означает, что образцы ячменя с более высокими величинами показателей стабильности

генотипов ячменя на повышенный уровень адаптивности по содержанию в зерне β-глюканов, используя вместо трудоемкого и дорогостоящего метода измерения величины этого показателя только данные о легко определяемом физическом параметре – масса 1000 зерен.

Таким образом, наименьшей пластичностью и наибольшей стабильностью (и, соответственно, минимальной суммой рангов) по содержанию β-глюканов и массе

1000 зерен в изученной выборке отличается образец Нудум 95.

Образцы ячменя с более высокими величинами показателей стабильности по содержанию  $\beta$ -глюканов в зерне и/или по массе 1000 зерен, характеризовались повышенным уровнем изучаемых признаков. Это может означать, что отбор голозерного ячменя на повышенный уровень  $\beta$ -глюканов в зерне и/или массы 1000 зерен будет способствовать увеличению экологической стабильности образцов по указанным признакам.

Между параметрами стабильности образцов (Ном и ПУСС), вычисленными для массы 1000 зерен с одной стороны и таковыми, определенными для содержания  $\beta$ -глюканов в зерне с другой стороны, установлена достоверная положительная корреляция. Это может свидетельствовать о принципиальной возможности косвенной оценки адаптивности образцов ячменя по содержанию  $\beta$ -глюканов в зерне на основе определения их адаптивности по массе 1000 зерен.

### Литература

1. Шумный В.К. Размышления генетика о жизни // Письма в Вавиловский журнал генетики и селекции. 2020. Т. 6. № 2. С. 72-84. doi: 10.18699/Letters2020-6-11.
2. Гончаренко А.А. Об адаптивности и экологической устойчивости сортов зерновых культур // Вестник РАСХН. 2005. № 6. С. 49-53.
3. Structural, rheological and nutraceutical potential of  $\beta$ -glucan from barley and oat /A. Shah, A. Gani, F.A.M. Shoib, et al. //Bioactive Carbohydrates and Dietary Fibre. 2017. Vol. 10. No. 4. P. 10-16. doi: 10.1016/j.bcdf.2017.03.001.
4. The potential improvements of naked barley pretreatments on GABA,  $\beta$ -glucan, and antioxidant properties /W. AL-Ansi., A.A Mahdi, Q.A Al-Maqdari, et al. //LWT – Food Science and Technology. 2020. Vol. 130. Article 109698. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0023643820306873> (дата обращения: 16.02.2022).
5. Purple, high  $\beta$ -glucan, hullless barley as valuable ingredient for functional food /M. Martínez-Subirá, M.P. Romero, E Puig, et al. //LWT – Food Science and Technology. 2020. Vol. 131. Article 109582. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0023643820305715> (дата обращения: 16.02.2022).
6. Изучение сортов овса (*Avena sativa* L.) различного географического происхождения по качеству зерна и продуктивности /В.И. Полонский, Н.А. Сурин, С.А. Герасимов и др. //Вавиловский журнал генетики и селекции. 2019. Т. 23. № 6. С. 53-60. doi 10.18699/VJ19.541.
7. Kaur H., Singh B., Singh A. Comparison of dietary fibers obtained from seven Indian cereal grains //Journal of Cereal Science. 2021. Vol. 102. Article 103331. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0733521021001727> (дата обращения: 16.02.2022).
8. Harland J. Authorised EU health claims for barley and oat beta-glucans /ed. M.J. Sadler. //Foods, Nutrients and Food Ingredients with Authorised EU Health Claims. London, New York, Woodhead Publishing Series in Food Science, Technology and Nutrition. 2014. Vol. 1. P. 25-45. doi: 10.1533/9780857098481.2.25.
9. Effect of processing on barley  $\beta$ -glucan content, its molecular weight and extractability /G. Goudar, P. Sharma, S. Janghu, et al. //International Journal of Biological Macromolecules. 2020. Vol. 162. No. 11. P. 1204-1216. doi: 10.1016/j.ijbiomac.2020.06.208.
10. Chemical Composition of Covered and Naked Spring Barley Varieties and Their Potential for Food Production /V. Šterna, S. Zute, I. Jansone, et al. //Polish Journal of Food and Nutrition Sciences. 2017. Vol. 67. No. 2. P. 151-158. doi: 10.1515/pjfn-2016-0019.
11. Оценка образцов ячменя на содержание  $\beta$ -глюканов в зерне и другие ценные признаки в условиях Восточной Сибири /В.И. Полонский, Н.А. Сурин, С.А. Герасимов и др. //Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2021. Т. 182. № 1. С. 48-58. doi: 10.30901/2227-8834-2021-1-48-58.
12. Животнов Л.А., Морозова Н.А., Секатуева Л.И. Методика выявления потенциальной продуктивности и адаптивности сортов и селекционных форм озимой пшеницы по показателю урожайности //Селекция и семеноводство. 1994. № 2. С. 3-6.
13. Волкова Л.В., Гирева Л.В. Оценка сортов яровой мягкой пшеницы по урожайности и адаптивным свойствам //Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2017. № 4. С. 19-23.
14. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта. М.: Агропромиздат, 1985. 352 с.
15. Rossielle A.A., Hemblin J. Theoretical aspects of selection for yield in stress and non-stress environments //Crop Science. 1981. Vol. 21. No. 6. P. 27-29.
16. Неттевич Э.Д., Морзунов А.И., Максименко М.И. Повышение эффективности отбора яровой пшеницы на стабильность, урожайность и качество зерна //Вестник сельскохозяйственной науки. 1985. № 1. С. 66-73.
17. Хангильдин В.В., Литвиненко Н.А. Гомеостатичность и адаптивность сортов озимой пшеницы //Научно-технический бюллетень Всесоюзного селекционно-генетического института. 1981. № 1. С. 8-14.
18. Lewis D. Gene-Environment Interaction: a Relationship Between Dominance, Heterosis, Phenotypic Stability and Variability //Heredity. 1954. Vol. 8. No. 2. P. 333-356.
19. Оценка адаптивных параметров коллекционных образцов овса пленчатого по урожайности в условиях Кировской области /М.В. Тулякова, Г.А. Баталова, И.Г. Лоскутов и др. //Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2021. Т. 182. № 1. С. 72-79. doi: 10.30901/2227-8834-2021-1-72-79.

Поступила в редакцию 14.03.2022  
После доработки 20.04.2022  
Принята к публикации 05.05.2022

## МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ КАЧЕСТВА ЦЕЛЬНОСМОЛОТОЙ МУКИ ИЗ ЗЕРНА РЖИ

**М.Л. Пономарева**, доктор биологических наук, **С.Н. Пономарев**, доктор сельскохозяйственных наук, **Г.С. Маннапова**, кандидат сельскохозяйственных наук, **Л.Ф. Гильмуллина**, кандидат сельскохозяйственных наук

Татарский научно-исследовательский институт сельского хозяйства – обособленное структурное подразделение «Казанского научного центра Российской академии наук»,  
420059, г. Казань, Оренбургский тракт, 48  
E-mail: smponomarev@yandex.ru

*Исследования проводили с целью оценки показателей, определяющих хлебопекарные, функциональные и технологические свойства, а также выявление корреляционных связей между этими параметрами у ржаной цельносмолотой муки. Определяли 18 показателей хлебопекарных и реологических свойств с использованием разных методов оценки у 10 российских сортов озимой ржи. Дополнительно исследовали характеристики кривой набухания с применением амилографа Брабендера при температуре 30°C, вязкость водного экстракта (ВВЭ), содержание водорастворимых пентозанов и белка. Установлена высокая корреляция максимального набухания после выдержки при 30°C в течение 30 мин, с числом падения ( $r = 0,85$ ), высотой амилограммы ( $r = 0,90$ ) и вязкостью водного экстракта ( $r = 0,94$ ), а также между ВВЭ и температурой клейстеризации ( $r = 0,72$ ) и числом падения ( $r = 0,82$ ). Наиболее значимыми показателями для включения в селекционные программы по созданию хлебопекарных и кормовых сортов озимой ржи можно считать следующие: число падения, вязкость водного экстракта, скорость набухания, содержание белка, содержание водорастворимых пентозанов, водопоглощительная способность, устойчивость теста и число качества фаринографа. На ранних этапах селекции для оценки цельносмолотой муки можно ограничиться только четырьмя характеристиками – число падения, скорость набухания, вязкость водного экстракта и число качества фаринографа. Методом главных компонент доказано, что между изучаемыми сортами имеются существенные различия по комплексу признаков, характеризующих их сырьевую ценность.*

## RESEARCH TECHNIQUES FOR THE QUALITY WHOLEMEAL RYE FLOUR

**Ponomareva M.L., Ponomarev S.N., Mannapova G.S., Gilmullina L.F.**  
Tatar Scientific Research Institute of Agriculture, FRC Kazan Scientific Center of RAS,  
420059, Kazan, Orenburgskii trakt, 48  
E-mail: smponomarev@yandex.ru

*The research was carried out to evaluate the indicators determining the baking, functional and technological properties and to identify correlations between these parameters in wholemeal rye flour. We determined 18 parameters of baking and rheological properties using different evaluation methods in 10 Russian varieties of winter rye. In addition, the characteristics of the swelling curve were measured using Amylograph Brabender at 30°C, the water extract viscosity (VWE), the content of water-soluble pentosans and protein were evaluated. A high correlation was found between maximum swelling after incubation at 30°C for 30 min, with the falling number ( $r = 0.85$ ), amylogram peak viscosity ( $r = 0.90$ ) and VWE ( $r = 0.94$ ), and between VWE and gelatinization temperature ( $r = 0.72$ ) and the falling number ( $r = 0.82$ ). The most significant indicators for inclusion in breeding programs for baking and fodder varieties of winter rye are: falling number, water extract viscosity, swelling rate, protein content, water-soluble pentosan content, water absorption capacity, dough stability and farinograph quality number. In the early stages of selection, for the evaluation of wholemeal flours only four characteristics can be limited – the falling number, swelling rate, water extract viscosity and the farinograph quality number. The principal component analysis also demonstrated that there are reliable differences between the rye varieties under study in terms of the set of traits that characterize their raw material value.*

**Ключевые слова:** озимая рожь (*Secale cereale* L.), цельносмолотая мука, тесто, амилограф, фаринограф, вязкость, число падения, набухание, клейстеризация

**Key words:** winter rye (*Secale cereale* L.), wholemeal flour, dough, amylograph, farinograph, viscosity, falling number, swelling, gelatinization

Рожь относится к важнейшим злаковым культурам, имеющим традиционную значимость в питании населения северного полушария Земли. Она играет важную агрономическую, пищевую и социальную роль на протяжении всей истории человеческой цивилизации [1]. Особое значение озимая рожь приобретает в условиях климатических аномалий (морозных зим и острозасушливых летних месяцев) как страховая культура, наиболее устойчивая к абиотическим стрессовым факторам [2, 3]. Ее агротехническая роль в адаптивно-ландшафтном земледелии в первую очередь связана с минимизацией производственных затрат, в особенности в регионах с малоплодородными почвами.

Посевные площади и валовые сборы зерна ржи в РФ за последнее десятилетие значительно сократились вплоть до рекордного минимума (846 тыс. га) в 2019 г., когда в стране возник дефицит зерна этой культуры при наименьшем производстве (1,43 млн т). Создание устойчивого рынка ржаного зерна в стране

во многом будет связано с развитием таких отраслей, как птицеводство и свиноводство, поскольку зерно составляет значительную часть кормовых ресурсов в животноводстве.

Основные химические составляющие зерна ржи такие же, как и у других злаков: белок, углеводы, минеральные вещества и витамины. Углеводы ржаной муки представлены крахмалом и некрахмальными гетерополисахаридами, которые в специализированной литературе чаще называют пентозанами или арабиноксиланами (АК). По разным источникам ржаное зерно содержит от 2,5 до 12,2 % АК от сухого вещества, по сравнению с 6...7 % в пшенице [4]. Арабиноксиланы принято относить к категории пищевых или диетических волокон. При близком общем количестве пентозанов содержание их водорастворимой фракции в зерне ржи примерно в 2 раза выше, чем у пшеницы. Озимая рожь содержит 73 % нерастворимых пищевых волокон, а доля растворимых составляет 27 % [5].

Устойчивый интерес к изучению АК ржи стимулируют многие функциональные свойства, которыми они характеризуются. В отношении здоровья человека АК положительно влияют на деятельность кишечника и обмен веществ, а также на количество, качество и состав кишечной микрофлоры. Питательные преимущества высокого потребления ржи включают положительное действие на пищеварение и снижение риска сердечных заболеваний, гиперхолестеринемии, ожирения и инсулиннезависимого сахарного диабета, а также защитный эффект против некоторых гормонозависимых типов рака [6].

Ржаная мука с хорошими хлебопекарными качествами должна характеризоваться высоким содержанием АК, а также высокой долей водорастворимой фракции, что положительно влияет на объем, формоустойчивость, структуру мякиша ржаного хлеба и замедление его черствения [7]. Хлебопекарный потенциал ржаной муки можно повысить при использовании пентозанов как тестоформирующих ингредиентов [8].

В то же время высокое содержание высокомолекулярных растворимых пентозанов – существенная помеха для использования зерна ржи на кормовые цели. Антипитательные свойства пентозанов обусловлены их значительной гидрофильностью, вследствие чего при растворении в воде из-за большой молекулярной массы они образуют гидроколлоиды с высокой вязкостью. Поэтому при значительных объемах ввода ржи в рацион происходит расстройство пищеварения животных и снижение переваримости питательных веществ.

Зерно ржи также содержит ферменты, в частности амилазы, которые разлагают крахмал и играют ключевую роль в определении хлебопекарных качеств муки [9].

Для определения качественных характеристик цельносмолотой муки используют различные методики и соответствующее оборудование. Качество крахмала и активность  $\alpha$ -амилазы определяют величины числа падения (ЧП) и высоты амилограммы [10]. Параметры максимальной вязкости ржаной суспензии и температуру ее достижения, которая находится в диапазоне от 62 до 75°C, используют в качестве критериев оценки качества ржаной муки или шрота. Водопоглощение ржаной муки измеряют на фаринографе, позволяющем соотнести показатель качества с количеством воды, которое необходимо добавить в тесто, и определить экономически значимый выход теста и хлеба, получаемого из данного количества муки. Отсутствие образования клейковины в ржаном тесте повышает роль набухающих веществ как структурообразователя теста. Водопоглощение цельносмолотой ржаной муки и теста преимущественно зависит от содержания и свойств АК. Роль белков ржи в водопоглощении не столь существенна, по сравнению с пшеницей, поскольку среди белков ржи больше водорастворимых [11].

Еще один метод оценки свойств теста, связанных с содержанием АК и активностью ферментов деградации клеточной стенки, – тест на набухание [12]. Его редко напрямую применяют в практике российской селекции, поскольку нет исследований о возможности его использования для оценки хлебопекарных качеств ржаной муки вместо традиционных оценок амилографической вязкости.

Определение величины и структурных особенностей АК как важных детерминант биоактивности и технологических функций зерна ржи пока остается научной проблемой. Связь количества водорастворимой фракции арабиноксиланов и ее вязкостных свойств как

важных тестоформирующих ингредиентов с другими хлебопекарными и технологическими свойствами зерна полностью не изучена.

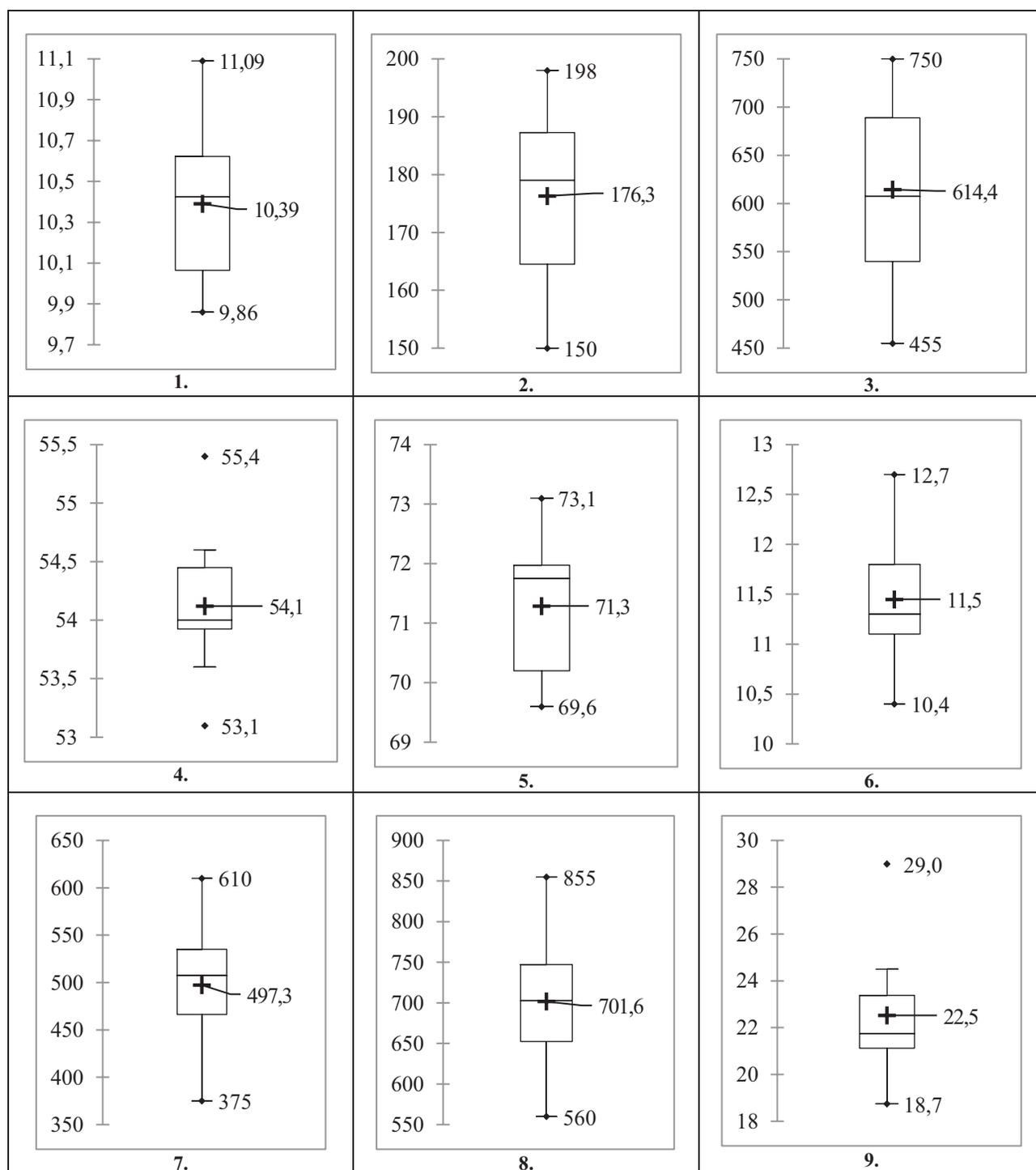
Цель исследований – оценка проявления показателей, определяющих хлебопекарные, функциональные и технологические свойства, и выявление корреляционных связей между этими параметрами у ржаной цельносмолотой муки.

**Методика.** Для исследования использовали зерно ржи, собранное в полевых опытах Татарского НИИСХ ФИЦ КазНЦ РАН, расположенных в Лаишевском районе Республики Татарстан (урожай 2016 – 2018 гг.). Объектами изучения служили современные российские сорта озимой ржи как собственной селекции (Татарская 1, Эстафета Татарстана, Радонь, Огонек, Тантана, Подарок, Зилант, Популяция 17), так и других селекционных учреждений (Парча, Памяти Кунакбаева). Каждый сорт выращивали на делянках общей площадью 16 м<sup>2</sup> (учетная площадь 12 м<sup>2</sup>) в четырехкратной повторности в соответствии с требованиями Государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур.

Размол пробы зерна массой 300 г с целью получения шрота (цельноизмельченное зерно со 100 %-ным выходом с различным сочетанием частиц разного размера) осуществляли на лабораторной мельнице Perten Instruments Laboratory Mill 3100 (Швеция) с размером сита 0,8 мм согласно ГОСТ 13586.5-85.

Всего оценивали 18 параметров, характеризующих качество зерна и его сырьевую ценность. Число падения определяли стандартным методом ISO 3093 (2009) на приборе Falling Number 1500 (Hagberg-Perten, Германия). Для анализа свойств клейстеризации крахмала использовали оборудование Amylograph Brabender OHG (Германия, ГОСТ ISO 7973-2013), на котором оценивали начальную и максимальную вязкость суспензии в единицах амилографа (е.а.), а также температуру клейстеризации (начальная и максимальная) в градусах Цельсия. Еще один метод оценки свойств теста, связанных с содержанием фракции АК и активностью ферментов деградации клеточной стенки, – характеристика набухания водношротовой суспензии (swelling test) [13]. Для построения кривых набухания на амилографе использовали навеску из 130 г ржаной муки (14 %-ной влажности), которую смешивали с 400 см<sup>3</sup> дистиллированной воды (температура 32...33°C) в мерном цилиндре. Добавление воды проводили медленно при непрерывном перемешивании до образования однородной суспензии, которую затем помещали в чашу амилографа. После этого датчик терморегулятора устанавливали на 30°C и отключали привод терморегулятора для того, чтобы регистрация процесса набухания (в виде кривой) происходила при этой температуре в течение 30 минут. По кривой набухания определяли следующие характеристики: начальное и максимальное набухание (в единицах прибора), время набухания в минутах, скорость набухания (ед. амилографа/мин.).

Реологические свойства теста оценивали на фаринографе фирмы Brabender в соответствии со стандартным методом ICC 115/1. Размол зерна, предшествующий этому анализу, осуществляли на мельнице CHOPINCD1 (Франция), стандартизированной ААСС 26-70.01 для его проведения. Фаринографические характеристики анализировали с использованием навески из 200 г цельносмолотой ржаной муки (в пересчете на влажность 14 %), которую смешивали с дистиллированной водой в 300-граммовой термостатируемой тестомесильной чаше фаринографа до конечной консистенции теста 300±10 единиц фаринографа после 10 мин вымешивания [14]. Динамику вязко-



**Рис. 1.** Диаграмма размаха Тьюки показателей, характеризующих хлебопекарные качества цельнозерновой муки и реологические качества теста сортов озимой ржи: 1 – содержание белка в зерне, %; 2 – число падения, с; 3 – высота амилограммы, е.а; 4 – температура начала клейстеризации, °С; 5 – температура пика клейстеризации, °С; 6 – время клейстеризации, мин.; 7 – начало набухания, е.а; 8 – максимальное набухание, е.а; 9 – время набухания, мин.

эластичных свойств теста контролировали по следующим признакам: водопоглотительная способность (ВПС) (%); время образования теста (минуты); устойчивость теста при замесе (минуты); степень разжижения теста (единицы фаринографа); число качества фаринографа (ЧКФ) (мм); валориметрическая оценка (%).

Для определения содержания водорастворимых пентозанов (СВП) и вязкости водного экстракта (ВВЭ) ржаного шрота проводили экстрагирование цельнозерновой

муки дистиллированной водой при температуре 30°С в течение 60 минут согласно методике, описанной D. Boros et al. [15]. Соотношение шрота и воды – 1:5. ВВЭ определяли вискозиметрическим методом на отечественном оборудовании (ВПЖ-1, диаметр капилляра 1,52 мм). Для расчета ВВЭ в сантистоксах использовали формулу:  $V = g/9,807 \cdot T \cdot K$ , где  $V$  – кинематическая вязкость, мм<sup>2</sup>/с;  $g$  – ускорение свободного падения в месте измерения, м/с<sup>2</sup>;  $T$  – время истечения жидкости, с;  $K$  – постоянная

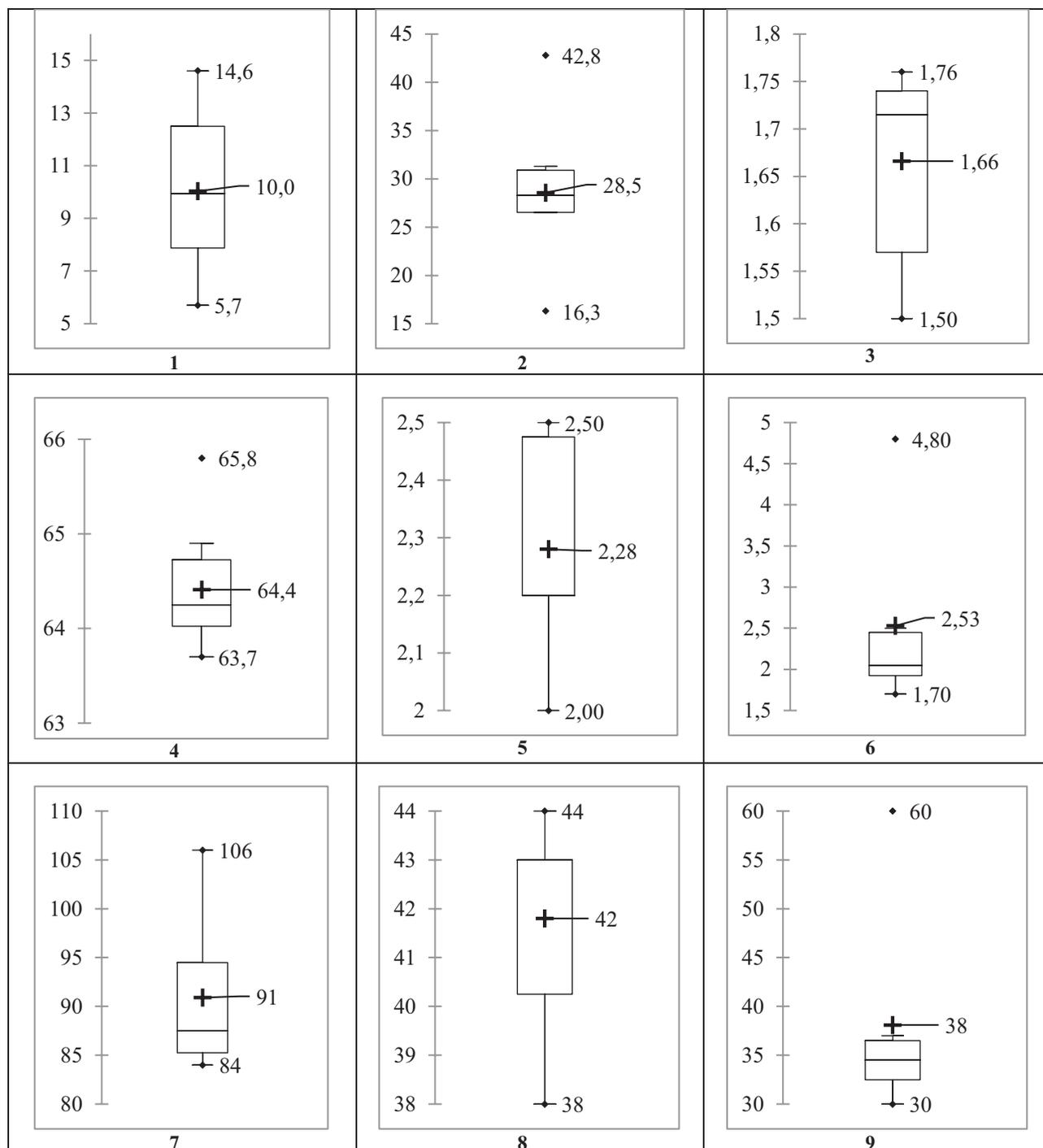


Рис. 2. Диаграмма размаха Тьюки 18 показателей, характеризующих хлебопекарные качества цельносмолотой муки и реологические качества теста сортов озимой ржи: 1 – скорость набухания, е.а/мин.; 2 – вязкость водного экстракта, сСт; 3 – содержание водорастворимых пентозанов, %; 4 – водопоглотительная способность теста, %; 5 – время образования теста, мин.; 6 – устойчивость теста, мин.; 7 – степень разжижения теста, е.ф.; 8 – валориметрическая оценка, %; 9 – число качества фаринографа, мм.

вискозиметра, мм<sup>2</sup>/с<sup>2</sup>; согласно методике [16]. СВП измеряли адаптированным для зерна ржи биохимическим микрометодом с использованием орцинового реактива [17, 18]. Содержание белка анализировали методом Кьельдаля (АОАС 984.13).

Статистическую обработку данных проводили с применением многомерных методов статистического анализа (главных компонент, кластерный анализ) на платформе XL STAT 2018.6.54644.

**Результаты и обсуждение.** Качество ржаной муки, используемой для хлебопечения, основано на количестве и функциональных свойствах составляющих ее веществ. Цельносмолотая мука ржи, несмотря на растущий интерес к ней в связи с тенденциями здорового питания, слабо оценена по качественным характеристикам, хотя она принципиально отличается от сеяной муки по количественному содержанию отрубей, липидов, белка и размеру частиц.

Мукомолы рассчитывают на собственные методы оценки партий озимой ржи для гарантированного обеспечения мукой соответствующего качества. Хлебопеки полагаются на свои одобренные методы для различных технологий хлебопечения. Селекционеры при создании сорта должны учитывать многочисленные апробированные методы с целью получения объективных данных, определяющих сырьевую ценность, для оценки и отбора лучших сортов с учетом различных потребностей как мукомольного, так и хлебопекарного производства. Причем в зависимости от конечного использования того или иного сорта в программе селекции следует применять контрастные критерии отбора и надлежащее оборудование.

Согласно результатам наших предыдущих исследований [19], изучаемые сорта озимой ржи имели значимые различия по технологическим и хлебопекарным свойствам, а из совокупности реологических характеристик достоверно отличались только по устойчивости теста и оценке качества по фаринографу. Продолжая эту работу, мы проанализировали комплекс прямых и косвенных параметров, характеризующих качество цельносомлотой муки и теста на ее основе, для выявления системы показателей, наиболее приемлемых для селекционной практики.

Результаты анализа блочных диаграмм (рис. 1, 2), которые демонстрируют разброс значений по каждому из изучаемых признаков у группы из 10 исследованных сортов указывают на то, что межквартильный размах, соответствующий величине ящика, и отношения крайних вариант, заметно различались по показателям, достигая

по отдельным параметрам (скорость набухания, ВВЭ, устойчивость теста, ЧКФ) двукратных размеров (см. рис. 2). Медианные значения таких параметров муки и теста, как температура начала и время клейстеризации, время набухания, ВПС, время образования, устойчивость и степень разжижения теста, оказались ниже средних значений, что свидетельствует о неоднородности сортов по перечисленным характеристикам. «Выбросы» (точки вне блоков), наблюдаемые на диаграммах, по признакам температура начала клейстеризации, время набухания, ВВЭ, ВПС, устойчивость теста и ЧКФ свидетельствуют о том, что отдельные сорта в сильной степени отличались от основной выборки.

При анализе взаимосвязей между качественными характеристиками цельносомлотой муки и теста выявлено 29 пар со значимыми коэффициентами корреляции (табл. 1). Как и ожидалось, ЧП показало высокую положительную корреляцию с максимальной вязкостью по амилографу ( $r = 0,84$ ) и температурой при достижении пиковой вязкости ( $r = 0,91$ ). Содержание белка не коррелировало с амилографическими характеристиками. Отмечена достоверная и положительная корреляция между временем клейстеризации и числом падения, высотой амилограммы, температурой пика клейстеризации ( $r = 0,77; 0,78; 0,85$  соответственно).

Отмечена высокая корреляция параметров кривой набухания, а именно максимального набухания после выдержки при 30°C в течение 30 мин, с числом падения, максимальной высотой амилограммы и вязкостью водного экстракта (0,85; 0,90; 0,94 соответственно). Такие же сильные связи (незначительно отличающиеся по

Табл. 1. Матрица коэффициентов парной корреляции признаков качества зерна ржи, ржаного шрота и теста

Признак*	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1	1,00																	
2	-0,50	1,00																
3	-0,18	<b>0,84</b>	1,00															
4	-0,17	0,50	0,28	1,00														
5	-0,28	<b>0,91</b>	<b>0,81</b>	0,53	1,00													
6	-0,22	<b>0,77</b>	<b>0,78</b>	0,00	<b>0,85</b>	1,00												
7	0,00	0,55	0,55	0,13	0,42	0,42	<b>1,00</b>											
8	-0,09	<b>0,85</b>	<b>0,90</b>	0,30	<b>0,80</b>	<b>0,76</b>	<b>0,76</b>	1,00										
9	0,08	-0,24	0,03	0,12	-0,07	-0,16	-0,62	-0,30	1,00									
10	0,17	<b>0,68</b>	<b>0,80</b>	0,20	<b>0,83</b>	<b>0,86</b>	0,55	<b>0,85</b>	-0,17	1,00								
11	-0,09	<b>0,82</b>	<b>0,90</b>	0,18	<b>0,72</b>	<b>0,74</b>	<b>0,66</b>	<b>0,94</b>	-0,29	<b>0,77</b>	1,00							
12	0,25	0,29	0,25	0,49	0,24	-0,03	<b>0,66</b>	0,37	-0,44	0,28	0,34	1,00						
13	0,33	0,24	0,38	0,21	0,50	0,46	0,40	0,40	0,11	<b>0,63</b>	0,18	0,30	1,00					
14	0,38	0,32	0,38	-0,14	0,37	0,53	0,25	0,53	-0,36	0,60	<b>0,66</b>	0,10	0,07	1,00				
15	<b>-0,69</b>	0,38	0,12	0,24	0,06	-0,07	0,26	0,09	-0,40	-0,22	0,18	0,32	-0,53	-0,30	1,00			
16	0,17	-0,40	-0,05	-0,10	-0,53	-0,56	-0,17	-0,20	0,46	-0,41	-0,15	-0,13	-0,31	-0,34	-0,02	1,00		
17	-0,24	0,28	-0,19	0,12	0,33	0,31	0,08	0,06	-0,56	0,15	0,01	0,03	0,00	0,30	0,11	<b>-0,90</b>	1,00	
18	-0,60	0,35	0,14	0,19	0,03	-0,08	0,25	0,08	-0,38	-0,23	0,22	0,38	-0,55	-0,21	<b>0,98</b>	0,00	0,07	1,00

\*1 – содержание белка в зерне, 2 – число падения, 3 – высота амилограммы, 4 – температура начала клейстеризации, 5 – температура пика клейстеризации, 6 – время клейстеризации, 7 – начало набухания ржаного шрота при 30 °С, 8 – максимальное набухание ржаного шрота при 30 °С после выдержки в течение 30 минут, 9 – время набухания ржаного шрота, 10 – скорость набухания ржаного шрота, 11 – вязкость водного экстракта ржаного шрота, 12 – содержание водорастворимых пентозанов в ржаном шроте, 13 – водопоглотительная способность теста, 14 – время образования теста, 15 – устойчивость теста, 16 – степень разжижения теста, 17 – валориметрическая оценка теста, 18 – число качества фаринографа. Критическое значение коэффициента корреляции  $r=0,63$ , жирным шрифтом выделены значимые коэффициенты корреляции.

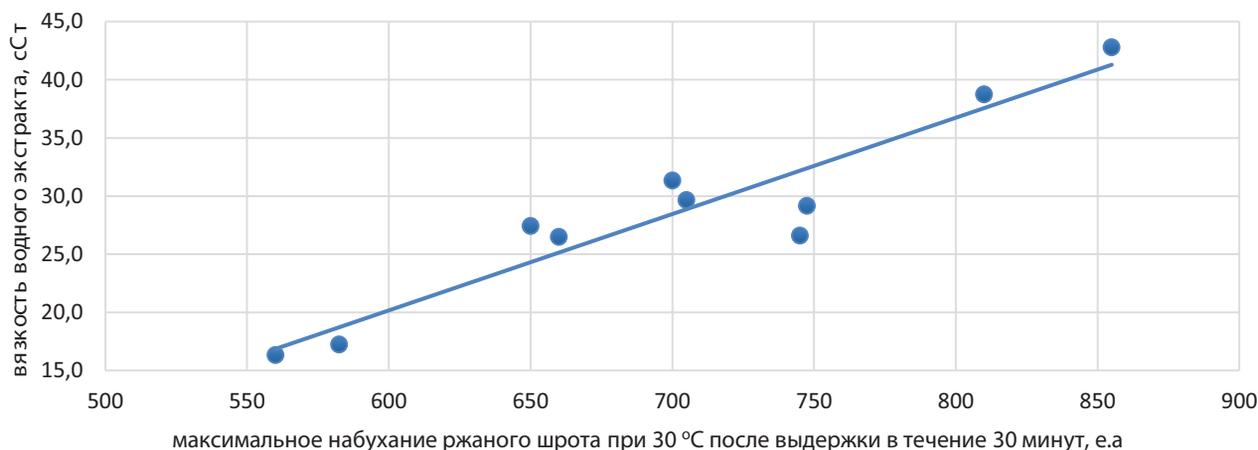


Рис. 3. Зависимость между вязкостью водного экстракта и тестом на набухание.

величине коэффициента корреляции) с теми же параметрами обнаружены у показателя ВВЭ. Наиболее тесные корреляционные связи отмечены между начальным набуханием и показателями максимального набухания, вязкости водного экстракта и содержанием водорастворимых пентозанов (см. табл. 1).

Водопоглотительная способность муки зависит от ее водосвязывающей способности и определяет выход теста и количество воды, добавляемой при приготовлении теста. Водопоглощение значимо положительно коррелировало со скоростью набухания ( $r = 0,63$ ), время образования теста – с ВВЭ ( $r = 0,66$ ). Отмечена достоверная отрицательная корреляция между валориметрической оценкой теста и степенью его разжижения ( $r = -0,91$ ). Показатель начала набухания при 30°C имел высокую связь с максимальным набуханием, ВВЭ и СВП. Устойчивость теста, характеризующая продолжительность сохранения максимального уровня консистенции замешиваемого теста, находилась в значимой отрицательной сопряженности с содержанием белка ( $r = -0,69$ ) и высокой положительной корреляции с показателем качества фаринографа ( $r = 0,98$ ).

Таким образом, структуру комплекса «ржаной шрот–вода» определяет взаимовлияние многих компонентов, от которых зависят хлебопекарные качества зерна ржи и качество конечного продукта – ржаного хлеба.

Проверка корреляционной зависимости между ВВЭ, определенной на капиллярном вискозиметре, с максимальным набуханием (конечная вязкость на кривой набухания) после выдержки при 30°C в течение 30 мин. показала, что вязкость водного экстракта положительно и достоверно коррелирует с максимальным набуханием ржаного шрота (рис. 3). Уравнение линейной регрессии имеет следующий вид:  $y = 0,0828x - 29,536$ .

ВВЭ может служить эффективной оценкой для измерения вязких свойств растворов из цельнозерновой муки и определения связи функциональности со структурными свойствами. Аналогичные подходы предложены и другими авторами [20]. Популяции ржи с высокой вязкостью обладали лучшими хлебопекарными характеристиками, чем популяции с низкой вязкостью. По данным А.А. Гончаренко с соавторами [21] они превосходили другие сорта по числу падения (на 90 с), высоте амилограммы (на 328 е.а), температуре клейстеризации (на 2,5°C).

Поэтому в работе был сделан акцент на анализе наиболее дифференцирующих показателей количества арабиноксиланов и их вязких свойств, определяемых

как прямыми химическими методами, так и с использованием косвенных оценок через набухаемость, вязкость водного экстракта и водопоглотительную способность. Если по ВВЭ результатов исследований в отечественной литературе довольно много [2, 22], то оценку на набухание практически не используют для характеристики цельнозерновой муки.

На дендрограмме кластерного анализа (рис. 4) по оси абсцисс отложены номера, присвоенные определенному признаку в порядке их сходства; по оси ординат – линии, отражающие расстояния между этими объектами. Разрезание дендрита по выбранному уровню сходства (расстоянию) приводит к выделению наиболее сход-

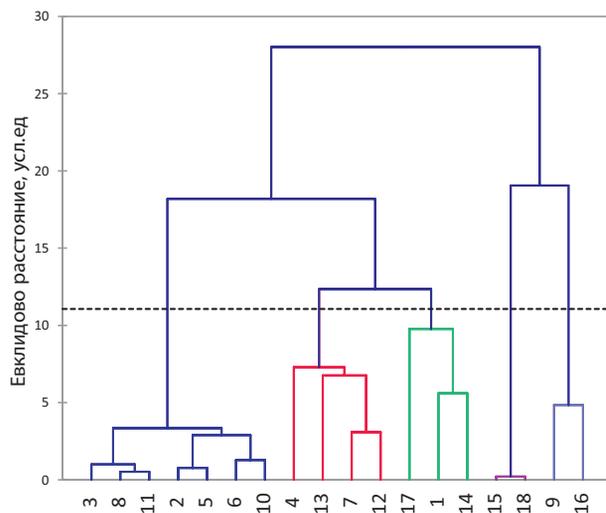


Рис. 4. Дендрограмма признаков качества зерна и теста сортов озимой ржи. Номерами обозначены следующие показатели: 1 – содержание белка в зерне, 2 – число падения, 3 – высота амилограммы, 4 – температура начала клейстеризации, 5 – температура пика клейстеризации, 6 – время клейстеризации, 7 – начало набухания ржаного шрота при 30°C, 8 – максимальное набухание ржаного шрота при 30°C после выдержки в течение 30 минут, 9 – время набухания ржаного шрота, 10 – скорость набухания ржаного шрота, 11 – вязкость водного экстракта ржаного шрота, 12 – содержание водорастворимых пентозанов в ржаном шроте, 13 – водопоглотительная способность теста, 14 – время образования теста, 15 – устойчивость теста, 16 – степень разжижения теста, 17 – валориметрическая оценка теста, 18 – число качества фаринографа.

ных групп объектов. В нашем исследовании в первый укрупненный кластер вошли ВВЭ, скорость набухания, высота амилограммы, максимальное набухание, число падения, температура и время клейстеризации. Два первых из них характеризуются значительной генотипической вариацией и могут быть использованы как селекционные критерии.

Во второй кластер сгруппировались температура начала клейстеризации, начало набухания, водопоглотительная способность, СВП, содержание белка и время образования теста. При механической нагрузке сначала происходит непрерывное снижение вязкости ржаного теста. Этому феномену, прежде всего, способствует расщепление протеинов. Конечно, в этих изменениях играют роль и пентозаны, но дело, скорее всего, в реакциях между протеинами и пентозанами. Но процесс до конца не выяснен, а потому определенно требует дальнейших исследований.

В третий кластер были объединены 4 показателя – устойчивость теста, показатель качества фаринографа, время набухания и степень разжижения. Эти признаки демонстрируют водосвязывающую и водоудерживающую роль АК. Длинные молекулы растворимых пентозанов представляют собой разветвленную сеть, которая обладает высокой абсорбирующей способностью и образует клейкие гелеобразные растворы. От количества и структуры этой сети зависит процесс образования и консистенция теста.

Как правило, в селекционных исследованиях, в первую очередь, внимание обращают на ферментативную активность  $\alpha$ -амилазы при высоких температурах, которую регистрируют на амилографе и приборе для измерения числа падения (признаки первого кластера). Величины этих показателей позволяют прогнозировать состояние крахмала в зерне или муке и его расщепляемость. Повышенное действие амилазы приводит к тому, что значительная часть крахмала в процессе брожения и выпечки гидролизует, этот процесс сопровождается образованием большого количества низкомолекулярных декстринов. В результате крахмал и пентозаны в тесте не связывают всю воду, а наличие свободной влаги делает мякиш ржаного хлеба липким и заминающимся.

Важно отметить, что такой признак 1 кластера, как скорость набухания водно-шротовой суспензии, определяемый при анализе амилографических кривых без нагревания при константной температуре 30°C в течение 30 минут, также отличался существенной межсортной вариацией (см. рис. 2). Этот показатель дополнительно подтверждает различия в поведении и структурных особенностях водорастворимых АК, действие которых благодаря разветвленной конфигурации направлено на связывание воды и клейстеризацию растворов. При температуре более 30°C происходят разрывы водородных связей в молекулах крахмала, ведущие к изменению его микроструктуры. Одновременно формируются оптимальные условия для действия многих ферментов, в том числе катализирующих реакцию гидролиза высокомолекулярных и нерастворимых АК. Следовательно, скорость набухания служит важным критерием влияния водорастворимых пентозанов и должна учитываться в селекционных программах.

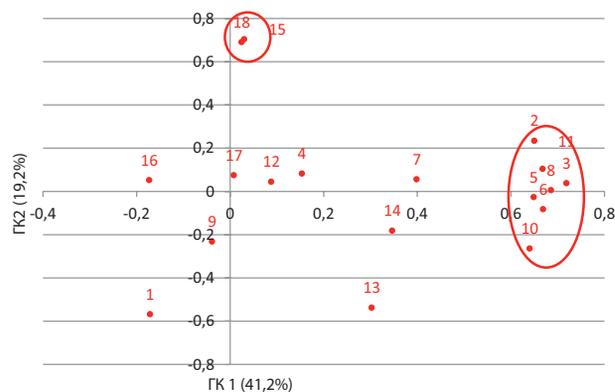
Из признаков, сгруппированных во второй кластер, помимо содержания белка, внимание следует обратить на СВП и ВПС. Изменение вязкости набухающего, а затем клейстеризующегося крахмала оказывает значительное влияние на формирование мякиша хлеба. Теоретически доказано, что хлебопекарные достоинства ржаной муки в отличие от пшеничной можно полностью

сохранить даже при полном удалении запасных белков зерна. Это обусловлено тем, что составляющими тестоведения служат водорастворимые пентозаны [23, 24]. Это отличает ржаное тесто от пшеничного, в котором за удержание газов и свойства мякиша ответственны клейковинные белки. Высокая водопоглотительная способность определяет поведение теста при технологических операциях и характеризует мукомольные качества зерна сортов озимой ржи. В тонко размолотой ржаной муке в отличие от цельносмолотой (грубого помола) водопоглотительная способность будет выше из-за большей суммарной площади и мелкого размера частиц, способных коллоидно связывать воду в процессе замеса теста, при этом газодерживающая способность уменьшается.

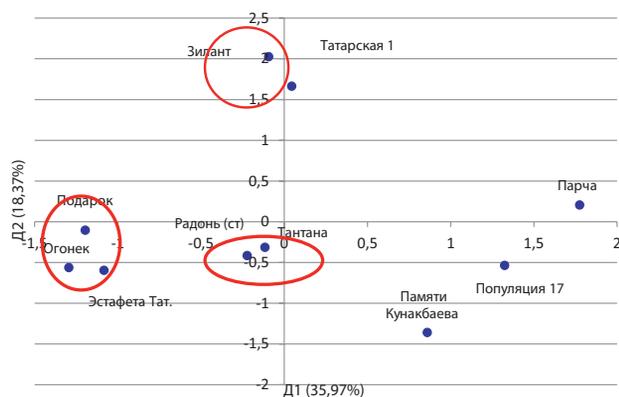
Из показателей 3 кластера, по нашему мнению, наиболее важными признаками для селекции служат показатели устойчивости теста и ЧКФ. Первый параметр фиксирует время, в течение которого его консистенция остается неизменной, при этом более высокое значение показывает, что коллоидам муки требуется больше времени для полной гидратации из-за повышенной водопоглотительной способности АК. Это, очевидно, увеличивает время, необходимое для гомогенизации всех ингредиентов и их интеграции в стабильную структуру теста. Показатель качества фаринографа комплексно характеризует реологические свойства теста, обусловленные различной способностью арабиноксилановой фракции ржи к быстрой гидратации и удержанию воды в связанном состоянии. С прикладной точки зрения он фиксирует структуру, равновесие и эластичность теста, которые непосредственно влияют на эффективность технологии хлебопечения.

Далее к матрице корреляции был применен анализ главных компонент (РСА). Особенность этого метода заключается в том, что он позволяет выявить возможные различия по степени важности между отдельными признаками (рис. 5), когда не принимаются во внимание различия между сортами, и, наоборот, между сортами (рис. 6) без учета разноименных признаков, когда все параметры учитываются в равной степени. Кроме того, РСА позволяет визуализировать изучаемые переменные в системе координат для совместного анализа взаимосвязанных характеристик.

Суммарный процент объясненной дисперсии в нашем исследовании был равен 60,4 % (см. рис. 5).



**Рис. 5. Распределение 18 качественных признаков 10 сортов ржи на плоскостях в координатах 1 и 2 (ГК1 и ГК2) главных компонент, рассчитанных по методу РСА: ГК1 – 41,2 % объясненной дисперсии, ГК2 – 19,2 % объясненной дисперсии, 1...18 – номера признаков, показанных на рис. 4.**



**Рис. 6.** Распределение 10 сортов ржи по 18 качественным признакам на плоскостях в координатах 1 и 2 (D1 и D2) главных компонент, рассчитанных по методу РСА с вариакс-вращением (D1 – 35,97 % объясненной дисперсии, D2 – 18,37 % объясненной дисперсии).

Установлено, что в первой координатной четверти довольно «кучно» расположены 7 признаков. Согласно приведенным данным, они автокомпенсаторные. При этом часть из этих признаков представляется избыточной, их предлагается отсеять, оставив только три: число падения, скорость набухания и вязкость водного экстракта. Это приведет к совершенствованию селекционного процесса на качество зерна, особенно на ранних этапах селекции. Первая детерминанта раскрывает ретроградацию крахмала амилолитическими ферментами, вторая определяет поведение и структурные особенности экстрагируемых водой АК. Третий признак (ВВЭ) служит результирующим показателем многих свойств: количества пентозанов, их растворимости, водосвязывающей и водоудерживающей способности, молекулярного веса и др. Поэтому в зависимости от имеющейся приборно-аналитической базы можно предложить ряд таких сочетаний признаков, полезных для оценки сырьевой пригодности сортов: 2+11, 3+11, 2+10, 3+10, 8+10 (номера признаков представлены на рис. 4).

На графике распределения 18 качественных признаков 10 сортов ржи на плоскостях в координатах 1 и 2 (ГК1 и ГК2) главных компонент (см. рис. 5) практически совпали два показателя: устойчивость теста и число качества фаринографа. Поэтому возможно использовать только один показатель – ЧКФ, который дает обобщенную информацию о качестве теста, включая его характеристики по времени образования, устойчивости к замесу, степени разжижения. Кроме того, он, в отличие от других показателей, регистрируемых на фаринографе, хорошо дифференцирует сорта. Остальные признаки довольно равномерно расположены в системе координат, потому для их редукции требуется проверка на генетически более разнообразном материале.

Анализ распределения сортов озимой ржи в многомерном пространстве указывает, что наверху координатной плоскости близко расположены сорта Татарская 1 и Зилант с высоким СВП, ВВЭ и показателями, характеризующими амилолитические свойства муки. Это сорта – улучшители, стабильно проявляющие свои высокие хлебопекарные свойства в разные годы. Их зерно может быть использовано для «исправления» качества зерна и/или муки с недостаточными хлебопекарными кондициями. В центре биplot-графика расположены сорта Радонь и Тантана с оптимальными хлебопекарными характеристиками, зерно которых для хлебопечения может использоваться в «чистом виде».

Сорта Огонек, Подарок и Эстафета Татарстана сгруппированы в блок с лучшими кормовыми достоинствами, а также возможностью использования в спиртоварении. Они характеризуются низкими показателями ВВЭ и СВП. Отдельными точками на графике отображены сорта Памяти Кунакбаева, Популяция 17 (новый сорт нашей селекции) и Парча. Вероятно, они отличаются от ранее названных по тем или иным показателям или их сочетанию. Следует отметить, что положительная и отрицательная области пространства во многом условны и имеют, скорее, математическое, чем биологическое значение. Важным представляется тот факт, что выявленные классы сортов не перекрываются и располагаются в разных областях двумерной плоскости, что свидетельствует о достоверных различиях между ними.

Таким образом, качественные характеристики цельносмолотой ржаной муки определяются большой группой свойств и структурных составляющих зерна. Число падения и амилографические характеристики дают ценную информацию о степени клейстеризации крахмала под влиянием амилолитических ферментов. Содержание водорастворимых пентозанов характеризует водопоглотительную способность различных компонентов набухания ржаной муки, а структурные особенности и растворимость – наиболее важные вязкостные свойства. Вязкость водного экстракта на основе ржаного шрота – ключевой параметр для характеристики такой системы. Ее количественная выраженность влияет как на выбор методики тестоведения, так и на определение пригодности зерна разных сортов озимой ржи для переработки.

Оценка 10 сортов озимой ржи российской селекции по 18 показателям хлебопекарных и реологических свойств с использованием разных методов оценки выявила ряд наиболее значимых критериев для включения в селекционные программы: число падения, вязкость водного экстракта, скорость набухания, содержание белка, содержание водорастворимых пентозанов, водопоглотительная способность, устойчивость теста и число качества фаринографа. Выявлены 3 кластера характеристик качества зерна, по которым в дальнейшем следует вести селекционную работу по созданию хлебопекарных и кормовых сортов озимой ржи. На ранних этапах селекции для оценки цельносмолотой муки можно ограничиться только четырьмя характеристиками – число падения, скорость набухания, вязкость водного экстракта и число качества фаринографа. В результате анализа методом главных компонент также доказано, что между изучаемыми сортами имеются достоверные различия по комплексу признаков, характеризующих их сырьевую ценность.

### Литература

1. Korzun V., Ponomareva M.L., Sorrells M.E. Economic and Academic Importance of Rye // *The Rye Genome* / eds. M.T. Rabanus-Wallace, N. Stein. 2021. URL: [https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-83383-1\\_1](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-83383-1_1) (дата обращения: 05.02.2022). doi: 10.1007/978-3-030-83383-1\_1.
2. Гончаренко А.А. Актуальные вопросы селекции озимой ржи. М.: Московский НИИСХ, 2014. 372 с.
3. Сравнительная оценка сортов озимой ржи по хозяйственно-биологическим показателям / Т.Я. Ермолаева, Н.Н. Нуждина, Д.В. Говердов и др. // *Успехи современного естествознания*. 2019. №. 7. С. 14-20.
4. Grain characteristics, chemical composition, and functional properties of rye (*Secale cereal L.*) as

- influenced by genotype and harvest year / H.B. Hansen, B. Møller, S.B. Andersen, et al. // *Journal of agricultural and food chemistry*. 2004. Vol. 52. No. 8. P. 2282-2291.
5. Content, and molecular weight distribution of dietary fiber components in whole-grain rye flour and bread / R. Andersson, G. Fransson, M. Tietjen, et al. // *Journal of agricultural and food chemistry*. 2009. Vol. 57. No. 5. P. 2004–2008.
  6. Rye and health—Where do we stand and where do we go? / K. Jonsson, R. Andersson, K.E.B. Knudsen, et al. // *Trends in Food Science & Technology*. 2018. Vol. 79. P. 78–87.
  7. Bastos R., Coelho E., Coimbra M.A. Arabinoxylans from cereal by-products: Insights into structural features, recovery, and applications // *Sustainable Recovery and Reutilization of Cereal Processing By-Products*. Woodhead Publishing, 2018. P. 227-251.
  8. Красильников В.Н. Актуальные направления использования генетических ресурсов растений в пищевой инженерии продуктов функционального и специализированного назначения // *Аграрная Россия*. 2015. №11. С. 36–42. doi: 10.30906/1999-5636-2015-11-36-42.
  9. Németh R., Tömösközi S. Rye: Current state and future trends in research and applications // *Acta Alimentaria*. 2021. Vol. 50. No. 4. P. 620-640. doi: 10.1556/066.2021.00162
  10. Drews E., Seibel W. Bread-baking and other uses around the world // *Rye: Production, chemistry, and technology*. 1976. P. 127-178.
  11. Sapirstein, H.D., Bushuk, W. Rye grain: its genetics, production, and utilization. In: Corke, H., Seetharaman, K., and Wrigley, C. (Eds.) // *Encyclopedia of food grains*. Oxford: Academic Press, 2016. P. 159–167. doi: 10.1016/B978-0-08-100596-5.00017-2.
  12. Prediction of rye flour baking quality based on parameters of swelling curve / S. Stepniewska, E. Slowik, G. Cacak-Pietrzak et al. // *European Food Research and Technology*. 2018. Vol. 244. No. 6. Pp. 989-997.
  13. Rye bread defects: analysis of composition and further influence factors as determinants of dry-baking / M. Oest, U. Bindrich, A. Voß, et al. // *Foods*. 2020. Vol. 9. No. 12. URL: <https://www.mdpi.com/2304-8158/9/12/1900> (дата обращения: 12.02.2022). doi:10.3390/foods9121900.
  14. Kim M.Y., Freund W., Chun S.S. Determining the Water Absorption and Rheological Properties of Rye Dough Made Using the Planetary Mixer P 600 // *Food Science and Biotechnology*. 2009. Vol. 18. No. 2. P. 456-462.
  15. Extract viscosity as an indirect assay for water-soluble pentosans content in rye / D. Boros, R.R. Marquardt, B.A. Slominski et al. // *Cereal Chemistry*. 1993. Vol. 70. Pp. 575-580.
  16. Изучение содержания пентозанов в зерне популяционных сортов озимой ржи различными методами / М.Л. Пономарева, С.Н. Пономарев, Л.Ф. Гильмуллина и др. // *Достижения науки и техники АПК*. 2016. Т. 30. №. 12. С.10-13.
  17. Hashimoto S., Shogren M.D., Pomeranz Y. Cereal pentosans: their estimation and significance. I. Pentosans in wheat and milled wheat products // *Cereal chem*. 1987. Vol. 64. No. 1. P. 30-34.
  18. Delcour J.A., Vanhamel S., De Geest C. Physicochemical and functional properties of rye nonstarch polysaccharides. I. Colorimetric analysis of pentosans and their relative monosaccharide compositions in fractionated (milled) rye products. // *Cereal chem*. 1989. Vol. 66. No. 2. P. 107-111.
  19. Структурно-функциональная характеристика пентозанов муки и теста сортов озимой ржи / М.Л. Пономарева, С.Н. Пономарев, Г.С. Маннапова и др. // *Достижения науки и техники АПК*. 2019. Т. 33. №. 8. С. 33-37. doi: 10.24411/0235-2451-2019-10807
  20. Кобылянский В.Д., Солодухина О.В. Теоретические основы селекции зернофуражной ржи с низким содержанием водорастворимых пентозанов // *Сельскохозяйственная биология*. 2013. №. 2. С. 31-39.
  21. Multiple divergent selection on viscosity of a water extract of winter rye / A.A. Goncharenko, S.A. Ermakov, A.V. Makarov et al. // *Russian agricultural sciences*. 2016. Vol. 42. No. 5. P. 289–294. doi: 10.3103/S1068367416050074
  22. Генотипическая изменчивость содержания пентозанов в зерне озимой ржи / М.Л. Пономарева, С.Н. Пономарев, М.Ш. Тагиров и др. // *Сельскохозяйственная биология*. 2017. Т.52. № 5. С. 1041-1048. doi: 10.15389/agrobiology.2017.5.1041rus
  23. Adaptivity of Winter Rye Varieties Based on Rheological Properties of Aqueous Meal Slurry / Т.Я. Ermolaeva, N.N. Nuzhdina, D.V. Goverdov et al. // *Russian Agricultural Sciences*. 2021. Vol. 47. No. 5. P. 466-472.
  24. Влияние водорастворимых пентозанов на хлебопекарные свойства озимой ржи/ Е.Н. Шаболкина, А.А. Бишарев, Н.В. Анисимкина и др. // *Зерновое хозяйство России*. 2019. №. 1. С. 49-51. doi: 10.31367/2079-8725-2019-61-1-49-51.

Поступила в редакцию 13.05.2022  
 После доработки 01.06.2022  
 Принята к публикации 27.06.2022

**МАТЕРИАЛЫ К ДИПТЕРОФАУНЕ (DIPTERA: BRACHYCERA) УРБО- И АГРОЭКОСИСТЕМ КРАСНОДАРА И ОКРЕСТНОСТЕЙ ЭЛЬХОТОВО (СЕВЕРНАЯ ОСЕТИЯ)\***

**В.С. Петрищев, И.С. Агасьева**, кандидат биологических наук  
 Федеральный научный центр биологической защиты растений, 350039, Краснодар, п/о 39  
 E-mail: viktor.sergeevich\_1998@mail.ru

*Исследования проводили с целью выявления перспективных энтомофагов отряда Diptera (подотряда Brachycera). Отлов насекомых выполняли в микрозаповеднике и ботаническом саду в Краснодарском крае, в садовых, полевых и лесных ценозах Северной Осетии. Для учета видового состава и численности насекомых использовали кошение энтомологическими сачками различных модификаций, ловушки Малеза, методы массового и индивидуального выведения паразитов (коконы, куколки или имаго паразитов вместе с насекомым-хозяином или яйцекладками размещали на индивидуальное выведение в изолированные контейнеры). В результате исследований в городских и пригородных станциях Краснодара выявлены 59 видов двукрылых, из которых 30 видов энтомофаги (51 % от общего числа). Наибольшее количество видов принадлежит семействам (Asilidae) – 22 % и (Syrphidae) – 14 %. В процентном отношении на надсемейство Empidoidea пришлось 12 % фауны от всех выявленных короткоусых двукрылых. Среди всего разнообразия двукрылых насекомых основные хищные таксоны объединены в структуру двух надсемейств: Asiloidea (ктыреобразные) и Empidoidea (эмпиоидные). Из 26 видов короткоусых двукрылых, собранных Северной Осетии 50 % относятся к энтомофагам. Самые крупные из выявленных таксонов энтомофагов – семейства Asilidae – 23 % и Tachinidae – 15 %. В результате фаунистических сборов в различных экосистемах в Краснодарского края и Северной Осетии всего выявлено 94 вида, относящихся к 16 семействам, из которых 54 вида – энтомофаги. Абсолютное большинство видов двукрылых, найденных в Краснодаре и его пригородных станциях, относится к экологически пластичным, эвритопным видам.*

**SPECIES DIVERSITY OF DIPTERA IN THE CENTRAL ZONE OF KRASNODAR KRAI AND NORTH OSSETIA**

**Petrishchev V.S., Agasyeva I.S.**  
 Federal Research Center of Biological Plant Protection,  
 350039, Krasnodar, p/o 39  
 E-mail: viktor.sergeevich\_1998@mail.ru

*The research is aimed at the study of the species composition of Diptera insects in the Central zone of Krasnodar Krai and North Ossetia. Insect trapping was carried out in the microreserve of the FSBSI FRCBPP and the Botanical Garden of the Kuban State University (Krasnodar Krai), in the garden, field and forest cenoses of the SPC «DE-GUSTO» (North Ossetia). To account for the species composition and abundance of insects, mowing with entomological nets of various modifications, Malaise traps, methods of mass and individual breeding of parasites (cocoons, pupae or adults of parasites, together with the host insect or oviposition, are laid out for individual hatching in isolated containers) were used. As a result of research in urban and suburban habitats of Krasnodar, 59 species of Diptera were identified, of which 30 species are entomophages (51 % of the total number of species). The largest number of species belongs to the families (Asilidae) – 22% and (Syrphidae) – 14%. In percentage terms, the superfamily Empidoidea accounted for 12% of the fauna of all identified short-horned Diptera. Among the diversity of dipterous insects, the main predatory taxa are united in the structure of two superfamilies: Asiloidea and Empidoidea. As a result of the studies carried out in North Ossetia, out of 26 species of short-whiskered Diptera, 50 % belong to entomophages. The largest of the identified taxa of entomophages are the families Asilidae – 23% and Tachinidae – 15%. As a result of faunistic collections in various ecosystems in Krasnodar Krai and North Ossetia, 94 species belonging to 16 families were identified, of which 54 species are entomophages. It was found that the vast majority of Diptera species found in Krasnodar and its suburban habitats belong to ecologically plastic, eurytopic species.*

**Ключевые слова:** энтомофаги, короткоусые двукрылые насекомые, Diptera, ловушка Малеза, надсемейство, экосистема, станция.

**Key words:** entomophages, Brachycera, Diptera, Malaise trap, superfamily, ecosystem, habitat.

Энтомофаги играют важную роль в регуляции численности большого числа вредных видов насекомых [1, 2]. Их реальная эффективность зависит от многих условий, включающих абиотические и биотические факторы, физиологическое состояние популяций, многообразные химические, биоценотические и трофические связи. Тем не менее, природные популяции зоофагов способны существенно снижать численность вредных видов насекомых, что позволяет в ряде случаев установить уровни эффективности энтомофагов (УЭЭ) [3, 4]. В связи с этим необходимо проводить анализ таксономического состава и численности крупных систематических групп насекомых для выявления среди них зоофагов, перспективных для использования в программах биологической защиты сельскохозяйственных культур [5].

Двукрылые насекомые – одна из наиболее перспективных групп для использования в биологической защите растений. В связи с широчайшей трофической специализацией и высокой адаптационной способностью виды отряда Diptera способны занимать множество экологических ниш. Личинки двукрылых отличаются огромным разнообразием пищевых связей, среди которых зоофагия (хищничество и паразитизм), фитофагия, различные варианты сапрофагии (копрофагия, некрофагия, ксилофагия и др.) [6].

Двукрылые энтомофаги неотъемлемый компонент трофических цепей лесных, кустарниковых и луговых экосистем. Так, в ходе исследований, проведенных сотрудниками Института зоологии НАН Азербайджана, было установлено, что 40 видов паразитов и 16 видов хищников играют существенную роль в регуляции численности 13 наиболее вредных насекомых, обитающих в лесных массивах

\*Исследования выполнены согласно Государственному заданию Министерства науки и высшего образования РФ в рамках НИР по теме № FGRN-2022-0003

и плодовых садах Ленкоранской области Азербайджана. Зарегистрированные энтомофаги относятся к отрядам перепончатокрылых (Hymenoptera), сетчатокрылых (Neuroptera), жесткокрылых (Coleoptera) и двукрылых (Diptera) [7, 8].

На сегодняшний день известен ряд работ, посвященных изучению хищных двукрылых в составе агроценозов. Например, хищные мухи-зеленушки – устойчивый компонент яблоневых экосистем в садах Пушкинского района Санкт-Петербурга и Лужского района Ленинградской области [9]. Хищные мухи семейства Hybotidae встречаются в посевах всех основных полевых культур, где занимают нишу хищных хортобионтов, питающихся в основном имаго мелких насекомых, в том числе хозяйственно важных вредителей. Эти энтомофаги могут быть отнесены к важной части биоты агроценозов [10].

Еще одна перспективная группа короткоусых двукрылых – семейство тахин подсем. Phasiinae (Diptera, Tachinidae). Фазиины, будучи паразитами полужесткокрылых, могут использоваться в сельскохозяйственной практике [11, 12, 13]. Мухи-сирфиды (Diptera: Syrphidae) вносят вклад в экосистемные услуги агроэкосистем, выполняя вспомогательную роль в качестве опылителей сельскохозяйственных культур и хищников вредителей [14, 15, 16].

По данным Всероссийского НИИ защиты растений, изученность хищных двукрылых насекомых в сельскохозяйственных стациях обитания по-прежнему остается недостаточной, что подтверждает редкость соответствующих публикаций в отечественной литературе. Согласно результатам регулярных исследований, обилие хищных мух в посевах озимой и яровой пшеницы, озимой ржи и посадках картофеля (Ленинградская область, 2012–2015 гг.) варьирует от 0 до 5,65 экз./10 взм. сачком в зависимости от фазы развития. Их состав представлен не менее чем 50 видами. Для полевых агроценозов на северо-западе Нечерноземной зоны России установлены стациальное распределение, сезонная динамика численности и структура доминирования хищных мух семейств Therevidae, Asilidae, Empididae, Hybotidae и Dolichopodidae. Максимальное присутствие хищных мух в агробиоценозах регистрируется со второй декады июня по первую декаду июля включительно [17].

Краснодарский край – наиболее изученный на юге России в отношении таксономии хищных двукрылых регион, в частности хорошо изучены двукрылые энтомофаги из семейств Empididae, Hybotidae и Dolichopodidae [18, 19, 20]. Северная Осетия наиболее изучена среди северокавказских республик в отношении Brachycera [21]. В этой связи приобретает особое значение оценка доли полезных групп двукрылых энтомофагов и поиск перспективных видов для использования в биологической защите растений.

Цель исследований – уточнение видового состава и выделение полезных для реализации биометода защиты растений таксонов отряда Diptera (двукрылые) в Центральной зоне Краснодарского края и Северной Осетии.

**Методика.** Отлов насекомых проводили в микрозаказнике ФГБНУ ФНЦБЗР (Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный научный центр биологической защиты растений»), GPS координаты: 45.045324, 38.871538) и ботаническом саду КубГУ (Кубанский государственный университет, GPS координаты: 45.010917, 39.105123) в Краснодарском крае, а также в садовых, полевых и лесных ценозах СПК «ДЕ-ГУСТО» (GPS координаты: 43.353038, 44.252867) в Северной Осетии.

Для учета видового состава и численности энтомофагов (паразитов) использовали стандартные энтомологические методы: кошение энтомологическими сачками различных модификаций; ловушки Малеза, методы массового и индивидуального выведения паразитов (коконы, куколки или имаго паразитов вместе с насекомым-хозяином или

яйцекладками раскладывали на индивидуальное выведение в изолированные контейнеры).

Ловушки Малеза палаточного типа, отлавливающие все группы летающих насекомых независимо от циркадной активности, устанавливали на пути движения насекомых, которые при полете или наземном передвижении сталкивались с преградой и попадали в ловчий стакан. Ловушки устанавливали таким образом, чтобы ловчий стакан был расположен по направлению к свету. В качестве фиксирующей жидкости использовали 70 %-ный этиловый спирт.

Смену резервуара с фиксатором проводили один раз в неделю, после этого материал сортировали по отрядам, определяли до семейств и проводили суммарный подсчет представителей семейств. Отбор осуществляли острокопечными энтомологическими пинцетами и специальными иглами. Хранили биоматериал в этикетированных пробирках, наполненных 70 %-ным этиловым спиртом.

На основании полевой коллекции насекомых, собранных в ходе исследований, был подготовлен сухой энтомологический материал для определения таксономического состава короткоусых двукрылых, который хранили в стандартных энтомологических коробках размером 50×60 см. Для предотвращения его повреждения жуками-кожеедами и другими некрофагами использовали картонные пластинки, пропитанные инсектицидом.

Зараженность клопов вредной черепашки фазиями определяли по вылету насекомых из биоматериала, собранного на полях озимой пшеницы после перезимовки.

При идентификации материала использовались определительные таблицы, приведенные в «Определителе семейств двукрылых насекомых (Insecta: Diptera) фауны России и сопредельных стран (с кратким обзором семейств мировой фауны)», определительные таблицы видов приведенные в издании «Хищные мухи ктыри (Diptera: Asilidae) Нижнего Поволжья», «Определителе насекомых Европейской части СССР: в пяти томах» [22, 23]. Всех насекомых определяли лично авторы. Всех двукрылых сравнивали с коллекциями кафедры зоологии Кубанского Государственного университета. Для определения ряда видов использовали узкие определительные таблицы отдельных авторов: Астахов Д. М., Рихтер В. А., Лер П. А., Мути В. А., Баркалов А. В., Кустов С. Ю. и др.

**Результаты и обсуждение.** В результате исследований в городских и пригородных стациях Краснодара были выявлены 59 видов, 20 родов и 16 семейств подотряда Brachycera:

семейство Asilidae – *Choerades fimbriata* (Meigen, 1820), *Choerades marginata* (Linnaeus, 1758), *Dioctria cothurnata* (Meigen, 1820), *Dioctria harcyniae* (Loew, 1844), *Laphria flava* (Linnaeus, 1761), *Leptogaster cylindrica* (De Geer, 1776), *Tolmerus cingulatus* (Fabricius, 1781), *Tolmerus poecilogaster* (Loew, 1849), *Tolmerus pyragra* (Zeller, 1840), *Machimus rusticus* (Meigen, 1820), *Neoitamus socius* (Loew, 1871), *Neoitamus navasardiani* (Richter, 1963), *Neoitamus cyanurus* (Loew, 1849);

семейство Bombyliidae – *Bombylius major* (Linnaeus, 1758);

семейство Tachinidae – *Cylindromyia brassicaria* (Fabricius, 1775), *Ectophasia crassipennis* (Fabricius, 1794), *Gymnosoma rotundatum* (Linnaeus, 1758), *Peleteria abdominalis* (Robineau-Desvoidy, 1830), *Phasia hemiptera* (Fabricius, 1794), *Zophomyia temula* (Scopoli, 1763);

семейство Syrphidae – *Sphaerophoria menthastri* (Linnaeus, 1758), *Myathropa florea* (Linnaeus, 1758), *Eristalis tenax* (Linnaeus, 1758), *Eristalis arbustorum* (Linnaeus, 1758), *Episyrphus balteatus* (De Geer, 1776), *Syrphus ribesii* (Linnaeus,

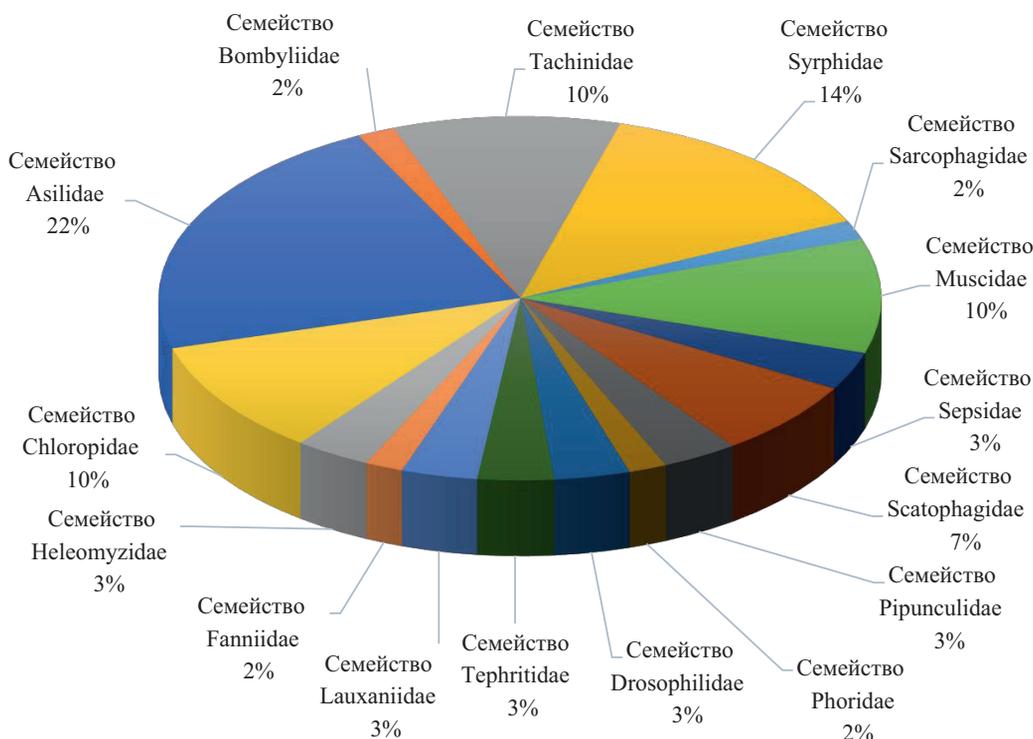


Рис. 1. Процентное соотношение числа выявленных видов в семействах короткоусых двукрылых (городские и пригородные станции Краснодара, 2020–2021 гг.)

1758), *Eupeodes corollae* (Fabricius, 1794), *Sphaerophoria scripta* (Linnaeus, 1758);  
 семейство Sarcophagidae – *Sarcophaga carnaria* (Linnaeus, 1758);  
 семейство Muscidae – *Helina lasiophthalma* (Macquart, 1835), *Lispe consanguinea* (Loew, 1858), *Mesembrina meridiana* (Linnaeus, 1758), *Mesembrina mystacea* (Linnaeus, 1758), *Musca autumnalis* (De Geer, 1776), *Thricops semicinereus* (Wiedemann, 1817);  
 семейство Sepsidae – *Sepsis fulgens* (Meigen, 1826), *Sepsis punctum* (Fabricius, 1794);  
 семейство Scatophagidae – *Cordilura albipes* (Fallén, 1819), *Cordilura picticornis* (Loew, 1864), *Gynomera dorsata* (Zetterstedt, 1838), *Nanna flavipes* (Fallén, 1819);  
 семейство Pipunculidae – *Nephrocerus flavicornis* (Zetterstedt, 1844), *Tomosvaryella sylvatica* (Meigen, 1824);  
 семейство Phoridae – *Diplonevra nitidula* (Meigen, 1830);  
 семейство Drosophilidae – *Drosophila busckii* (Cocquillet, 1901), *Stegana furta* (Linnaeus, 1766);  
 семейство Tephritidae – *Urophora jaculata* (Rondani, 1870), *Urophora variabilis* (Loew, 1869);  
 семейство Lauxaniidae – *Calliopus aeneum* (Fallén, 1820), *Calliopus elisae* (Meigen, 1826);  
 семейство Fanniidae – *Fannia ornata* (Meigen, 1826);  
 семейство Heleomyzidae – *Suillia affinis* (Meigen, 1830), *Suillia ustulata* (Meigen, 1830);  
 семейство Chloropidae – *Cetema cereris* (Fallén, 1820), *Cetema elongatum* (Meigen, 1830), *Cetema myopinum* (Loew, 1866), *Chlorops interruptus* (Meigen, 1830), *Chlorops scalaris* (Meigen, 1830), *Diplotox a messoria* (Fallén, 1820).

Анализ соотношения числа выявленных видов в семействах короткоусых двукрылых, относящихся к городским и пригородным станциям города Краснодара показал, что наибольшее количество видов принадлежит семействам (Asilidae) – 22 % и (Syrphidae) – 17,1 % (рис. 1), которые относятся к энтомофагам. Из общего числа видов, выявленных

в результате учетов, 30 видов относятся к энтомофагам, что составляет 51 % от общего числа всех собранных короткоусых двукрылых.

Среди энтомофагов, отмеченных при исследовании в 2020–2021 гг. представители наиболее крупного хищного надсемейства Empidoidea отсутствовали, что, вероятно, связано с отличающейся от прочих насекомых сезонной динамикой и сроками проведения учетов. При изучении их таксономический состав в 2019 г. после анализа собранных материалов было установлено наличие следующих видов: семейство Empididae – *Empis socrus* Szyrovátka in Barták et Szyrovátka, 1983, *E. tessellata* Fabricius, 1794, *Empis (Euempis) pleurica* Collin, 1960, *Rhamphomyia sulcata* Meigen, 1804, *Rh. Sulcatina* Collin, 1926;

семейство Dolichopodidae – *Dolichopus nubilus* Meigen, 1824, *D. latilimbatus* Macquart, 1828, *Medetera pallipes* Zetterstedt, 1838, *Gymnopternus aerosus* Fallén, 1823;

семейство Hybotidae – *Platypalpus exilis* Meigen, 1822, *Platypalpus longiseta* Zetterstedt, 1842.

При этом на насекомых семейства Hybotidae приходилось 14 % представителей надсемейства Empidoidea, семейства Empididae – 16 %, семейства Dolichopodidae – 70 %. В процентном отношении на надсемейство Empidoidea в 2019 г. пришлось 12 % от всех выявленных короткоусых двукрылых. Все перечисленные таксоны относятся к энтомофагам. Личинки и имаго эмпиоидных мух, будучи многоядными хищниками, чрезвычайно важны как регуляторы численности многих групп насекомых, в частности личинок и (или) имаго кровососущих двукрылых из семейств Culicidae, Simuliidae, Ceratopogonidae и Tabanidae, а также вредителей сельскохозяйственных культур из семейств Chloropidae, Agromyzidae и Anthomyiidae.

Имаго клопа вредная черепашка *Eurygaster integriceps* Put. были заражены двумя видами мух-фазий: золотистой *Eliozeta helluo* F. и серой *Phasia subcoleopterata* L. В 2020 г. на золотистую приходилось 67,8 %, на серую – 32,2 %, в 2021 г. – 71,4 % и 28,6 % соответственно (см. табл.).

Видовой состав мух фазий, паразитирующих на клопе вредная черепашка *E. integriceps* (ФНЦБЗР, 2020–2021 гг.)

Дата	Проанализировано имаго, шт.	Из них заражено, шт.	Вылетело паразитов					
			всего		в том числе			
					C. helluo		A. subcoleopterata	
			шт.	%	шт.	%	шт.	%
20.05.2020	184	37	28	75,6	19	67,8	9	32,2
16.05.2021	148	29	21	72,4	15	71,4	6	28,6

В результате сборов, проведенных в садовых, полевых и лесных ценозах СПК «ДЕ-ГУСТО» (поселок Эльхотово, северо-западная часть Северной Осетии), был установлен следующий таксономический состав двукрылых:

семейство Asilidae – *Choerades fimbriata* (Meigen, 1820), *Choerades marginata* (Linnaeus, 1758), *Dioctria cothurnata* (Meigen, 1820), *Dioctria harsyniae* (Loew, 1844), *Machimus rusticus* (Meigen, 1820), *Tolmerus cingulatus* (Fabricius, 1781);

семейство Drosophilidae – *Drosophila busckii* (Cocquillet, 1901), *Stegana furta* (Linnaeus, 1766);

семейство Syrphidae – *Sphaerophoria menthastri* (Linnaeus, 1758), *Myathropa florea* (Linnaeus, 1758), *Sphaerophoria scripta* (Linnaeus, 1758);

семейство Tachinidae – *Phasia hemiptera* (Fabricius, 1794), *Cylindromyia brassicaria* (Fabricius, 1775), *Clytiomyia helluo* (Fabricius, 1794), *Alophora subcoleopterata* (Linnaeus, 1758);

семейство Sepsidae – *Sepsis fulgens* (Meigen, 1826), *Eristalis arbustorum* (Linnaeus, 1758);

семейство Chloropidae – *Cetema cereris* (Fallén, 1820), *Cetema elongatum* (Meigen, 1830), *Cetema myopinum* (Loew, 1866), *Chlorops interruptus* (Meigen, 1830);

семейство Tabanidae – *Chrysops caecutiens* (Linnaeus, 1758), *Haematopota pluvialis* (Linnaeus, 1758), *Tabanus autumnalis* (Linnaeus, 1761);

семейство Therevidae – *Thereva caucasica* (Krober, 1913), *Thereva unica* (Harris, 1780).

Самыми крупными из выявленных таксонов энтомофагов были семейства Asilidae – 23 % и Tachinidae – 15 % (рис. 2). Менее многочисленны представители семейства Syrphidae – 11 %, которые относятся к афидофагам. Наиболее вредоносны из выявленных таксонов семейства злаковых мух (Chloropidae) и плодовых мушек (Drosophilidae). В составе подотряда короткоусых двукрылых на их долю пришлось соответственно 15 % и 8 %.

Из 26 видов короткоусых двукрылых, обнаруженных в ходе исследования в поселке Эльхотово, 13 видов относятся к энтомофагам. Их доля составляет 50 % от общего количества.

Выявленные в условиях СПК «ДЕ-ГУСТО» двукрылые относятся к широко распространенным эвритоным видам. К вредителям сельского хозяйства на этой территории можно отнести представителей семейства злаковых мух Chloropidae и плодовых мушек Drosophilidae.

Таким образом, в результате фаунистических сборов в ряде урбо- и экосистем Краснодарского края и Северной Осетии выявлено 94 вида, относящихся к 16 семействам, из которых 54 вида – энтомофаги. Среди обнаруженных видов энтомофагов важное сельскохозяйственное значение имеют представители семейства Syrphidae, питающиеся

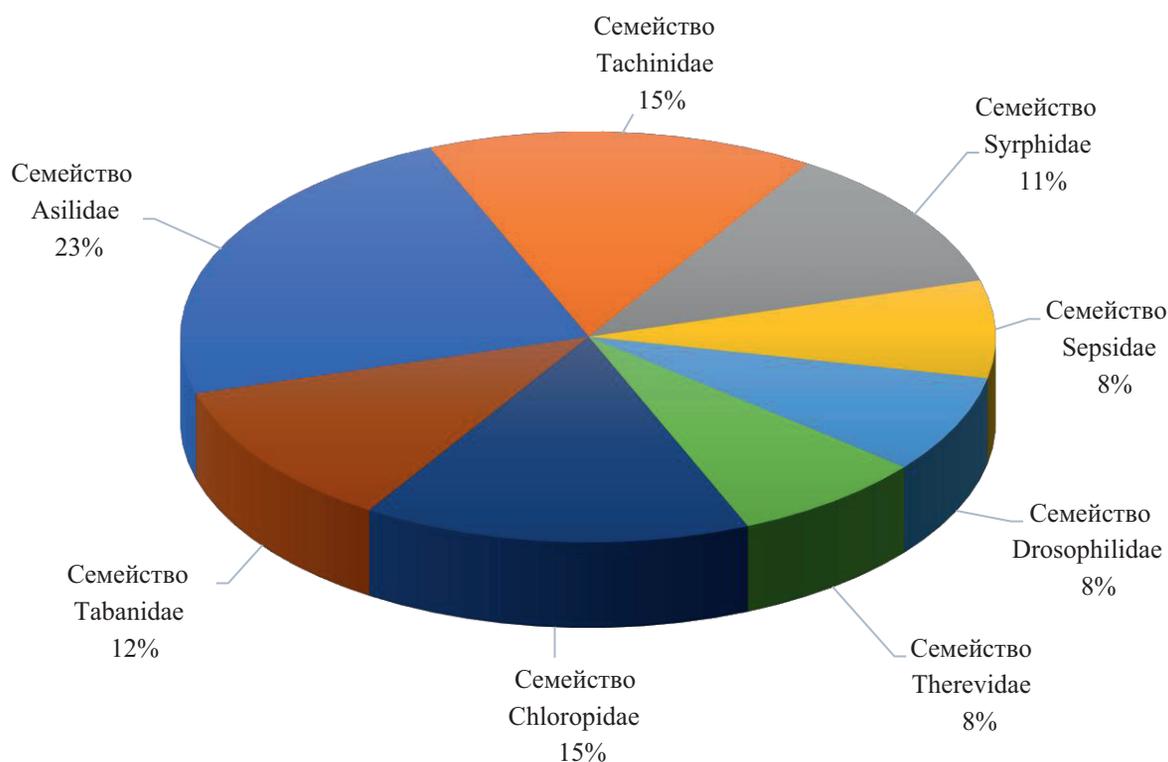


Рис. 2. Процентное соотношение числа выявленных видов в семействах короткоусых двукрылых (поселка Эльхотово, 2021 гг.).

мелкими гусеницами бабочек, тлями и другими насекомыми с нежными кожными покровами, и представители семейства Asilidae, поедающие хрущей, саранчовых, усачей и других вредителей. Семейство Tachinidae, паразитирующее на многих видах клопов-пентатомид представлено тремя видами *Phasia hemiptera* (Fabricius, 1794), *Clytiomyia helluo* (Fabricius, 1794), *Alophora subcoleopterata* (Linnaeus, 1758). Абсолютное большинство найденных в Краснодаре и его пригородах двукрылых относятся к экологически пластичным, эвритопным видам.

#### Благодарности

Авторы выражают благодарность кандидату биологических наук Костокову В. В. за помощь с подбором методик энтомологической работы и поиском подходящих определителей, Кандидату биологических наук Исмаилову В. Я. за предоставленную возможность посещения СПК «ДЕ-ГУСТО» и помощь, оказанную при написании статьи, доктору биологических наук Кустову С.Ю. и кандидату биологических наук Гладуну В. В. за помощь в определении двукрылых надсемейства Empidoidea и семейства Asilidae и предоставления доступа к коллекциям насекомых Кубанского государственного университета.

#### Литература.

1. Регулирующая роль энтомофагов доминантных вредителей озимой пшеницы в системах органического земледелия / М. В. Пушня, Е. Ю. Родионова, Е. Г. Снесарева и др. // *Достижения науки и техники АПК*. 2020. Т. 34. № 7. С. 49-55. doi: 10.24411/0235-2451-2020-10708.
2. Восстановление биоценотической регуляции в посевах зерновых культур с помощью естественного воспроизводства природных энтомофагов / Ж. А. Ширинян, М. В. Пушня, Е. Ю. Родионова и др. // *Сельскохозяйственная биология*. 2018. Т. 53. № 5. С. 1070-1079. doi: 10.15389/agrobiology.2018.5.1070rus.
3. Shirinyan Z. A., Ismailov V. Y. Ecological and biocenotic regularities of the spatial distribution of phytophages and entomophages in agroecosystems as the basis of non-pesticide protection of winter wheat against pests: Agro-biotechnological techniques for organic farming // *Entomological Review*. 2015. Vol. 95. No. 4. P. 425-430. doi: 10.1134/S0013873815040028.
4. Говоров Д. Н., Живых А. В., Никулин А. Н. Энтомофаги: производство и применение в Российской Федерации // *Защита и карантин растений*. 2021. № 8. С. 10-11. doi: 10.47528/1026-8634\_2021\_8\_10.
5. Исмаилов В. Я., Команцев А. А. Влияние беспестицидной системы защиты овощного гороха на восстановление биоразнообразия и механизмов естественной биоценотической регуляции // *Достижения науки и техники АПК*. 2022. Т. 36. № 4. С. 94-99. doi: 10.53859/02352451\_2022\_36\_4\_94.
6. Кривошеина Н. П., Кривошеина М. Г. Определитель двукрылых насекомых подотряда Brachycera-Orthorrhapha по личинкам: монография. М.: Товарищество научных изданий КМК. 2015. 384 с.
7. Safarova E., Ismayilova Z. The role of entomophagous in the protection of decorative biodiversity in Absheron: Nature and Science. 2022. Vol. 4. No. 1. P. 25-29. doi: 10.36719/2707-1146/16/25-29.
8. Мамедов З. М., Алиева А. Р. Энтомофаги основных вредителей лесных и плодовых культур в Ленкоранской зоне Азербайджана // *Юг России: экология, развитие*. 2010. Т. 5. № 3. С. 65-68.
9. Овсянникова Е. И., Гричанов И. Я. Хищные мухи-зеленушки в яблоневых экосистемах Северо-Запада РФ // *Защита и карантин растений*. 2021. № 4. С. 43-45. DOI 10.47528/1026-8634\_2021\_4\_43.
10. Шамиев, И. В. Хищные мухи семейства Hybotidae в агроценозах // *Информационный бюллетень ВПРС МОББ*. 2017. № 52. С. 315-320.
11. Маркова Т. О., Ретти Н. В., Маслов М. В. Ареалогический анализ фауны двукрылых (Diptera: Tachinidae, Phasiinae) Южного Приморья // *Вестник КрасГАУ*. 2015. № 5(104). С. 27-30.
12. Фенологический аспект имаго фауны (Diptera, Tachinidae, Phasiinae) Южного Приморья Дальнего Востока России / Т. О. Маркова, М. В. Маслов, Н. В. Ретти и др. // *Вестник КрасГАУ*. 2016. № 12(123). С. 165-170.
13. Фаунистический состав и трофические связи личинок тахин (Diptera: Tachinidae) подсемейства Exoristinae Приморского края Дальнего Востока России / Т. О. Маркова, М. В. Маслов, Н. В. Ретти и др. // *Вестник КрасГАУ*. 2018. № 6(141). С. 225-229.
14. Кривошеина Н. П. Экологические связи личинок журчалок (Diptera, Syrphidae, Eristalinae) – обитателей зоны коры – с ксилобионтными насекомыми // *Известия Российской академии наук. Серия биологическая*. 2020. № 6. С. 616-628. doi: 10.31857/S0002332920060090.
15. Dual ecosystem services of syrphid flies (Diptera: Syrphidae): pollinators and biological control agents / L. Dunn, M. Lequerica, CR. Reid et al. // *Pest Manag Sci*. 2020 Vol. 76. No. 6. P/1973-1979. doi: 10.1002/ps.5807.
16. Heimbürg H., Doczkal D., Holzinger W.E. A checklist of the hoverflies (Diptera: Syrphidae) of Austria. *Zootaxa*. 2022. Vol. 5115. No. 2. P. 151-209. doi: 10.11646/zootaxa.5115.2.1.
17. Хищные мухи в полевых агроценозах на северо-западе Нечерноземной зоны России / А. М. Шпанев, С. В. Голубев, И. В. Шамиев et al. // *Вестник защиты растений*. 2017. № 1(91). С. 42-48.
18. Kustov S., Zhrebilo D. New data on the genus *Wiedemannia Zetterstedt* (Diptera: Empididae) from the Caucasus with description of four new species / S. Kustov, D. Zhrebilo // *Zootaxa*. 2015. Vol. 4032. No 4. P. 351-369. doi: 10.11646/zootaxa.4032.4.1.
19. Kustov S., Shamshev I., Grootaert P. Six new species of the *Platypalpus pallidiventris-cursitans* group (Diptera: Hybotidae) from the Caucasus // *Zootaxa*. 2014. Vol. 3779. No. 5. P. 529-539. doi: 10.11646/zootaxa.3779.5.3.
20. Вольфов, Б. И. Эколого-фаунистический обзор мух-зеленушек (Diptera, Dolichopodidae) Северо-Западного Кавказа: диссертация на соискание ученой степени кандидата биологических наук. Краснодар, 2010. 244 с.
21. Кустов С. Ю. Вопросы охраны эмпиоидных мух (Diptera: Empididae, Hybotidae, Atelestidae, Brachystomatidae) на Северо-Западном Кавказе // Санкт-Петербург: Всероссийский научно-исследовательский институт защиты растений РАСХН, 2017. 103 с.
22. Астахов, Д. М. Хищные мухи ктыри (Diptera: Asilidae) Нижнего Поволжья. Санкт-Петербург: Русское энтомологическое общество, 2015. 410 с. doi: 10.47640/1605-7678\_2015\_86\_1\_4
23. Гербачевская А.А., Городков К.Б., Грунин К.Я. Определитель насекомых Европейской части СССР: в пяти томах // Зоологический Институт РАН. Ленинград: Наука, 1969. С. 808

Поступила в редакцию 04.04.2022  
После доработки 28.05.2022  
Принята к публикации 27.06.2022

**МОРФОЛОГО-КУЛЬТУРАЛЬНЫЕ СВОЙСТВА ВОЗБУДИТЕЛЕЙ СЕПТОРИОЗОВ ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР ИЗ РАЗЛИЧНЫХ АГРОКЛИМАТИЧЕСКИХ ЗОН РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ\***

**Ю.В. Зеленева**<sup>1</sup> доктор биологических наук, **И.Б. Аблова**<sup>2</sup> доктор сельскохозяйственных наук, член-корреспондент РАН, **В.П. Судникова**<sup>3</sup> кандидат сельскохозяйственных наук, **Л.М. Мохова**<sup>2</sup> кандидат сельскохозяйственных наук, **Э.А. Конькова**<sup>4</sup> кандидат сельскохозяйственных наук

<sup>1</sup>Всероссийский научно-исследовательский институт защиты растений,  
196608, Санкт-Петербург, Пушкин, ш. Подбельского, 3  
E-mail: info@vizr.spb.ru

<sup>2</sup>Национальный центр зерна имени П. П. Лукьяненко,  
350012, Краснодар, Центральная усадьба, НЦЗ им. П.П. Лукьяненко  
E-mail: ablova@mail.ru

<sup>3</sup>Среднерусский филиал Федерального научного центра им. И. В. Мичурина,  
392553, Тамбовская обл., Тамбовский р-н., пос. Новая Жизнь, ул. Молодежная  
E-mail: tmsnifs@mail.ru

<sup>4</sup>Федеральный аграрный научный центр Юго-Востока,  
410010, Саратов, ул. Тулайкова, 7  
E-mail: raiser\_saratov@mail.ru

*Изучение морфолого-культуральных свойств и структуры внутривидовой дифференциации популяций септориозов зерновых культур позволяет обосновать качественный состав биоматериала, обеспечивающего объективную оценку устойчивости растений-хозяев. Цель исследований – охарактеризовать структуру популяций грибов, вызывающих септориозные пятнистости зерновых культур в разных агроклиматических зонах Российской Федерации по морфолого-культуральным свойствам. За 2021 г., проведено изучение морфолого-культуральных свойств возбудителей септориозов зерновых культур пяти зернопроизводящих федеральных округов Российской Федерации (Южного, Северо-Кавказского, Нижневолжского, Центрального, Северо-Западного). Изучено не менее 100 моноконидиальных изолятов, полученных с каждого инфекционного образца. Описаны размеры колоний, их структура, окраска, интенсивность споруляции. Среди изолятов *Z. tritici* преобладали быстрорастущие высокоспорующие дрожжеподобные колонии. В популяциях из Ростовской и Воронежской областей чаще отмечали смешанные колонии. С помощью критерия Краскала-Уоллиса показано влияние условий, складывающихся в течение вегетации растения хозяина, на морфолого-культуральные свойства патогена. Колонии рода *Parastagonospora* имели хорошо развитый порошистый, шерстистый или бархатистый мицелий. Размер колоний достигал 80...90 мм в диаметре. Отмечали среднюю и высокую спорующую активность колоний. Описаны редкие виды – *P. avenae* f. sp. *avenaria* с яровой овса из Тамбовской области и *Septoria trititicolobii* с яровой тритикале и яровой мягкой пшеницы из Краснодарского края. Полученные моноконидиальные колонии *P. avenae* f. sp. *avenaria* были однородными серого цвета, формировали много пикнид и характеризовались высокой спорующей. Моноконидиальные изоляты гриба *S. trititicolobii* в чистой культуре были зонального типа: в центре колонии белые, серые, гранулированные, по краям – серые с плотным войлочным мицелием; пикнид много, споруляция высокая.*

**MORPHOLOGICAL AND CULTURAL PROPERTIES OF GRAIN SEPTORIA PATHOGENS IN VARIOUS AGROCLIMATIC ZONES OF THE RUSSIAN FEDERATION**

**Yu.V. Zeleneva**<sup>1</sup>, **I.B. Ablova**<sup>2</sup>, **V.P. Sudnikova**<sup>3</sup>, **L.M. Mikhova**<sup>2</sup>, **E.A. Konkova**<sup>4</sup>

<sup>1</sup>All-Russian Institute of Plant Protection,  
196608, Sankt-Peterburg, Pushkin, sh. Podbel'skogo, 3  
E-mail: info@vizr.spb.ru

<sup>2</sup>National Center of Grain named after P.P. Lukyanenko,  
350012, Krasnodar, Tsentral'nayasad'ba, NTsZim. P.P. Luk'yanenko  
E-mail: ablova@mail.ru

<sup>3</sup>Middle-Russian Affiliates of the Federal Research Center named after I.V. Michurin,  
392553, Tambovskaya obl., Tambovskii r-n., pos. Novaya Zhizn', ul. Molodezhnaya  
E-mail: tmsnifs@mail.ru

<sup>4</sup>Federal Agrarian Scientific Center of the South-East,  
410010, Saratov, ul. Tulaykova, 7  
E-mail: raiser\_saratov@mail.ru

*The study of morphological and cultural properties together with the structure of intraspecific differentiation of septoria blight populations of grain crops makes it possible to substantiate the qualitative composition of the biomaterial, which provides an objective assessment of the resistance of host plants. The aim of the given research is to characterize the structure of fungal populations that cause septoria spotting of grain crops in different agroclimatic zones of the Russian Federation in terms of morphological and cultural properties. Within the period of 2021, a study of the morphological and cultural properties of pathogens of grain crops septoria blight has been conducted in five grain-producing federal districts of the Russian Federation (South and North Caucasus, the Lower Volga region, Central, North-Western). At least 100 monoconidial isolates obtained from each infectious sample were studied. The sizes of colonies, their structure, coloring, intensity of sporulation are described. Among *Zymoseptoria tritici* isolates, rapid-growing highly sporulating yeast-like colonies prevailed. In populations from the Rostov and Voronezh regions, mixed colonies were noted more often. Using the Kruskal-Wallis test, the influence of the conditions that develop during the vegetation period of the host plant on the morphological and cultural properties of the pathogen is shown. Colonies of the *Parastagonospora* genus had well-developed*

\*работа выполнена при поддержке Российского научного фонда, проект № 19-76-30005.

*powdery, woolly or velvety mycelium. The size of the colonies reached 80-90 mm in diameter. Both medium and high sporulating activity of colonies were noted. Rare species are described – those are P. avenae f. sp. avenaria from Tambov region spring oats and Septoria trititicola Lobik from Krasnodar region spring triticale and soft spring wheat. The resulting monoconidial colonies of P. avenae f. sp. avenaria were uniform gray in color, formed many pycnidia, and were high-sporulating. Monoconidial isolates of the S. trititicola fungus in pure culture were of the zonal type: in the center of the colony they were white, gray, granular, while along the edges – gray, with dense felt-like mycelium; with multiple pycnidia and high sporulation.*

**Ключевые слова:** зерновые культуры, морфолого-культуральные свойства, распространение, септориозные пятнистости, фенотипическое разнообразие

**Key words:** grain crops, morphological and cultural properties, distribution, septoria spotting, phenotypic diversity

Одна из наиболее распространенных болезней зерновых культур – септориоз. Она поражает надземные органы растений и известна во всех зернопроизводящих странах [1, 2, 3]. При благоприятных условиях септориоз может достигать эпифитотийного уровня с прямыми потерями урожая более 40 % [4, 5].

Болезнь вызывают несколько видов патогенов. *Zymoseptoria tritici* (Desm.) Quaedvl. & Crous – возбудитель септориоза листьев пшеницы, тритикале, ячменя, ржи. Относится к семейству Mucosphaerellaceae. До недавнего времени этот вид доминировал и был наиболее вредоносен в южных регионах России: на Северном Кавказе, в Нижнем Поволжье, в Центрально-Черноземном регионе. Однако в связи с климатическими изменениями *Z. tritici* начал встречаться в патогенном комплексе септориозных пятнистостей и наносить существенный ущерб производству на полях Псковской, Новгородской, Ленинградской, Московской областей [4, 6, 7].

Кроме того, на сегодняшний день на территории России зафиксировано два вида рода *Parastagonospora*, включающие три формы, способные вызывать септориоз злаков: *Parastagonospora nodorum* (Berk.) Quaedvl., Verkley & Crous, *Parastagonospora avenae* (AB Frank) Quaedvl., Verkley & Crousf. sp. triticea (пшеничная форма), *Parastagonospora avenae* (AB Frank) Quaedvl., Verkley & Crousf. sp. avenaria (овсяная форма). Они относятся к семейству Phaeosphaeriaceae. Вид *P. nodorum* – вызывает септориоз листьев и колосьев пшеницы. Он, как и *Zymoseptoria tritici*, распространен повсеместно. Вид *P. avenae* в посевах зерновых регистрируют к концу вегетационного периода на листьях, стеблях и колосьях. *P. avenae* – опасный патоген зерновых культур во всем мире [1, 8, 9].

На полях Краснодарского края пшеницу поражает *Septoria trititicola* Lobik [10].

Систематический мониторинг популяционной структуры фитопатогенов – один из важных этапов разработки мероприятий по производству экологически безопасной продукции в условиях меняющегося климата. Непременное условие результативности селекции на устойчивость –

наличие исчерпывающей информации о внутривидовой дифференциации популяций возбудителей болезней. Знания внутривидовой структуры фитопатогенов необходимы для селекционно-генетической защиты сельскохозяйственных растений от болезней [11, 12].

Один из элементов фитосанитарной стабилизации агроценоза посевов пшеницы – анализ популяции гриба и, в частности, изучение морфолого-культуральных свойств. В связи с изложенным, целью исследований – охарактеризовать структуру популяций грибов, вызывающих септориозные пятнистости зерновых культур в разных агроклиматических зонах России, по морфолого-культуральным свойствам.

**Методика.** Образцы пораженных растений собирали в 2021 г. в Ленинградской, Тамбовской, Липецкой, Воронежской, Курской, Саратовской, Ростовской областях, в Краснодарском крае, республиках Калмыкия, Дагестан, Адыгея. Метеоусловия в указанных регионах в 2021 г. способствовали развитию септориозных инфекций. Степень поражения инфекционного материала, отобранного для анализа (листья, колосья, побеги) варьировала от 10 до 60 %. При изучении видового состава септориозных пятнистостей проанализировали 159 инфекционных образцов зерновых культур – пшеницы, тритикале, ржи, ячменя, овса (табл. 1).

Для диагностики видов грибов изначально использовали микроскопический анализ фрагментов пораженной ткани [13]. Его результаты подтверждали методом секвенирования с использованием оборудования ЦКП «Геномные технологии, протеомика и клеточная биология» ФГБНУ ВНИИСХМ».

Колонии грибов выращивали на картофельно-глюкозном агаре (КГА). Описание культурально-морфологических признаков изолятов возбудителей септориоза проводили на 20-й (*P. nodorum*, *P. avenae*, *S. trititicola*) и 30-й (*Z. tritici*) день. Отмечали размер (для *Z. tritici*), характер строения и окраску колоний, а также интенсивность споруляции гриба [13].

Для изучения показателя скорости роста колоний *Z. tritici* на КГА измеряли диаметр колоний на 30 день,

**Табл. 1. Происхождение инфекционных образцов зерновых культур**

Происхождение	Всего образцов	Озимая пшеница	Яровая пшеница	Тритикале озимая	Тритикале яровая	Рожь озимая	Ячмень яровой	Овёс яровой
Тамбовская область	91 (57 %)*	33	31	0	0	0	0	27
Ленинградская область	21 (13 %)	17	0	2	0	1	1	0
Краснодарский край	15 (9 %)	6	8	0	1	0	0	0
Республика Дагестан	7 (4 %)	4	2	0	1	0	0	0
Саратовская область	7 (4 %)	3	1	3	0	0	0	0
Липецкая область	6 (4 %)	5	1	0	0	0	0	0
Республика Калмыкия	5 (3 %)	5	0	0	0	0	0	0
Воронежская область	4 (3 %)	4	0	0	0	0	0	0
Курская область	1 (1 %)	0	1	0	0	0	0	0
Ростовская область	1 (1 %)	1	0	0	0	0	0	0
Республика Адыгея	1 (1 %)	1	0	0	0	0	0	0
Итого	159 (100 %)	80 (50 %)	43 (27 %)	5 (3 %)	2 (1 %)	1 (1 %)	1 (1 %)	27 (17 %)

\*в скобках указана доля от общего числа изученных

Табл. 2. Частота морфологических типов колоний изолятов *Zyoseptoria tritici*, выращенных на КГА, %

Происхождение изолятов	Тип колоний										
	дрожжеподобные			смешанные						мицелиальные	
	I(a)	I(b)	I(c)	II(a)	II(b)	II(c)	II(d)	II(e)	II(f)	III(a)	III(b)
Ленинградская область	11,8	9,4	22,8	0	19,8	16,4	0	4,1	14,3	1,4	0
Ростовская область	0	0	36,3	0	0	0	0	0	61,3	2,4	0
Республика Дагестан	8,8	5,3	47,4	0	33,3	0	0	0	0	3,4	1,8
Саратовская область	11,1	0	33,3	0	22,2	33,4	0	0	0	0	0
Тамбовская область	9,2	58,0	26,0	0	0	0	0	0	1,2	5,6	0
Липецкая область	0	39,1	32,3	2,0	2,4	2,9	4,0	0	9,8	0	7,5
Воронежская область	15,6	33,3	16,2	0	0	0	0	0	34,9	0	0
Курская область	0	0	100	0	0	0	0	0	0	0	0
Краснодарский край	3,3	5,9	21,1	7,6	0,3	10,2	4,4	2,4	14,2	22,9	7,7
Республика Калмыкия	0	36	34,7	2,7	12	0	9,3	0	1,3	4,0	0
Среднее значение	6,0	18,7	37,0	1,2	9,0	6,3	1,8	0,7	13,7	4,0	1,7
Стандартная ошибка среднего	1,9	6,6	7,6	0,8	3,9	3,5	1,0	0,5	6,3	2,2	0,9

согласно методическим рекомендациям, и классифицировали на медленно- (< 10 мм), средне- (10...15 мм) и быстрорастущие (> 15 мм).

По интенсивности споруляции на питательной среде изоляты грибов разделяли на три группы: I–слабоспорующие, II–среднеспорующие, III–высокоспорующие [14].

Для определения различий между изолятами *Z. tritici*, полученными с растений из разных агроклиматических зон, по морфолого-культуральным свойствам использовали непараметрический критерий Краскела-Уоллиса (H). Критический уровень значимости при проверке статистических гипотез (p) принимался равным 0,04. Статистическую обработку данных проводили с использованием компьютерной программы «STATISTICA 12».

Все фотографии и рисунки, представленные в работе, авторские и публикуются впервые.

**Результаты и обсуждение.** Для изолятов *Z. tritici* в начале развития характерны колонии розового цвета, по внешнему виду напоминающие бактериальные. Позднее колонии становятся мицелиальными, дрожжеподобными, смешанными с различной окраской. По внешнему виду и характеру строения колонии грибов были представлены всеми тремя возможными морфотипами (табл. 2). В пределах каждого морфотипа они варьировали по окраске. Практически во всех агроклиматических зонах преобладали дрожжеподобные колонии с морфотипами I(b) – черные гофрированные или I(c) – черные гофрированные с розовой каймой. Исключением стали изоляты из Саратовской области. В этой популяции в равной степени отмечены дрожжеподобные колонии с морфотипом I(c) (33,3 %), и смешанные колонии II(c) – серые, центр дрожжеподобный розовый (33,4 %). В популяциях из Ростовской и Воронежской областей преобладали смешанные колонии с морфотипом II(f) – центр дрожжеподобный чёрный, край мицелиальный светлый (61,3 % и 34,9 % соответственно). В популяции из Краснодарского края отмечены колонии с морфотипом III(a) – белые или серые колонии с частотой 22,9 %, им незначительно уступили колонии с морфотипом I(c) – 21,1 %.

На основании критерия Краскела-Уоллиса установлено, что наиболее сильно отличаются от остальных выборок группы изолятов из Краснодарского края, Ленинградской и Липецкой области (табл. 3). При этом его значения достоверны для всех групп. Следовательно, можно говорить о влиянии условий, складывающихся в течении вегетации растения хозяина на морфолого-культуральные свойства патогена.

Табл. 3. Дисперсионный анализ показателей частоты морфологических типов колоний изолятов *Z. tritici*, выращенных на КГА, в зависимости от места сбора инфекционного материала (критерий Краскела-Уоллиса: H (9, N= 110) = 17,65)

Сравниваемые группы	Сумма рангов	Среднее значение ранга
Курская область	390,0	35,45
Саратовская область	459,0	41,73
Ростовская область	500,0	45,45
Воронежская область	576,5	52,41
Тамбовская область	582,0	52,91
Республика Дагестан	625,5	56,86
Республика Калмыкия	676,0	61,45
Липецкая область	704,0*	64,00*
Ленинградская область	746,0*	67,82*
Краснодарский край	846,0*	76,91*

\*значимо на уровне p<0,04

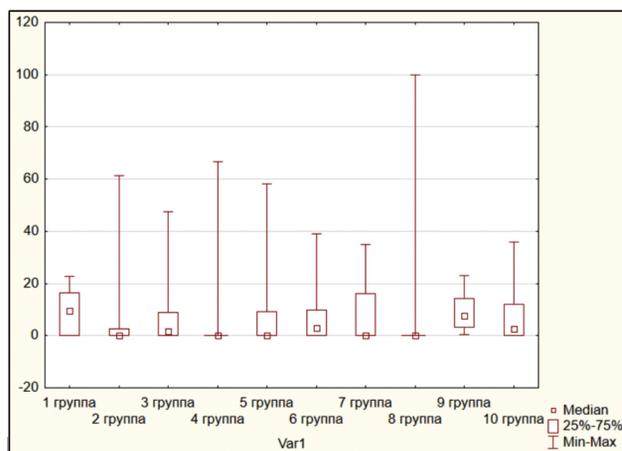
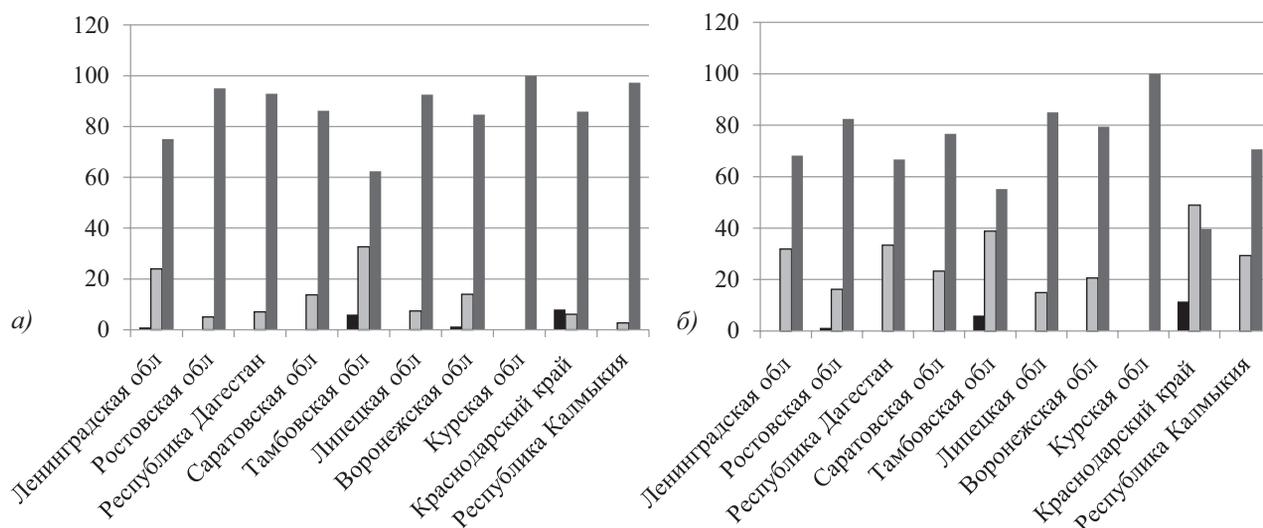


Рис. 1. Медианный тест для установления различий между изолятами *Zyoseptoria tritici*, из различных агроклиматических зон: 1 группа – Ленинградская область; 2 группа – Ростовская область; 3 группа – Республика Дагестан; 4 группа – Саратовская область; 5 группа – Тамбовская область; 6 группа – Липецкая область; 7 группа – Воронежская область; 8 группа – Курская область; 9 группа – Краснодарский край; 10 группа – Республика Калмыкия.



**Рис. 2. Частота морфологических типов колоний изолятов *Zymoseptoria tritici*, различающихся по скорости роста и интенсивности споруляции, выращенных на КГА, %:** а) ■ – медленнорастущие (< 10 мм); ■ – среднерастущие (10...15 мм); ■ – быстро растущие (> 15 мм); б) ■ – слабоспорулирующие (< 10 млн спор/см<sup>2</sup>); ■ – среднеспорулирующие (10...50 млн спор/см<sup>2</sup>); ■ – высокоспорулирующие (> 50 млн спор/см<sup>2</sup>).

Такое предположение подтверждает анализ диаграммы размаха (медианный тест). На ней видно, что наибольшие отличия от остальных образцов наблюдаются у изолятов из Краснодарского края, Ленинградской и Липецкой области (рис. 1). Ранее, с использованием F-критерия Фишера, было также показано влияние жизненной формы и вида пшеницы на частоту морфологических типов колоний изолятов *Z. tritici* [12].

Колонии вида *Z. tritici* имели небольшие размеры. При этом у дрожжеподобных колоний они, как правило, составляли 5...17 мм, у мицелиальных – 25...30 мм. Самыми распространёнными колониями в изученных популяциях *Z. tritici* были быстро растущие с высокой спорулирующей активностью (рис. 2). Среди колоний из Краснодарского края преобладали (48,9 %) среднеспорулирующие. Репродуктивная способность штамма очень важный показатель. Для иммунологических исследований лучше использовать штаммы с высокой споруляцией на питательной среде (*in vitro*). Однако следует учитывать, что не всегда отмечается прямая связь между спорулирующей активностью и патогенностью [5].

Колонии большинства изолятов рода *Parastagonospora* имели хорошо развитый, порошистый, шерстистый или бархатистый мицелий с различным количеством пикнид. Размер колоний изолятов видов *P. nodorum* и *P. avenae* достигал 80...90 мм в диаметре.

Среди изолятов *P. nodorum* из Ленинградской области преобладали (40 %) смешанные колонии с III фенотипом (середина – бурая, по периферии – светлые, шерстистые; пикнид много). Колоний микроорганизмов из Тамбовской области (табл. 4) были в равной степени (по 50 %) представлены фенотипами III и I(в) (поверхность белая, светло-серая, ватообразная, не ровная, складчатая или бугристая; пикнид мало или они отсутствуют). Среди колоний популяции *P. nodorum* из Краснодарского края – преобладали (по 40 %) III и II(б) (поверхность темно-бурая, шерстистая или шерстисто-порошистая; пикнид много) фенотипы. В популяции из Саратовской области отмечены только светлые колонии с фенотипами I(а) (розовый гранулированный мицелий, редко – воздушный; пикнид много) и I(в) с частотой по 50 %. Среди колоний микроорганизмов из Республики Адыгеи зарегистрирован только фенотип II(б).

Колонии всех изученных популяций обладали высокой спорулирующей активностью (> 10 млн спор/см<sup>2</sup>). Среди изолятов *P. nodorum* из Тамбовской области и Краснодарского края были отмечены среднеспорулирующие колонии (1...10 млн спор/см<sup>2</sup>), частота встречаемости которых не превышала 15,5 % и 17 % соответственно.

Среди изолятов *P. avenae* f. sp. *triticea* из Ленинградской области отмечены однородные колонии с фенотипом д(5) (серые, оливковые, мицелий в центре скудный и плотный; пикнид много). Для популяции гриба из Саратовской области было характерно наличие двух фенотипов: однородные г(4) (колонии темно-серые, оливковые, мицелий плотный в центре и редкий по краям; пикниды внутри субстрата) и смешанные б(7) (в центре колонии белые, гранулированные, по краям – темно-серые с плотным войлочным мицелием; пикниды есть) с частотой по 50 % (табл. 5). В популяции из Тамбовской области преобладали (30 %) однородные колонии с фенотипом б(2) (розовые, серые, гранулированные, мицелий редкий; пикниды есть). Для колоний популяций *P. avenae* f. sp. *triticea* из Курской и Воронежской областей был характерен фенотип б(7), из Краснодарского края – преобладание (83,3 %) фенотипа г(4).

Слабоспорулирующих колоний *P. avenae* f. sp. *triticea* не наблюдали. Для колоний гриба популяций из Курской

**Табл. 4. Частота морфологических типов колоний изолятов *Parastagonospora nodorum*, выращенных на КГА, %**

Происхождение изолятов	Тип колоний				
	светлые (I)			темные (II)	смешанные (III)
	I (а)	I (б)	I (в)	II (б)	
Ленинградская область	20	16,7	16,7	6,6	40
Саратовская область	50	0	50	0	0
Республика Адыгея	0	0	0	100	0
Тамбовская область	0	0	50	0	50
Краснодарский край	20	0	0	40	40
Среднее значение	18,0	3,3	23,3	29,3	26,0
Стандартная ошибка среднего	9,2	3,3	11,3	19,2	10,7

**Табл. 5. Частота морфологических типов колоний изолятов *Parastagonospora avenae* f. sp. triticea, выращенных на КГА, %**

Происхождение изолятов	Тип колоний					
	однородные (I)				смешанные (зональные) (II)	
	а(1)	б(2)	г(4)	д(5)	б(7)	в(8)
Ленинградская область	0	0	0	100	0	0
Саратовская область	0	0	50	0	50	0
Тамбовская область	22,3	30	0	9,1	27,3	11,3
Курская область	0	0	0	0	100	0
Краснодарский край	0	16,7	83,3	0	0	0
Воронежская область	0	0	0	0	100	0
Среднее значение	3,7	7,8	22,2	18,2	46,2	1,9
Стандартная ошибка среднего	3,7	5,2	14,7	16,4	18,6	1,9

области и Краснодарского края были характерны только среднеспорулирующие колонии. В популяциях из Ленинградской, Воронежской и Тамбовской областей отмечены, как средне-, так и высокоспорулирующие колонии.

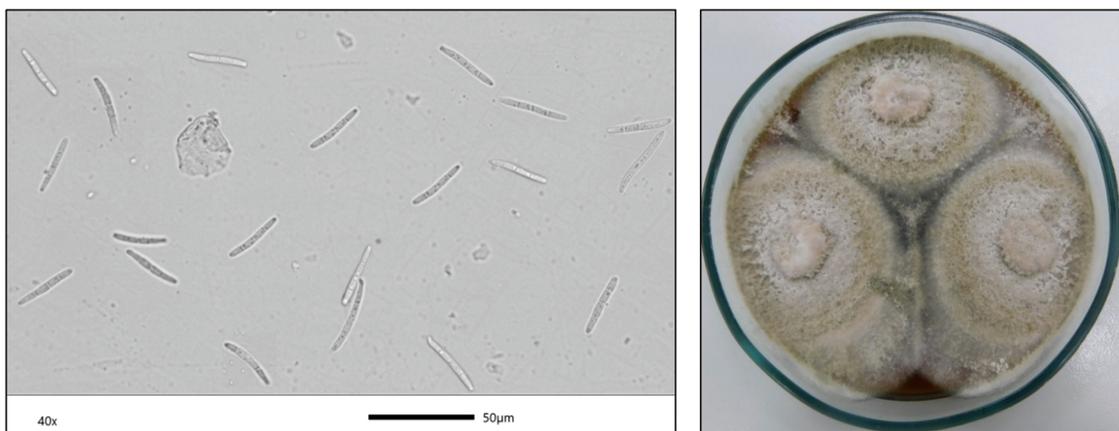
полиморфизмом. Причем отмечена зависимость культурально-морфологических признаков изолятов от жизненной формы сорта-хозяина, а также от температуры и влажности в весенне-летний период [12].

В работе Моховой Л.М. впервые в условиях Краснодарского края был отмечен редкий вид *Septoria trititicola* Lobik [10]. Мы в представленной работе впервые в России приводим сведения по выделению его в чистую культуру и изучению морфолого-культуральных свойств.

Кроме того, аналогичные исследования проводят учёные из Казахстана [15], Беларуси [16] и др.

Таким образом, результаты ежегодного мониторинга внутривидовой структуры популяций возбудителей септориозных пятнистостей, формирующихся в посевах различных сортов зерновых культур, позволяют обосновать качественный состав биоматериала, обеспечивающего объективную оценку устойчивости растений-хозяев. Изучение морфолого-культуральных свойств септориозов зерновых культур приобретает особую актуальность в связи с современной тенденцией изменения климата и сортоосменой растений-хозяев.

На яровой овсе из Тамбовской области отмечен вид *Parastagonospora avenae* f. sp. avenaria. Эта форма вида *P. avenae*



**Рис. 3. Чистая культура и микропрепарат спор гриба *Parastagonospora avenae* f. sp. avenaria.**

Среди опубликованных зарубежными и отечественными специалистами работ по септориевым грибам, паразитирующим на злаках, к сожалению, изучению физиолого-биохимических и культуральных свойств, особенно на средах строго определённого состава, посвящено мало работ. Так, на основании проведённого анализа внутривидовой структуры гриба *Z. tritici* на территории Центрально-Черноземного региона было установлено, что этот вид обладает значительным

обладает строгой специализацией к виду-хозяину. Поражает только овёс. В отечественной литературе отсутствуют современные сведения по описанию морфолого-культуральных свойств этого фитопатогена. Мы получили моноконидиальные изоляты на картофельно-глюкозном агаре. Колонии были однородными серого цвета, формировали много пикнид и обладали высокой спорульцией (>10 млн спор/см<sup>2</sup>) (рис. 3).

На яровой тритикале и яровой мягкой пшенице из Краснодарского края идентифицирован вид *S. trititicola*



**Рис. 4. Чистая культура и микропрепарат спор гриба *Septoria trititicola* Lobik.**

Lobik (рис. 4), который относится к редким. В Российской Федерации он отмечен только в Краснодарском крае. Мы впервые в России выделили в чистую культуру моноконидиальные изоляты гриба *S. triticicola*. Колонии характеризовались зональным типом: в центре – белые, серые, гранулированные, по краям – серые, с плотным войлочным мицелием; пикнид много, споруляция высокая (>10 млн спор/см<sup>2</sup>).

Таким образом, проведённые исследования позволили охарактеризовать морфолого-культуральные свойства моноконидиальных изолятов грибов разных видов, вызывающих септориозные пятнистости зерновых в регионах Европейской части Российской Федерации.

Моноконидиальные изоляты *Z. tritici* были получены с зерновых из Ленинградской, Ростовской, Саратовской, Тамбовской, Липецкой, Воронежской, Курской областей, Республики Дагестан и Калмыкии, Краснодарского края. Среди изученных популяций преобладали быстрорастущие высокоспорующие дрожжеподобные колонии, реже со смешанным фенотипом.

Моноконидиальные изоляты *P. nodorum* выделены на КГА с зерновых из Ленинградской, Саратовской, Тамбовской областей, Республики Адыгея, Краснодарского края. Изоляты *P. avenae* f. sp. *triticea* выделены в чистую культуру с зерновых из Ленинградской, Саратовской, Тамбовской, Курской, Воронежской областей и Краснодарского края. Колонии рода *Parastagonospora* имели хорошо развитый порошистый, шерстистый или бархатистый мицелий. Размер колоний достигал 80...90 мм в диаметре. Отмечали среднюю и высокую спорующую активность колоний.

В результате проведенных исследований описаны морфолого-культуральные свойства на КГА редких видов *P. avenae* f. sp. *avenaria*, полученного с ярового овса из Тамбовской области, и *S. triticicola* Lobik с яровой тритикале и яровой мягкой пшенице из Краснодарского края. Колонии гриба *P. avenae* f. sp. *avenaria* были однородными серого цвета, формировали много пикнид и обладали высокой спорующей (>10 млн спор/см<sup>2</sup>). Колонии *S. triticicola* Lobik характеризовались зональным типом: в центре – белые, серые, гранулированные, по краям – серые, с плотным войлочным мицелием; пикнид много, споруляция высокая (>10 млн спор/см<sup>2</sup>).

#### Литература

1. *ToxA-Tsn1 interaction for spot blotch susceptibility in Indian wheat: an example of inverse gene-for-gene relationship* / S. Navathe, P.S. Yadav, R. Chand, et al. // *Plant Dis*. 2020. Vol. 104. No. 1. P. 71-81. doi: 10.1094/PDIS-05-19-1066-RE
2. *The main principles of formation of a collection of strains of the causative agents of septorioses of cereal crops* / E.V. Pakholkova, T.M. Kolomiets, N.N. Salnikova, et al. // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2021. P. 012001. URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/663/1/012001> (дата обращения: 12.07.2022). doi: 10.1088/1755-1315/663/1/012001
3. Бакулина А.В., Харина А.В., Широких А.А. Септориоз листьев и колоса пшеницы: генетический контроль

устойчивости хозяина (обзор) // *Теоретическая и прикладная экология*. 2020. № 2. С. 26-35. doi: 10.25750/1995-4301-2020-2-026-035

4. Пахолкова Е.В., Сальникова Н.Н. Частота встречаемости потенциально опасных рас в региональных популяциях *Zymoseptoria tritici* на посевах пшеницы // *Аграрная наука*. 2019. № S1. С. 99-103. doi: 10.32634/0869-8155-2019-326-1-99-103
5. Пахолкова Е.В., Сальникова Н.Н., Куркова Н.А. Генетическая структура региональных популяций *Mycosphaerella graminicola* (*Septoria tritici*) – возбудителя септориоза пшеницы (*Triticum aestivum* L.) // *Сельскохозяйственная биология*. 2016. Т. 51. № 5. С. 722-730. doi: 10.15389/agrobiology.2016.5.722rus
6. Фитосанитарное состояние зерновых культур на Северо-Западе России в 2018 г / Е. И. Гуляева, Е. Л. Шайдаюк, М. М. Левитин и др. // *Защита и карантин растений*. 2019. № 5. С. 30-31.
7. Филенко Г.А., Фирсова Т.И., Скворцова Ю.Г. Потери зерна при уборке озимой пшеницы (обзор) // *Зерновое хозяйство России*. 2018. № 1(55). С. 28-32.
8. *Phylogenetic and population genetic analyses of Phaeosphaeria nodorum and its close relatives indicate cryptic species and an origin in the Fertile Crescent* / M.C. McDonald, M. Razavi, T.L. Friesen, et al. // *Fungal Genet. Biol.* 2012. Vol. 49 No. 11. P. 882-895. doi: 10.1016/j.fgb.2012.08.001
9. *Global diversity and distribution of three necrotrophic effectors in Phaeosphaeria nodorum and related species* / M.C. McDonald, R.P. Oliver, T.L. Friesen, et al. // *New Phytol.* 2013. Vol. 199 No. 1. P. 241-251. doi: 10.1111/nph.12257
10. Мохова Л.М. Селекционно-иммунологические аспекты устойчивости пшеницы и тритикале к возбудителю *Septoria tritici* Rob. et Desm. : дисс. ... к. с.- н. Краснодар. 2008. 185 с.
11. Кононенко О.С., Шишкин Н.В., Дерова Т.Г. Септориоз озимой пшеницы (*Zymoseptoria tritici*) (обзор литературы) // *Зерновое хозяйство России*. 2021. № 6 (78). С. 104-108. doi: 10.31367/2079-8725-2021-78-6-104-108
12. Зеленева Ю.В., Афанасенко О.С., Судникова В.П. Влияние агроклиматических условий, жизненной формы и вида хозяина на видовой комплекс возбудителей септориоза пшеницы // *Поволжский экологический журнал*. 2020. №2. С. 177-190. doi: 10.35885/1684-7318-2020-2-177-190
13. Методы оценки устойчивости селекционного материала и сортов пшеницы к септориозу: метод. указ. / Г.В. Пыжикова, А.А. Санина, Л.М. Супрун и др. М.: ВНИИ фитопатологии, 1989. 43 с.
14. Диагностика, учёт и защитные мероприятия против септориоза пшеницы (рекомендации) / Г.В. Пыжикова, С.С. Санин, А.А. Санина и др. // М.: ВО «Агропромиздат», 1988. 22 с.
15. Койшибаев М.К. Защита зерновых культур от болезней с воздушно – капельной инфекцией: практическое руководство. Алматы: Сингента, 2006. 27с.
16. Krupenko N.A., Odintsova I.N. Characterization of *Zymoseptoria tritici* populations in Belarus by morphologic and cultural features/ *Plant Protection News*. 2021. Vol. 104. No. 4. P. 223–225. doi: 10.31993/2308-6459-2021-104-4-15053.

Поступила в редакцию 10.03.2022  
 После доработки 02.06.2022  
 Принята к публикации 27.07.2022

**Агрочововедение и агроэкология**

УДК 631.437.226.2

DOI: 10.31857/S2500262722040068, EDN: GDRBIE

**ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ОБЛИК ПОЧВ КАК ОСНОВА ИХ АГРОЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА\*****А.Я. Воронин<sup>1</sup>**, кандидат сельскохозяйственных наук, **И.Ю. Савин<sup>1,2</sup>**, академик РАН<sup>1</sup>Федеральный исследовательский центр «Почвенный институт им. В.В. Докучаева»,  
117019, Москва, Пыжевский пер., 7, стр.2  
E-mail: savin\_iyu@esoil.ru<sup>2</sup>Российский университет дружбы народов,  
117198, Москва, ул. Миклухо-Маклая, 6

*Поиск интегрального показателя плодородия почв – важная задача, решение которой позволит создать более точные методы мониторинга почв, а также сократить время полевых работ и затраты на лабораторные анализы почвенных образцов. Предложено в качестве такого интегрального показателя использовать диэлектрический облик почв. Решение этой задачи основано на использовании статистического метода спектрального преобразования бинарных данных амплитуды отраженного электромагнитного импульса по всей глубине его длительности в почвенной толще. Работу проводили на примере трех почв пахотных и залежных земельных участков ВНИИМЗ (Тверская область). Среди атрибутов спектрального преобразования использовали параметр спектральной плотности георадарного сигнала, его распределение в частотной области, состоящей из многих близких частот, которые вносят наибольший вклад в периодическое поведение импульса в подповерхностной почвенной среде. Георадарное профилирование проводили в течении 2021 г. ежемесячно. Изменчивость мощности горизонтов и слоев рассчитывали через модули амплитудных максимумов с учетом проводимости горизонта (диэлектрическая проницаемость и скорость прохождения сигнала в этой среде). Предложено представлять диэлектрический облик почвы в виде абстрактных моделей-матрешек. Своеобразие матрешки в ее внутренней структуре, основанной на подобии: каждая последующая вложенная фигурка подобна внешней по форме, свойству открываться (за исключением последней неразборной, представляющей каркас георадарного облика почвы), отличия лишь в размере. В диэлектрическом облике почвы выделяется его коровая (квазиинвариантная) часть, а также динамичная часть, меняющаяся в различных по времени циклах. Создание модели облика почвенных тел и ее наглядное представление открывает новые возможности для комплексной оценки состояния почв и оперативного и низкзатратного мониторинга их плодородия.*

**DIELECTRIC VISION OF SOILS AS A BASIS OF ITS AGROECOLOGICAL MONITORING****A.Ya. Voronin<sup>1</sup>, I.Yu. Savin<sup>1,2</sup>,**<sup>1</sup>V.V. Dokuchaev Soil Science Institute,  
117019, Moskva, Pyzhevskii per., 7, str.2  
E-mail: savin\_iyu@esoil.ru<sup>2</sup>Institute of Environmental Engineering, RUDN University,  
117198, Moskva, ul. Miklukho-Maklaya, 6

*The search for an integral indicator of soil fertility is an important task, the solution of which will allow to create more accurate methods of soil monitoring, reduce time of field works, and cost of soil samples analysis. It was proposed to use dielectric vision of soils as such an integral indicator. The solution of this problem was based on the application of a statistical method of spectral transformation of binary data of the amplitude of the reflected electromagnetic pulse along the entire depth of its duration in the soil strata. The research was carried out on the example of three soils of arable and fallow land plots of VNIIMZ (Tver region). Among the attributes of spectral transformation we used the parameter of spectral density of GPR signal, its distribution in the frequency domain consisting of many close frequencies that make the greatest contribution to periodic pulse behavior in the subsurface of soils. GPR profiling was carried out during 2021 on a monthly basis. Variability of horizons and layers thickness was calculated through modules of amplitude maxima taking into account conductivity of horizon (dielectric permittivity and signal transmission rate in this medium). It was proposed to represent the dielectric vision of soil in the form of abstract matryoshka models. The peculiarity of matryoshka is in its internal structure based on similarity: each next inserted figure is similar to the external one in vision and opening property (except for the last non-dismountable one, which represents the frame of the dielectric soil image), the only difference is in size. The dielectric vision of the soil is distinguished by its core (quasi-invariant) part, as well as the dynamic part changing in different time cycles. The creation of the model of soil bodies' appearance and its visual representation opens up new possibilities for the integrated assessment of soil status and for the operative and low-cost monitoring of their fertility.*

**Ключевые слова:** георадар, почва, мониторинг, динамика свойств почв**Key words:** ground penetrating radar, soil, monitoring, soil properties dynamics

Почва, как и любой природный объект, – сложное и многогранное образование. Поэтому основная ее функция – плодородие определяется многими конкретными свойствами почв. При оценке и мониторинге уровня плодородия почв часто анализируют несколько десятков их конкретных свойств [1]. Наиболее часто используют

методы морфологического и микроморфологического описания, изучения химического состояния почвы, ее физических (оструктуренность, плотность, пористость и др.), биологических, минералогических и гидрологических свойств. Все эти методы позволяют вскрывать по отдельности состояние плодородия почвы с точки

\*исследование выполнено при финансовой поддержке Российской Федерации (соглашение с Минобрнауки России № 075-15-2020-909 от 16 ноября 2020 г.).

зрения ее отдельных свойств, а также получать представление о состоянии плодородия почв с учетом всех перечисленных свойств.

При становлении агропочвоведения как науки максимальное влияние уделяли использованию для оценки плодородия почв их морфологическим и химическим свойствам [2]. Позднее в анализ включались и постепенно детализировались методы изучения и других свойств почвы, которые ранее не принимали во внимание из-за отсутствия знаний и/или технических возможностей изучения. Так, изучение метагенома почв как индикатора их актуального плодородия и здоровья стало возможным только в последние десятилетия [3], как и изучение химических и других свойств почв на молекулярном и наноуровне [4].

На сегодняшний день стало очевидным, что оценить комплексно плодородие почвы невозможно без учета ее магнитных и электрических свойств. Научные публикации последних лет показывают, что вещественный и химический состав почвы, другие свойства, определяющие ее плодородие, тесно связаны с магнитными и электрическими свойствами, с диэлектрической проницаемостью почв [5, 6]. Поэтому теоретически отклик почвы на электромагнитные воздействия может рассматривать как некий комплексный, интегральный показатель ее состояния. Однако этот вопрос до сих пор остается недостаточно изученным.

Один из подходов к оценке электрических и магнитных свойств почв предусматривает использование метода георадарного профилирования, основанного на анализе волновой картины радарограммы и прослеживании выбранных по тем или иным критериям осей синфазности отражённых сигналов, которые соответствуют границам раздела слоёв с различными электрофизическими параметрами. Принцип действия георадара базируется на зондировании земной поверхности электромагнитными волнами фиксированной длины. В зонах перепадов диэлектрической проницаемости грунта формируется отраженный сигнал, который и фиксирует георадар. По времени прихода отраженного сигнала судят о глубине границы раздела грунтов с разной диэлектрической проницаемостью [7]. От длины волны зависит глубина зондирования. Для целей исследования почв ее обычно подбирают таким образом, чтобы зондирование осуществлялось на 2...6 м. Для расшифровки и обработки данных георадарного зондирования разработаны специальные подходы, создано специализированное программное обеспечение [8, 9].

Известно, что практически все свойства почв связаны между собой и находятся под взаимным влиянием [10]. Так, содержание влаги в почвах связано с гранулометрическим составом, от содержания гумуса зависит химический состав почвы и ее физические свойства. Это открывает широкие возможности для косвенного детектирования с использованием георадара свойств почвы, которые напрямую не связаны с диэлектрической проницаемостью, например, цвета [11]. Кроме того, они открывают новые возможности для комплексной оценки состояния почв и его оперативного и низкокзатратного мониторинга.

Цель исследования – теоретическое обоснование понятия «диэлектрический облик почвы» и демонстрация возможности его использования для оперативного мониторинга плодородия и агроэкологической оценки почв.

**Методика.** Существуют свойства почв, которые определяют их диэлектрическую проницаемость. Часть из них относительно постоянна во времени, а часть динамична под воздействием разных факторов

(использование почв, метеосостояние, изменение уровня грунтовых вод и др.).

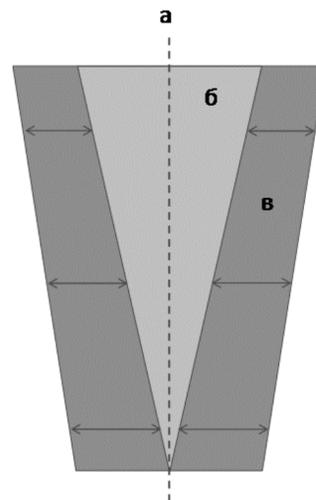
Анализ научных публикаций позволяет выделить группы свойств почв, которые определяют их плодородие и одновременно оказывают существенное влияние на диэлектрические свойства [12, 13]. Показана связь результатов георадарного профилирования с такими свойствами как гранулометрический состав [14, 15, 16], влажность [17], мощность торфяных и гумусовых горизонтов [18], а также с другими свойствами почв [19].

Судя по этим публикациям, постоянную (коровую) часть георадарного профиля (диэлектрического облика) почв определяют такие свойства (и их варьирование по профилю), как гранулометрический состав; плотность сложения; пористость; почвенная структура; набухание; включения; содержание органического вещества; наличие торфа; присутствие вечной мерзлоты. Они образуют некий квазипостоянный каркас диэлектрического облика почвы. Причем большая часть этих свойств может меняться со временем, что будет сопровождаться изменением каркаса. Например, может постепенно меняться содержание органического вещества в почве, деградировать вечная мерзлота или торфяные горизонты, изменяться структура, плотность и пористость почв. Но скорости подобных изменений в естественных условиях обычно невелики.

Изменчивость георадарного профиля почв в сезонном и более коротких циклах определяют такие свойства (и их варьирование по профилю), как влажность; состав и концентрация почвенного раствора; новообразования; уровень грунтовых вод; теплообеспеченность.

Таким образом, профильное распределение постоянных свойств определяет квазипостоянный каркас диэлектрического облика конкретной почвы, а перечисленные динамические свойства будут его изменять в течение сезона или даже суток (например, при выпадении дождя).

Следовательно, абстрактно модель динамичности диэлектрического облика почв можно представить в виде стержня вращения (рис. 1). Подобное формализованное представление диэлектрического облика почвы базируется на использовании теории симметрии [20]. При этом светло-серым цветом показана коровая область



*Рис. 1. Абстрактная модель диэлектрического облика почв и его динамичности: а – ось симметрии (стержень профилирования), б – коровая часть диэлектрического облика, в – динамичная часть диэлектрического облика.*

диэлектрического облика почвы (б). Она представлена в виде симметричной относительно оси, а фигуры светлого цвета – точки (точнее стержня) георадарного профилирования, считая, что свойства почвы от стержня изменяются по осям X и Y одинаково во все стороны в пределах некоей окрестности. Форма фигуры (изменение диэлектрической проницаемости) по оси Z (по глубине) предопределяется варьированием по этой оси квазипостоянных свойств почв.

Темно-серым цветом (в) на рисунке показана в абстрактном виде динамичная часть диэлектрического облика почвы. То есть, это зона потенциальной изменчивости диэлектрического облика из-за изменений динамических свойств почв во времени.

Коричневая часть диэлектрического облика в сочетании с динамичной может также служить основой для выделения горизонтов почв, которые однородны по свойствам, предопределяющим ее диэлектрическую проницаемость и динамичность во времени. Известно, что при моделировании исследуют не сам объект, а промежуточный вспомогательный, находящийся в некотором объективном соответствии с познаваемым объектом и отражающий в формализованном виде сведения о нем.

Приемы анализа и аппарат решения при этом различны, но метод одинаково требует установления критериев подобия, то есть словесной или математической формулировки тех условий, при которых модель может считаться закономерно отражающей оригинал.

Диэлектрический облик почв может быть формализован симметричной фигурой, представляющей рекурсивное обтягивание коровой части георадарного облика почвенной массы ее динамичной оболочкой, задаваемой параметрами спектральной плотности георадарного импульса (кукла). Например, при мониторинге влажности почвы, каждая информационная единица (минимум, максимум, средняя) может быть включена в состав другой, тогда кукла превращается в матрешку. Принцип матрешки (принцип концентрирующей интеграции) широко используют в дизайне, архитектуре, науке [21], и в нашем случае он точно отражает суть наблюдаемых процессов и диэлектрического облика почвы в целом с учетом его динамичности.

Подобие – объективное свойство материи, которое проявляется с вероятностной стохастичностью с отношениями между телами и с конечной геометричностью при структурном взаимоотношении.

Объектами нашего исследования были пахотные и залежные земли ВНИИМЗ, расположенного в Тверской области.

На рассматриваемой территории преобладают сглаженные увалистые моренные и морено-зандровые равнины. Регион сильно освоен и преобразован в результате хозяйственной деятельности человека. Поверхность рассматриваемой территории поднимается до 160 м абсолютной отметки. На водораздельных участках местами отмечаются замкнутые повышения, представляющие собой реликты древнего рельефа.

Моренные суглинки слоем неравномерной мощности залегают на водораздельных участках. Перекрыты они слабокаменистыми флювиогляциальными песками и супесями, на поверхности которых сформировался современный почвенный покров. Литологическая неоднородность пород привела к формированию переувлажнения.

На участке преобладают агродерново-подзолисто-глеевые слабокаменистые супесчаные, в сочетании с дерново-подзолистыми глеевыми супесчаного и легкосуглинистого гранулометрического состава почвами,

развитыми на песчано-суглинистых флювиогляциальных и карбонатных моренных отложениях легкосуглинистого состава. В пойме р. Волги на аллювиальных серогумусовых глеевых легкосуглинистых почвах, подстилаемых аллювиальными слоистыми отложениями, заложен вертикальный георадарный профиль (т.Э1) [22].

Всего для мониторинга было отобрано 3 точки с данными вертикального георадарного профилирования (Э1, Э2, Э3). Географические координаты точек георадиолокационного профилирования определяли в поле прибором Garmin GPSmap 76CS: для Э1 – это 56° 47' 14.96"С 36° 7' 30.37"В; Э2 – 56° 46' 25.82"С 36° 5' 32.82"В; Э3 – 56° 46' 38.55"С 36° 5' 48.68"В. Профилирование проводили георадаром «Лоза-В» с частотой 100 МГц. Всего в каждой точке выполняли по 10 измерений (кадров). Работу проводили в 2021 г. в каждой точке в течение всего года ежемесячно. В каждой точке буром отбирали образцы почвы по всему профилю (до 120...150 см) с шагом в 10 см одновременно с проведением георадарного профилирования. Моделирование поверхности полученных показателей осуществляли методом обратных расстояний второго порядка в программе Voxler 3.

Анализ, обработку георадарного разреза и подготовку отчетного представления осуществляли в специализированной программе «КРОТ» [7].

Решение задачи предварительной обработки георадарных данных в нашем случае основано на применении статистического метода спектрального преобразования бинарных данных амплитуды отраженного импульса по всей глубине его длительности. Неоднородность выявляется путем сопоставления множества кадров изменения спектральной плотности амплитуды отраженных импульсов в подповерхностной среде георадиолокационных профилей установлением мер сходства (близости межкластерного расстояния) и связей между ними.

Сигнал с определенной частотой можно связать в спектре гармоник с реальными процессами, имеющими циклический характер и вносящими значительный вклад в форму сигнала.

Режим цифровой фильтрации в программе «КРОТ» реализован в двух опциях: вертикальной и горизонтальной одномерной фильтрации. Для того чтобы убрать случайные колебания, периодограммы предварительно сглаживали методом взвешенного скользящего среднего с использованием расстояния Хемминга, которое принимали равным 10.

Полученные первичные данные георадарного профилирования подвергали преобразованию Фурье в программе Statistica, по результатам которого был рассчитан показатель спектральной плотности георадарного сигнала.

Статистическую обработку данных (расчет средних значений, стандартных отклонений, показателей вариативности распределения амплитуды отраженных сигналов единичных временных рядов и радарограмм) проводили с использованием Excel 2007 и Statistica.

Алгоритм первичной обработки отраженных амплитуд импульсов включал установку параметров георадарных профилей, цифровую фильтрацию данных (по стандартной процедуре прямоугольным фильтром (скользящее среднее)), вычисление средней скорости распространения волны в грунте.

Маску фильтра строили на основе одной или нескольких эмпирически установленных нами связей на исследуемых почвах между точкой матрицы диэлектрической проницаемости среды ( $\epsilon$ ) и одним динамическим свойством – показателем влажности почв (% от массы).

Интерпретацию результатов георадарного зондирования завершали преобразованием временного разреза радарограммы в глубинный.

**Результаты и обсуждение.** Радарограммы были пересчитаны в величины спектральной плотности амплитуды импульса по профилю почвы (см. табл.). Рассчитаны минимальные, средние и максимальные величины этого показателя за год. Согласно результатам проведенного исследования в профиле все трех почв выделяются сильно контрастные по спектральной плотности амплитуды георадарного импульса слои. Кроме того,

**Статистические показатели изменения спектральной плотности амплитуды импульса по глубинам для всех трех точек профилирования за апрель -декабрь 2021 г.**

H, см	n	X	M	SQ	V, %	min	max
<b>точка Э1</b>							
10	8	711,4	674,6	231,4	32,5	460,6	1190,0
20	8	911,7	854,6	403,0	44,2	485,7	1625,0
30	8	1749,8	1703,4	330,0	18,9	1317,3	2168,9
40	8	1806,8	1898,6	526,4	29,1	927,3	2549,9
50	8	3190,4	2902,8	1801,4	56,5	1300,0	6192,7
60	8	4887,2	5041,7	2261,3	46,3	921,4	8285,2
70	8	17812,3	13448,9	16917,4	95,0	961,3	52976,0
80	8	28929,1	19241,2	28275,9	97,7	1917,0	81620,2
90	8	15884,8	10250,8	18842,9	118,6	751,3	59643,1
100	8	6596,8	4307,9	7251,9	109,9	755,9	23519,3
110	8	3201,1	3375,9	1700,5	53,1	824,4	6189,8
120	8	2566,2	2693,7	933,5	36,4	1043,4	3830,1
130	8	2228,1	2151,2	559,8	25,1	1491,6	2900,0
140	8	2033,2	2028,0	454,2	22,3	1336,9	2700,0
150	8	1938,4	2072,1	637,1	32,9	1134,7	2758,9
<b>точка Э2</b>							
10	8	1097,0	925,2	685,5	62,5	202,0	2284,2
20	8	619,5	520,9	360,8	58,3	305,8	1468,1
30	8	867,9	801,4	283,3	32,6	535,3	1438,0
40	8	1305,4	963,5	817,3	62,6	804,4	3209,5
50	8	2492,3	2481,9	1291,5	51,8	1047,8	4359,4
60	8	7101,1	5214,7	5082,0	71,6	1281,5	14915,4
70	8	6319,5	6620,9	3356,7	53,1	1776,7	12143,9
80	8	5952,7	7772,9	3695,6	62,1	770,8	9769,9
90	8	9500,0	9660,1	7556,5	79,5	1203,6	20225,5
100	8	9951,1	7578,7	7996,1	80,4	567,4	22689,3
110	8	8244,0	2963,2	9738,8	118,1	620,8	27377,3
120	8	5379,3	3077,0	6241,5	116,0	827,1	19458,7
<b>точка Э3</b>							
10	8	1350,9	836,3	1510,1	111,8	397,9	5022,4
20	8	737,2	680,4	236,6	32,1	489,6	1212,6
30	8	1107,3	985,2	299,1	27,0	835,2	1578,8
40	8	1387,1	915,8	1564,6	112,8	328,7	5140,5
50	8	2386,5	1891,6	1683,8	70,6	667,8	4855,0
60	8	5466,7	5780,3	3549,1	64,9	498,7	11521,8
70	8	5729,5	4700,6	4218,6	73,6	385,5	12331,1
80	8	6871,7	5966,9	4778,2	69,5	352,6	12570,8
90	8	18873,9	21477,6	9133,4	48,4	395,4	30753,5
100	8	24437,5	23938,8	14136,6	57,8	526,1	43851,0
110	8	16084,0	13200,8	15640,2	97,2	671,1	49612,5
120	8	8171,6	5028,4	9954,7	121,8	836,7	30974,2
130	8	3450,1	1936,8	4021,9	116,6	560,9	12964,4
140	8	2068,7	1473,1	1476,1	71,4	516,8	4817,2
150	8	1571,5	1514,0	792,0	50,4	551,0	2948,7

она существенно изменяется в разные даты измерений в одной и той же точке. Причем динамика в каждой точке имеет свою специфику, что связано на территории исследований с особенностями строения профиля почв и варьированием влажности в различных слоях почв из-за влияния атмосферных осадков, снеготаяния и колебаний уровня грунтовых вод.

В точках Э1 и Э3 хорошо выделяется слой с повышенными значениями, а в почвах точки Э2 наблюдается чередование слоев с разной спектральной плотностью амплитуды импульса. Во всех точках минимальные и максимальные величины также различаются и находятся на разной глубине.

Все эти неоднородности отражают специфику строения каждого из проанализированных профилей почв. Минимальные значения на каждой из глубин при этом и образуют каркас (коровую часть) диэлектрического облика почв.

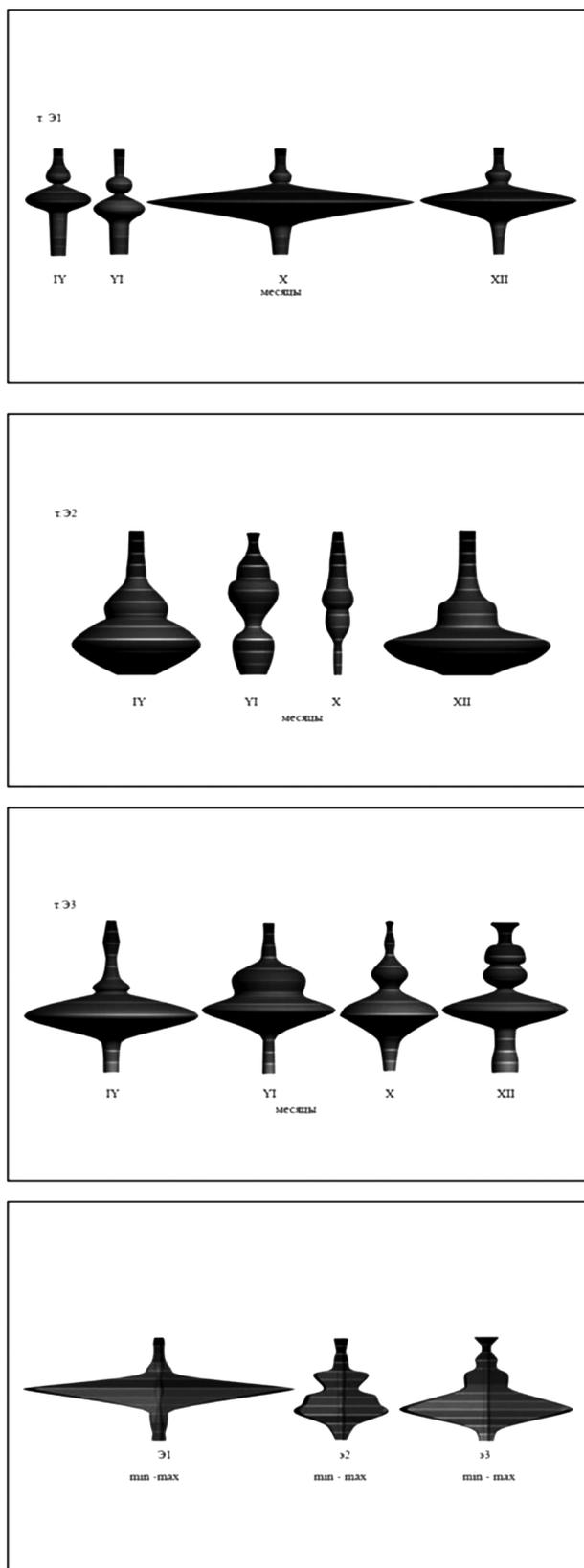
Рассматриваемые почвы трех разных участков подвергались воздействию как природных, так и техногенных процессов, которые способствовали трансформации их профилей. Литологическая неоднородность и, как следствие, изменение водного режима – один из основных факторов на территории исследований, которые предопределяют их диэлектрическую проницаемость.

Статистический анализ средних значений динамики влажности рассматриваемых почв показал, что на определенных глубинах почвенных профилей отмечается высокая вариабельность наличия влаги в разные сроки наблюдения. Так, в точке Э1 на аллювиально-луговых почвах коэффициент вариации влажности превышает 65 % на глубинах 80...100 см, на дерново-подзолистых супесчаных (точка Э2) высокие его величины (>60 %) отмечены практически на всех глубинах до 150 см. В точке Э3 на дерново-подзолистых глеевых почвах высокие коэффициенты вариации (около 60 %) наблюдали на глубинах 30 см и глубже 1 м. Для всех почв характерен промывной режим увлажнения.

Полученные данные о георадарном облике каждой из почв были представлены в виде моделей (матрешек). Внутренняя область каждой из представленных матрешек (рис. 2) соответствует каркасу диэлектрического облика почвы, его коровой части (то есть отражает минимально возможные для конкретной почвы значения диэлектрической проницаемости на каждой глубине). А внешняя часть характеризует потенциально возможный для каждой почвы максимальный сезонный размах величины георадарного показателя.

В соответствии с формой матрешки могут быть выделены почвенные слои с постоянными значениями спектральной плотности амплитуды импульса, а также слои почвы, переходные между ними. На рис. 2 подобные слои рассматриваемых почвенных профилей (коровая часть диэлектрического облика) показаны разными оттенками серого цвета.

Принцип матрешки позволяет более полно по смыслу и наглядно представить модель строения изучаемых почв, чем это можно сделать в виде обычных графиков. Как было отмечено ранее своеобразии матрешки в ее внутренней структуре, основанной на подобии: каждая последующая вложенная фигурка подобна внешней по форме, цвету, рисунку, свойству открываться (за исключением последней неразборной, представляющей каркас диэлектрического облика почвы), отличие лишь в размере. Также раскрывая каждую из матрешек, мы обнаруживаем новую, с новыми свойствами, постепенно доходя до конечной цели (коровой области диэлектрического облика почвы).



**Рис. 2. Матрешки, отражающие целостность (всеобщность) изучаемых почв с точки зрения их диэлектрического облика.**

Подобные слои могут точно соответствовать почвенно-генетическим горизонтам, но могут и не со-

ответствовать. Последнее происходит в случаях, когда соседние генетические горизонты почвы характеризуются схожей диэлектрической проницаемостью и на матрешке выглядят как один слой облика почвы, или когда почвенно-генетический горизонт характеризуется неоднородностью свойств, влияющих на диэлектрический облик почвы (например, слоистостью, или каменистостью, которые не выделяются при описании почвы в виде отдельных генетических горизонтов).

Необходимо отметить, что в реальности вряд ли можно точно измерить коровую часть георадарного облика почвы, так как для этого необходимо было бы полностью исключить влияние всех динамических свойств. Но полностью исключить влияние влажности почв при полевых измерениях невозможно (по-видимому, кроме экстрааридных условий). Таким образом, при измерениях в поле можно получить информацию о коровой части диэлектрического облика почвы лишь с неким приближением. Теоретически, ее можно рассчитать на основе моделирования связи данных георадарного профилирования с динамическими свойствами почв. Путем моделирования также можно рассчитать и динамичную часть диэлектрического облика почвы. При ее определении на основе данных полевых измерений, также возможны неточности, связанный с невозможностью на практике охватить наблюдениями все варианты динамики свойств почв и влияющих на нее факторов.

Коровая часть георадарного облика может быть использована в качестве интегрального показателя электромагнитного состояния почвы. На основе этой информации возможна классификация почв по их диэлектрическому облику, что может послужить основой для разработки прикладной классификации почв для сельскохозяйственных целей, так как свойства почв, определяющие коровую часть георадарного облика, одновременно предопределяют и плодородие, и качество почв для растениеводства (без учета содержания питательных элементов).

Кроме того, используя данные о диэлектрическом облике почв в качестве некоего интегрального показателя их состояния, может быть создана система оперативного и низкозатратного мониторинга состояния почв для сельскохозяйственных целей.

Таким образом, кроме морфологического, любая почва может и должна быть охарактеризована диэлектрическим обликом, который отражает пространственно-временное варьирование магнитно-электрических свойств почв.

Георадарный облик почв предопределяется диэлектрической проницаемостью и ее динамичностью разных слоев почвы, которые могут соответствовать или не соответствовать выделяемым по морфологическим свойствам генетическим горизонтам почв.

В диэлектрическом облике почвы выделяют его коровую (квазиинвариантная) часть, а также динамичную часть, меняющуюся в сезонном и более коротких по времени циклах.

Это позволяет представлять диэлектрический облик почвы в виде абстрактных моделей-матрешек, которые могут служить основой для георадарного мониторинга свойств почв, что позволяет с новых сторон выявить диалектику почвенного пространства. Кроме того, на их основе возможна прикладная сельскохозяйственная классификация почв по их магнитным и электрическим свойствам. Для этого необходимо проведение подобных исследований для других почв и расширение географии соответствующих экспериментов.

**Литература.**

1. Савин И.Ю. Классификация почв и земледелие // Бюллетень Почвенного института имени В.В. Докучаева. 2016. № 84. С.3-9. doi: 10.19047/0136-1694-2016-84-3-9
2. Кирюшин В.И. Развитие парадигмы сельскохозяйственного природопользования (к 175-летию В.В. Докучаева) // Бюллетень Почвенного института имени В.В. Докучаева. 2021. Д, С. 5-26. doi: 10.19047/0136-1694-2021-D-5-26
3. Анализ показателей почвенного микробиома в процессах, связанных с почвообразованием, трансформацией органического вещества и тонкой регуляции вегетационных процессов / Е.Е. Андронов, Е.А. Иванова, Е.В. Першина и др. // Бюллетень Почвенного института имени В.В. Докучаева. 2015. №80. С. 83-94. doi:10.19047/0136-1694-2015-80-83-94
4. Федотов Г.Н., Шалаев В.С. Основы наноструктурной организации почв. Москва: ФГБОУ ВПО МГУЛ, 2012. 512 с.
5. Позднякова А.Д., Поздняков Л.А. Электрофизические и геоинформационные методы картографирования биологических свойств торфоземов // Бюллетень Почвенного института имени В.В. Докучаева. 2020. №103. С.149-167. doi:10.19047/0136-1694-2020-103-149-167
6. Применение геофизических методов для оценки строения и свойств почв черноземного ряда / В.В. Оленченко, Е.Н. Смоленцева, А.А. Заплавнова и др. // Почвы и окружающая среда. 2019. №2(1). С. 57. doi:10.31251/pos.v2i1.57
7. Методические рекомендации по применению георадаров при обследовании дорожных конструкций. М.: Росавтодор, 2003. 31 с.
8. Воронин А.Я. Критерии идентификации строения и функциональных свойств почвенного профиля в георадиолокационных исследованиях с использованием георадара «Лоза-В» // Бюллетень Почвенного института им. В.В. Докучаева. 2015. №80. С.106-128. doi:10.19047/0136-1694-2015-80-106-128
9. Temporal Monitoring of the Soil Freeze-Thaw Cycles over a Snow-Covered Surface by Using Air-Launched Ground-Penetrating Radar / K.Z. Jadoon, L. Weihermiller, M.F. McCabe et al. // Remote Sensing. 2015. No. 7. P. 12041-1205623.
10. Агроэкологическая оценка взаимосвязей свойств почв во времени и в пространстве / В.И. Савич, В.В. Гукалов, А.Е. Сорокин и др. // Бюллетень Почвенного института имени В.В. Докучаева. 2021. № 106. С. 163-175. doi:10.19047/0136-1694-2021-106-163-175.
11. Воронин А.Я., Савин И.Ю. Связь цвета подповерхностных горизонтов почв с данными георадарного профилирования // Почвоведение. 2020. № 8. С. 983-995.
12. Денисов Р.Р., Капустин В.В. Обработка георадарных данных в автоматическом режиме // Геофизика. 2010. №4. С.76-80.
13. Любушкин А.А. Анализ данных систем геофизического и экологического мониторинга. М.: Наука, 2007. 228 с.
14. Annan A. GPR-History, trends, and future developments // *Subsurf. Sens. Technol. Appl.* 2002. No 3. P.253 – 270.
15. Daliels D.J. Ground Penetrating Radar. London: Milton Keynes, 2007. 726 p.
16. Loewer M., Igel J., Wagner N. Spectral Decomposition of Soil Electrical and Dielectric Losses and Prediction of In Situ GPR Performance // *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*. 2016. vol. 9, no. 1, P. 212-220, doi: 10.1109/JSTARS.2015.2424152
17. Grote K., Hubbard S., Rubin Y. Field-scale estimation of volumetric water content using GPR ground wave techniques // *Water Resour. Res.* 2003. Vol. 39(11). P. 1321. doi:10.1029/2003WR002045.
18. Uncertainty in Peat Volume and Soil Carbon Estimated Using Ground-Penetrating Radar and Probing / A.D. Parsekian, L. Slater, D. Ntarlagiannis et al. // *Soil Sci. Soc. Am. J.* 2012. Vol. 76:1911–1918. doi:10.2136/sssaj2012.0040
19. Едемский Д.Е., Тумской В.Е., Овсяченко А.Н. Георадиолокационное зондирование отложений в пределах деградирующего полигонального микро-рельефа в Арктике // *Криосфера Земли*. 2021. Т. 25. № 5. С. 55-69.
20. Симаков М.Ю. Симметрии в природе, искусстве, науке, философии. М.: НИЦ-Луч, 2019. 48 с.
21. Большая энциклопедия нефти и газа. URL: <https://www.ngpedia.ru/id139038p1.html> (дата обращения: 12.04.2022).
22. Иванов Д.А., Карасева О.В., Рублюк М.В. Исследование влияния почвенного покрова и рельефа на продуктивность культур // *Достижения науки и техники АПК*. 2021. Т. 35. № 2. С. 19-26.

Поступила в редакцию 26.04.2022

После доработки 20.05.2022

Принята к публикации 20.06.2022

## НУЛЕВАЯ ОБРАБОТКА ПОЧВЫ И ЕЕ РОЛЬ В НАКОПЛЕНИИ ГУМУСА В ТИПИЧНЫХ ЧЕРНОЗЕМАХ

С.А. Юдин<sup>1</sup>, кандидат биологических наук, Н.Р. Ермолаев<sup>1</sup>,  
В.П. Белобров<sup>1</sup>, доктор сельскохозяйственных наук, А.А. Завалин<sup>1,2</sup>, академик РАН

<sup>1</sup>Федеральный исследовательский центр «Почвенный институт им. В.В. Докучаева»  
119017, Москва, Пыжжевский пер., 7, стр. 2  
E-mail: yudin\_sa@esoil.ru

<sup>2</sup>Всероссийский научно-исследовательский институт им. Д.Н. Прянишникова  
127434, Москва, ул. Прянишникова, 31а

*Технология выращивания сельскохозяйственных культур без обработки почвы зарекомендовала себя в мировом земледелии, в первую очередь как противозерозионная, обеспечивающая сохранение и восстановление плодородия почвы благодаря снижению деградиционных процессов, в том числе дегумификации. На примере полевого опыта по минимизации обработок вплоть до их полного исключения на типичных черноземах в 4-х полевом зерновом севообороте, рассматривается изменчивость содержания гумуса во времени (после ротации) и пространстве (почвенном покрове опытных полей, каждое площадью 2,4 га). За ротацию по всем четырем вариантам опыта (вспашка с оборотом пласта, комбинированная обработка – чизель + дискование, минимальная обработка – дискование и нулевая обработка) содержание гумуса увеличилось, что связано с благоприятными природными условиями. Различия между вспашкой и нулевой обработкой имеют трендовый характер, тогда как между нулевой обработкой с одной стороны и минимальной обработкой с другой, они статистически достоверны. В пространстве полей, отличающихся по структуре почвенного покрова, наибольшая прибавка содержания гумуса составила на поле с высокой (23%) встречаемостью перерытых, высококарбонатных черноземов, а наименьшая при значительной доле глубококарбонатных (выщелоченных) черноземов. Неоднородность состава компонентов в структуре полей определяет разный характер накопления гумуса при нулевой обработке, что требует учета при смене технологии и мониторинге почвенного покрова.*

## NO-TILL AND ITS ROLE IN HUMUS ACCUMULATION IN TYPICAL CHERNOZEM

S.A. Yudin<sup>1</sup>, N.R. Ermolaev<sup>1</sup>, V.P. Belobrov<sup>1</sup>, A.A. Zavalin<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>V.V. Dokuchaev Soil Science Institute,  
119017, Moscow, Pyzhevsky per. 7, p. 2  
E-mail: yudin\_sa@esoil.ru

<sup>2</sup>Pryanishnikov Institute Agrochemistry  
127434, Moscow, st. Pryanishnikova, 31a

*No-till technology has proven itself in world agriculture, especially as an anti-erosion system that preserves and restores soil fertility by reducing degradation processes, including dehumification. Using the example of field experience in minimizing tillage and the use of no-till on typical chernozems in a 4-field grain crop rotation, the variability of humus content in time (after rotation) and space (soil cover of experimental fields, each with an area of 2.4 ha) is considered. During the rotation for all four variants of the experiment (plowing with a layer turnover, combined processing – chisel + disking, minimal processing – disking and no-till), the humus content increased, which is associated with external natural favorable conditions. Moreover, when using no-till, compared with treatments, the increase was 0.13% in layers of 0-10 and 10-20 cm. The differences between plowing and no-till are trendy, while between no-till on the one hand and combined and minimum tillage on the other, they are statistically significant. In the space of fields that differ in the structure of the soil cover, the largest increase in humus content was in the field with a high (23%) occurrence of dug, high-carbonate chernozems, and the smallest, where a high percentage of deep-carbonate (leached) chernozems. The heterogeneity of the composition of the components in the structure of the fields determines the different nature of the accumulation of humus during no-till, which must be considered when changing technology and monitoring the soil cover.*

**Ключевые слова:** технология, структура почвенного покрова, неоднородность, обработки, перерытые, выщелоченные черноземы.

**Key words:** technology, soil cover structure, heterogeneity, tillage, dug up, leached chernozems.

Современный уровень земледелия основан на интенсивном и высокоэффективном использовании почв в сельском хозяйстве и характеризуется, в частности, освоением новых агротехнологий [1]. На фоне глобальных изменений климата, это многократно усилило воздействие антропогенных факторов на почвы, привело к трансформации их свойств, качества и основных экологических функций, к числу которых относится депонирование углерода [2, 3, 4].

Накопление гумуса почвами – растянутый во времени процесс, в котором почва служит необходимым и возобновляемым субстратом для растений, выполняющим важную функцию поддержания баланса углерода в экосистеме растение-почва. Избыток или недостаток растительности приводит либо к накоплению углерода,

либо к его эмиссии и потерям, восполнение которых в природных ландшафтах возложено на естественную (зональную) растительность, а в агрогенных ее заменяют возделываемые культуры.

В агроландшафтах культурная растительность не может в полной мере заменить природную с учетом разнообразия ее состава. Кроме того, при уборке урожая значительная часть надземной растительной биомассы изымается, а почва в соответствии с рекомендациями периодически «отдыхает» в процессе парования. В совокупности это ухудшает баланс углерода и, при прочих равных условиях, приводит к дегумификации почв.

Черноземы составляют основной почвенный фонд России [5]. При этом ухудшение их свойств (содержание гумуса, доступных для растений азота, фосфора и калия,

структура и водоустойчивость микро- и макроагрегатов, равновесная плотность и др.) в последние десятилетия не снижается. В связи с социальными, экономическими и природно-климатическими вызовами черноземы находятся в наиболее сложных условиях из-за интенсивного использования в сельском хозяйстве [6]. Трудно себе представить черноземы в состоянии залежи, в котором сейчас пребывают доминирующие в нечернозёмной зоне дерново-подзолистые почвы. Последствия деградации черноземов, имеющих «пролонгированное» плодородие в силу изначально высокого содержания гумуса, мощного гумуфицированного профиля, а также благоприятных природных факторов почвообразования, могут привести к стабильному во времени снижению урожайности, качества производимой продукции и в целом ухудшению их «здоровья». Блокирование деградационного пресса и обеспечение содержания бездефицитного баланса гумуса – первостепенные задачи современного земледелия в стране [7, 8, 3].

Общим деградирующим почвы фактором выступает обработка почв, постоянный во времени и пространстве элемент традиционной технологии (ТТ) земледелия, для реализации которого создано множество почвообрабатывающих устройств, посевных и уборочных механизмов. Воздействие на почвы этого арсенала при минимизации обработок сильно уменьшилось, а при нулевой обработке (НО), или no-till механическое воздействие на почву прекратилось, она круглый год «работает», находясь под покровом растительности [1, 8].

Опыт минимизации обработок и применения НО на примере типичных черноземов в определенной степени выполняет долгосрочную национальную стратегию «низкоуглеродного» (низкоэмиссионного) развития, которая включает сельскохозяйственное производство. Она базируется, в том числе на оптимальном накоплении органического вещества (ОВ) в почвах России. Черноземы теряют значительную часть ОВ, причем среди факторов снижения его запасов, помимо эрозии, доминирует возделывание сельскохозяйственных культур [2, 9].

При прямом посеве растительные остатки находятся на поверхности почвы в течение всего года, что служит отличительной чертой технологии. Постоянное накопление и разложение ОВ определяет тренд увеличения содержания гумуса в поверхностных слоях почвы [10].

Цель исследований – показать роль нулевой обработки почвы в трансформации гумусового профиля черноземов и изменении содержания гумуса во времени и пространстве на примере типичных черноземов.

**Методика.** Объектом исследования служил старопашотный участок площадью 10 га с координатами по GPS 51°37'46" с.ш.; 36°15'40" в.д. стационара НИИ АПП («Курский ФАНЦ») с доминированием черноземов типичных (82 %) в почвенном покрове. На участке, начиная с 2013 г. по 2016 г. были последовательно заложены 4 опытных поля (повторности), площадью 2,4 га каждое. Поля разделены на 4 делянки (варианта) по 0,6 га (100×60 м), на которых использовали технологии с различными способами основной обработки почвы: вспашка с оборотом пласта на 20...22 см, комбинированная (ежегодное дискование до 8 см + чизелевание на глубину 20...22 см), минимальная (дискование на глубину до 8 см) и без обработки (прямой посев). Перед закладкой каждой повторности проводили уравнильный посев горохо-овсяной смеси. Внесение основных удобрений осуществляли фоном по всем вариантам опыта. Исследования выполняли в зерновом севообороте (озимая пшеница – кукуруза – ячмень – горох). Фактически каждая делянка представляла собой самостоятельный участок,

на котором было представлено все разнообразие почв, встречающихся на территории стационара.

В полевых экспериментах проводили крупномасштабное картирование рельефа и почв опытных полей с оценкой репрезентативности, морфометрических параметров (мощность горизонтов А1 и А1+АВ, глубина вскипания от 10 %-ной HCl) и урожайности культур. Скважины бурили до глубины горизонта В<sub>ca</sub> (45 скважин на каждое поле) и характеризовали структуру почвенного покрова (СПП) всех 4-х полей до начала опыта и поля 1 после первой ротации.

Отбор образцов на содержание гумуса из поверхностных слоев чернозема (0...10 и 10...20 см) выполняли в каждом поле по вариантам-делянкам в одних и тех же точках (пять на каждый вариант) в послеуборочный период в августе до начала опыта и после ротации. Содержание гумуса определяли по Тюрину в лаборатории Почвенного института им. В.В. Докучаева. При сравнении результатов исследования использовали дисперсионный анализ [11].

**Результаты и обсуждение.** За первую ротацию содержание гумуса при НО возросло относительно почвы в вариантах с отвальной, комбинированной и минимальной обработками в слое 0...10 см на 0,07, 0,17 и 0,15 % соответственно, 10...20 см – на 0,04, 0,16 и 0,20 %. В среднем содержание гумуса в поверхностном и подповерхностном слоях почвы при НО увеличилось, относительно других вариантов. Прибавка содержания гумуса при НО достоверно превосходит величину этого показателя в вариантах с комбинированной и минимальной обработками, в то же время различия с отвальной обработкой можно характеризовать только как положительную тенденцию [12].

Общее увеличение содержания гумуса в эксперименте, обусловлено влиянием как природных процессов, так и применяемых способов обработки. Причем существенные различия между ростом содержания гумуса в слоях 0...10 и 10...20 см при НО и в других вариантах в большей степени связаны с особенностями этих способов. Формирование на поверхности почвы слоя из растительных остатков при нулевой обработке создает благоприятные условия для образования легко подвижного органического вещества, которое затем

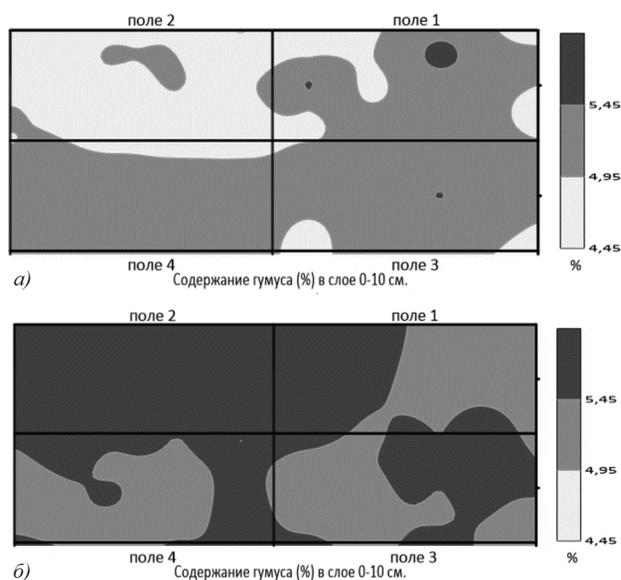


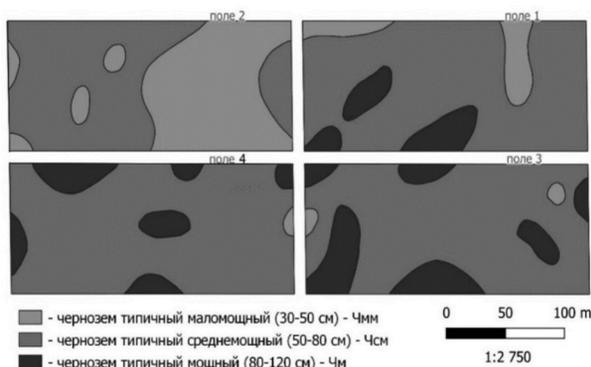
Рис. 1. Содержание гумуса в черноземах опытных полей: а) до начала опыта; б) после ротации.

**Влияние структуры почвенного покрова, опытных полей на содержание гумуса (%) в почве после ротации**

Опытное поле	Слой почвы 0...10 см			Слой почвы 10...20 см		
	до начала опыта	после ротации	+ / -	до начала опыта	после ротации	+ / -
1	5,01	5,46	+0,45	4,97	5,42	+0,45
2	4,81	5,44	+0,63	4,75	5,22	+0,47
3	5,12	5,45	+0,33	5,07	5,37	+0,30
4	5,21	5,44	+0,23	5,18	5,30	+0,12
Средняя	5,04	5,45	+0,41	4,99	5,33	+0,33
НСР <sub>0,5 по полям</sub>	0,34	0,02	-	0,35	0,17	-
НСР <sub>0,5 за ротацию</sub>	-	-	0,13	-	-	0,19

поступает в почву [6]. В остальных вариантах перемешивание пожнивных остатков с почвой приводит к ускорению минерализации органического вещества и, как следствие, потере гумуса.

До начала эксперимента и после первой ротации отмечается разница в содержании гумуса между черноземами на всех полях (рис. 1). Сильнее всего это проявляется на поле 2 в обоих слоях (см. табл.). Такая ситуация обусловлена топогенно-зоогенным генезисом структур почвенного покрова (СПП) отдельно взятого поля, что характеризует его естественную неоднородность и разнообразие почв.



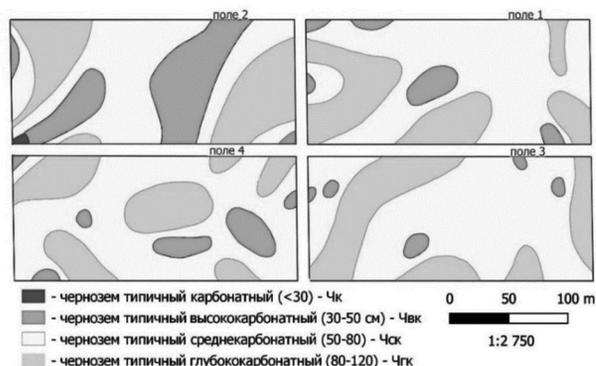
**Рис. 2. Мощность горизонта А1 черноземов**

Особенности СПП были выявлены при детальном картографировании полей, что позволило выделить на фоне типичных черноземов элементарные почвенные ареалы (ЭПА) *перерывтых* – высоко карбонатных и *выщелоченных* – глубоко карбонатных черноземов.

Детальное картографирование полей позволило выделить на фоне типичных черноземов элементарные почвенные ареалы (ЭПА) *перерывтых* – высоко карбонатных и *выщелоченных* – глубоко карбонатных черноземов, наличие которых обусловлено топогенно-зоогенным генезисом СПП отдельно взятого поля, что характеризует его естественную неоднородность и разнообразие почв.

Встречаемость перерывтых и выщелоченных черноземов по опыту составляла в среднем 12,0 и 6,0 %, на полях 1-4 отмечали соответственно 1,7 – 23,0 – 6,5 – 17,1 % перерывтых и 2,8 – 6,8 – 5,3 – 8,9 % выщелоченных. Формирование этих почв на каждом из полей создает уникальную СПП, компоненты которой в разной степени реагируют на внешние (природные) и внутренние (агротехнологии) изменения, что фиксируется в показателях содержания гумуса за период первой ротации.

На уровне вида почвы по мощности А1 (рис. 2) и карбонатности (рис. 3) особенности структуры почвенного покрова полей проявляются еще контрастней. В нашем опыте доминируют два вида черноземов: среднемошные и средне карбонатные. Дифференциация по мощности А1 и карбонатности хорошо видна на полях 2 и 3, причем на поле 2 значительную площадь занимают маломощные и высоко карбонатные черноземы – соответственно 40 и 25,3 %, а на поле 3, напротив, 20 % площади приходится на мощные черноземы, а на высоко карбонатные – 4 %.



**Рис. 3. Карбонатность черноземов.**

Ареалы и контуры перерывтых (зоогенных) черноземов поля 2 приурочены к запаханым микроповышениям сурчинно-слепышового микрорельефа и вследствие этого имеют маломощный гумусовый горизонт А1 и высоко карбонатный профиль. Глубокие внутрпочвенные ложбины стока и депрессионные воронки в суглинистой лессовидной толще, маркируют выщелоченные глубоко карбонатные черноземы поля 3, создавая дополнительную неоднородность почвенного покрова.

Таким образом, нулевая обработка типичных черноземов выполняет одну из важнейших функций, направленных на поддержание плодородия почв. Отмечен рост содержания гумуса при нулевой обработке почвы за ротацию, как в поверхностном, так и подповерхностном слоях, по сравнению с другими вариантами.

Наибольшие различия по содержанию гумуса выявлены между нулевой обработкой с одной стороны, и комбинированной и минимальной обработками с другой. При сравнении со вспашкой, нулевая обработка обеспечивает только тенденцию роста величины этого показателя.

Компоненты структуры почвенного покрова через свойства почв (карбонатность, зоогенную турбированность профиля, мощность гумусового горизонта и др.) влияют на характер формирования и содержание органического вещества, отражают вариабельность и устойчивость процесса гумусонакопления в пространстве.

**Литература.**

1. *Методические рекомендации по разработке минимальных систем обработки почвы и прямого посева* / В.И. Кирюшин, В.К. Дриидгер, А.Н. Власенко и др. М.: ООО «Издательство МБА», 2019. 36 с.
2. *Методологические подходы формирования единой Национальной системы мониторинга и учета баланса углерода и выбросов парниковых газов на землях сельскохозяйственного фонда Российской Федерации* / А.Л. Иванов, И. Ю. Савин, В. С. Столбовой и др.

- др. // *Бюллетень Почв. ин-та им. В.В. Докучаева*. 2021. № 108. С.175-218. doi: 10.19047/0136-1694-2021-108-175-218.
3. *Глобальный климат и почвенный покров – последствия для землепользования России* / А.Л. Иванов, И. Ю. Савин, В. С. Столбовой и др. // *Бюллетень Почв. ин-та им. В.В. Докучаева*. 2021. № 107. С. 5-32. doi: 10.19047/0136-1694-2021-107-5-32.
  4. *Национальный доклад “Глобальный климат и почвенный покров России: опустынивание и деградация земель, институциональные, инфраструктурные, технологические меры адаптации (сельское и лесное хозяйство)”* / под ред. Р.С.-Х. Эдельгериева. М.: ООО “Издательство МВА”. 2019. Т. 2. 476 с.
  5. *Реестр индикаторов качества почв сельскохозяйственных угодий Российской Федерации. Версия 1.0: коллективная монография*. Иваново: ПресСто. 2021. 260 с. doi: 10.51637401961/9785604
  6. *Восстановление свойств почв в технологии прямого посева* / В.К. Дридигер, А.Л. Иванов, В.П. Белобров и др. *Почвоведение*. 2020. №9. С. 1111–1120.
  7. *Ecological management of intensively cropped agroecosystems improves soil quality with sustained productivity* / A. Bhardwaja, P. Jasrotia, S. Hamiltona, et al. // *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 2011. 140. P. 419–429. doi: 10.1016/j.agee.2011.01.005.
  8. *Дридигер В.К. Особенности проведения научных исследований по минимизации обработки почвы и прямому посеву (методические рекомендации)*. Ставрополь: ФГБНУ «Северо-Кавказский ФНАЦ», 2020. 68 с.
  9. *О целесообразности освоения системы прямого посева на черноземах России* / А.Л. Иванов, В.В. Кулинцев, В.К. Дридигер и др. // *Достижения науки и техники АПК*. 2021. № 4. Т. 35. С. 8–16.
  10. *Influence of No-Till System on the Distribution of Organic Carbon and Nitrogen by Aggregate Size Fractions in Protocalcic, Endocalcic, and Pantocalcic Chernozems* / V.A. Kholodov, V.P. Belobrov, N.V. Yaroslavtseva, et al. // *Eurasian Soil Science*. 2021. Vol. 54. No. 2. P. 285–290.
  11. *Доспехов Б.А. Методика полевого опыта*. М.: Агропромиздат, 1985. 352 с
  12. *Чернозем типичный. Прямой посев, Курская область. Опыт, ротация 1.1.* / гл. редактор А.Л. Иванов. М.: ГЕОС, 2021. 150 с. doi: 10.34756/GEOS.2021.16.37873

Поступила в редакцию 15.02.2022

После доработки 24.04.2022

Принята к публикации 30.05.2022

**ВЛИЯНИЕ БАЙКАЛ ЭМ-1 НА ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ ЧЕРНОЗЕМА ОБЫКНОВЕННОГО ПРИ ЗАГРЯЗНЕНИИ НЕФТЬЮ, МАЗУТОМ И БЕНЗИНОМ\***

**А.С. Русева**, аспирант, **Т.В. Минникова**, кандидат биологических наук, **С.И. Колесников**, доктор сельскохозяйственных наук, **С.Ю. Ревина**, студент, **Н.А. Евстегнеева**, аспирант, **Д.А. Труфанов**, аспирант

*Академия биологии и биотехнологии им. Д.И. Ивановского, Южный федеральный университет  
344090, Ростов-на-Дону, просп. Стачки, 194/1  
E-mail: loko261008@yandex.ru*

*Загрязнение черноземов нефтью и нефтепродуктами – одно из наиболее серьезных и тяжело устраняемых антропогенных нарушений, которое приводит к выведению больших участков земли из сельскохозяйственного оборота. Исследования проводили с целью изучения влияния микробиологического препарата Байкал ЭМ-1 на состояние чернозема обыкновенного, загрязненного нефтью, мазутом и бензином. Загрязнение моделировали в лабораторных условиях путем внесения каждого загрязнителя в количестве 5 % от массы почвы. Для ремедиации почвы использовали микробиологический препарат Байкал ЭМ-1 трех доз: рекомендуемая (D), в 2 раза меньше рекомендуемой (D<sub>0,5</sub>) и в 2 раза больше рекомендуемой (D<sub>2</sub>). Определяли физико-химические (реакция среды, содержание легкорастворимых солей, окислительно-восстановительный потенциал, гидрофобность) и биологические (фитотоксичность, активность ферментов каталазы и дегидрогеназ, общая численность бактерий) показатели почвы до и после внесения ремедиантов. Загрязнение нефтью и нефтепродуктами не приводит к повышению pH почв до значений, превышающих нейтральные, не оказывает воздействия на содержание легкорастворимых солей, но сопровождается сменой окислительных условий на восстановительные и увеличением гидрофобности почв. Стимуляция активности дегидрогеназ после применения Байкал ЭМ-1 отмечена только при загрязнении черноземов бензином. Препарат способствует росту числа бактерий в загрязненных мазутом и бензином почвах, а также в дозе D<sub>2</sub> при загрязнении нефтью. Наиболее токсичным загрязнителем оказался мазут, а наименее – бензин. Согласно показателю ИИБС, применение Байкал ЭМ-1 в наибольшей степени восстанавливает экологическое состояние при загрязнении нефтью в дозе D (на 12 % относительно контроля), при загрязнении мазутом и бензином – в дозе D<sub>0,5</sub> (соответственно на 39 и 11 % относительно контроля). Полученные результаты свидетельствуют о возможности использования Байкал ЭМ-1 в естественных условиях при загрязнении почв нефтью и нефтепродуктами.*

**INFLUENCE OF BAIKAL EM-1 ON THE ECOLOGICAL STATE OF HAPLIC CHERNOZEM AFTER OIL, FUEL AND GASOLINE POLLUTION\***

**Ruseva A.S.**, PhD student, **Minnikova T.V.**, PhD of Biological Sciences, **Kolesnikov S.I.**, Doctor of Agricultural Sciences, **Revina S.Yu.**, student, **Evstegneeva N.A.**, PhD student, **Trufanov D.A.**, PhD student

*Academy of Biology and Biotechnology. DI. Ivanovsky, Southern Federal University,  
344090, Rostov-na-Donu, prosp. Stachki, 194/1  
E-mail: loko261008@yandex.ru*

*Pollution of haplic chernozem with oil, fuel oil and gasoline is one of the most serious and difficult to eliminate anthropogenic disturbances, which leads to the withdrawal of large plots of land from agricultural use. The research was carried out to study the effect of the microbiological preparation Baikal EM-1 on the state of haplic chernozem, contaminated with oil, fuel oil and gasoline. Pollution was modeled under laboratory conditions by introducing PHC products in an amount of 5% of the soil mass. For soil remediation, the Baikal EM-1 microbiological preparation was used at doses: recommended (D), two times less than recommended (D<sub>0,5</sub>), and 2 times more than recommended (D<sub>2</sub>). Physicochemical (pH, content of easily soluble salts, redox potential, hydrophobicity) and biological (phytotoxicity, activity of catalase and dehydrogenases enzymes, total number of bacteria) soil parameters were determined before and after the introduction of ameliorants. Pollution with PHC products does not lead to an increase in soil pH to values exceeding neutral, does not affect the content of easily soluble salts, but is accompanied by a change in oxidizing conditions to reducing ones and an increase in soil hydrophobicity. Stimulation of the activity of dehydrogenases after the application of Baikal EM-1 was noted only when chernozems were contaminated with gasoline. The drug contributes to the growth of the number of bacteria in soils contaminated with fuel oil and gasoline, as well as in a dose of D<sub>2</sub> when contaminated with PHC. Fuel oil was the most toxic pollutant, and gasoline was the least. According to the IIBS indicator, the use of Baikal EM-1 restores the ecological state to the greatest extent when contaminated with oil at the recommended dose (D) than when contaminated with fuel oil and gasoline at a dose of D<sub>0,5</sub>, the thought is not clear, state it in more detail. The results obtained indicate the possibility of using Baikal EM-1 in natural conditions when soils are contaminated with oil, fuel oil and gasoline.*

**Ключевые слова:** загрязнение почв, биоремедиация, биоаугментация, чернозем обыкновенный, микробиологические показатели, ферментативная активность.

**Key words:** soil pollution, bioremediation, bioaugmentation, haplic chernozem, microbiological parameters, enzymatic activity.

По данным Международного агентства (Statistical Review of World Energy) в 2021 г. добыча нефти в мире составила 4165,1 млн т, из которых 524,4 млн т пришлось на Россию [1]. При этом в нашей стране каждый год фиксируют более 3 тыс. случаев разлива нефти и

ее производных. Масштабы загрязнения окружающей среды углеводородами требуют согласованных усилий по разработке методов эффективного управления. Это необходимо для создания баланса между использованием ресурсов и экологической устойчивостью среды

\*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).

[2]. Так, в 2017 г. в Южном федеральном округе объем разлитой нефти составил 8775 м<sup>3</sup> [3]. Согласно стратегии научного развития региона необходимо осуществить переход к экологически безопасной и ресурсосберегающей энергетике, с повышением эффективности добычи и глубокой переработки углеводородного сырья, с оценкой и рациональным использованием новых источников нефтяных углеводородов, способов транспортировки и сохранения энергии при их переработке.

Естественное восстановление загрязненных нефтью и нефтепродуктами почв достаточно длительный процесс. В современных условиях восстановление почвенных свойств после таких загрязнителей возможно с использованием химических, физических и биологических способов ремедиации [4, 5]. Химические способы, заключающиеся в экстракции загрязняющих веществ растворителями или в их окислении приводят к изменению агрохимических характеристик почвы и грунтовых вод. Физико-химические методы (удаление и захоронение нефти, нефтепродуктов и загрязненной почвы, термическая обработка, промывка водой под давлением и др.) подходят для восстановления относительно небольших участков, не обеспечивают полного удаления нефти и нефтепродуктов из почвы, а также достаточно дорого стоят. Поэтому к основным действующим методам восстановления экологического состояния нефтезагрязненных почв относят биологические [6, 7, 8].

На сегодняшний день большую популярность в различных сферах жизнедеятельности человека, в том числе при восстановлении загрязненных почв, приобрело использование технологий эффективных микроорганизмов (ЭМ-технологий). В их основу заложено использование особых биопрепаратов, которые содержат сбалансированный комплекс «полезных» микроорганизмов различных физиологических групп с широчайшим диапазоном действия [9].

Один из наиболее известных препаратов – Байкал ЭМ-1. Он содержит комплекс микроорганизмов и предназначен для повышения плодородия почвы и почвенных смесей. В состав биопрепарата входят молочнокислые, азотфиксирующие, фотосинтезирующие бактерии, актиномицеты и сахаромицеты, а также культуральная

жидкость (вода, меласса, соли гуминовых кислот, соли минеральные). Рядом исследований доказана его эффективность при ремедиации загрязненных нефтью и нефтепродуктами почв [10, 11].

Для мониторинга восстановления экологического состояния нефтезагрязненных почв после внесения ремедиантов целесообразно использовать биологические показатели для оценки экологического состояния почв [3, 7, 12].

Цель исследований – оценить влияние Байкал ЭМ-1 на состояние чернозема обыкновенного при загрязнении нефтью, мазутом и бензином.

**Методика.** Объект исследования – чернозем обыкновенный карбонатный, отобранный в Ботаническом саду Южного федерального университета из верхнего слоя ( $A_{\text{max}}$  0...10 см). Для моделирования загрязнения использовали нефть, предоставленную Новошахтинским НПЗ (Новошахтинск), мазут компании «Неклиновскнефтепродукт» (Неклиновск), бензин марки АИ-95. Нефть характеризовалась следующими свойствами: плотность – 0,818 г/м<sup>3</sup>, массовая доля серы – 0,43 %, механических примесей – 0,0028 %, воды – 0,03 %, концентрация хлористых солей – 40,1 мг/дм<sup>3</sup>. Плотность мазута составляла 923,4 кг/м<sup>3</sup>, массовая доля серы – 1,71 %, механических примесей – 0,035 %, воды – 0,09 %, условная вязкость – 3,8 ВУ. Плотность бензина при 20 °С была равна 739,1 мг/см<sup>3</sup>, массовая доля серы – менее 3 %, кислорода – 0,15 %.

Микробиологический препарат Байкал ЭМ-1 вносили в почву в виде раствора в трех дозах: рекомендуемой производителем для предпосевной либо послепосевной обработки почвы (0,5 %-ный раствор препарата) – Д, в 2 раза меньшей рекомендуемой – Д<sub>0,5</sub> и в 2 раза больше рекомендуемой – Д<sub>2</sub>. После этого добавляли загрязнитель. Контролем выступали почвы с используемым в каждой части опыта загрязнителем: нефтью, мазутом или бензином, но без препарата. Также на образцах без загрязнителей была проведена оценка токсичности самого Байкал ЭМ-1. В этой части опыта контролем служила почва без препарата. После добавления нефти, мазута или бензина и изучаемого препарата почву инкубировали в лабораторных сосудах при оптимальной темпе-

Табл. 1. Методы определения биологических и физико-химических показателей

Показатель	Метод	Единица измерения
<b>физико-химические</b>		
Реакция почвенной среды (рН водной вытяжки)	потенциометрический на анализаторе HANNA HI 2211	–
Содержание легкорастворимых солей	кондуктометрический на анализаторе HANNA inst. Total Dissolved HI 9034	мг/кг
Окислительно-восстановительный потенциал (ОВП)	потенциометрический на ORP by HANNA HI 98120	мВ
Гидрофобность	тест на время проникновения водной капли	секунд
<b>биологические</b>		
Активность каталазы	газометрический по А. Ш. Галстяну (1978)	мл О <sub>2</sub> в 1 мин/1 г
Активность дегидрогеназ	колориметрический по А. Ш. Галстяну (1962)	мг ТФФ/10 г/24 ч
Общая численность бактерий	люминесцентной микроскопии в падающем свете по Д.Г. Звягинцеву и П.А. Кожевину (1974)	млрд/г
Длина побегов и корней	по изменению показателей прорастания семян редиса по М.А. Бабьевой, Н.К. Зеновой (1989)	мм
Всхожесть	по изменению интенсивности начального роста семян по М.А. Бабьевой, Н.К. Зеновой (1989)	шт

**Табл. 2. Классификация по степени почвенной гидрофобности**

Класс	Время, с	Степень гидрофобности почвы
0	<5	негидрофобная
1	5–60	слабогидрофобная
2	60–600	сильногидрофобная
3	600–3600	очень сильногидрофобная
4	>3600	чрезвычайно сильногидрофобная

ратуре и увлажнении (60 % от полевой влагоемкости) в течение 30 суток.

Для моделирования процесса загрязнения почву после отбора просушивали, перебирали от корней растений, затем просеивали через сито с диаметром ячеек 3,2 мм. Подготовленные образцы по 200 г помещали в вегетационные сосуды, увлажняли и загрязняли нефтью, бензином и мазутом. Так как ПДК нефти и нефтепродуктов для почв не разработаны, с целью выражения концентрации использовали их процентное содержание. Нефть и нефтепродукты вносили в концентрации 5 % от массы почвы. Поскольку известно, что обычно в районах добычи, переработки и транспортировки нефти, получения и использования нефтепродуктов возникает нефтезагрязнение до 10 % от массы почвы и более [12, 13].

Экологическое состояния почв оценивали по следующим физико-химическим показателям: pH, содержание легкорастворимых солей, окислительно-восстановительный потенциал почвы, гидрофобность (табл. 1) [14].

При определении степени гидрофобности почвы использовали существующую классификацию (табл. 2) [15]. При определении фитотоксических свойств почв использовали редис садовый (*Raphanus sativus L. var. sativus*) сорта Жара [16, 17, 18].

На основании информативных и чувствительных показателей биологической активности чернозема (длина корней и побегов, всхожесть, активность каталазы, дегидрогеназ и общая численность бактерий) был рассчитан интегральный показатель биологического состояния (ИПБС) почв (1) [19]:

$$B = (B_{ч} / B_{\max}) \times 100, \quad (1)$$

где  $B_{ч}$  – относительный балл показателя;  $B_{\max}$  – максимальное значение показателя (значение контроля для каждого показателя).

Для расчета ИПБС значение каждого из шести показателей в чистой почве (контроле) принимали в 100 %, а значения в почве с ремедиантом выражали в процентах (2):

$$\text{ИПБС} = (B_{\text{ср}} / B_{\text{ср.макс}}) \times 100, \quad (2)$$

где  $B_{\text{ср}}$  – средний оценочный балл всех показателей,  $B_{\text{ср.макс}}$  – максимальный оценочный балл всех показателей.

Для загрязненных почв за 100 % использовали значения показателя в черноземе только при добавлении нефти либо нефтепродукта, в почвах с загрязнителем и ремедиантом значения также выражали в процентах от контроля. После этого определяли среднее значение шести показателей в загрязненной почве.

Статистическую обработку результатов проводили методами вариационного дисперсионного и корреляционного анализа. Рассчитывали следующие показатели вариационной статистики: среднее значение ( $M \pm m$ ), стандартное отклонение ( $s$ ) и стандартная ошибка среднего ( $SE$ ). Достоверность отличий оценивали при следующих уровнях значимости: \* -  $p < 0,05$ ; \*\* –  $p < 0,005$ .

**Результаты и обсуждение.** Загрязнение нефтью и нефтепродуктами в концентрации 5 % от массы почвы не привело к повышению pH до значений, превышающих нейтральную реакцию среды (pH=6,5...7,5) и не способствовало сильному изменению содержания легкорастворимых солей. (табл. 3). В большей степени его увеличение наблюдали в черноземах, загрязненных нефтью и бензином. Внесение Байкал ЭМ-1 в незагрязненную почву при любой концентрации ремедианта приводило к недостоверному снижению pH относительно контроля на 3...5 %. В загрязненных нефтью почвах использование препарата способствовало незначительному подкислению среды на 4...5 %, в загрязненных мазутом – подщелачиванию (pH повышался на 2...4 %). В варианте с загрязнением почвы бензином при любой концентрации Байкала ЭМ-1 достоверных отличий от контроля так же не наблюдали.

**Табл. 3. Изменение pH и содержания легкорастворимых солей в чистой и загрязненной нефтью и нефтепродуктами почвах при внесении разных доз Байкал ЭМ-1**

Показатель	Вариант			
	контроль	$D_{0,5}$	$D_1$	$D_2$
<b>чистая почва</b>				
pH	6,2±1,1	6,0±1,0	6,0±0,8	6,0±0,7
Содержание легкорастворимых солей, мг/кг	0,31±0,01	0,23±0,01*	0,22±0,01*	0,32±0,02
<b>нефть</b>				
pH	7,3±1,8	7,0±1,1	7,0±1,4	7,1±1,4
Содержание легкорастворимых солей, мг/кг	0,16±0,01	0,13±0,02*	0,13±0,01*	0,11±0,01*
<b>мазут</b>				
pH	7,1±1,4	7,3±1,1	7,4±1,7	7,3±1,0
Содержание легкорастворимых солей, мг/кг	0,21±0,01	0,32±0,02*	0,31±0,01*	0,84±0,02**
<b>бензин</b>				
pH	7,3±1,7	7,3±1,0	7,4±1,7	7,2±1,7
Содержание легкорастворимых солей, мг/кг	0,25±0,01	0,32±0,02*	0,22±0,01	0,24±0,01

различия с контролем достоверны: \* – при  $p < 0,05$ ; \*\* – при  $p < 0,005$ .

Реакция среды (рН) определяет направленность почвенных процессов, включая биологические, а также уровень плодородия почв [14]. Загрязнение почв нефтью и нефтепродуктами приводит к подщелачиванию среды (рН до 8,0) и также способствует снижению содержания доступного фосфора [20].

Известно, что для роста и развития большего количества видов растений и почвенных организмов лучше всего подходит реакция почвенного раствора (рН), которая близка к нейтральной. Повышение кислотности (рН<7), как и ее понижение (рН>7), чаще всего негативно сказывается на росте и развитии растений, воздействуя на физиологические показатели, в том числе снабжение растений питательными веществами [14]. Нефтезагрязнение почв сопровождается их хлоридно-натриевым засолением, что ведёт к сложной многофазной перестройке почвенно-поглощающего комплекса (ППК) и общему осолонцеванию почв [21]. Ионы натрия вытесняют из ППК чернозема магний и кальций, на долю которых приходится основная часть обменных катионов в незагрязненной почве. Кроме того, снижается общая поглотительная способность почв, что обусловлено не только уменьшенным количеством поглощенных катионов, но и утратой их обменной способности из-за обволакивания почвенных коллоидов нефтяной пленкой [13, 21].

Загрязнение почв нефтью и нефтепродуктами привело к снижению содержания легкорастворимых солей на 50...60%. Нефть влияла на величину этого показателя сильнее, чем мазут и бензин (см. табл. 3). В почве без загрязнителя Байкал ЭМ-1 уменьшал концентрацию легкорастворимых солей только на 0,1 единицу. В загрязненных нефтью почвах ремедиант не влиял на содержание легкорастворимых солей ни в одной из изучаемых доз. В варианте с мазутом микробиологический препарат в большей степени повышал засоление в дозе Д<sub>2</sub>, а в загрязненных бензином почвах незначительное увеличение происходило при внесении Д<sub>0,5</sub>.

Окислительно-восстановительные условия влияют на характер протекания биохимических процессов в почвах, в том числе на накопление и разложения загрязняющих веществ в почве [22]. Процессы ремедиации загрязненных почв находятся в большой зависимости от окислительно-восстановительных условий [23]. В загрязненных нефтью почвах окислительно-восстановительные процессы сдвигаются в сторону восстановительных. Это ведет к изменению концентрации загрязняющих веществ, а также характера миграции в почвах подвижной фракции водорастворимых элементов (Са, Сl, К) и микроэлементов (Рb, Сu, В, Мо, Ва и др.) [24]. Окислительно-восстановительный потенциал (ОВП) служит индикатором здоровья и состояния загрязненной почвы при ремедиации. В контрольном варианте величина этого показателя составляла 335 мВ. Использование Д<sub>0,5</sub> Байкала ЭМ-1 способствовало снижению ОВП на 10% (р<0,05). Внесение Д и Д<sub>2</sub> не оказывало достоверного воздействия на ОВП чернозема. Загрязнение чернозема нефтью привело к его незначительному уменьшению, относительно контролю. Внесение Байкала ЭМ-1 в рекомендуемой дозе (Д) при нефтезагрязнении привело к уменьшению ОВП, относительно загрязненного чернозема, на 6% (р<0,05). При других дозах достоверных отличий от контроля не наблюдали. При загрязнении чернозема мазутом и бензином (до внесения Байкал ЭМ-1) наблюдали снижение ОВП на 6 и 8% (р<0,05), относительно контроля. При мазутном загрязнении применение Байкал ЭМ-1 Д<sub>0,5</sub> снижает ОВП на 7% (р<0,05), по сравнению с контролем.

При других дозах достоверных отличий от контроля не обнаружено.

В условиях нормального увлажнения в ОВП чернозема находится на уровне 400...600 мВ. При снижении ОВП до 350...450 мВ происходит начало смены окислительных условий на восстановительные, а переход ниже 200 мВ свидетельствует об интенсивном протекании в почве восстановительных процессов, которые приводят к аккумуляции в почвенном растворе вредных для растений концентраций различных метаболитов. Понижение значений ОВП приводит к замедлению разложения растительных остатков, появлению наиболее активных и подвижных форм органических соединений, а также способствует превращению гуминовых кислот в фульвокислоты [14]. Загрязнение почв нефтью и нефтепродуктами, а также применение удобрения Байкал ЭМ-1 в незагрязненных черноземах способствует смене окислительных условий на восстановительные, что может негативно отразиться на некоторых биологических показателях почв.

Воздействие нефтезагрязнения на физико-химические свойства почвы выражается в сильном увеличении ее гидрофобности, что связано с обволакиванием нефтью почвенных частиц. Почва теряет способность впитывать и удерживать влагу, из пор вытесняется воздух, в результате нарушается ее воздушный и водный режимы. Повышение гидрофобности, а также другие изменения физических свойств почвы вызваны тяжелыми фракциями нефтяных углеводородов, в свою очередь прямой токсический эффект нефти и нефтепродуктов на почвы определяют их легкие фракции [25, 26]. Попадая в почву, гидрофобные составляющие нефти и нефтепродуктов обволакивают все доступные части растений, проникают через мембраны клеток, что приводит к ингибированию их развития. Обволакивание корней значительно ухудшает доступ к ним влаги, что может привести к высыханию растения. Также происходит нарушение процессов аммонификации, нитрификации и азотного обмена и как следствие ассимиляционного потенциала почв [20, 27].

Применение Байкал ЭМ-1 приводит к недостоверному увеличению времени впитывания растворов в незагрязненных почвах. Загрязнение черноземов нефтью и мазутом сопровождалось существенным увеличением их гидрофобности в 12 и 4414 раз. Применение Байкал ЭМ-1 в нефтезагрязненной почве снижало время впитывания растворов в варианте с Д<sub>0,5</sub> на 25%, Д – на 50%, Д<sub>2</sub> – на 58%, по сравнению с загрязненной почвой без ремедианта (табл. 4). Чем меньше времени затрачено на впитывание раствора, тем меньше почва гидрофобна. Исходя из этого можно косвенно судить о восстановлении экологического состояния и разложении нефтяных углеводородов.

**Табл. 4. Изменение времени впитывания растворов черноземом обыкновенным при загрязнении нефтью, бензином и мазутом**

Вариант	Время впитывания растворов, с			
	чистая почва	нефть	мазут	бензин
Контроль	0	12*	4414*	1
Д <sub>0,5</sub>	1	9*	4414*	1
Д	1	6*	4414*	1
Д <sub>2</sub>	1	5*	4414*	1

\*различия с чистой почвой достоверны при р<0,05.

Согласно используемой шкале (см. табл. 2), изучаемый чернозем относится к не гидрофобным почвам. Внесение Байкал ЭМ-1 в чистую почву не оказало достоверного воздействия на это свойство. Загрязнение нефтью способствовало повышению степени ее гидрофобности до слабогидрофобной, мазута – до чрезвычайно сильногидрофобной. Бензин меньше, чем другие загрязнители, влиял на гидрофобность почв, что объясняется его химическим составом. Этот нефтепродукт содержит легкие углеводородные фракции, которые отчасти испаряются из почвы. Применение Байкал ЭМ-1 в любой дозе не способствовало уменьшению величины изучаемого показателя.

Таким образом, все нефтепродукты приводят к увеличению гидрофобности чернозема обыкновенного, особенно этому способствует мазут. Использование Байкал ЭМ-1 для снижения величины этого показателя имеет смысл только при загрязнении нефтью, где самыми эффективными его дозами являются Д и Д<sub>2</sub>.

Результаты изучения показателей фитотоксичности почвы свидетельствуют, что внесение Байкал ЭМ-1 в дозах Д<sub>0,5</sub>, Д и Д<sub>2</sub> привело к снижению длины побегов редиса на 11, 5 и 24 % (p<0,05), корней – на 43, 40 и 43 % (p<0,05), всхожести – 49, 68 и 59 % (p<0,05) относительно контроля соответственно (рис. 1). При загрязнении нефтью длина побегов, корней и всхожесть уменьшились, по сравнению с контролем, на 92, 89 и 93 % (p<0,05). В варианте с добавлением к этой почве Байкала ЭМ-1 в рекомендуемой дозе семена редиса не взошли. При использовании Д<sub>0,5</sub> и Д всхожесть возросла, по сравнению с нефтезагрязнением, на 4 и 7 %. При этом длина побегов и корней редиса в варианте Д<sub>2</sub> увеличилась соответственно на 4 и 13 %.

Внесение в почву мазута также приводило к повышению фитотоксичности. При этом длина корней

уменьшалась, по сравнению с незагрязненной почвой, на 88 % (p<0,05), побегов – на 76 % (p<0,05), всхожесть – на 93 % (p<0,05). При внесении Байкал ЭМ-1 в дозах Д<sub>0,5</sub>, Д и Д<sub>2</sub> в почву с мазутом длина корней была больше, чем в загрязненной почве без ремедианта, на 74, 54 и 42 %, длины побегов – на 71, 67 и 49 %, всхожесть – 54, 46 и 46 %. При этом самой эффективной дозой Байкал ЭМ-1 при мазутном загрязнении была Д<sub>0,5</sub>, использование которой обеспечило наибольшее увеличение длины побегов и корней редиса на загрязненной почве.

При загрязнении бензином наблюдали снижение всхожести, длины побегов и корней редиса на 57, 34 и 72 % (p<0,05) по сравнению с контролем. При внесении Байкал ЭМ-1 в дозах Д<sub>0,5</sub> наблюдали ингибирование всхожести, по сравнению с загрязненной почвой, на 7 %, Д – на 24 %, Д<sub>2</sub> – на 7 %. Одновременно установлено увеличение длины побегов соответственно на 16, 15 и 10 %, длины корней – на 7, 9 и 8 %. Самое благоприятное воздействие на состояние растений среди изученных доз оказывала Д<sub>0,5</sub>. Внесение Байкал ЭМ-1 в любой дозе при загрязнении бензином ингибировало всхожесть семян редиса более чем на 16 %, но при этом вызывало стимуляцию роста наземных побегов и корневой системы. Растения при бензиновом загрязнении после применения Байкал ЭМ-1 имели вытянутые побеги с очень тонкой корневой системой, что свидетельствует о снижении качества продукции при внесении ремедианта.

На основании показателей интенсивности начального роста и прорастания семян редиса можно сделать вывод, что самым токсичным загрязнителем является нефть, наименее опасным – бензин. Самая эффективная доза Байкал ЭМ-1 для улучшения показателей фитотоксичности в почвах, загрязненных нефтью – Д<sub>2</sub>, мазутом и бензином – Д<sub>0,5</sub>.

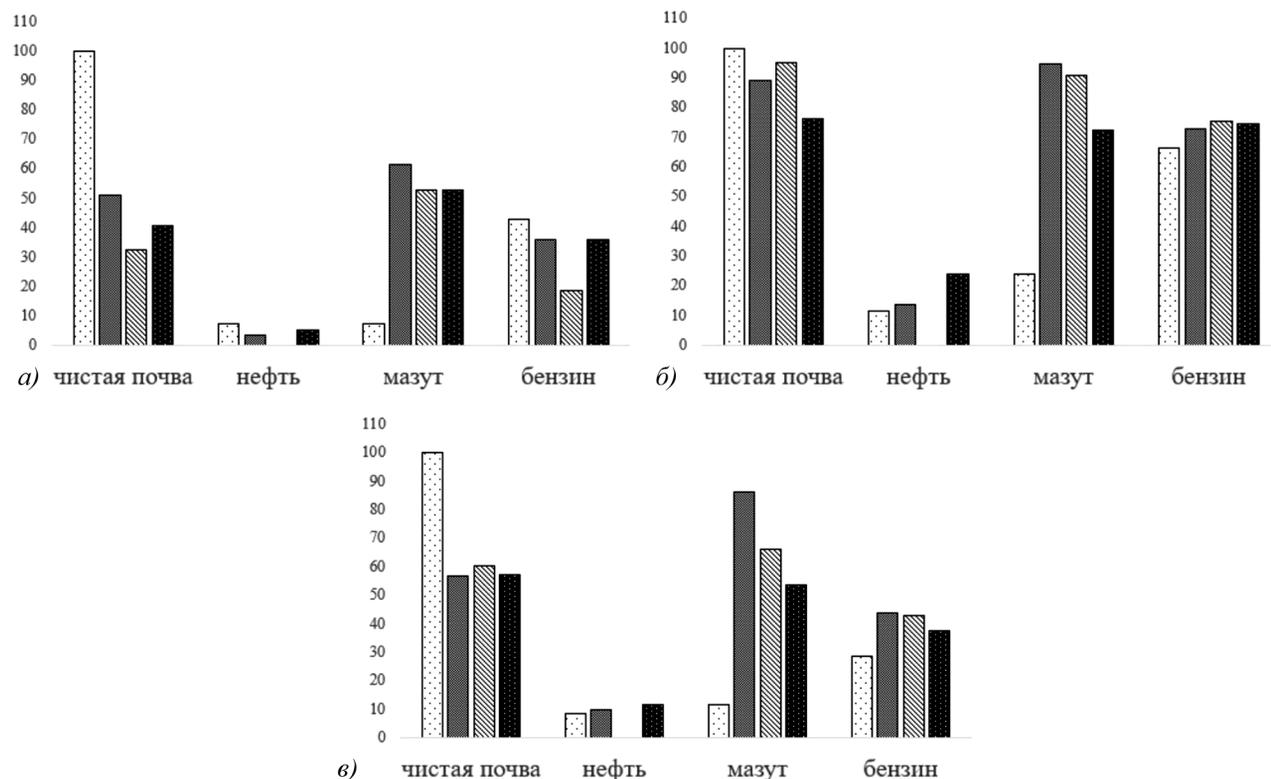


Рис. 1. Изменение фитотоксических показателей чернозема обыкновенного при загрязнении нефтью, бензином и мазутом до и после внесения Байкал ЭМ-1, % от контроля: а) всхожесть; б) длина побегов; в) длина корней: □ – почва; ■ – Д<sub>0,5</sub>; ▨ – Д; ■ – Д<sub>2</sub>.

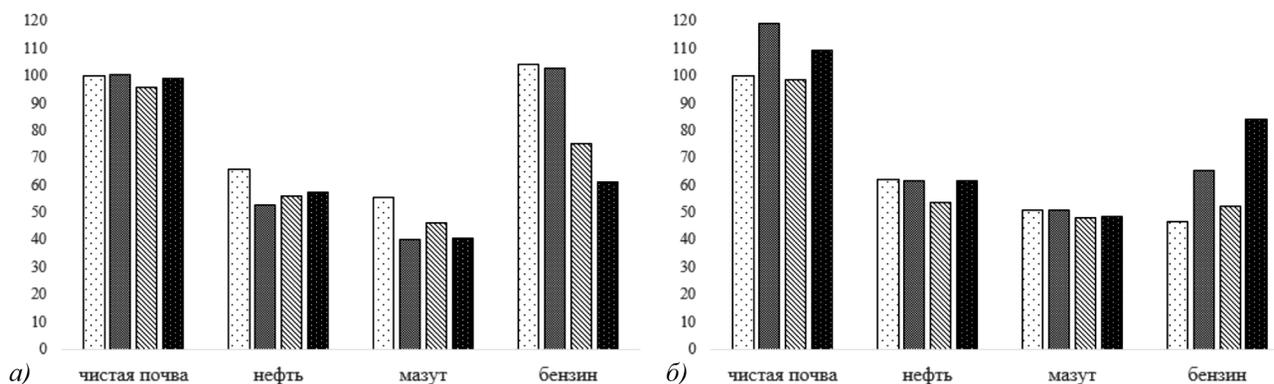


Рис. 2. Изменение ферментативной активности чернозема обыкновенного при загрязнении нефтью, бензином и мазутом до и после внесения Байкал ЭМ-1, % от контроля: а) каталазы; б) дегидрогеназ: □ – почва; ■ – Д<sub>0,5</sub>; ▨ – Д<sub>1</sub>; ■ – Д<sub>2</sub>.

Данные о ферментативной активности в сочетании с другими свойствами дают основу для оценки экологического состояния и качества почв при различных видах антропогенного воздействия [7, 19]. Наиболее информативны в этом отношении при углеводородном загрязнении почв на юге России ферменты класса оксидоредуктаз [3, 11]. Внесение Байкал ЭМ-1 не влияло на активность каталазы, а у дегидрогеназ возросла в варианте Д<sub>0,5</sub> на 19 % (p<0,05), Д<sub>2</sub> – на 12 % (p<0,05), относительно контроля (рис. 2).

Нефтезагрязнение привело к ингибированию активности дегидрогеназ и каталазы соответственно на 38 и 34 % (p<0,05), относительно контроля. При этом внесение Байкал ЭМ-1 в рекомендуемой дозе (Д) в нефтезагрязненный чернозем ингибировало активность каталазы, относительно загрязненной почвы, на 9 %. В вариантах с использованием Д<sub>0,5</sub> и Д<sub>2</sub> она снижалась соответственно на 12 и 8 %. Активность дегидрогеназ нефтезагрязненной почвы при Д<sub>0,5</sub> и Д<sub>2</sub> не отличалась от варианта без внесения ремедианта. При концентрации Байкал ЭМ-1 в рекомендуемой дозе (Д) она уменьшалась на 7 %.

Загрязнение чернозема мазутом способствовало ингибированию активности каталазы на 46 % (p<0,05), дегидрогеназ – на 48 % (p<0,05), по сравнению с контролем. При внесении Байкал ЭМ-1 в загрязненную мазутом почву в дозе Д<sub>0,5</sub> происходит дальнейшее ингибирование активности каталазы – на 15 %, Д – на 9 %, Д<sub>2</sub> – на 14 %. Активность дегидрогеназ после внесения биопрепарата во всех дозах практически не изменилась.

Загрязнение почв бензином вызвало ингибирование активности дегидрогеназ на 53 % (p<0,05), по сравнению с контролем. Активность каталазы достоверно не изменилась. При внесении Байкал ЭМ-1 в дозах Д<sub>1</sub> и Д<sub>2</sub> активность каталазы была ингибирована соответственно на 29 % и 42 %, а при Д<sub>0,5</sub> достоверных отличий от загрязненной почвы не выявлено. Активность дегидрогеназ в варианте Д<sub>0,5</sub> возросла, относительно загрязненной почвы, на 19 %, Д – на 6 %, Д<sub>2</sub> – на 38 %.

Внесение в незагрязненную черноземную почву Байкал ЭМ-1, нефти, мазута и бензина ингибирует активность почвенных ферментов. Дегидрогеназы в большей степени подвержены влиянию загрязнения почвы нефтью и нефтепродуктами, в то же время использование Байкал ЭМ-1 оказывает наименьшее стимулирующее воздействие на этот фермент. Однако применение ремедианта для активации дегидрогеназ имеет смысл только в случае загрязнения черноземов бензином.

Загрязнение почвы и воды непременно отражается на качественном составе и численности микроорганизмов. Это определяет чувствительность и информативность использования микробиологических показателей при оценке экологического состояния почв. Внесение Байкал ЭМ-1 в чернозем обыкновенный способствовало повышению численности почвенных бактерий относительно контроля в среднем на 29-76 % (рис. 3). Это обусловлено биологической природой ремедианта, а именно наличием в его составе штаммов полезных микроорганизмов.

В при загрязнении почвы нефтью, мазутом и бензином происходит снижение численности бактерий на 63, 77 и 62%, по сравнению с контролем. Восстановление таких почв с использованием Байкал ЭМ-1 в дозах Д<sub>0,5</sub>, Д<sub>1</sub> и Д<sub>2</sub> привело к повышению количества бактерий в почве с мазутом и бензином на 27 и 12 %, 49 и 29 %, 47 и 15 %, относительно загрязненной почвы, соответственно. В варианте с мазутом и бензином лучшие результаты обеспечило применение Байкала ЭМ-1 в концентрации Д.

С целью интегральной оценки изменения почвенных свойств при ремедиации загрязненного чернозема Байкал ЭМ-1 на основании всех информативных и чувствительных показателей биологической активности почв была применена разработанная на кафедре экологии и природопользования ЮФУ методика расчета

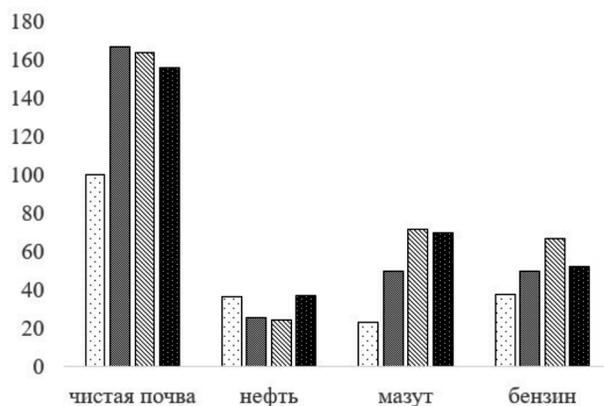
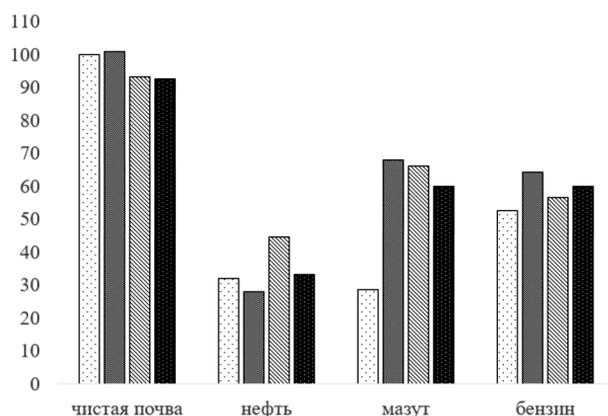


Рис. 3. Изменение общей численности бактерий чернозема обыкновенного при загрязнении нефтью, бензином и мазутом до и после внесения Байкал ЭМ-1, % от контроля: □ – почва; ■ – Д<sub>0,5</sub>; ▨ – Д<sub>1</sub>; ■ – Д<sub>2</sub>.



**Рис. 4. Интегральный показатель биологического состояния чернозема обыкновенного при загрязнении нефтью, бензином и мазутом до и после внесения Байкал ЭМ-1, % от контроля:** □ – почва; ■ – D<sub>0,5</sub>; ▨ – D; ■ – D<sub>2</sub>.

интегрального показателя биологического состояния почв (ИПБС).

ИПБС чернозема обыкновенного при воздействии Байкал ЭМ-1 достоверно не отличался от контроля (рис. 4). Внесение нефти, мазута и бензина уменьшало его величину, относительно контроля, соответственно на 68, 71 и 47 %. Наибольшее токсическое воздействие на почву оказывал мазут, снижая ИПБС чернозема на 71 %. При этом согласно результатам предыдущих исследований, почва выполняет свои экофункции нормально, если ИПБС уменьшился не более чем на 5 % [17]. В случае снижения ИПБС от 5 до 10 % происходит нарушение информационных экосистемных функций, от 10 до 25 % также нарушаются биохимические, химические, физико-химические и целостные экосистемные функции, более чем на 25 % – нарушению всех функций, в том числе физических и экосистемных.

При загрязнении нефтью использование Байкал ЭМ-1 в дозе Д увеличивало ИПБС на 12 %. При использовании биопрепаратов в остальных дозах достоверный эффект отсутствовал. В вариантах с мазутом внесение Байкал ЭМ-1 в дозе D<sub>0,5</sub> величина ИПБС возрастала на 39 %, D – на 37 %, D<sub>2</sub> – на 31 %, с бензином – повышение составило 11, 3 и 7 % соответственно. Наиболее эффективной дозой согласно ИПБС для этих двух загрязнителей была D<sub>0,5</sub>.

В целом согласно оценке ИПБС наиболее токсичным оказался мазут. Наименее токсичный нефтепродукт – бензин, при этом применение Байкал ЭМ-1 на почвах, загрязненных бензином, менее эффективно, чем при загрязнении мазутом.

Таким образом, внесение Байкал ЭМ-1 в чернозем, загрязненный нефтью, мазутом и бензином, в незначительной степени снижает гидрофобность, стабилизирует окислительно-восстановительные условия в почве и реакцию почвенной среды (рН). Биологические показатели чутко реагируют на загрязнение чернозема нефтью и продуктами ее переработки. Наибольший отклик на применение Байкал ЭМ-1 продемонстрировали показатели фитотоксичности и активности каталазы. По результатам оценки ИПБС наиболее токсичный нефтепродукт – мазут, наименее – бензин. Применение Байкал ЭМ-1 на почвах, загрязненных бензином, менее эффективно, чем при загрязнении мазутом и нефтью. Самой эффективной дозой Байкал ЭМ-1 для восстановления экологического состояния чернозема при загрязнении

нефтью была рекомендуемая производителем препарата (D), интегральный показатель биологического состояния увеличился на 12 % относительно контроля. При загрязнении мазутом и бензином лучшие результаты отмечены при использовании половинной дозы (D<sub>0,5</sub>), рост ИПБС составил 39 и 11 % соответственно.

#### Литература.

1. *Statistical Review of World Energy 2021, 70th edition.* URL: <https://www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics/statistical-review-of-world-energy.html> (дата обращения: 22.02.2022)
2. *Investigating the potential of sunflower species, fermented palm wine and Pleurotus ostreatus for treatment of petroleum-contaminated soil / U.J. Dickson, M. Coffey, R.J.G. Mortimer, et al. // Chemosphere. 2020. Vol. 240. P. 124881. doi: 10.1016/j.chemosphere.2019.124881* URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0045653519321204?via%3Dihub> (дата обращения: 22.02.2022).
3. *Bioremediation of fuel oil polluted soil by vermiculture of E. Fetida, E. Andrei, D. Veneta and their probiotics / S.B. Chachina, N.A. Voronkova, M.A. Gross, et al. // AIP Conference Proceedings. «Oil and Gas Engineering, OGE 2021». 2021. 020004. doi: 10.1063/5.0075858.* URL: <https://aip.scitation.org/doi/10.1063/5.0075858> (дата обращения: 19.02.2022)
4. *Bioremediation of soil of the Kola peninsula (Murmansk region) contaminated with diesel fuel / M.V. Korneykova, V.A. Myazin, N.V. Fokina, et al. // Geography, Environment, Sustainability. 2021. Vol. 14. No. 1. P. 171-176. doi: 10.24057/2071-9388-2019-170.*
5. *Минникова Т.В., Колесников С.И., Денисова Т.В. Влияние азотных и гуминовых удобрений на биохимическое состояние нефтезагрязненного чернозема // Юг России: Экология, развитие. 2019. Т. 14. №2. С. 189-201.*
6. *Evaluating the biological activity of oil-polluted soils using a complex index / R.R. Kabirov, L.M. Safullina, N.A. Kireeva, et al. // Eurasian Soil Science. 2012. Vol. 45. No. 2. P. 157-161.*
7. *Халилова Д.И., Юнусова Д.М. Анализ методов очистки нефтезагрязненных почв при авариях на объектах нефтегазовой отрасли и транспорте // Бюллетень результатов научных исследований. 2017. № 1–2. URL: [http://brni.info/archive/2017/1-2-\(22-23\).html](http://brni.info/archive/2017/1-2-(22-23).html) (дата обращения: 19.02.2022).*
8. *Тимофеева С.С., Рябчикова И.А., Иванова С.В. Исследование возможностей биоремедиации загрязненных почв с использованием ЭМ-препаратов // Вестник Казанского технологического университета. 2016. №21. С. 188-192.*
9. *Chachina S.B., Voronkova N.A., Baklanova O.N. Biological remediation of the engine lubricant oil-contaminated soil with three kinds of earthworms, Eisenia Fetida, Eisenia Andrei Dendrobena Veneta, and a mixture of microorganisms // Procedia Engineering. 2015. Vol. 113. P. 113-123*
10. *The recultivation of the soils, contaminated with petrol and diesel fuel, with the help of earthworms Dendrobena veneta and the complex of microorganisms / S.B. Chachina, N.A. Voronkova, M.A. Shadrin, et al. // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Krasnoyarsk: Institute of Physics and IOP Publishing Limited, 2019. 52065. doi: 10.1088/1755-1315/315/5/052065. URL: <https://app.dimensions.ai/details/publication/pub.1120504661> (дата обращения: 20.02.2022)*

11. Оценка агроэкологических показателей нефтезагрязненного чернозема Ростовской области при ремедиации мочевиной и гуматом калия / Т.В. Минникова, Т.В. Денисова, С.И. Колесников и др. // *Российская сельскохозяйственная наука*. 2018. №1. С. 44-48.
12. Экологически безопасные концентрации нефти в почвах черноморского побережья Кавказа / А.А. Кузина, С.И. Колесников, Т.В. Минникова и др. // *Экология и промышленность России*. 2021. Т. 25. № 11. С. 61-65. doi: 10.18412/1816-0395-2021-11-61-65
13. Алканы как компоненты углеводородного состояния почв: поведение, индикационное значение / А.Н. Геннадиев, Ю.А. Завгородняя, Ю.И. Пиковский и др. // *Почвоведение*. 2018. № 1. С. 37-47. doi: 10.7868/S0032180X18010045
14. Методы биодиагностики наземных экосистем / К.Ш. Казеев, С.И. Колесников, Ю.В. Акименко и др. Ростов-на-Дону: Изд-во Южного федерального университета, 2016. 356 с.
15. Проблемы с гидрофобностью почвы и пути их решения / Л.В. Архипова, О.В. Кормилицына, В.В. Бондаренко и др. // *Вестник МГУЛ. Лесной вестник*. 2007. № 7. С. 102-106.
16. Nikolaeva O.V., Terekhova V.A. Improvement of laboratory phytotest for the ecological evaluation of soils // *Eurasian Soil Science*. 2017. No. 50. P. 1105-1114, doi: 10.7868/S0032180X17090052
17. Денисова Т.В., Мазанко М.С., Колесников С.И. Влияние сочетанного воздействия переменного магнитного поля и загрязнения свинцом на биологические свойства почв юга России // *Радиационная биология. Радиоэкология*. 2020. Т. 60. № 6. С. 609-621. doi: 10.31857/S0869803120060168.
18. Akimenko Y.V., Kazeev K.S., Kolesnikov S.I. The impact of antibiotics (benzylpenicillin, and nystatin) on the biological properties of ordinary chernozems // *Eurasian Soil Science*. 2014. Vol. 47. No. 9. P. 910-916. doi: 10.7868/S0032180X14070028
19. Kolesnikov S.I., Kazeev K.S., Akimenko Y.V. Development of regional standards for pollutants in the soil using biological parameters // *Environmental Monitoring and Assessment*. 2019. Vol. 191. No. 544. URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10661-019-7718-3> (дата обращения: 20.02.2022)
20. Maslov M.N., Maslova O.A., Ezhelov Z.S. Microbiological transformation of organic matter in oil-polluted tundra soils after their reclamation // *Eurasian Soil Science*. 2019. Vol. 52. No. 1. P. 58-65. doi: 10.1134/S1064229319010101
21. Булуктаев А.А. Изменение солевого состава почв Черных земель при нефтяном загрязнении // *Юг России: экология, развитие*. 2018. № 2. P. 184-195. doi: 10.18470/1992-1098-2018-2-184-195
22. 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. No. 362. P. 389-417.
23. Шигаева Т.Д., Поляк Ю.М., Кудрявцева В.А. Окислительно-восстановительный потенциал как показатель состояния объектов окружающей среды // *Биосфера*. 2020. Т. 12. № 3. С. 111-124. doi: 10.24855/BIOSFERA.V12I3.549.
24. Руденко Е.Ю. К перспективам использования отходов пивоварения для рекультивации нефтезагрязненных почв // *Экология и промышленность России*. 2012. № 2. С. 34-38.
25. Иларионов С.А., Назаров А.В., Калачникова И.Г. Роль микромицетов в фитотоксичности нефтезагрязненных почв // *Экология*. 2003. № 5. С. 341-346.
26. Microorganisms in the elimination of oil pollution consequences (review) / T.Y. Korshunova, S.P. Chetverikov, M.D. Bakaeva, et al. // *Applied Biochemistry and Microbiology*. 2019. Vol. 55. No. 4. P. 344-354. doi: 10.1134/S0003683819040094
27. К вопросу о разработке ПДК нефти и нефтепродуктов в различных типах почв на основе их ассимиляционного потенциала (на примере почв Азербайджана) / М.П. Бабаев, Н.М. Исмаилов, С.И. Наджафова и др. // *Почвоведение*. 2020. № 11. С. 1393-1400. doi: 10.31857/S0032180X20110040

Поступила в редакцию 30.03.2022  
 После доработки 25.04.2022  
 Принята к публикации 12.05.2022

## ВЛИЯНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА ЭМИССИЮ CO<sub>2</sub> ИЗ ПАХОТНОЙ ЛУГОВО-ЧЕРНОЗЕМНОЙ ПОЧВЫ ЛЕСОСТЕПИ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

Н.А. Воронкова, доктор сельскохозяйственных наук, Н.Ф. Балабанова, кандидат сельскохозяйственных наук

Омский аграрный научный центр,  
644012, Омск, просп. Королёва, 26  
E-mail: natascha.balabanowa@mail.ru

*Исследования проводили с целью определения продуцирования CO<sub>2</sub> из пахотных почв в зависимости от температуры воздуха, количества осадков, возделывания сельскохозяйственных культур и применения минеральных удобрений. Работу выполняли в 2019–2022 гг. в лесостепной зоне Западной Сибири. Объектом исследования была лугово-чернозёмная почва среднемогучая среднетяжелосуглинистая. Отбор почвенных проб выполняли на трех площадках: парующая (без применения удобрений); под яровой мягкой пшеницей по паровому предшественнику с внесением минеральных удобрений в дозе N<sub>18</sub>P<sub>42</sub> на 1 га севооборотной площади и без их применения. Эмиссию CO<sub>2</sub> определяли в режиме оперативного мониторинга с интервалом в семь суток абсорбционным методом. Почва под растениями яровой пшеницы в период их интенсивного роста (18.06–19.07) характеризовалась большими потерями углерода в виде CO<sub>2</sub>, чем в паровом поле. Это связано со значительным вкладом в его суммарный сток дыхания корневой системы растений. При снижении влагообеспеченности происходило уменьшение эмиссионной составляющей CO<sub>2</sub>, что обусловлено торможением микробиологических процессов в почве. Использование минеральных удобрений в агроценозе увеличило секвестрацию и депонирование органического углерода. Запасы мортмассы в почве под растениями яровой мягкой пшеницы при внесении удобрений возрасли на 11 %, содержание гумуса – на 0,12 %, в сравнении с вариантом без их использования. Одновременно в этом варианте отмечено снижение минерализационных и усиление иммобилизационных процессов, коэффициент минерализации составил 0,69, иммобилизации – 1,44.*

## INFLUENCE OF ENVIRONMENTAL FACTORS ON CO<sub>2</sub> EMISSIONS FROM ARABLE MEADOW-CHERNOZEM SOIL OF FOREST-STEPPE WESTERN SIBERIA

Voronkova N. A., Balabanova N. F.

Omsk Agrarian Scientific Center,  
644012, Omsk, prosp. Koroleva, 26  
E-mail: natascha.balabanowa@mail.ru

*Studies were carried out to determine the production of CO<sub>2</sub> from arable soils depending on air temperature, precipitation, crop cultivation and the use of mineral fertilizers. The work was carried out in 2019–2022 in the forest-steppe zone of Western Siberia. The object of the study was a meadow-chnozem soil, medium thick, medium humus, heavy loamy. Soil sampling was carried out at three sites: fallow (without fertilizers); under spring soft wheat on a fallow predecessor with the application of mineral fertilizers at a dose of N<sub>18</sub>P<sub>42</sub> per 1 ha of crop rotation area and without their use. CO<sub>2</sub> emission was determined in the operational monitoring mode with an interval of seven days by the absorption method. A comparative assessment of the fallow field and spring wheat during the growing seasons showed that large losses of carbon in the form of CO<sub>2</sub> are typical for soils under spring wheat plants and are associated with a significant contribution to the total respiration runoff of the plant root system during the period of intensive growth (June 18–July 19). With a decrease in moisture availability, there was a decrease in the emission component of CO<sub>2</sub>, which is due to the inhibition of microbiological processes in the soil. The use of mineral fertilizers in the agroecosystem increased sequestration and deposition of organic carbon. The stocks of mortmass in the soil under the plants of spring soft wheat increased by 11% when fertilizing, the humus content increased by 0.12% abs. units in comparison with the option without fertilizers. Microbiological studies have established that in this variant there was a decrease in mineralization processes by 10% and an increase in immobilization, the mineralization coefficient was 0.69, and the immobilization coefficient was 1.44.*

**Ключевые слова:** агроценоз, эмиссия CO<sub>2</sub>, органический углерод, лугово-черноземная почва, экологические факторы.

**Key words:** agroecosystem, CO<sub>2</sub> emission, organic carbon, meadow-chnozem soil, environmental factors.

Интенсивность потока CO<sub>2</sub> с поверхности почвы – один из важных показателей углеродного цикла наземных экосистем. Количество углекислого газа, выделяемое почвами, зависит от определенных экологических факторов [1, 2]. Из биологических факторов – это, прежде всего пул микробиоценоза и дыхание корней растений, из абиотических – температура воздуха и почвы, количество осадков и др. В современных условиях большое внимание уделяют агрогенным факторам (система удобрения, обработки почвы и др.), с использованием которых в зависимости от научно обоснованного применения можно целенаправленно регулировать потоки углерода [3, 4].

Системное взаимодействие этих факторов проявляется в агробиоценозах, характеризующихся динамичным балансом органического вещества. Снижение содержания углерода в пахотных почвах при нерациональном

использовании превращает агроэкосистему в источник парниковых газов, в том числе диоксида углерода, а повышение продуктивности агроценозов, естественное или искусственное восстановление травянистой растительности способствует связыванию атмосферного CO<sub>2</sub> и ослаблению парникового эффекта в рамках региона и планеты в целом [5, 6].

Секвестрация и депонирование органического углерода – сложный поликомпонентный процесс, который зависит от качественных и количественных характеристик органического вещества почвы. Оно гетерогенно по составу и условно делится на два пула: легкоминерализуемые органические соединения и устойчивые к биодеградации гумусовые вещества [7, 8, 9]. Процессы минерализации и гумификации в почвах протекают одновременно, легкоминерализуемые (лабильные) органические вещества почвы, служат материалом для

разложения и эмиссии CO<sub>2</sub> в атмосферу и одновременно источником углерода для синтеза гумуса.

В условиях лесостепной зоны Западной Сибири интенсивность продуцирования CO<sub>2</sub> почвой при различных уровнях интенсификации и типах землепользования слабо изучена, имеются лишь фрагментарные сведения о влиянии этих факторов на углеродный цикл агроэкосистем [10, 11].

В связи с изложенным, цель исследования – количественное определение продуцирования CO<sub>2</sub> пахотной почвой в зависимости от экологических факторов.

**Методика.** Работу проводили в 2019–2021 гг. на опытном полигоне лаборатории агрохимии ФГБНУ «Омский АНЦ» в южной лесостепной зоне Западной Сибири в стационарном опыте, заложенном в 1987 г. на основе пятипольного зернопарового севооборота: пар чистый – яровая пшеница – соя – яровая пшеница – ячмень. Севооборот развернут во времени и пространстве.

Территориально опытный участок расположен на Евразийском континенте (географическая привязка 55,01° с.ш. и 73,23° в.д.) в лесостепной зоне Западно-Сибирской низменности. Климат региона – типично континентальный с продолжительной зимой и коротким жарким летом, поздними весенними и ранними осенними заморозками. Западно-Сибирская низменность с запада ограждена Уральским хребтом, а с востока – Средне-Сибирским нагорьем, совершенно открыта с севера и мало защищена с юга. В результате этого на территорию свободно вторгаются холодные арктические воздушные массы и теплые сухие из пустынь и степей Казахстана и Средней Азии. Для лесостепной зоны Западной Сибири характерны холодная и суровая зима, жаркое лето, ветреная и сухая весна, непродолжительная осень, короткий безморозный период, резкие колебания температуры от месяца к месяцу, от одного дня к другому и даже в течение суток. Годовая амплитуда температуры воздуха достигает 80...90 °С, что подчеркивает резкую континентальность местного климата. Среднегодовая сумма осадков в южной лесостепи Омской области составляет 300...320 мм.

Объект исследования – пахотная лугово-черноземная среднесиловая среднетяжелосуглинистая почва. Содержание в пахотном слое подвижного фосфора и калия (по Чирикову) составляет 105...128 и 350...420 мг/кг соответственно, обменного Ca<sup>2+</sup> и Mg<sup>2+</sup> (по ГОСТ 26487-85) – 88 и 11 ммоль/100 г почвы соответственно, рН<sub>водн</sub> (по ГОСТ 26483-85) – 6,7.

Почвенную секвестрацию органического углерода и депонирование его под растениями яровой мягкой пшеницы оценивали по количеству мортмассы и содержанию гумуса в почве в зависимости от применения минеральных удобрений.

Эмиссию CO<sub>2</sub> определяли в режиме оперативного мониторинга с интервалом в 7 суток в период с 9.06 по 2.09 2019–2021 гг. в трехкратной повторности абсорбционным методом [12]. Использовали полипропиленовые сосуды (d=10 см, h=15 см) с крышками. Сосуд врезали в почву на глубину 5 см и оставляли в таком положении на протяжении всего периода измерений. Внутри ставили чашечку (d=5 см) с 10 мл 1 н NaOH. Сосуд плотно закрывали крышкой на 24 ч, после экспозиции чашечку извлекали и остаток щелочи оттитровывали раствором 0,1 н HCl по фенолфталеину. Выделенное почвой за экспозицию количество CO<sub>2</sub> рассчитывали с учетом холодно-титрования, для чего щелочь на период экспозиции помещали в сосуд без почвы объемом равным объему свободного пространства в рабочем сосуде. Содержание углерода в почве (слой 0...25 см) определяли по методу Тюрина в модификации Никитина с колориметрическим окончанием по Орлову-Гриндель, мортмассы – путем отмывки негумифицированного органического вещества водой на сите с диаметром ячеек 0,25 мм [13].

Для определения биологической активности отбор почвенных проб осуществляли на глубину 0...20 см. Исследования выполнены методом инкубации микроорганизмов на твердых питательных средах: бактерий-сапрофитов – на мясопептонном агаре (МПА), микроорганизмов, потребляющих азот в минеральной форме, – на крахмало-аммиачном агаре (КАА) [14].

Наблюдения за эмиссией CO<sub>2</sub> с поверхности почвы проводили во взаимосвязи с погодными условиями (тем-

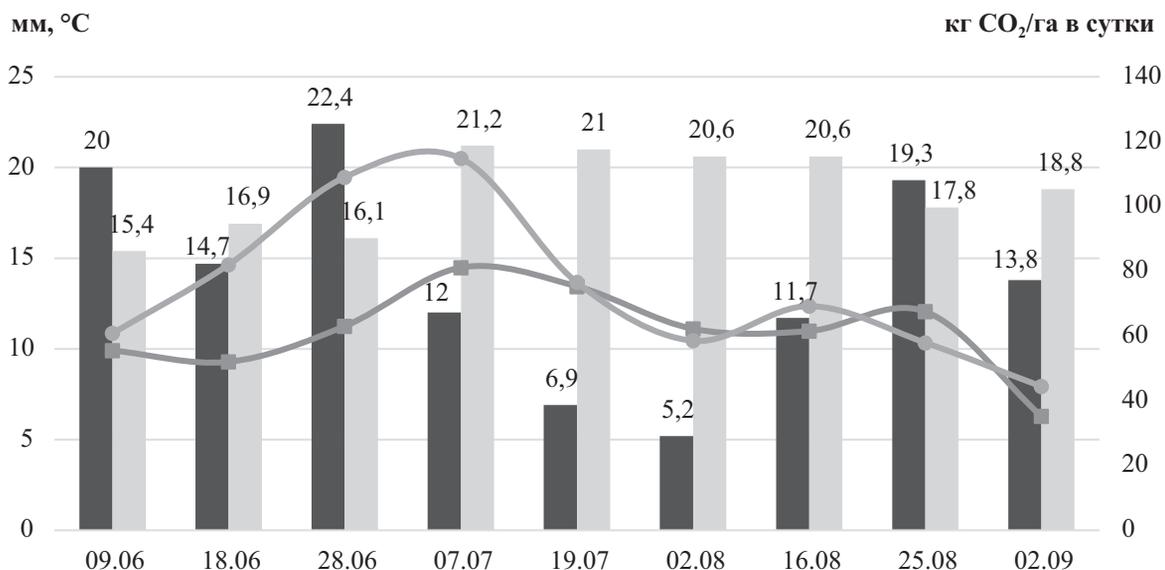
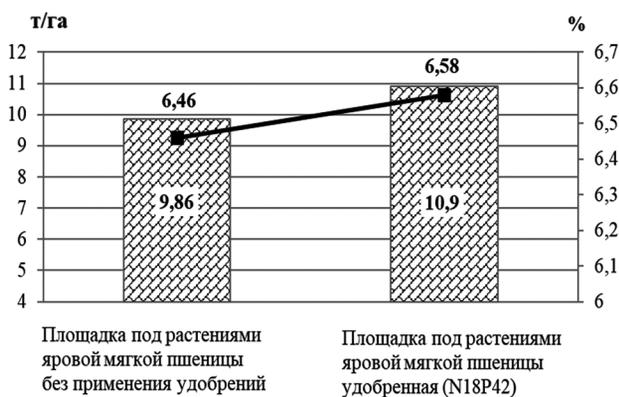


Рис. 1. Динамика эмиссии CO<sub>2</sub> из пахотной почвы за вегетационный период (в среднем 2019–2021 гг.): ■ – сумма осадков, мм; ■ – температура воздуха, °C; ■ – парующаяся площадка; ● – площадка под мягкой пшеницей (без удобрений).



**Рис. 2.** Запасы мортмассы ( $HCP_{05} = 0,86$  т/га) и содержание гумуса ( $HCP_{05} = 0,08$  %) в пахотной почве (слой 0...25 см): – запасы мортмассы, т/га; – содержание гумуса в почве, %.

пературы воздуха, количества осадков), возделывания сельскохозяйственных культур и применения минеральных удобрений. Отбор почвенных проб выполняли на трех площадках: парующая (без применения удобрений); под яровой мягкой пшеницей сорта Мелодия по паровому предшественнику с внесением минеральных удобрений в дозе  $N_{18}P_{42}$  на 1 га севооборотной площади и без их применения.

**Результаты и обсуждение.** В литературе имеются данные, что продуцирование  $CO_2$  почвами различно в течение вегетационного периода и зависит от видового состава и густоты растительного покрова, состояния микробиоценоза и др. [11, 15, 16]. Результаты исследований на опытном полигоне показали, что при начальном определении (в первой декаде июня, в фазе кущения) количество выделяемого из почвы диоксида углерода по вариантам опыта существенно не различалось и составляло 55,5...60,8 кг  $CO_2$ /га в сутки (рис. 1). В фазе цветения (18.06-19.07) при активном росте культуры продуцирование  $CO_2$  под растениями яровой пшеницы было выше, чем на паровом участке. Это объясняется в первую очередь значительным вкладом в суммарный сток  $CO_2$  дыхания корневой системы растений. В последний летний месяц дифференциации по эмиссии  $CO_2$  в вариантах опыта не наблюдали.

Анализ динамики эмиссии  $CO_2$  за вегетационный период в зависимости от тепло- и влагообеспеченности отчетного периода показал, что при снижении количества осадков с 19.07 по 16.08 (фаза колошения, начала налива зерна) происходило плавное уменьшение эмиссионной составляющей  $CO_2$ . Складывающиеся в этот период исследований условия, высокая температура воздуха и низкая полевая влагемкость, вызвали торможение микробиологических процессов в почве, снизив тем самым почвенное дыхание.

Анализируя количественные параметры эмиссии  $CO_2$ , необходимо рассматривать функционал почвы как основного ландшафтообразующего элемента биоценоза, так как ее растительный покров служит неотъемлемым компонентом, определяющим физико-химические и биологические свойства педосферы. Агроценозы, по сравнению с естественными растительными формациями, характеризуются одновидовым составом растений и отчуждением значительной части продукции, что сказывается на количестве поступающего в почву растительного материала [13], который способствует пополнению фонда лабильного органического вещества (ЛОВ).

Внесение минеральных удобрений под яровую пшеницу обеспечивало увеличение сбора зерна более чем 30 %. Как правило, в совокупности с зерновой продуктивностью формируется соответствующее количество дополнительного органического вещества (солома, корни и др.). Это и определяет приходную статью почвенного органического углерода. Запасы мортмассы в почве под растениями яровой мягкой пшеницы при внесении удобрений возрастали на 11 % (рис. 2). Это дает возможность говорить о повышении секвестрации органического углерода при улучшении условий минерального питания культуры. Содержание гумуса в почве на этой опытной площадке увеличилось, в сравнении с соответствующим вариантом без удобрений, на 0,12 %. Прослеживалась тенденция к депонированию органического углерода. Так как содержание гумуса – консервативный показатель почвенного плодородия, оценку влияния агрогенных факторов необходимо осуществлять через более широкий временной интервал.

Направленность и превалирование почвенных процессов (минерализация или иммобилизация) зависит, по мнению В.М. Семенова [17], от микробиологического пула. Почвенные микроорганизмы – обязательный компонент любой агросистемы. Количество их в хорошо окультуренной почве может достигать нескольких миллиардов в 1 г почвы, а общая масса – 10 т/га. Они обладают мощным ферментативным аппаратом, выполняют многообразные функции в круговороте веществ, обеспечивая постоянное функционирование экосистем в целом [18, 19].

Изучаемая лугово-черноземная почва характеризовалась высокой биогенностью. За период исследований общая численность микроорганизмов, растущих на МПА, варьировала от 24,2 до 33,7 млн КОЕ/г, на КАА – 18,4...23,4 млн КОЕ/г (см. табл.). Биологическая активность почвы в большей степени зависла от фона удобренности, систематическое внесение удобрений в севообороте позволило увеличить численность бактерий – аммонификаторов, растущих на МПА, на 39 %, усваивающих минеральные формы азота на КАА – на 27 %, в сравнении парующей площадкой без применения удобрений. На сегодняшний день имеется достаточно много работ, в которых оценивается влияние удобрений на плодородие почвы по изменению общей численности микроорганизмов [18, 20]. Ее увеличение при внесении удобрений, по мнению И.Н. Шаркова [13] и других учёных, связано с наибольшим поступлением

**Биологическая активность лугово-черноземной почвы (в среднем за вегетацию 2019-2021 гг.)**

Вариант	Бактерии, млн КОЕ/г		КАА/МПА	МПА/КАА
	на МПА	на КАА		
Парующая площадка (фон без удобрений)	24,2	18,4	0,76	1,32
Площадка под яровой мягкой пшеницей, предшественник – пар (фон без удобрений)	26,8	20,1	0,75	1,33
Площадка под яровой мягкой пшеницей, предшественник – пар, (фон внесение минеральных удобрений в дозе N18P42)	33,7	23,4	0,69	1,44
$HCP_{05}$	6,3	4,5		

в почву энергетического материала в виде листового опада, корне-поживных остатков растений.

К важным показателям интенсивности микробиологических процессов трансформации азотсодержащих соединений относят коэффициенты минерализации (КАА/МПА) и иммобилизации (МПА/КАА). Увеличение соотношения КАА/МПА свидетельствует о преобладании в почве процесса минерализации и интенсивном использовании азота почвы, а его снижение – об усилении гумификационных процессов [18]. В наших исследованиях при внесении минеральных удобрений в дозе  $N_{18}P_{42}$  отмечалось снижение минерализационных процессов на 10% и усиление иммобилизационных, что вполне закономерно, запасы мортмассы и содержание гумуса и под яровой мягкой пшеницей, высеваемой по паровому предшественнику на удобренном фоне были наибольшими. Коэффициент минерализации в этом варианте был наименьшим (0,69), а иммобилизации самым высоким (1,44). Следовательно, оптимизация минерального питания сельскохозяйственных культур путем внесения минеральных удобрений позволяет не только повышать продуктивность агроценозов, но и сохранять почвенное плодородие пополняя фонд лабильного органического углерода.

Таким образом, продуцирование диоксида углерода лугово-черноземной почвой в условиях лесостепи Западной Сибири зависит от погодных условий и типа землепользования. Эмиссия углекислого газа почвой в севообороте под растениями яровой мягкой пшеницы выше, чем в почве парового участка. Систематическое применение удобрений обеспечивает депонирование органического углерода благодаря активизации почвенной биоты, обеспечивающей превалирование процессов сохранения и воспроизводства почвенного плодородия.

#### Литература.

1. Пулы и потоки углерода в наземных экосистемах России / В.Н. Кудеяров, Г.А. Заварзин, С.А. Благодатский и др. / М.: Наука, 2007. 315 с.
2. Пуртова Л.Н., Костенков Н.М., Шапова Л.Н. Оценка гумусного состояния и продуцирования CO<sub>2</sub> почвами природных и агрогенных ландшафтов юга Дальнего Востока России // Почвоведение. 2017. №1. С. 48-55.
3. *Effects of Environmental Drivers and Agricultural Management on Soil CO<sub>2</sub> and N<sub>2</sub>O Emissions* / M. Dencs, A. Horel, I. Bogunovic et al. // *Agronomy*. 2021. No. 11(1). URL: <https://www.mdpi.com/2073-4395/11/1/54> (дата обращения: 15.02.2022).
4. Семенова М.В., Ильин Ю.М. Влияние оросительной мелиорации на эмиссию углерода с наземных геосистем Селенгинской Даурии // *Вестник КрасГАУ*. 2017. №6. С. 121-128.
5. Семенов В.М., Козут Б.М., Почвенное органическое вещество. М.: ГЕОС. 2015. 233 с.
6. Meena R.S., Kumar S., Yadav G.S. *Soil carbon sequestration in crop production, Nutrient dynamics for sustainable crop production*. Singapore: Springer Nature. 2019. 39 p.
7. Курганова И.Н., Семенов В.Н., Кудеяров В.Н. Климат и землепользование как ключевые факторы стабильности органического вещества в почвах // *Доклады академии наук*. 2019. №6. С. 646-650.
8. *Содержание лабильного органического вещества в лугово-черноземной почве при длительном применении удобрений* / Н.Ф. Балабанова, Н.А. Воронкова, В.А. Волкова и др. // *Земледелие*. 2020. №2. С. 7-9.
9. Чупрова В. В. *Запасы, состав и трансформация органического вещества в пахотных почвах Средней Сибири* // *Бюллетень почвенного института им. В.В. Докучаева*. 2017. № 90. С. 96-115.
10. Титлянова А.А., Наумов А.В. Потери углерода из почв Западной Сибири при их сельскохозяйственном использовании // *Почвоведение*. 1995. №11. С. 1357-1362.
11. Шепелев А.Г., Самохвалова Л.М. Взаимосвязи дыхания чернозема с составом органического вещества почвы в условиях центральной лесостепи Западной Сибири // *Вестник Томского государственного университета*. 2017. № 37. С.6-16.
12. Шарков И.Н. *Абсорбционный метод определения эмиссии CO<sub>2</sub> из почв* // *Методы исследований органического вещества почв*. М.: РАСХН, ГНУ ВНИП-ТИОУ, 2005. С. 401-407.
13. И.Н. Шарков, Л.М. Самохвалова, А.Г. Шепелев. Влияние пожнивных остатков на состав органического вещества чернозема выщелоченного в лесостепи Западной Сибири // *Почвоведение*. 2014. №4. С. 473-479.
14. Теннер Е.З., Шильникова В.К., Переверзева Г.И. *Практикум по микробиологии / 4-е изд., перераб. и доп.* М.: Колос, 1993. 175 с.
15. Liang L.L., Grantz D.A., Jenerette G.D. *Multivariate regulation of soil CO<sub>2</sub> and N<sub>2</sub>O pulse emissions from agricultural soils* // *Glob. Chang. Biol*. 2016. No. 22. P. 1286-1298.
16. *Resprone of soil surface greenhouse gas fluxes to crop residue removal and cover crops under a corn-soybean rotation* / B.R. Wegner, K.S. Chalise, S. Singh, et al. // *Journal of Environmental Quality*. 2018. No. 5. P. 1146-1154.
17. Семенов В.М. Функции углерода в минерализационно-иммобилизационном обороте азота в почве // *Агрохимия*. 2020. №6. С. 78-16.
18. *Биологическая активность лугово-черноземных почв Омского Прииртышья* / О.Ф. Хамова, Л.В. Юшкевич, Н.А. Воронкова и др. Омск: Омскбланкиздат, 2019. 94 с.
19. Звягинцев Д. Г., Бабьева Н.П. *Биология почв*. М.: МГУ, 2005. 445 с.
20. Добровольский П.В., Никитин Е.Д. *Функции почв в биосфере и экосистемах*. М.: Наука, 1990. 261 с.

Поступила в редакцию 11.04.2022

После доработки 23.05.2022

Принята к публикации 27.06.2022

**Зоотехния и ветеринария**

УДК 636.085

DOI: 10.31857/S250026272204010X, EDN: GEJQLG

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ СТРУКТУРНЫХ УГЛЕВОДОВ И ЛИГНИНА В КОРМОВЫХ ТРАВАХ ПО ВАН-СОЕСТУ И КИЗЕЛЮ****Х.К. Худякова<sup>1</sup>**, кандидат сельскохозяйственных наук, **В.Г. Косолапова<sup>2</sup>**, доктор сельскохозяйственных наук<sup>1</sup>Федеральный научный центр кормопроизводства и агроэкологии имени В.П. Вильямса, 141055, Московская обл., Лобня, ул. Научный городок, корп. 1  
E-mail: hatima40@mail.ru<sup>2</sup>Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева, 127434, Москва, ул. Тимирязевская, 49  
E-mail: v.kosolapova@rgau-msha.ru

*Исследования проводили с целью сравнения результатов определения структурных углеводов и лигнина двумя методами: по Ван-Соесту с использованием детергентов (метод 1) и последовательного кислотного гидролиза по Кизелю (метод 2) в многолетних злаковых (кострец безостый, овсяница луговая, тимофеевка луговая) и бобовых (клевер луговой, люцерна посевная) кормовых травах в 3 фазы роста каждого вида: злаков – в фазы выхода в трубку, начала колошения и начала цветения, бобовых – ветвления, бутонизации и начала цветения. Сравнивали результаты анализа в среднем для 9 проб злаковых и 6 проб бобовых трав. Для злаковых трав различия между методами по уровню целлюлозы (Ц) и лигнина (Л) и кислотно-детергентного лигнина (КДЛ) были незначимыми. Однако содержание нейтрально-детергентной клетчатки (НДК), существенно превышало сумму гемицеллюлоз (ГЦ), целлюлозы (Ц) и лигнина (Л), определенных по Кизелю. Уровень ГЦ, рассчитанный по разнице между НДК и кислотно-детергентной клетчаткой (КДК), также выше величины этого показателя по Кизелю. Однако результаты анализов НДК и ГЦ двумя методами тесно коррелируют между собой. Возможно, это связано с наличием в составе НДК протеина и золы, содержание которых составило в среднем 4,4 и 1,5 % соответственно. При определении ГЦ по разнице между НДК и КДК предложено вычитать из значений клетчатки содержание нерастворимого протеина, нерастворимого в нейтральном детергенте, а также золы. Для бобовых трав различия между методами для всех определяемых соединений были незначительными, за исключением лигнина, для которого величина КДЛ значительно ниже, чем Л. В статье приведены уравнения регрессии, связывающие результаты анализов, проведенных двумя методами.*

**DETERMINATION OF STRUCTURAL CARBOHYDRATES IN FORAGE GRASSES BY METHODS VAN-SOEST AND KIESEL****Khudyakova H.K.<sup>1</sup>, Kosolapova V.G.<sup>2</sup>**<sup>1</sup>Federal Williams Research Center of Forage Production and Agroecology, 141055, Moskovskaya obl., Lobnya, ul. Nauchnyi gorodok, korp. 1  
E-mail: hatima40@mail.ru<sup>2</sup>Russian State Agrarian University-Moscow Agricultural Academy named after K.A. Timiryazev, 127434, Moskva, ul. Timiryazevskaya, 49

*The purpose of these studies is to compare the results of the determination of structural carbohydrates and lignin by two methods: according to Van Soest using detergents (method 1) and sequential acid hydrolysis according to Kiesel (method 2) – in perennial forage grasses (*Bromus inermis*, *Festuca pratensis*, *Phleum pratense*) and legumes (*tifolium pratense*, *medicago sativa*) in 3 phases of growth of each species: grasses – in the phases vegetative, earing and flowering, legumes – vegetative, budding and beginning of flowering. The results of the analysis were compared on average for 9 samples of grasses and 6 samples of legumes. For grasses the differences between the methods in the levels of cellulose (Z) and lignin (L) were insignificant. However, the content of neutral detergent fiber (NDF) significantly exceeded the sum of hemicelluloses (HZ), cellulose and lignin, determined by Kiesel. The HZ level, calculated from the difference between NDF and acid detergent fiber (ADF), is also higher, than by Kiesel, although with a close correlation between the results of the methods. Perhaps this is due to the presence of protein and ash in the composition of NDF, the content of which averaged 4.4 and 1.5%, respectively. When determining the HZ by (NDF-ADF), it is proposed to subtract from the values of fiber the content of insoluble protein (NDICP and ADNCP), as well as ash. For legumes the differences between the methods for all determined compounds are insignificant, with the exception of lignin, for which the AD lignin value (ADL) is significantly lower than L. The article presents regression equations linking the results of the analyses conducted by two methods.*

**Ключевые слова:** многолетние кормовые травы, кислотно-детергентная клетчатка, нейтрально-детергентная клетчатка, целлюлоза, гемицеллюлозы, лигнин, кислотно-детергентный нерастворимый протеин (КДНП), нейтрально-детергентный нерастворимый протеин (НДНП).

**Key words:** perennial herbages, neutral-detergent fiber, cellulose, hemicelluloses, lignin, acid detergent fiber, acid-detergent insoluble protein, (ADICP), neutral-detergent insoluble protein (NDICP).

Основной источник энергии в кормах – углеводы, на долю которых приходится от 40 до 80 % сухого вещества. Их принято разделять на две главные группы: неструктурные углеводы (НСУ) и углеводы клеточных стенок, или структурные. С точки зрения их трансфор-

мации в организме животных углеводы первой группы – это моно-, ди- и олигосахариды, низкомолекулярные фруктозиды и крахмал – легко и почти полностью переваримы, поэтому их называют также легкогидролизуемыми, или легкопереваримыми.

Структурные углеводы вместе с лигнином составляют клеточные стенки растений – это полимеры (пектиновые вещества, гемицеллюлозы и целлюлоза), которые различаются по степени полимеризации, виду и форме составляющих их моносахаридов, типу связей и др. Они представляют интерес в качестве источника энергии для, главным образом, жвачных животных, которые благодаря микрофлоре желудочно-кишечного тракта способны частично переваривать структурные углеводы. Кроме того, содержание клеточных стенок – основной фактор, от которого зависит переваримость и потребление корма, а также использование энергии переваримых веществ животными. Следует также отметить физиологическую роль структурных углеводов, которая заключается в обеспечении нормального функционирования рубца (руминации) и моторной функции желудочно-кишечного тракта.

Структурные углеводы вместе с лигнином обычно объединяют под общим названием «волокно» (fiber) или «клетчатка». В этом случае «клетчатка» не означает «целлюлозу», а служит термином, принятым при оценке кормов по содержанию структурных веществ. Ее можно определить, как фракцию корма, которая частично и медленно переварима, неполностью доступна и заполняет большую часть объема желудочно-кишечного тракта жвачных животных.

Впервые оценка кормов по величине трудно и медленно переваримых углеводов и лигнина была выполнена по схеме Веенде по содержанию сырой клетчатки (СК). В качестве показателя переваримости и энергетической ценности кормов СК сыграла и до сих пор играет важнейшую роль в изучении качества кормов. Однако она не представляет сумму структурных или непереваримых веществ и не обеспечивает разделение углеводов клеточных стенок по их видам. В состав СК входит только целлюлоза, переменная часть лигнина и очень незначительная часть другого структурного углевода – гемицеллюлоз (ГЦ). Например, в кормовых травах в состав сырой клетчатки входит лишь 19...33 % содержащегося в них лигнина и 5...13 % ГЦ [1]. В то же время информация об отдельных видах структурных веществ корма необходима для более точного прогнозирования их потребления и переваримости. При этом для полного определения углеводного состава кормов необходимо их длительное и трудоемкое разделение на фракции согласно химическому составу, а также переваримости и питательной ценности. Чаще всего в прошлом и до сих пор фракции углеводов определяют из одной навески корма методом последовательного кислотного гидролиза. Этим методом в различных модификациях интенсивно изучали углеводный состав кормовых растений, кормов и рационов в 50-60-е годы и ранее, а также их питательную ценность. К числу таких модификаций относится определение углеводного состава растений по Кизелю, которое до сих пор используют в нашей стране [2, 3].

Однако метод последовательного кислотного гидролиза трудоемок и длителен для применения в практике оценки качества кормов. Для решения этой проблемы в 60-х гг. прошлого века Ван-Соестом была предложена схема анализа структурных углеводов и лигнина кормов, основанная на использовании растворов детергентов. Согласно этой схеме нейтральный детергент растворяет содержимое клетки, оставляя клеточные стенки, состоящие из гемицеллюлоз, целлюлозы и лигнина, которые называют нейтрально-детергентной клетчаткой (НДК). Кислотный детергент удаляет ГЦ и остаток представляет сумму целлюлозы (Ц) и лигнина (Л), или

кисотно-детергентную клетчатку (КДК). КДК используют для определения лигнина (КДЛ) путем ее гидролиза 72 %-ной серной кислотой. ГЦ и Ц вычисляют по разнице:  $ГЦ = НДК - КДК$ ;  $Ц = КДК - КДЛ$ .

Результаты исследований, по сравнению углеводов и лигнина в исходной траве и в составе НДК и КДК методом последовательного кислотного гидролиза свидетельствуют, что детергентные методы не всегда специфичны для структурных углеводов и лигнина. Тем не менее определение НДК, КДК, КДЛ и на их основе ГЦ и Ц получили широкое распространение во всем мире при оценке качества кормов.

В нашей стране до сих пор в основном применяют метод последовательного кислотного гидролиза, поскольку анализ с использованием детергентов только начинает входить в практику оценки качества кормов. В то же время в литературе много данных, полученных методом последовательного кислотного гидролиза. Для того чтобы обобщать и сравнивать такие сведения, а также использовать их при составлении рационов животных необходимо знать сопоставимость результатов указанных методов.

Цель исследований – выяснить сопоставимость результатов оценки структурных углеводов и лигнина, полученных разными методами.

**Методика.** Объектом исследования были образцы кормовых трав, выращенных на дерново-подзолистой почве Центральной экспериментальной базы ВНИИ кормов имени В.Р. Вильямса. Оценка содержания углеводных фракций проводили методами детергентных анализов (по схеме Ван-Соеста) и последовательного кислотного гидролиза.

Для сбора проб выделяли несколько площадок по диагонали участка. Образцы отбирали в первом укосе: злаковых трав (кострец безостый, овсяница луговая, тимофеевка луговая) – в фазы выхода в трубку, выметывания соцветий (колошения) и цветения; бобовых (люцерны посевной и клевера лугового) – в фазы ветвления, бутонизации и начала цветения. Скошенную зеленую массу, высушенную при температуре 60...65 °С в сушильном шкафу с принудительной вентиляцией, размальвали до прохода через сито с отверстиями 1 мм.

При проведении детергентных анализов (метод 1) содержание НДК и КДК определяли из отдельных навесок путем кипячения в течение 1 ч в растворе нейтрального детергента (без применения амилазы) или в растворе кислого детергента соответственно. Содержание ГЦ устанавливали расчетным методом, как разницу между НДК и КДК, а Ц – между КДК и КДЛ. Результаты выражали в процентах от сухого вещества. Для определения КДЛ использовали остаток КДК, которую подвергали гидролизу 72 %-ным раствором серной кислоты.

Последовательный кислотный гидролиз (метод 2) состоял из следующих этапов:

- удаление из пробы водорастворимых углеводов экстракцией водой при температуре 60 °С в течение 2 ч;
- экстракция ГЦ из остатка 2 %-ным раствором соляной кислоты в течение 4 ч на кипящей водяной бане;
- суспендирование остатка в 72 %-ном (m/m) растворе серной кислоты в течение 3 ч при температуре 20...23 °С;

- экстракция Ц кипячением остатка пробы в разбавленном растворе серной кислоты в течение 1 ч;
- промывка остатка после экстракции Ц, последующее высушивание и взвешивание для извлечения лигнина.

Гидролизаты ГЦ и Ц после нейтрализации анализировали на содержание редуцирующих сахаров перманганатным методом Бертрена. Полученные результаты

**Табл. 1. Содержание структурных углеводов и лигнина при разных методах их определения, % сухого вещества**

Показатель	Метод анализа*	Злаковые травы		Бобовые травы	
		среднее**	разница	среднее**	разница
НДК	№ 1	61,54	6,89±0,87***	43,51	0,64±1,23
	№ 2 (ГЦ+Ц+Л)	54,65		44,15	
КДК	№ 1	34,39	-1,30±0,68	35,48	0,37±1,32
	№ 2 (Ц+Л)	35,69		35,11	
ГЦ	№ 1	27,15	8,19±0,81	8,04	-1,0±0,54
	№ 2 (НДК-КДК)	18,96		9,04	
Ц	№ 1 (КДК-Л)	28,14	-0,71±0,81	27,1	1,90±3,11
	№ 2	28,86		25,20	
КДКЛ	№1	6,25	-0,58±0,27	8,38	-1,53±0,43
Лигнин	№2	6,83		9,91	

\*метод №1 – с применением детергентов, метод №2 – последовательный кислотный гидролиз; \*\* средний результат для 9 проб злаковых трав (три вида в три фазы вегетации, за исключением одной пробы по содержанию КДК, для которой результаты представляли статистический выброс, поэтому были удалены из выборочной совокупности, то же относится к результатам по Ц) и для 6 проб бобовых трав; \*\*\* стандартная ошибка.

умножали на коэффициент 0,9 и выражали в процентах от сухого вещества.

Значения НДК сравнивали с суммой Ц, ГЦ и Л, определенных методом последовательного гидролиза, а КДК – с суммой Ц и Л.

**Результаты и обсуждение.** Содержание клеточных стенок (НДК) при использовании метода 1 в *злаковых травах* было на 6,3 % выше, чем сумма (ГЦ+Ц+Л), определенная методом последовательного кислотного гидролиза (табл. 1).

Разница между НДК и суммой (ГЦ+Ц+Л) по  $t_{0,95}$ -критерию была существенной. Однако между результатами двух методов отмечена достаточно тесная положительная корреляция (табл. 2). Завышение результатов при использовании метода 1, по сравнению с методом 2, по-видимому, связано с тем, что в состав НДК входят сырой протеин и зола, которые не учитываются при последовательном гидролизе. Содержание протеина, нерастворимого в нейтральном детергенте НДНП в среднем для 9 проб составило 4,4 %, золы – 1,5 %. При

вычете из величины НДК, содержащихся в ее составе золы и НДНП получается результат, близкий к сумме Ц, ГЦ и лигнина.

КДК по методу 1, напротив, ниже суммы (Ц+Л). Это может быть связано с вхождением в ее состав лишь 88,8 % Ц исходной зеленой массы [4] и более низким значением КДЛ, по сравнению с Л. В КДК также присутствует КДНП, но намного меньше, чем в НДК. В результате наших исследований установлено, что в среднем для 9 проб злаковых трав содержание КДНП составило 1,2 % [5]. Из полисахаридов клеточных стенок содержание Ц при ее определении по методу 2 было несущественно выше, чем по разнице КДК – КДЛ (см. табл. 1 и 2). Однако разница между результатами методов несущественна.

В отличие от Ц, содержание второго полисахарида клеточных стенок – ГЦ по методу 1 было существенно выше, чем при последовательном кислотном гидролизе (см. табл. 1). Кроме того, для величин этих показателей отмечен более низкий коэффициент корреляции, чем для других (см. табл. 2). Поскольку по методу 1 ГЦ представляет собой разницу между НДК и КДК, частично такая ситуация обусловлена повышенным содержанием НДК и более низким – КДК. Также существует вероятность удаления части ГЦ, например, уроновых кислот, при экстракции пробы водой, которую применяли в нашем опыте по методу 2 до экстракции ГЦ, что могло привести к занижению величины этого показателя.

При определении ГЦ методом 1, результат включает также разницу по содержанию нерастворимых в нейтральном и кислотном детергенте протеина и золы. В НДК их содержится гораздо больше, чем в КДК. Поскольку ГЦ – полисахарид, в состав которого не входят протеин и зола, было бы более правильно определять его содержание по разнице между НДК и КДК после вычитания из их значений содержания нерастворимых протеина и золы. Более высокое содержание ГЦ в злаковых травах при их определении по разнице между НДК и КДК отмечают и других исследованиях. По-видимому, в связи с этим ГЦ, рассчитанные по разнице между НДК и КДК были названы «сырыми», а для связи содержания ГЦ, определенного независимым методом (у) с данными по разнице НДК-КДК (х) было разработано соответствующее уравнение [4]:

$$y = 0,98 + 0,73x,$$

При пересчете содержания ГЦ с использованием этого уравнения для наших данных разница между методами составила всего 1,8 %.

**Табл. 2. Статистические параметры оценки разности результатов между методами**

Структурные углеводы и лигнин	Значения t-критерия		Уравнение	Параметры уравнений		
	фактический	$t_{0,95}$		n	r	s
<b>злаковые травы</b>						
НДК	7,70	2,31	$y = 0,83x + 6,08^*$	9	0,97	1,95
КДК	1,10	2,37	$y = 1,10x + 4,54$	8	0,97	1,78
Гемичеселлюлозы	10,08	2,31	$y = 0,45x + 6,69$	9	0,58	1,84
Целлюлоза	0,36	2,37	$y = 1,24x - 7,46$	8	0,96	1,60
Лигнин	2,16	2,31	$y = 1,06x - 0,25$	9	0,89	1,10
<b>бобовые травы</b>						
НДК	0,52	2,57	$y = 0,86x + 654$	6	0,93	2,49
КДК	0,28	2,57	$y = 0,72x + 9,38$	6	0,93	2,31
Гемичеселлюлозы	1,86	2,57	$y = 12,42 - 0,42x$	6	0,38	1,54
Целлюлоза	0,61	2,57	$y = 0,72x + 5,54$	6	0,87	2,30
Лигнин	3,55	2,57	$y = 0,71x + 3,93$	6	0,94	0,68

\*у – величина показателя, рассчитанного по уравнению; x – значение показателя по методу 2; n – количество переменных; r – коэффициент корреляции; s – стандартная ошибка уравнения.

*Бобовые травы* отличаются от злаковых более низким содержанием ГЦ и более высоким – Л, а также присутствием пектиновых веществ. Эти особенности, по-видимому, отразились и на результатах рассматриваемых методов.

В отличие от злаковых, величина НДК в зеленой массе бобовых культур незначительно отличается от суммы (Ц+ГЦ+Л), полученной методом последовательного кислотного гидролиза (см. табл. 1). Это связано с входжением в состав НДК, например, люцерны, только 83,7 % Ц исходной массы, а у злаковых – 96,3 %. То же касается протеина: в НДК бобовых входит 12,4 %, злаковых – 31,6 % протеина исходной вегетативной массы [4]. Наличие пектиновых веществ в составе клеточных стенок бобовых, не привело к повышению содержания НДК, по сравнению с суммой ГЦ, Ц и Л, так как нейтральный детергент растворяет пектиновые вещества, и они не входят в состав НДК, хотя и содержатся в клеточных стенках.

В бобовых травах также отмечено незначительное различие между содержанием КДК и суммой (Ц+Л), определенных методом последовательного кислотного гидролиза. Кислотный детергент не удаляет пектиновые вещества, входящие в состав клеточных стенок, но в связи с тем, что в составе КДК остается лишь 88,7 % Ц исходной массы существенные различия между результатами методов отсутствуют.

При определении Ц путем расчета разницы между КДК и КДЛ, величина этого показателя хотя и несущественно, но выше, чем при использовании метода последовательного кислотного гидролиза. По-видимому, это связано с более низким уровнем КДЛ, по сравнению с Л.

Данные по среднему содержанию ГЦ, полученные разными методами, отличались не существенно (см. t-критерий, табл. 2). Однако высокая ошибка разности средней обусловила низкий коэффициент корреляции между ними.

Таким образом, методы определения структурных углеводов (ГЦ, Ц, и Л) по Ван-Соесту не всегда специфичны для полисахаридов и лигнина клеточных стенок. Но физические и биологические свойства фракций углеводов, которые влияют на питание животных, более важны, чем их состав. Преимущество имеет такой метод, который позволяет разделять углеводы кормов на фракции, которые различаются по ферментации и переваримости в организме животных и влияют на их продуктивность. В то же время он должен быть доступным по длительности и трудоемкости, для использования в практике кормления. Как видно из этапов выполнения анализов, методы Ван-Соеста предпочтительнее, поэтому в течение последних десятилетий интенсивно изучают их различные аспекты, а также возможности применения получаемых результатов при оценке качества кормов и использовании в организме животных. Это особенно относится к НДК, представляющей всю сумму структурных углеводов и лигнина, которая служит одним из наиболее важных показателей качества корма. Исследования касаются содержания НДК в различных кормах, ее переваримости, влияния на нее различных факторов, а также уровня содержания в рационе крупного рогатого скота [6, 7, 8].

Повышенное внимание уделяют не только уровню НДК в рационе, но и физической эффективности НДК, которая зависит от ее содержания и размеров частичек корма [9, 10]. Это определяет потребление корма, процессы метаболизма в рубце и в конечном итоге – продуктивность животных.

Поскольку кроме уровня НДК и размера частичек корма, имеется много других факторов рациона, влияющих на протекание процессов в рубце. С целью интеграции физических и химических параметров корма предложена система регулируемой НДК путем моделирования [11].

Часть НДК вообще не переваривается жвачными и после длительной ферментации – это непереваримая НДК (uNDF), ее содержание коррелирует с питательной ценностью корма. Поэтому разработан метод определения такой НДК для рутинных анализов [12].

Доля лигнина в НДК используется как показатель ее переваримости. При этом более полно объясняет вариацию переваримости НДК его связь с углеводами клеточных стенок [13]. Играет роль и вид лигнина, зависящий от метода его определения. Так, КДЛ более тесно коррелировал с переваримостью НДК, чем лигнин Класона, содержание которого было выше, чем КДЛ [14]. Авторы считают, что лигнин Класона характеризуется гетерогенностью состава. В нашем опыте содержание лигнина по методу 2 также выше, чем КДЛ, что, возможно, также связано с наличием в нем различных фракций.

Следует отметить исследования, которые появились после того, как определение клеточных стенок раствором нейтрального детергента получило широкое распространение. Это – определение фракции углеводов, растворимых в нейтральном детергенте, которые представляют сумму неструктурных углеводов и соединений, содержащихся в клеточных стенках. Изучен их состав в различных кормах и роль в питании животных.

Таким образом, в злаковых травах содержание клеточных стенок по Ван-Соесту (НДК), которая считается суммой гемицеллюлозы, целлюлозы и лигнина, значительно выше (на 6,89 %), чем сумма тех же соединений, определенных методом последовательного кислотного гидролиза. При вычитании из значения НДК содержащихся в ней нерастворимых протеина и золы (4,4 и 1,5 % соответственно), которые не относятся к числу углеводов, результаты методов близки между собой.

Содержание КДК, целлюлозы и лигнина в злаковых травах, установленное обоими методами существенно не различается. Количество гемицеллюлозы по Ван-Соесту, определенное по разнице между НДК и КДК, значительно выше, чем при фракционировании последовательным кислотным гидролизом.

При анализе бобовых трав сравниваемые методы не отличались по содержанию НДК, КДК, целлюлозы и гемицеллюлозы. Однако концентрация лигнина, определенная по методу Кизеля, была существенно выше, чем по Ван-Соесту.

#### Литература.

1. Худякова Х.К. Состав безазотистых экстрактивных веществ (БЭВ) при их анализе по схемам Веенде и Ван Соесту // Сб. научных трудов Краснодарского научного центра по зоотехнии и ветеринарии. 2021. Т.10. №3. С. 202-206.
2. Гарист А.В., Соколов В.М., Петлах М.М. Факторы, определяющие питательность кормов // Кормопроизводство. 1987. № 9. С. 8-13.
3. Углеводная питательность кормов / Н.Г. Григорьев, Н.П. Волков, Е.С. Воробьев и др. // Биологическая полноценность кормов. М.: Агропромиздат, 1989. С. 134-235.
4. Colburn M. W., Evans L. Chemical composition of the cell wall constituent and acid-detergent fiber fractions of forages // J. Dairy Sci. 1967. Vol. 50. P. 1130- 1135.

5. Косолапов В.М., Худякова Х.К. Уровни содержания протеина, нерастворимого в кислотном детергенте, в злаковых травах и кормах из них // *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2021. Т. 22. № 3. С.360-366.
6. Assessment of contents of structural carbohydrates and lignin of perennial fodder herbages depending on vegetative stage growth / H.K. Khudyakova, A.V. Shitikova, N.V. Zarenkova, et al. // *Periodico Tchê Quimica*. 2020. Vol. 17. No. 36. P. 994–1003.
7. Erickson P.S., Kalscheur K.F. Nutrition and feeding of dairy cattle // *Animal Agriculture*. Academic Press. 2020. p. 157 -180. doi: 10.1016/b978-0-12-817052-6.00009-4.
8. Быкова М.Ю., Гибадуллина Ф.С. Содержание структурных углеводов в кормах Татарстана и оптимизация их в рационах молодняка крупного рогатого скота // *Ученые записки Казанской государственной академии ветеринарной медицины им. Н.Э. Баумана*. 2010. Вып. 202. С. 50-55.
9. Mertens D.R. Physically effective NDF and its use in dairy rations explored // *Feedstuffs*. 2000. Vol. 72. No 15. P. 11-19.
10. Role of physically effective fibre and estimation of dietary fibre adequacy in high-producing dairy cattle / Q. Zebeli, J.R. Aschenbach, M. Tafaj, et al. // *J. Dairy Sci.* 2011. Vol. 95. P. 1041-1056. doi: 10.3168/jds.2011-4421.
11. Physically adjusted neutral detergent fiber system for lactating dairy cow rations. I: Deriving equations that identify factors that influence effectiveness of fiber / R. White, M. B. Hall, J. L. Firkins, et al. // *J. Dairy Sci.* 2017. Vol. 100. No 10. P. 9551-9568. doi: 10.3168/jds.2017.12765.
12. Raffrenato E., Ross D .A., Van Amburgh M. E. Development of an in vitro method to determine rumen undigested u NDFom for use in feed evaluation//*J. Dairy Sci.* 2018. Vol. 101. No 11. P. 9888-9900.
13. Effect of lignin linkages with other plant cell wall components on in vitro and in vivo neutral detergent fiber digestibility and rate of digestion of grass forages / E. Raffrenato, R. Fievisohn, K. W. Cotanch, et al. // *J. Dairy Sci.* 2017. Vol. 100. No 10. P. 8119-8131. doi: 10.3168/jds.2016-12364.
14. Klason lignin is a nutritionally heterogeneous fraction unsuitable for the prediction of forage neutral-detergent fibre digestibility in ruminants / P. J. Van Soest, J. B. Robertson, M. B. Hall, et al. // *British Journal of Nutrition* . 2020. Vol. 124. No. 7. P. 693–700. doi: 10.1017/S0007114520001713.
15. Tebbe A.W., Faulkner M.J., Weiss W.P. Effect of partitioning the nonfiber carbohydrate fraction and neutral detergent fiber method on digestibility of carbohydrates by dairy cows // *J. Dairy Sci.* 2017. Vol. 100. No. 8. P. 6218-6228. doi: 10.3168/jds.2017-12719.

Поступила в редакцию 21.03.2022  
 После доработки 03.06.2022  
 Принята к публикации 27.07.2022

**ТЕПЛОВОЙ И ТРАНСПОРТНЫЙ СТРЕСС В ПРОМЫШЛЕННОМ ПТИЦЕВОДСТВЕ:  
ПРОБЛЕМЫ И РЕШЕНИЕ**

**А.В. Мифтахутдинов**, доктор биологических наук,  
**Э.Р. Сайфульмулюков**, кандидат ветеринарных наук,  
**Т.А. Пономарева**, кандидат ветеринарных наук

*Южно-Уральский государственный аграрный университет,  
457100, Челябинская область, Троицк, ул. Ю.А. Гагарина, 13  
E-mail: nirugavm@mail.ru*

*Исследования проводили с целью выявления проблем, возникающих в промышленном мясном птицеводстве на фоне развития теплового и транспортного стрессов. Для этого устанавливали закономерности в изменениях продуктивности птицы в разные сезоны года в условиях промышленного птицеводческого комплекса, расположенного на территории Челябинской области. Анализ производственных показателей был проведен по 5 сезонам (в том числе переходным). Для оценки эффективности разработанной кормовой добавки изучали показатели продуктивности птицы, а также качество и безопасность мяса. Для эксперимента сформировали 2 группы (n=50), контрольную и опытную, которой за 6 суток до транспортировки и убоя в основной рацион вводили кормовую добавку «ПИК-Антистресс-Т» в дозе 50 мг/кг массы тела. Птица в предубойный период находилась в условиях воздействия высокой температуры окружающей среды. Производственные показатели предоставлены птицефабрикой, оценку качества и безопасности мяса птицы осуществляли стандартными методами. Данные обрабатывали в программе STATISTICA 12, используя непараметрический U-Критерий Манна-Уитни. В летний период, в сравнении с зимним и переходными сезонами, отмечено общее двухкратное увеличение потерь птицы. Летом производство мяса с каждого цеха снижалось в среднем на 17,6 т, в том числе мяса первого сорта на 19,6 %, одновременно наблюдали уменьшение индекса продуктивности на 48,37 единицы. Применение кормовой добавки стресспротекторного действия «ПИК-Антистресс-Т» в условиях высокой температуры окружающей среды позволило повысить индекс продуктивности на 16,2 ед., выход мяса – на 13,4 %, сортность – на 46,3 %. При этом отмечали отсутствие влияния добавки на ветеринарно-санитарные характеристики мяса, его пищевую и биологическую ценность. Мясо контрольной и опытной групп было безопасным по содержанию тяжелых металлов.*

**HEAT AND TRANSPORT STRESS IN INDUSTRIAL POULTRY: PROBLEMS AND SOLUTION**

**Miftakhutdinov A.V., Sayfulmulukov E.R., Ponomareva T.A.**

*South Ural State Agrarian University,  
457100, Chelyabinskaya oblast', Troitsk, ul. Yu.A. Gagarina, 13  
E-mail: nirugavm@mail.ru*

*The studies were carried out in order to identify the problems that arise in the poultry meat industry against the background of the development of heat and transport stresses. To do this, regularities were established in changes in poultry productivity in different seasons of the year in the conditions of an industrial poultry complex located on the territory of the Chelyabinsk region. The analysis of production indicators was carried out for 5 seasons (including transitional ones). To evaluate the effectiveness of the developed feed additive, the indicators of poultry productivity, as well as the quality and safety of meat, were studied. For the experiment, 2 groups (n=50) were formed, control and experimental, which 6 days before transportation and slaughter were introduced into the main diet of the feed additive «PIK-Antistress-T» at a dose of 50 mg/kg of body weight. The birds in the pre-slaughter period were exposed to high ambient temperatures. Production indicators are presented by the poultry farm, the assessment of the quality and safety of poultry meat was carried out by standard methods. Data were processed using STATISTICA 12 software using the non-parametric Mann-Whitney U-Test. In the summer period, in comparison with the winter and transitional seasons, a general twofold increase in bird losses was noted. In summer, less meat was received by an average of 17.6 tons from each workshop, including meat of the first grade by 19.6%, and a decrease in the productivity index by 48.37 units was observed. The use of the stress-protective feed additive «PIK-Antistress-T» 6 days before transportation and slaughter, in conditions of high ambient temperature, made it possible to increase the productivity index by 16.2 units, meat yield – by 13.4%, grade – by 46.3%. The use of the feed additive did not reduce the veterinary and sanitary characteristics of meat, its nutritional and biological value. The meat of the control and experimental groups was safe in terms of the content of heavy metals.*

**Ключевые слова:** тепловой стресс, транспортный стресс, промышленное птицеводство, цыплята-бройлеры, мясная продуктивность, кормовая добавка, качество мяса, безопасность мяса

**Key words:** heat stress, transport stress, industrial poultry farming, broiler chickens, meat productivity, feed additive, meat quality, meat safety

Проблема транспортного и теплового стрессов остро стоит в промышленном птицеводстве и, наряду с другими технологическими факторами, создает предпосылки для снижения экономической эффективности выращивания цыплят-бройлеров. Компенсация негативного воздействия промышленных стрессов на организм птиц и раскрытие его биоресурсного потенциала возможно путем применения фармакологических комплексов кормового типа, к которым относится стресспротектор «ПИК-Антистресс-Т».

Тепловой стресс – один из наиболее серьезных факторов, вызывающих различные проблемы в мировом птицеводстве. Его последствиями служат снижение темпов роста цыплят, низкая эффективность использования корма, нарушение иммунологических реакций, изменение микрофлоры кишечника и ухудшение качества мяса. Общие ежегодные экономические потери птицеводства США из-за теплового стресса у птиц оцениваются в 128–165 миллионов долларов

[1]. Особенно сильно тепловой стресс проявляется в сочетании с транспортным, который возникает в ходе нарушения предубойного менеджмента на этапах ловли, погрузки-выгрузки и перевозки птицы. В этом случае уровень стрессового воздействия определяют плотность посадки, температура воздуха, интенсивность движения транспортного средства, шумовое и вибрационное воздействие, ограничения по кормлению и поению [2, 3, 4], в результате может наблюдаться снижение массы тела, привесов и сохранности птицы [5].

Степень и глубина изменений качественных показателей мяса могут быть разнообразными: от снижения микробиологической безопасности тушек, в связи с нарушением микрофлоры кишечника, до возникновения DFD и PSE-пороков мяса [6]. Отягощение транспортного стресса высокой температурой окружающей среды может привести к минеральному истощению мышечной ткани и плохому обескровливанию тушек бройлеров [7].

Поэтому важными аспектами в рамках решения этой проблемы служат меры по предотвращению потерь количественных и качественных характеристик мяса [8]. При дефекте PSE мясо имеет бледный цвет, образует мягкие гели и плохо удерживает воду, отмечается снижение содержания белка и повышение отложения жира. Причина появления PSE-порока в мясе бройлеров – последствия денатурации белков миофибрилл, вызванной быстрым посмертным гликолизом мышц, который снижает pH мяса [9]. Такое дефектное мясо все чаще встречается на предприятиях по переработке индейки и цыплят-бройлеров. Подсчитано, что на мясо типа PSE приходится 5...40% от производимого в птицеводстве. Согласно данным, полученным в США, только один завод по переработке индейки по этой причине может терять от 2 до 4 млн долл. США в год, что приводит к убыткам, превышающим 200 млн долл. США, потери при производстве куриного мяса могут быть еще больше, так как их объемы значительно выше [10]. По данным российских ученых, наличии в тушках бройлеров PSE-порока, отмечается у 4,7...11,4% поголовья [11].

Цель исследований – выявить проблемы, возникающие в промышленном мясном птицеводстве на фоне развития теплового и транспортного стрессов, путем определения закономерностей изменения продуктивности птицы в разные сезоны года и предложить решение посредством оценки эффективности разработанной кормовой добавки для сохранения высокой продуктивности бройлеров, а также качества и безопасности полученного мяса.

**Методика.** Для проведения исследований использовали производственные показатели крупного промышленного птицеводческого комплекса, расположенного на территории Челябинской области. Анализ был проведен по 5 периодам, соответствующим откорму партий цыплят-бройлеров в анализируемых цехах, включающим основные сезоны года, в том числе переходные:

«зима», «зима-весна», «весна», «лето», «лето-осень». Период «осень» не был выделен отдельно, так как в этот сезон цыплят-бройлеров в анализируемых цехах не выращивали. В каждой группе был проведен анализ по 6 одинаковым цехам, сезоны года соответствовали партиям цыплят и включали периоды комплектования цеха, выращивания и убоя. В разные сезоны года анализированы одни и те же птичники с аналогичными условиями содержания, кормления и обслуживающим персоналом. Общее проанализированное поголовье цыплят за год составило 2,3 млн голов.

В рамках решения рассматриваемой проблемы была поставлена задача снизить совместное воздействие теплового и транспортного стрессов на организм птицы, путем комплексного жаропонижающего, антиагрегантного, антиоксидантного, стресспротекторного и адаптогенного воздействия кормовой добавки «Пик-Антистресс-Т», разработанной на кафедре морфологии, физиологии и фармакологии ФГБОУ ВО «Южно-Уральский ГАУ». Она состоит из следующих биологически активных компонентов: янтарная кислота, бетаин, сульфат цинка, сульфат марганца, карбонат лития, L-карнитин, сульфат меди, ацетилсалициловая кислота, аскорбиновая кислота и глюкоза.

Для оценки влияния кормовой добавки на производственные показатели выращивания, откорма и продуктивности, а также качественные характеристики и безопасность мяса при тепловом и транспортном стрессах цыплят-бройлеров, был проведен эксперимент в условиях птицефабрики. Птицу разделили на 2 группы, по 50 голов в каждой – контрольную, получавшую основной рацион и опытную, которой за 6 суток до транспортировки и убоя в основной рацион вводили кормовую добавку «ПИК-Антистресс-Т» в дозе 50 мг/кг массы тела. Птица находилась в условиях воздействия высокой температуры окружающей среды – 27,3±3,4 °С и перед убоем перевозилась автомобильным транспортом в течение 3 ч на расстояние 210 км, при средней температуре окружающей среды 25,4 °С, внутри транспорта – 30,6 °С.

Производственные показатели представлены птицефабрикой, оценку качества и безопасности мяса птицы осуществляли стандартными методами. В тушках определяли ветеринарно-санитарные характеристики и уровень тяжелых металлов; в белом мясе, как наиболее ценном с потребительской точки зрения – химический состав и аминокислотный профиль. Специальные исследования проводили в условиях кафедры Инфекционных болезней и ветеринарно-санитарной экспертизы и межкафедральной лаборатории ФГБОУ ВО «Южно-Уральский ГАУ».

Исходные данные обрабатывали с использованием программы STATISTICA 12 и представляли в виде средних значений и стандартной ошибки. Для статистической оценки межгрупповых различий использовали непараметрический U-Критерий Манна-Уитни.

**Результаты и обсуждение.** Исходя из данных птицефабрики, поголовье цыплят в сезоны «зима», «лето»,

Табл. 1. Срок откорма, поголовье, масса птицы и средняя температура окружающей среды

Показатель	Сезон года				
	зима (З)	весна (В)	лето (Л)	зима-весна (ЗВ)	лето-осень (ЛО)
Срок откорма, сут	37,8±0,41	38,1±0,52	38,7±0,42	38,0±0,00	39,6±0,38
Поголовье, гол	96304±931	96854±688	95648±661	96724±513	94913±1644
Масса цыплят, кг	2,23±0,07	2,16±0,07	2,13±0,07** (ЛО)	2,21±0,08	2,29±0,05
Средняя температура окружающей среды, °С	-6,54±4,69	16,82±6,52	25,47±6,4	1,26±4,79	21,45±5,71

\*\*различия значимы при p < 0,01; в скобках указан сезон, различия с которым статистически значимы.

«зима-весна» было распределено достаточно равномерно (табл. 1), в отличие от сезонов «весна» и «лето-осень», между которыми имеется статистическая тенденция отличий на уровне  $p=0,0588$ , причина которой не ясна. Весной было посажено больше цыплят на 2,0 %, чем в период «лето-осень».

Весь цикл от комплектования цеха до убоя составлял 38...40 суток. С учетом того, что в среднем разница между комплектованием первого и шестого цехов составляла 6...8 суток общая продолжительность периода наблюдений в каждый сезон года была равен 46 суток. Наблюдения включали весь производственный цикл откорма цыплят, которым для профилактики тепловых стрессов применяли фармакологическую схему, принятую на предприятии и включающую выпаивание препарата Паратерм в рекомендуемых дозах, при температурах окружающей среды, превышающих в летние периоды 26...28 °С.

Средняя температура окружающей среды взята по метеоданным, находящимся в базе интернет ресурса НПЦ «Мэп Мейкер (<https://www.gismeteo.ru>). Периоды «лето» и «лето-весна» характеризовались небольшими различиями. В период «лето» с 31 по 43 дни наблюдений отмечали температуру воздуха выше 30 °С. Этот период соответствовал заключительному этапу откорма цыплят, соотносился с этапом убоя птицы большинства наблюдаемых цехов и был самым важным, поскольку такие высокие температуры при промышленном выращивании цыплят-бройлеров могут провоцировать развитие тепловых стрессов. Период «зима» характеризовался самыми низкими температурами с варьированием от -18 до +2 °С. Поэтому наиболее достоверные отличия при анализе данных, связанных с развитием теплового стресса в разные периоды, возможны при сравнении двух сезонов – «лето» и «зима», остальные три периода можно считать уточняющими.

Наиболее низкая масса тела отмечена у цыплят в летний период, самая высокая – в период «лето-осень», разница между этими сезонами на уровне 7,4 % была статистически достоверна ( $p=0,010$ ). В целом, результаты анализа массы тела указывают на определенную, но не выраженную зависимость её от сезона года. Возможно, это связано с высоким генетическим потенциалом кросса цыплят, с доминирующей способностью к набору массы тела, а также высоким уровнем кормления, позволяющим реализовать генетический потенциал. Несмотря на это, в летний период масса цыплят, по сравнению с усреднёнными показателями других сезонов года, была ниже на 5,7 %, что все же указывает на влияние высокой температуры окружающей среды на снижение массы тела цыплят-бройлеров.

Наибольшее потери цыплят отмечены летом. По сравнению с периодом «лето-осень», «зима» и «зима-

весна», они были почти в 2 раза выше. При сравнении данных, полученных в летний период, с сезонами «зима» и «лето-осень» разница была статистически достоверна при  $p=0,0104$  и  $p=0,0073$ .

Гибель цыплят в процессе транспортировки – комплексный показатель, который характеризует технологический уровень обеспечения убоя и в большей степени зависит от скученности цыплят в процессе перевозки и комплектования партий для убоя. В то же время, смертность в этот период может быть связана с общим физиологическим состоянием, отражающим адаптационный потенциал цыплят.

В нашем исследовании наименьшие потери цыплят в процессе транспортировки наблюдали зимой, наибольшие летом. Уровень потерь в летний период был в 4,5 раза выше, различия статистически достоверны на уровне  $p=0,0284$ .

Смертность цыплят в разные периоды жизни может характеризовать уровень производственных потерь. Учитывая, что тепловые стрессы наиболее опасны на заключительном этапе откорма цыплят, этот период наиболее информативен с точки зрения изучения влияния теплового воздействия на показатели продуктивности.

Наибольший отход цыплят в возрасте до 10 суток наблюдали в весенний период (табл. 2). Сравнивая статистические отличия летнего периода от остальных сезонов года, статистически выраженных отличий не обнаружено, что указывало на отсутствие связи смертности цыплят до 10 суточного возраста с высокой температурой окружающей среды. Наоборот, в этот период необходимы высокие температуры из-за физиологических особенностей молодняка, не позволяющих ему полноценно регулировать температуру тела.

Самую высокую смертность цыплят 11...20 суточного возраста наблюдали в летне-осенний период, наименьшую – летом. При анализе величины этого показателя можно обоснованно отметить, что он не связан с сезоном года и высокими температурами в летний период.

Смертность цыплят 21...30 суточного возраста была наиболее высокой в летний период – на уровне 2,0 % от общего поголовья, самой низкой – в сезон «лето-осень» – 0,87 %. Разница показателей была статистически значима –  $p=0,0391$ . Весной, зимой и в переходный период она варьировала от 0,9 до 1,0 %. Следовательно, в этот период выращивания цыплят наблюдали статистически выраженную тенденцию к повышению смертности, связанной с высокой температурой окружающей среды. При этом необходимо уточнить, что температура в летний период была относительно низкой и варьировала от + 10 до +25 °С. Если бы она была выше, возможно сложилась бы иная картина с более высокой смертностью. Такое

**Табл. 2. Сохранность и смертность цыплят-бройлеров**

Показатель	Сезон года				
	зима (З)	весна (В)	лето (Л)	зима-весна (ЗВ)	лето-осень (ЛО)
Сохранность, %	94,63±0,74** (Л)	92,20±2,49	89,00±1,48	93,78±1,85	94,79±1,20** (Л)
Смертность цыплят:					
до 10 суточного возраста, %	0,95±0,20*** (В)	2,03±0,44	1,41±0,15	1,06±0,08* (В)	0,94±0,15*** (В)
от 11 до 20 суточного возраста, %	0,64±0,04	0,68±0,07	0,57±0,04	0,78±0,09** (Л)	0,91±0,29** (Л)
от 21 до 30 суточного возраста, %	0,98±0,17	0,91±0,25	2,04±0,97	1,01±0,10	0,87±0,26* (Л)
с 31 суточного возраста до убоя, %	2,80±0,56* (Л)	4,18±2,08	6,99±0,65	3,37±1,85	2,44±0,71** (Л)
Смертность цыплят в процессе транспортировки, %	0,12±0,09	0,49±0,36* (З)	0,54±0,32* (З)	0,52±0,26* (З)	0,23±0,08

\*различия значимы при  $p < 0,05$ ; \*\*различия значимы при  $p < 0,01$ ; \*\*\*различия значимы при  $p < 0,001$ ; в скобках указан сезон, отличия с показателями которого статистически значимы.

Табл. 3. Продуктивность птицы в разные сезоны года

Показатель	Сезон года				
	зима (З)	весна (В)	лето (Л)	зима–весна (ЗВ)	лето–осень (ЛО)
Среднесуточный прирост массы тела, г	57,0±1,61** (Л)	54,15±1,13	51,75±1,44	56,04±2,30* (Л)	56,86±1,18** (Л)
Себестоимость 1 кг привеса, руб.	44,06±0,76	39,57±0,87	41,07±0,62	39,47±0,97	42,47±0,54
Себестоимость 1 кг массы тела, руб.	49,68±1,03	44,91±1,50	48,11±1,18	45,35±1,70	47,90±0,84
Средний валовый привес в каждом цехе, т	204,095±6,846* (Л)	194,647±6,424	186,498±4,515	202,091±8,248	205,865±6,267** (Л)
Средний расход корма, г/гол	97,34±1,95* (В, Л)	91,16±1,93	90,75±1,82	94,57±3,12	99,00±2,85** (В, Л)
Конверсия корма, ед	1,67±0,03	1,65±0,04* (Л)	1,72±0,02	1,65±0,04* (Л)	1,71±0,04
Европейский индекс продуктивности, ед	333,72±14,56** (Л)	317,11±17,40	285,35±9,86	330,13±22,75** (Л)	320,78±7,24

\*различия значимы при  $p < 0,05$ ; \*\*различия значимы при  $p < 0,01$ ; в скобках указан сезон, отличия с показателями которого статистически значимы.

предположение требует дополнительного анализа в последующие годы наблюдений.

Цыплята в возрасте 31 сутки и старше наиболее чувствительны к тепловым воздействиям, особенно птица с самой высокой массой тела. В летний период наблюдали самый высокий отход, самым низким он был в летне-осенний, зимний и зимне-весенний периоды. По сравнению с летним сезоном, средняя разница была статистически достоверно ниже в 2,5 раза. Необходимо отметить, что на финишном этапе откорма, который совпадал с летним периодом, гибель цыплят имело прямую взаимосвязь с высокой температурой окружающей среды.

Себестоимость 1 кг привеса мяса и 1 кг массы тела цыплят статистически не отличался в летний период от других сезонов года (табл. 3), на эти экономические показатели оказывали влияние дополнительные расходы в виде отопления помещений. Следовательно, величина этого показателя не отражает теплового воздействия в летний период, а наиболее высокой она была в зимний сезон.

По сравнению с зимним периодом, летом было произведено на 17,6 т мяса меньше с каждого цеха ( $p=0,0317$ ), или в среднем почти на 100 т по всем наблюдаемым цехам, при сравнении летних и зимних партий.

Уменьшение среднего валового привеса в летний период связано с существенным снижением сохранности цыплят и среднесуточных приростов массы тела

до 51,8 г в сутки. Наиболее высокий среднесуточный прирост наблюдается зимой, он был на 10,1 % выше, чем летом, отличия были статистически достоверны при  $p=0,0073$ . Это указывает на высокую зависимость среднесуточных приростов массы тела цыплят от теплового воздействия окружающей среды.

Самый высокий средний расход корма на 1 цыпленка отмечали в летне-осенний период, наименьший весной и летом – на 7,9 и 8,3 % соответственно. Летом он был достоверно ниже, чем в сезоны «лето–осень» и «зима» на уровне  $p=0,0051$  и  $p=0,0352$ . Высокую зависимость величины этого показателя от температуры окружающей среды не наблюдали, так как она коррелирует со многими факторами, напрямую не связанными с сезоном года.

Высокая температура окружающей среды оказала выраженное влияние на один из самых важных экономических показателей – конверсию корма в продукцию. Наибольшей она была в летний период, достоверно отличаясь от уровня, достигнутого в весенний ( $p=0,0205$ ) и зимне-весенний ( $p=0,0352$ ) периоды.

Комплексный показатель, отражающий продуктивность, сохранность и расход кормов – европейский индекс продуктивности, который был минимальным летом, максимальным – зимой и в зимне-весенний период. Разница между величинами этих показателей на 48,37 и 44,78 единицы соответственно, была статистически вы-

Табл. 4. Мясная продуктивность и сортность тушек птицы

Показатель	Сезон года				
	зима (З)	весна (В)	лето (Л)	зима–весна (ЗВ)	лето–осень (ЛО)
Получено мяса, т	153,173±5,851** (Л)	144,249±7,577	134,952±4,905	150,621±8,842	150,756±4,760
Убойный выход мяса, %	75,08±0,29** (ЛО)	74,59±1,72	73,86±0,45	74,93±0,57** (ЛО)	73,08±0,22
Получено, кг:					
мяса 1 сорта	107732±14239** (Л)	80657±9443	64844±14011	102611±16612* (Л)	97386±10359
мяса 2 сорта	45441±12261* (Л)	63593±9106	70108±13676	48009±11229	53370±14046
субпродуктов	20373,0±845,4 ** (Л); *** (ЛО)	14023,0±3162,9	4383,0±420,6	19112,0±745,1** (ЛО)	2122,0±372,7
Выход, %:					
мяса 1 сорта	70,28±8,30** (Л)	55,90±5,70	48,02±9,87	67,90±8,90** (Л)	64,78±8,67
мяса 2 сорта	29,72±8,30** (Л)	44,10±5,70	51,98±9,87	32,10±8,90** (Л)	35,22±8,67
субпродуктов	9,99±0,08** (Л); *** (ЛО)	7,24±1,55	2,40±0,18	9,52±0,30** (ЛО)	1,03±0,17
Утилизированные продукты убоя, %	14,92±0,35** (Л); *** (ЛО)	18,17±2,78	23,75±0,52	15,57±0,56** (ЛО)	25,88±0,16

\*различия значимы при  $p < 0,05$ ; \*\*различия значимы при  $p < 0,01$ ; \*\*\*различия значимы при  $p < 0,001$ ; в скобках указан сезон, различия с показателями которого статистически значимы.

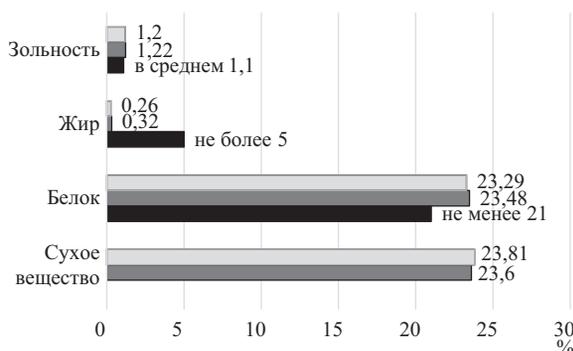


Рис. 1. Химический состав белого мяса бройлеров (n=10): □ – опытная группа; ■ – контрольная группа; ■ – нормативное значение.

соко достоверной ( $p=0,0035$  и  $p=0,0093$ ). Таким образом, экономическая эффективность выращивания цыплят бройлеров была наиболее низкой летом, причиной чему служила высокая температура окружающей среды.

Наиболее низкий убойный выход отмечен в летне-осенний и летний периоды (табл. 4). Несмотря на то, что в летний период отличия были статистически недостоверны, можно отметить, что высокая температура оказывала некоторое влияние на величину этого показателя.

Выход мяса первого сорта, наиболее важный для потребителя показатель, который обуславливает качество мясной продукции. На его величину влияет не только технология уоя, но и внешние факторы, ведущие к развитию предубойных стрессов и одновременно пороков мяса. В летний период выход тушек первого сорта был более низким (48,02 %), отличия от зимнего и зимне-весеннего периодов были статистически значимыми ( $P=0,0124$  и  $P=0,0456$ ), что указывало на прямую зависимость величины этого показателя от высокой температуры окружающей среды и развития предубойных стрессов в летний период. По сравнению с другими сезонами года, выход мяса первого сорта в летний период был ниже на 19,64 %, по сравнению с зимним, на 39,8 % (42888 кг).

Закономерно, что в летний период было получено больше тушек второго сорта, которые направляют на промышленную переработку и производство мяса механической обвалки. Это вызывает существенные экономические потери, так как его стоимость значительно ниже. По данным на ноябрь 2021 г. стоимость оптовой реализации фарша механической обвалки составляла 45 руб. за 1 кг, тушки первого сорта – в среднем 163 руб. за 1 кг, что в 3,6 раза выше.

Выход субпродуктов характеризует внешнее и внутреннее состояние внутренних органов, а, следовательно, и физиологического состояния организма. В летне-осенний и летний периоды он был самым низким, в зимний и зимне-весенний периоды самым высоким. В летний период, по сравнению с зимним, субпродуктов было в 4,6 раз меньше. Высокая температура окружающей среды оказала выраженное влияние на величину этого показателя, что можно связать с развитием у цыплят тепловых стрессов.

Наиболее высокое количество продуктов уоя, отправленных в утилизацию, отмечали в летне-осенний и летний сезоны – 25,9 и 23,8 % соответственно, а самое низкое в зимний – 14,9 %.

Изучение динамики среднесуточного прироста, сохранности поголовья и в итоге коэффициента эффек-

тивности позволило оценить влияние разработанного фармакологического комплекса на производственные показатели выращивания птицы. В опытной группе индекс продуктивности выращивания птицы вырос на 16,2 ед. благодаря увеличению абсолютного прироста живой массы на 2,3 % и на фоне повышения среднесуточного прироста на 0,7 %.

Применение разработанной кормовой добавки позволило скорректировать негативное влияние стресс-факторов на мясную продуктивность цыплят-бройлеров опытной группы, благодаря повышению выхода мяса на 13,4 % и его сортности на 46,3 %.

Под воздействием кормовых добавок ветеринарно-санитарные характеристики мяса могут меняться, что приводит к выбраковке сырья и готовой продукции. В нашем опыте мясо цыплят-бройлеров опытной и контрольной групп по результатам ветеринарно-санитарной экспертизы было признано свежим. Однако необходимо отметить, что в контрольной группе оно характеризовалось несколько сниженными показателями: величина pH сдвинута в кислую сторону и была ниже, чем в опытной группе, на 2,4 %.

Содержание белка, жира и зольность в белом мясе опытной и контрольной групп, не имело статистически значимых отличий и находилось в пределах нормативных регламентируемых значений, предусмотренных ГОСТ 31962-2013 и справочными данными (рис. 1). Полученные результаты свидетельствуют о том, что пищевая ценность мяса цыплят опытной группы не была снижена, по сравнению с контрольной и нормативными значениями, следовательно, применение кормовой добавки не оказывало неблагоприятного влияния.

Известно, что металлы, содержащиеся в мясе, могут играть не только важную физиологическую роль, но и при превышении предельно допустимого уровня представлять потенциальную токсикологическую опасность. Содержание тяжелых металлов в мясе обеих групп находилось в пределах допустимого уровня, регламентированного ТР ТС 034/2013 и справочными данными: никеля, кадмия, железа и меди – 2,8...8,6 %; свинца и цинка – 10,0...13,2 % (рис. 2). Результаты исследований свидетельствуют о том, что мясо птицы опытной группы безопасно в отношении содержания тяжелых металлов.

Технологические стрессы, особенно отягощенные высокой температурой, оказывают влияние на уровень аминокислот в мышечной ткани. Это связано со снижением как поедаемости корма, так и усвояемости из него питательных веществ [12]. С этой точки зрения важно оценить уровень аминокислот в мясе цыплят-

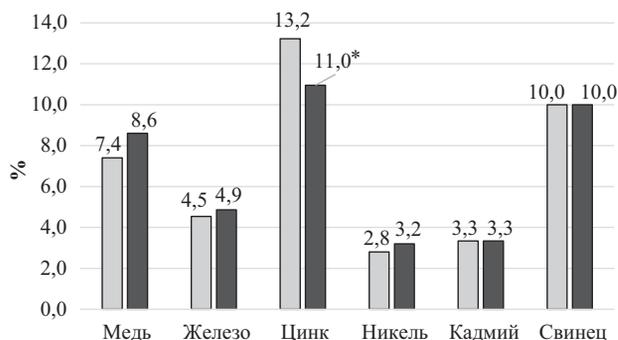


Рис. 2. Содержание тяжелых металлов в мясе птицы, % от допустимого уровня (\*различия значимы, по сравнению с контролем, при  $p < 0,05$ ): □ – контрольная группа; ■ – опытная группа.

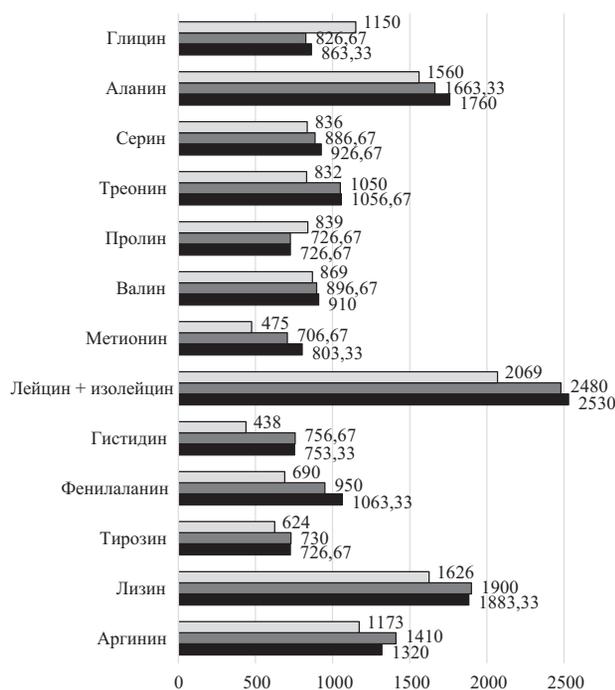


Рис. 3. Аминокислотный состав белого мяса бройлеров, мг/100 г мяса (n=10): □ – справочные значения; ■ – опыт; ■ – контроль.

бройлеров, подвергнутых тепловому и транспортному стрессу, и возможности применения кормовой добавки. Изменения в аминокислотном составе мяса были не значимыми (рис. 3).

В целом аминокислотный профиль мяса птицы опытной и контрольной групп соответствовал средним справочным значениям, что в свою очередь свидетельствует о биологической полноценности мяса по изученным аминокислотам.

Несмотря на то, что высокие статистически значимых отличий в качестве и безопасности мяса опытной группы, по сравнению с контролем, не отмечено можно констатировать, что применение кормовой добавки стресспротекторного действия «ПИК-Антистресс-Т» за 6 суток до транспортировки, в условиях высокой температуры окружающей среды не снижало ветеринарно-санитарных характеристик мяса, его пищевую и биологическую ценность, безопасность по содержанию тяжелых металлов.

Таким образом, благодаря установлению закономерностей изменения продуктивности птицы в разные сезоны года выявлены актуальные проблемы, имеющие место в промышленном мясном птицеводстве, причиной которых служит тепловой и транспортный стрессы в летний период, в сравнении с зимним и переходными сезонами. Суть проблем заключалась в снижении сохранности птицы, получении меньшего количества мяса в среднем на 17,6 т с каждого цеха, в том числе мяса первого сорта на 19,6 % и снижении индекса продуктивности на 48,37 единицы. Применение кормовой добавки стресспротекторного действия «ПИК-Антистресс-Т» за 6 суток до транспортировки, в условиях высокой температуры окружающей среды не

снижало ветеринарно-санитарных характеристик мяса, его пищевую и биологическую ценность, безопасность по содержанию тяжелых металлов, при этом опытная группа превосходила контрольную по индексу продуктивности на 16,2 ед., выходу мяса – на 13,4 % и сортности – на 46,3 %.

### Литература.

1. St-Pierre N. R., Cobanov B., Schnitkey G. Economic Losses from Heat Stress by US Livestock Industries // *Journal of Dairy Science*. 2003. Vol. 86. P. 52-77. doi: 10.3168/jds.S0022-0302(03)74040-5.
2. Мифтахутдинов А. В., Журавель Н. А., Пономаренко В. В. Оценка влияния антистрессовых фармакологических средств на серологический статус при профилактике теносеновита кур // *Российская сельскохозяйственная наука*. 2021. № 4. С. 60-64. doi: 10.31857/S250026272104013X.
3. The aversion of broiler chickens to concurrent vibrational and thermal stressors / S. M. Abeyesinghe, C. M. Wathes, C. J. Nicol, et al. // *Journal of Applied Behavioral Science*. 2001. Vol. 73. P. 199-215. doi: 10.1016/s0168-1591(01)00142-3.
4. Колесник Е. А., Дерхо М. А. Оценка адаптационных ресурсов организма бройлерных цыплят // *Достижения науки и техники АПК*. 2016. Т. 30. № 1. С. 59-61.
5. Transport stress induces weight loss and heart injury in chicks: disruption of ionic homeostasis via modulating ion transporting ATPases / Z. Y. Li, J. Lin, F. Sun et al. // *Oncotarget*. 2017. Vol. 8. No. 15. P. 24142–24153. doi: 10.18632/oncotarget.15903.
6. Transport stress impact on postmortem metabolisms of turkey meat quality / H. Boukhris, C. Damergi, T. Najjar et al. // *Journal of new sciences, Agriculture and Biotechnology*. 2017. Vol. 37. P. 2049-2054.
7. Спиридонов Д. Н., Зевакова В. К., Акопян А. В. Тепловой стресс птицы: доказанный путь снижения его влияния // *Птица и птицепродукты*. 2012. №1. С. 40-41.
8. How can heat stress affect chicken meat quality?—a review / G. Zaboli, X. Huang, X. Feng et al. // *Poultry science*. 2018. Vol. 98. No. 3. P. 1551-1556. doi:10.3382/ps/pey399.
9. Progress in reducing the pale, soft and exudative (PSE) problem in pork and poultry meat / S. Barbut, A.A. Sosnicki, S.M. Lonergan, et al. // *Meat Sci*. 2008. Vol. 79. P. 46-63. doi: 10.1016/j.meatsci.2007.07.031.
10. Owens C. M., Alvarado C. Z., Sams A. R. Research developments in pale, soft, and exudative turkey meat in North America // *Poultry science*. 2009. Vol. 88. No. 7. P. 1513-1517. doi: 10.3382/ps.2009-00008.
11. Серегин И. Г., Курмакаева Т. В., Еньшин А. В. Ветеринарно-санитарная характеристика мяса цыплят-бройлеров при PSE-пороке // *Синергетика сбалансированного развития аграрной отрасли и сельских территорий страны*. Казань: ИП Рагулин Р.А., 2020. С. 250-258.
12. Фисинин В. И., Кавтараивили А. Ш. Тепловой стресс у птицы. Сообщение I. Опасность, физиологические изменения в организме, признаки и проявления // *Сельскохозяйственная биология*. 2015. Т. 50. № 4. С. 431-443. doi: 10.15389/agrobiol.2015.2.162rus.

Поступила в редакцию 14.04.2022  
 После доработки 20.05.2022  
 Принята к публикации 15.06.2022

**ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ БИОАККУМУЛЯЦИИ МИКРОЭЛЕМЕНТОВ В ШЕРСТИ И МОЛОКЕ КОРОВ НА КИШЕЧНЫЙ МИКРОБИОМ\***

**Е.А. Сизова<sup>1</sup>**, доктор биологических наук, **Е.В. Яушева<sup>1</sup>**, кандидат биологических наук, **Ю.А. Хлопко<sup>2</sup>**, **С.В. Лебедев<sup>1</sup>**, доктор биологических наук, **О.В. Маршинская<sup>1</sup>**, **Т.В. Казакова<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий РАН, 460000, Оренбург, ул. 9 Января, 29

E-mail: m.olja2013@yandex.ru

<sup>2</sup>Институт клеточного и внутриклеточного симбиоза УрО РАН, 460000, Оренбург, ул. Пионерская, 11

*Исследование проводили с целью оценки элементного состава шерсти и молока коров черно-пестрой породы, а также выявление взаимосвязи между содержанием токсичных и эссенциальных элементов и состоянием микробиома кишечника. Работу выполняли в условиях Оренбургской области. На основании анализа элементного состава шерсти и с применением коэффициента токсической нагрузки было сформировано две группы животных: I группа включала коров с более низким коэффициентом нагрузки; II группа особей с более высоким коэффициентом нагрузки. Аналитические исследования микроэлементного состава шерсти и молока проводили с использованием приборов для атомно-эмиссионного и масс-спектрального анализа с индуктивно связанной плазмой. Концентрация As в шерсти коров II группы увеличивалась, относительно I группы, на 19 %, Fe – на 29 %, Pb – на 24,5 %, Al – на 32,3 %, Co – на 35,6 %, Ni – на 21,5 %, V – на 18,2 %. При оценке элементного состава молока отмечено достоверное увеличение уровня Fe на 11,5 %, Cr – на 8,25 %, Mn – на 17,6 %, Pb – на 46,1 % и Cd – на 25 % во II группе, в сравнении с I группой. Явных изменений в микробиоме кишечника коров II группы не выявлено. В целом отмечена тенденция к накоплению некоторых тяжелых металлов в организме животных и молоке, что указывает на высокую вероятность нанесения вреда здоровью животных и человека.*

**ASSESSMENT OF THE EFFECT OF BIOACCUMULATION OF TRACE ELEMENTS IN THE WOOL AND MILK OF COWS ON THE INTESTINAL MICROBIOME**

**Sizova E.A.<sup>1</sup>, Yausheva E.V.<sup>1</sup>, Khlopko Y.A.<sup>2</sup>, Lebedev S.V.<sup>1</sup>, Marshinskaia O.V.<sup>1</sup>, Kazakova T.V.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Federal Research Centre of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences, 460000, Orenburg, ul. 9 Yanvary, 29

E-mail: m.olja2013@yandex.ru

<sup>2</sup>Institute for Cellular and Intracellular Symbiosis, Ural Branch of Russian Academy of Sciences, 460000, Orenburg, ul. Pionerskaya, 11

*The aim of this study was to assess the elemental composition of hair and milk of the Black Spotted cows and to identify the relationship between the content of toxic and essential elements and the state of the intestinal microbiome. The study was carried out on the basis of the FRC BST RAS. Based on the analysis of hair elemental composition and using the coefficient of toxic load, two groups of animals were formed: Group I included cows with a lower load factor; Group II included cows with a higher load factor. Analytical studies of the trace element composition of wool and milk were carried out using atomic emission and mass spectral analysis devices with inductively coupled plasma. An increase in the concentration of heavy metals in hair and milk of animals of Group II was noted. The concentration of As, Fe, Pb, Al, Co, Ni and V in hair of cows from Group II increased relative to the first group by 19%, 29%, 24.5%, 32.3%, 35.6%, 21.5% and 18.2% respectively. Assessing the elemental composition of milk, there was a significant increase in the level of Fe by 11.5%, Cr by 8.25%, Mn by 17.6%, Pb by 46.1% and Cd by 25% in the second group in comparison with the first. There were no obvious changes in the intestinal microbiome of Group II. Thus, there was a tendency for the accumulation of some heavy metals in the body of animals and milk, which shows a high probability of causing harm to the health of animals and humans.*

**Ключевые слова:** тяжелые металлы, микробиом кишечника, молоко, минеральный обмен, крупный рогатый скот, токсичность

**Key words:** heavy metals, intestinal microbiome, milk, mineral metabolism, cattle, toxicity

Продукция животного происхождения, например, молочные продукты, играет важную роль в рационе человека и имеет особое значение в питании детей как хороший источник белка, витаминов, сахаров и минералов. Один из факторов, снижающих производство молока и его качество, а также влияющих на уровень реализации генетического потенциала животных – ухудшение условий окружающей среды. Система разведения крупного рогатого скота сегодня сталкивается с серьезными проблемами, связанными с повышенным негативным воздействием различных сфер деятельности человека на окружающую среду и организм сельскохозяйственных животных [2]. Использование тяжелых металлов в различных областях производства приводит к их аккумуляции в окружаю-

щей среде и, как следствие, к попаданию в организм животных и человека, через животноводческую продукцию [3]. Значительное содержание токсических химических элементов в животноводческой продукции крайне актуальная проблема как для развивающихся, так и для развитых стран [4]. Повышенное содержание ряда тяжелых металлов в организме человека вызывает нарушение работы печени, почек, системы кровообращения и центральной нервной системы [5]. Кроме того, воздействие тяжелых металлов на детский организм служит причиной развития нейродегенеративных заболеваний [6].

В связи с изложенным, контроль физиологического состояния, в том числе, минерального обмена эссенциальных и токсичных элементов – неотъемлемая часть

\* Исследование выполнено при поддержке Российского научного фонда (проект № 20-16-00078).

оценки здоровья животных при производстве мясной и молочной продукции.

Часто используемым материалом для оценки элементного статуса животных служит шерсть. Шерсть отражает долгосрочное состояние минерального обмена организма, что делает ее показательным и информативным биообразцом для исследований [7]. Одним из индикаторов изменений внутреннего гомеостаза жвачных животных также может быть микробиом желудочно-кишечного тракта. У крупного рогатого скота он играет фундаментальную роль в метаболических функциях хозяина и функционировании иммунной системы [8]. Изменения в составе микробиоты кишечника крупного рогатого скота тесно коррелируют с показателями продуктивности и физиологического состояния животных [9].

Цель исследования – оценка элементного состава шерсти и молока коров черно-пестрой породы, а также выявление взаимосвязей состояния микробиома кишечника с содержанием токсичных и эссенциальных элементов.

**Методика.** Исследования проводили на модели коров черно-пестрой породы ( $n=70$ ; возраст 4...6 лет; живая масса 610...640 кг; стадия лактации 30...55 суток после отела) ЗАО «Калинина» (Оренбургская область, Ташлинский район). Все животные были клинически здоровы и находились в одинаковых условиях на пастбищном содержании. Рацион кормления в расчете на голову в сутки включал 44,5 кг зеленой массы злаково-бобовой травосмеси, 11,6 кг комбикорма, 0,5 кг патоки кормовой, 0,07 кг поваренной соли. С суточным рационом животные потребляли следующие количества микро- и макроэлементов: Ca – 184,8 г, P – 110,6 г, Mg – 41 г, K – 178 г, Na – 3514 г, Al – 958,6 мг, As – 1,79 мг, B – 118,5 мг, Cd – 1,83 мг, Co – 23,9 мг, Cr – 4,31 мг, Cu – 290 мг, Fe – 2023 мг, Hg – 0,048 мг, I – 27,9 мг, Li – 2,05 мг, Mn – 1801 мг, Ni – 34,3 мг, Pb – 3,81 мг, Se – 2,01 мг, Si – 1853 мг, Sn – 0,69 мг, Sr – 249 мг, V – 2,15 мг, Zn – 1789 мг.

Содержание животных и процедуры при выполнении экспериментов соответствовали требованиям инструкций и рекомендациям «The Guide for Care and Use of Laboratory Animals (National Academy Press, Washington, D.C., 1996)».

Для изучения элементного статуса в качестве биосубстратов использовали образцы шерсти и молока животных. Пробы шерсти брали с верхней части холки в количестве не менее 0,4 г [10]. Образцы сырого молока отбирали индивидуально от каждой коровы, помещали в стерильные емкости и охлаждали до 5°C.

Аналитические исследования микроэлементного состава шерсти и молока по 25 элементам (Ca, Cu, Fe, Li, Mg, Mn, Ni, As, Cr, K, Na, P, Zn, I, V, Co, Se, Ti, Al, Be, Cd, Pb, Hg, Sn, Sr) проводили в лаборатории АНО «Центр биотической медицины» (Москва) с использованием приборов атомно-эмиссионного (Optima 2000DV) и масс-спектрального (Elan 9000) анализа с индуктивно связанной плазмой.

Для оценки величины токсической нагрузки на организм коров рассчитывали коэффициент суммарной токсической нагрузки –  $K_{tox}$ . Его преимущество заключается в независимости от размерности отдельных показателей и, как следствие, в возможности вычисления интегральных параметров [11].

Для подсчета коэффициента токсической нагрузки ( $K_{tox}$ ) использовали сумму коэффициентов отдельных тяжелых элементов (Mn, Fe, Cu, Zn, As, Sr, Pb, Cd, Hg):

$$K_{tox} = K_{Mn} + K_{Fe} + K_{Cu} + K_{Zn} + K_{As} + K_{Sr} + K_{Pb} + K_{Cd} + K_{Hg}$$

где  $K_{Mn} \dots K_{Hg}$  – отношение содержания определенного элемента в шерсти конкретной коровы к содержанию, соответствующему 50-ому центиллю (медиане) этого элемента в общей исследуемой выборке.

Тяжелые металлы были выбраны по атомной массе элементов – более 50 атомных единиц.

После разделения общего числа коров на группы по коэффициенту токсической нагрузки, из каждой группы выбрали по 5 животных для исследования микробиома кишечника. Изучали микробиом толстого кишечника (содержимого) коров. Отбор проб осуществляли стерильным инструментом в пробирку с раствором консерванта (DNA/RNA Shield, США) и замораживали.

Выделение ДНК из образцов проводили с использованием мини-набора QIAamp Fast DNA Stool (Qiagen, Hilden, Germany) в соответствии с инструкцией производителя. Качество экстрагированной ДНК оценивали с помощью электрофореза в 1% агарозном геле и Nanodrop 8000 (Thermo Fisher Scientific, Waltham, MA, USA). Концентрацию ДНК определяли количественно с помощью флуорометра Qubit 4 (Life Technologies, Carlsbad, CA, USA) с набором dsDNA высокой чувствительности (Life Technologies, Carlsbad, CA, USA). Перед анализом образцы гомогенизировали на TissueLyser LT (Qiagen, Hilden, Germany) с лизирующей матрицей Y (MP Biomedicals, Solon, USA).

Подготовку библиотек ДНК проводили в соответствии с протоколом Illumina (Part #15044223, Rev. B.) с использованием праймеров, нацеленных на области V3–V4 гена рибосомной РНК (pPHK) SSU, S-D-Bact-0341-b-S-17 (5'-CCTACGGGNGGCWGCAG-3') в качестве прямого праймера и S-D-Bact-0785-a-A-21 (5'-GACTACHVGGGTATCTAATCC-3') в качестве обратного праймера. Реакционная смесь (25 мкл) содержала оба праймера по 0,2 мкм каждого; 80 мкм dNTPs; 0,2 мкм высокоточной ДНК-полимеразы Q5 (New England Biolabs, Ipswich, MA, USA). Использовали следующую программу ПЦР: начальная денатурация при 95°C (3 мин.), 25 циклов – денатурация при 95°C (30 с.), отжиг при 56°C (30 с.), элонгация при 72°C (30 с.) и конечная элонгация 72°C (5 мин.). Библиотеки ДНК очищали с использованием магнитных частиц Agencourt AMPure XP (Beckman Coulter, Brea, CA, USA) и проверяли с помощью капиллярного электрофореза на усовершенствованной системе Qiaxcel (Qiagen, Hilden, Germany) с использованием набора QIAxcel (Qiagen, Hilden, Germany). Секвенирование с парноконцевыми прочтениями 2×251 п.н. выполняли на платформе MiSeq (Illumina, San Diego, CA, USA) с использованием набора реагентов Kit v.2 (Illumina, San Diego, CA, USA).

Подготовку, секвенирование и биоинформационную обработку библиотек ДНК осуществляли в Центре коллективного пользования «Персистенция микроорганизмов» Института клеточного и внутриклеточного симбиоза Уральского отделения РАН (Оренбург, Россия).

Фильтрацию, дерепликацию, удаление химерных последовательностей, кластеризацию, сортировку (отсечки singletons), удаление контаминации проводили с использованием программы USEARCH v8.0. Для фильтрации применяли алгоритм fastq\_filter с минимальной длиной сиквенса 415 пн и минимальным качеством прочтения Q = 15, для репликации – алгоритм derep\_prefix, для кластеризации и удаления химерных последовательностей – алгоритм cluster\_otus (<http://drive5.com/usearch>). Для визуализации использовали ресурс MicrobiomeAnalyst.

Обработку полученных данных проводили методами вариационной статистики с использованием пакета

Табл. 1. Содержание химических элементов в шерсти и молоке коров в зависимости от величины  $K_{tox}$ , мг/г<sup>1</sup>

Элемент	Шерсть		Молоко	
	I группа	II группа	I группа	II группа
Al	110,0 (104,0...124,0)	145,5 (124,0...172,0)*	0,09 (0,07...0,12)	0,097 (0,07...0,11)
As	0,145 (0,125...0,155)	0,172 (0,158...0,193)*	0,001 (0,0008...0,002)	0,001 (0,0008...0,002)
B	0,808 (0,662...0,829)	0,77 (0,638...0,954)	0,19 (0,18...0,21)	0,184 (0,16...0,2)
Ca	1 318,0 (1 042,0...1 406,0)	1 188,0 (1 083,0...1 264,0)	1053 (1000...1120)	982,5 (896...1114)
Cd	0,008 (0,007...0,009)	0,009 (0,008...0,011)	–	–
Co	0,101 (0,089...0,117)	0,137 (0,121...0,15)*	0,002 (0,0018...0,0022)	0,0021 (0,0018...0,0024)
Cr	0,664 (0,562...0,799)	0,782 (0,701...0,828)	–	–
Cu	7,73 (7,680...8,10)	7,71 (7,520...9,34)	0,028 (0,025...0,0315)	0,0285 (0,0265...0,0335)
Fe	220,0 (160,000...247,0)	284,0 (240,0...326,0)*	–	–
Hg	0,005 (0,005...0,007)	0,007 (0,005...0,008)	0,00018 (0,00016...0,00048)	0,00018 (0,00016...0,00047)
I	0,399 (0,332...0,521)	0,409 (0,359...0,454)	0,0057 (0,0044...0,009)	0,0052 (0,0043...0,0087)
K	813,0 (778,0...1 055,0)	769,5 (655,0...939,0)	1576 (1522...1686)	1640 (1533...1701)
Li	0,297 (0,233...0,299)	0,284 (0,257...0,307)	0,03 (0,02...0,04)	0,034 (0,02...0,044)
Mg	212,0 (166,0...258,0)	224,5 (192,0...237,0)	113,5 (99,3...120,5)	111 (96,7...118,2)
Mn	8,36 (7,580...9,31)	9,345 (8,07...10,88)	–	–
Na	349,000 (256,0...562,0)	262,0 (223,0...364,0)	460,5 (419,7...510,5)	478 (431...524,3)
Ni	0,386 (0,340...0,421)	0,469 (0,426...0,499)*	0,04 (0,03...0,05)	0,04 (0,03...0,06)
P	243,0 (195,0...251,0)	205,0 (177,0...233,0)	1080 (1006...1110)	1124 (1020...1173)
Pb	0,159 (0,157...0,183)	0,198 (0,185...0,215)*	–	–
Sr	4,51 (3,660...5,17)	4,185 (3,79...4,6)	0,86 (0,70...1,01)	0,88 (0,71...1,01)
Se	0,19 (0,16...0,197)	0,183 (0,149...0,221)	0,027 (0,025...0,031)	0,026 (0,025...0,03)
Si	16,67 (15,74...23,89)	18,9 (14,76...20,04)	1,93 (1,82...2,26)	1,89 (1,81...2,2)
Sn	0,014 (0,014...0,028)	0,014 (0,012...0,021)	0,00068 (0,00011...0,0037)	0,00068 (0,00011...0,0036)
V	0,445 (0,404...0,471)	0,526 (0,483...0,57)*	0,0096 (0,0082...0,01)	0,0096 (0,0081...0,01)
Zn	114,0 (110,0...117,0)	124,0 (114,0...130,0)	–	–

<sup>1</sup>данные представлены в виде медианы (Me) и 25...75-го квартилей ( $Q_{25}$ - $Q_{75}$ );  
\* $p \leq 0,05$  – I группа, по сравнению со II группой.

«StatSoft STATISTICA 10»). Для данных по таксономическому составу микробиома кишечника различия считали статистически значимыми при  $p \leq 0,05$  с использованием критерия Стьюдента. Проверку соответствия данных по элементному составу шерсти и молока нормальному закону распределения проводили при помощи критерия согласия Колмогорова. Гипотеза о их принадлежности нормальному распределению отклонена во всех случаях с вероятностью 95 %, что обосновало применение непараметрических процедур обработки статистических совокупностей (U-критерий Манна-Уитни). Полученные данные представлены в виде медианы (Me) и 25...75-го квартилей ( $Q_{25}$ - $Q_{75}$ ).

**Результаты и обсуждение.** После расчета  $K_{tox}$  было сформировано две группы: I включала коров с более низким коэффициентом нагрузки ( $K_{tox} < 8,95$ ), относительно исследуемой выборки; II группа включала коров с более высоким коэффициентом нагрузки ( $K_{tox} > 8,95$ ).

Оценка содержания химических элементов в шерсти коров выявила закономерность нарастания среднестатистических значений концентраций отдельных элементов при увеличении  $K_{tox}$  (табл. 1). Содержание As, Fe, Pb, Al, Co, Ni и V в шерсти коров II группы статистически достоверно увеличивалась, относительно I группы, на 19 %, 29 %, 24,5 %, 32,3 %, 35,6 %, 21,5 % и 18,2 % соответственно. Кроме того, во II опытной группе, в сравнении с I группой, было отмечено повышение уровня ряда других элементов (Hg, Mn, Zn, Si, Mg). По Ca, K, Na, P, Se, B, Sr наблюдали обратную тенденцию.

Анализ элементного состава молока коров не показал достоверных различий между опытными группами для большей части исследуемых элементов. Отмечено только достоверное ( $p \leq 0,05$ ) увеличение уровня Fe во второй

группе, в сравнении с первой, на 11,5 %, Cr – на 8,25 %, Mn – на 17,6 %, Pb – на 46,1 % и Cd – на 25 %, одновременно содержание Zn снизилось на 21,8 % (рис. 1).

Использование корреляционного анализа (по Спирмену) позволило оценить связь между изменениями содержания ряда химических элементов в шерсти и в молоке. Сильная отрицательная корреляция отмечена для концентрации Al в шерсти и Cr в молоке ( $r = -0,86$ ), Mn в шерсти и Fe в молоке ( $r = -0,94$ ). Умеренную отрицательную корреляцию (элемент в шерсти – элемент в молоке) наблюдали для As-Fe ( $r = -0,54$ ), Pb-Zn ( $r = -0,67$ ), Fe-Cr ( $r = -0,68$ ), и умеренную положительную для Pb-Cd ( $r = 0,61$ ), Al-Pb ( $r = 0,67$ ), Fe-Fe ( $r = 0,57$ ), Cd-Cd ( $r = 0,58$ ), Mn-Mn ( $r = 0,56$ ).

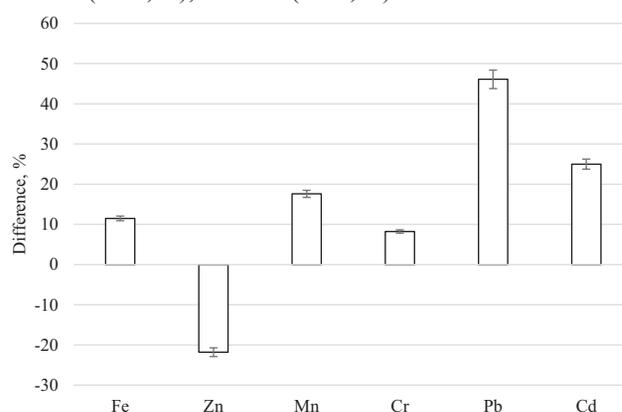


Рис. 1. Значимые изменения ( $p \leq 0,05$ ) в содержании ряда химических элементов в молоке коров II группы, относительно показателей коров I группы.

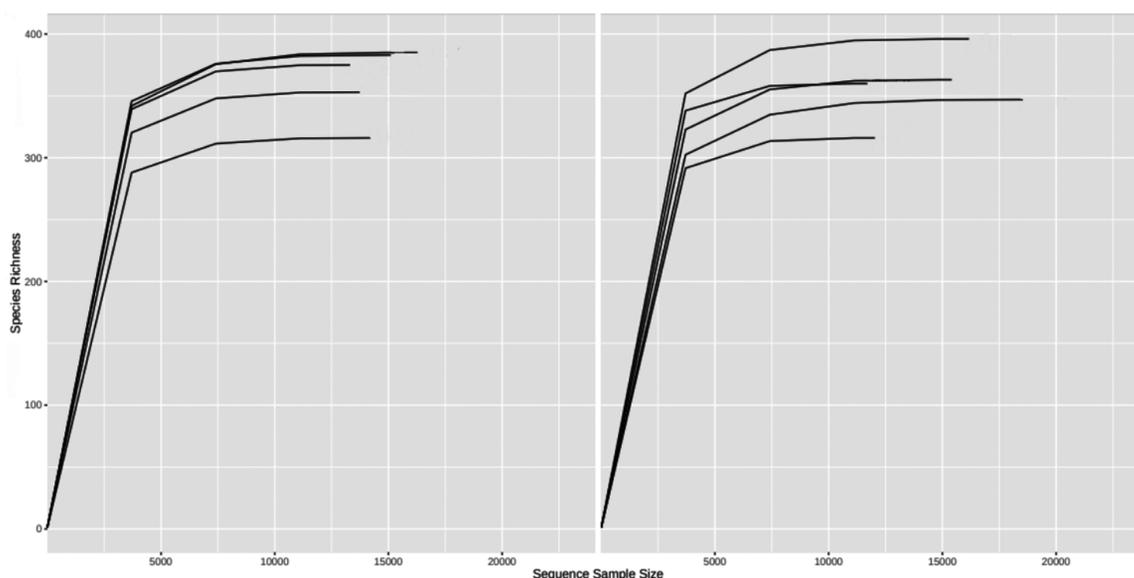


Рис. 2. Кривые разрежения на основе последовательностей для образцов микробиоты кишечника I (справа) и II (слева) групп.

Анализ микробиоты кишечника коров показал высокое разнообразие таксономических групп. В результате секвенирования, получено 301938 ридов (прочтений), на образец приходилось от 26613 до 33808 исходных ридов. После этапов слияния и фильтрации в анализ включены 253319 ридов. После кластеризации было получено 516 OTU, после удаления синклтонов и даблтонов осталось 496 OTU. Следует отметить, что 21 OTU встречались только в одной из 10 проб, поэтому из дальнейшего анализа они были удалены.

На основе полученных последовательностей и OUP были построены кривые разрежения. У всех образцов они имеют тенденцию выходить на плато к максимуму, что указывает на достаточность глубины секвенирования для характеристики микробиоты рубца в исследовании (рис. 2).

Полученные OTUs таксономически были сгруппированы от уровня филума до уровня рода и в I группе отнесены к 12 филумам, 22 классам, 27 порядкам, 43 семействам, 92 родам, во II группе – к 11 филумам, 21 классу, 26 порядкам, 42 семействам, 91 роду.

В образцах от коров I группы наиболее многочисленными были филумы *Firmicutes* (32,1 %) и *Bacteroidetes* (60,1 %). Среди малочисленных отмечены *Proteobacteria* (3,98 %) и *Spirochaetes* (1,37 %) (табл. 2).

На более глубоких таксономических уровнях самыми многочисленными таксонами были классы *Bacteroidia* (32,1 %) и *Clostridia* (58,8 %), семейства *Ruminococcaceae* (46,1 %), *unclassified\_Bacteroidales* (13 %), *Lachnospiraceae* (8,72 %) и *Bacteroidaceae* (8,35 %). Основное количество классифицированных микроорганизмов на уровне рода относилось к *unclassified\_Ruminococcaceae* (41,6 %), и *unclassified\_Bacteroidales* (13 %).

В образцах от коров II группы наблюдали аналогичное соотношение основных таксономических групп микроорганизмов микробиоты кишечника. Отмечено достоверное снижение количества микроорганизмов относящихся к классу *Gammaproteobacteria* (род *Ruminobacter*) на 2 % (P-value = 8,82).

Расчеты индексов альфа разнообразия позволили оценить богатство, разнообразие и однородность микробиоты кишечника коров (табл. 3). С одной стороны

Табл. 2. Таксономическое разнообразие микробиоты кишечника коров черно-пестрой породы

Таксон	Группа		P-value
	I	II	
<b>филум</b>			
Bacteroidetes	32,1±1,21	32,2±1	0,06
Firmicutes	60,1±1,01	61,9±0,89	1,34
Proteobacteria	3,98±0,41	2,2±1,02	1,62
Spirochaetes	1,37±0,43	1,96±0,34	1,08
Другие	2,45±0,24	1,74±0,43	1,44
<b>класс</b>			
Bacteroidia	32,1±1,21	32,2±1,00	0,06
Clostridia	58,8±1,13	60,1±1,41	0,72
Gammaproteobacteria	3±0,23	0,88±0,07*	8,82
Spirochaetia	1,37±0,43	1,96±0,34	1,08
Другие	4,73±0,45	4,86±0,39	0,22
<b>семейство</b>			
Bacteroidaceae	8,35±0,42	7,81±0,33	1,01
Muribaculaceae	1,54±0,83	2±0,09	0,55
Paludibacteraceae	4,26±0,55	4,07±0,42	0,28
Prevotellaceae	1,71±0,53	2,24±0,44	0,77
Rikenellaceae	3,53±0,16	3,11±0,33	1,15
unclassified_Bacteroidales	13±1,27	13,1±1,29	0,06
Lachnospiraceae	8,72±0,77	8,81±1,68	0,05
Ruminococcaceae	46,1±0,93	47,5±1,95	0,65
Succinivibrionaceae	3±0,23	1±0,19*	6,7
Spirochaetaceae	1,23±0,42	1,95±0,36	1,3
Другие	8,56±0,86	8,41±0,62	0,14
<b>род</b>			
Phocaeicola	6,9±0,39	6,12±0,28	1,63
Paludibacter	4,26±0,55	4,07±0,42	0,28
Alistipes	3,34±0,15	3,01±0,32	0,93
unclassified_Bacteroidales	13±1,27	13,1±1,29	0,06
unclassified_Lachnospiraceae	5,99±0,62	6,1±1,24	0,08
unclassified_Ruminococcaceae	41,6±0,95	42,9±1,92	0,61
Ruminobacter	2,74±0,27	0,7±0,06*	7,3
Другие	22,2±1,03	24±0,83	1,36

\*различия между группами достоверны при  $p \leq 0,05$  (по критерию Стьюдента)

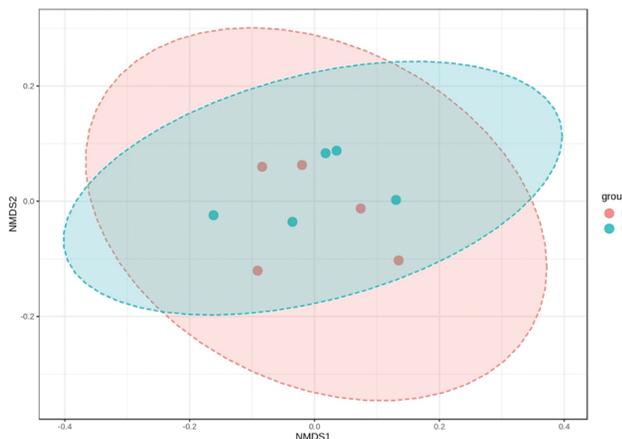
**Табл. 3. Индексы альфа разнообразия микробиоты кишечника коров I и II групп**

Показатель	Группа		P-value
	I	II	
chao1	356,4	362,6	0,75
ACE	358,8	362,4	0,75
Fisher's alpha	67,425	67,44	0,73
simpson	0,04	0,04	0,67
shannon	6,65	6,63	0,98

величины индексов Chao1, ACE и Simpson свидетельствовали о таксономическом богатстве микробиоты кишечника экспериментальных групп и об отсутствии преобладания в выборках одного большого OTU. С другой стороны они продемонстрировали отсутствие значимых различий между экспериментальными группами.

Аналогично об отсутствии достоверных различий между экспериментальными группами свидетельствуют величины показателей разнообразия индекс Shannon\_2 и Fisher's alpha.

Результаты анализа PERMANOVA для оценки бета разнообразия указывают на отсутствие значимого влияния уровня нагрузки тяжелыми металлами на расстояние Брея-Кертиса (рис. 3). Значимых различий в организации бактериальных сообществ кишечника между образцами от I и II групп не наблюдали (p-value > 0,05).



**Рис. 3. Бета разнообразие микробиоты кишечника коров I и II групп с использованием статистического метода PERMANOVA, не метрического многомерного масштабирования и несходства Брея-Кертиса.**

Сравнение содержания химических элементов в шерсти коров I и II групп со значениями ( $Q_{25}$ - $Q_{75}$  – центильные интервалы), которые рекомендованы как оптимальные для коров молочных пород, показал схожие отклонения для животных обеих групп [12]. В обеих опытных группах отмечено более высокое содержание Na, K, Mg, I и Se и пониженный уровень Co, As и Cr в шерсти животных. Однако для коров из группы с высоким  $K_{tox}$  отмечено более выраженное отклонение содержания химических элементов в шерсти от рекомендуемого физиологического диапазона, в сравнении с животными из группы с низким  $K_{tox}$ . Тем не менее, подобные расхождения, вероятно, в большей степени обусловлены уровнем метаболических процессов, возрастом и генотипом животных [1].

Сравнение экспериментальных данных по обеим группам между собой показало, что увеличение содержания в шерсти животных тяжелых металлов сопровождается изменением метаболизма других химических элементов в их шерсти. Действительно, элементный профиль шерсти молочных коров II группы характеризовался нарастанием концентрации практически всех элементов относительно I группы. Ранее аналогичные результаты были получены на коровах голштинской породы. На фоне увеличения уровня свинца в шерсти отмечали более высокие концентрации Co, Cr, Fe, Mn и I [13]. Тенденция к увеличению уровня Cd, Hg и Zn в шерсти животных сопровождалась повышением концентрации Co и I и снижением содержания Ca, K, P и Se [14]. Сходные результаты получены на модели скаковых лошадей. По мере увеличения содержания токсичных металлов в волосах их грив отмечали достоверное увеличение количества таких элементов, как Co, Fe, Mn, V, As и снижение концентрации B и Si [15].

Подобные изменения уровня химических элементов в организме животных представляют особый интерес, учитывая данные об их корреляции с изменением продуктивных показателей животных и качества молока. Согласно результатам проведенных исследований, увеличение содержания ряда тяжелых металлов в шерсти коррелирует со снижением молочной продуктивности коров [14]. Некоторые авторы отмечают, что повышенное поступление в организм крупного рогатого скота тяжелых металлов коррелирует не только с изменением элементного состава молока, но и со снижением таких показателей качества молочной продукции, как содержание протеина, жира и лактозы в молоке [16].

Однако отклонения в метаболизме ряда элементов в организме коров II группы были не достаточными для ярко выраженного изменения состава микробиома их кишечника. Было отмечено отсутствие отличий в таксономическом богатстве микробиомов кишечника коров I и II групп. Возможно, это обусловлено высокой устойчивостью отдельных штаммов бактерий и их способностью к детоксикации тяжелых металлов [17].

Среди значимых изменений микробиома кишечника коров II группы отмечена тенденция к увеличению численности бактерий класса *Gammaproteobacteria* (род *Ruminobacter*) – деструкторов полисахаридов. Вероятно, предпосылки для этого связаны со способностью некоторых тяжелых металлов снижать активность таких желудочных ферментов, как альфа-амилаза [18].

Возможным следствием изменений в элементном составе шерсти, которое показывало присутствие отклонений в метаболизме ряда химических элементов в организме коров, стало изменение уровня некоторых элементов в молоке. Увеличение Mn, Pb и Cd в молоке животных из II группы было достоверно выше, чем в шерсти, на 5,8, 21,6 и 12,5 % соответственно, что, вероятно, обусловлено накопительным эффектом. Исключением стал Fe, накопление которого в молоке было ниже, чем в шерсти, на 17,5 %. Мы отметили корреляционную связь (умеренную и сильно выраженную) между изменениями концентраций токсичных металлов в шерсти и молоке. Схожие закономерности наблюдали и другие исследователи. В частности, продемонстрировано, что рост содержания кадмия и свинца в крови и моче животных достоверно коррелирует с увеличением их количества в молоке [19].

Наблюдаемое повышение концентрации ряда токсичных элементов в шерсти и молоке животных второй группы требует разъяснений о вероятных источниках тяжелых металлов и причин их накопления в организме.

В рамках исследования искусственное внесение добавок с высокой концентрацией ряда тяжелых металлов в рацион отсутствовало. В связи с этим наиболее вероятные источники их поступления – вода и корм, потребляемый в условиях свободного выгула (пастбищное содержание). В исследованиях отмечена значимая корреляция между уровнем отдельных элементов (As, Pb, Cd) в корме, воде и молоке животных [16]. Повышение содержания токсичных металлов в организме животных, на фоне низкой их концентрации в рационе и воде, вероятно, обусловлено накопительным эффектом, который наблюдается для некоторых из них. В литературе отмечается, что низкое потребление кадмия и свинца с кормом не сопровождается резким увеличением их содержания в молочных продуктах, но приводит к накоплению и сохранению в течение длительного периода в почках, печени и костях. В то же время известно о увеличении концентрации некоторых тяжелых металлов в молоке при повышении их содержания в организме [20].

Вероятной причиной накопления отдельных металлов в организме некоторых коров при одинаковых условиях содержания могут быть различия в уровне обменных процессов в организме. Например, известно, что такие элементы как Cu, Mn, Zn в более высокой концентрации накапливаются у повторнородящих коров, в сравнении с первородящими [21]. Отмечается взаимосвязь уровня некоторых тяжелых металлов в шерсти коров с уровнем их продуктивности. Например, низкие показатели продуктивности коррелируют с повышенными концентрациями свинца в шерсти [22]. Принимая это во внимание, вероятно, варьирование пула элементов в организме животных косвенно зависит от факторов, влияющих на продуктивность. Среди них можно отметить окислительный стресс, развитие которого тесно связано с показателями удоя. У высокопродуктивных коров оно наблюдается на пике лактации, что выражается в повышении уровня малонового диальдегида в молоке и снижении его пищевой ценности. После пика лактации метаболический статус стабилизируется, и уровень малонового диальдегида уменьшается. Коровы, производящие большое количество молока, с большей вероятностью будут подвергаться воздействию окислительного стресса, что будет оказывать влияние не только на показатели удоя и качество молока, но и на все обменные процессы в организме [23].

Метаболическая активность микробиома рубца и кишечника коров также служит одним из факторов различий в обменных процессах в организме животных. Микробиом желудочно-кишечного тракта способен изменять метаболический исход токсичных веществ, поступающих из окружающей среды, меняя их уровень всасывания [24].

Кроме того, изменения метаболического пула токсичных элементов могут быть обусловлены эффективностью работы собственной системы детоксикации тяжелых металлов, представленной белками металлопротеинами [25].

Таким образом, в результате исследований отмечено нарастание содержания тяжелых металлов в шерсти и молоке животных II группы. При этом достоверных изменений в концентрациях большей части эссенциальных элементов (Ca, P, Na, Co, K, Se и др.) в молоке животных не наблюдали, в то время как их содержание в шерсти животных было снижено. Также не отмечены признаки реорганизации кишечного микробиома у животных с повышенным коэффициентом токсической нагрузки. Возможно, изменения метаболизма элементов в организме животных II группы были не критичными, или для

появления явных сдвигов в минеральном составе молока требуется более длительный период воздействия. В то же время, тенденция к накоплению некоторых тяжелых металлов, как в шерсти, так и в молоке указывает на высокую вероятность их негативного влияния на здоровье животных и человека. В связи с этим необходимо дальнейшее проведение мониторинга состояния животных и динамическое наблюдение за более широким спектром показателей здоровья животных, включая анализ активности металлоспецифичных белков в крови животных, метаболических путей микробиома кишечника и связи уровня окислительного стресса с изменениями метаболического пула макро- и макроэлементов.

### Литература

1. *Phenotypic and genetic analysis of milk and serum element concentrations in dairy cows* / S.J. Denholm, A.A. Sneddon, T.N. McNeilly, et al. // *J Dairy Sci.* 2019. No. 102(12). P. 11180-11192. doi: 10.3168/jds.2019-16960
2. *A critical review of advancement in scientific research on food animal welfare-related air pollution* / J.Q. Ni, M.A. Erasmus, C.C. Croney, et al. // *Journal of Hazardous Materials.* 2021. No. 408. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304389420324584?via%3Dihub> (дата обращения: 20.03.2022). doi: 10.1016/j.jhazmat.2020.124468
3. *Heavy metals in food crops: health risks, fate, mechanisms, and management* / P.K. Rai, S.S. Lee, M. Zhang, et al. // *Environment International.* 2019. No. 125. P. 365-385. doi: 10.1016/j.envint.2019.01.067
4. *Metal (Pb, Cu, Cd, and Zn) Transfer along Food Chain and Health Risk Assessment through Raw Milk Consumption from Free-Range Cows* / M. Miclean, O. Cadar, E.A. Levei, et al. // *International Journal of Environmental Research and Public Health.* 2019. No. 16(21). URL: <https://www.mdpi.com/1660-4601/16/21/4064> (дата обращения: 22.03.2022). doi: 10.3390/ijerph16214064
5. *The Effects of Cadmium Toxicity* / G. Genchi, M.S. Sinicropi, G. Lauria, et al. // *International Journal of Environmental Research and Public Health.* 2020. No. 17(11). URL: <https://www.mdpi.com/1660-4601/17/11/3782> (дата обращения: 20.03.2022). doi: 10.3390/ijerph17113782
6. *Heavy Metals in Acrylic Color Paints Intended for the School Children Use: A Potential Threat to the Children of Early Age* / M.R. Khan, N. Ahmad, M. Ouladsmame, et al. // *Molecules.* 2021. No. 26(8). URL: <https://www.mdpi.com/1420-3049/26/8/2375> (дата обращения: 22.03.2022). doi: 10.3390/molecules26082375
7. *Evaluation of sulfur status in dairy cows in Germany* / L. Pieper, K. Wall, A. E. Müller, et al. // *Tierärztliche Praxis. Ausgabe G, Grosstiere/Nutztiere.* 2016. No. 44(02). P. 92-98. doi: 10.15653/TPG-150901
8. *The composition of the perinatal intestinal microbiota in cattle* / M.J. Alipour J. Jalanka, T. Pessa-Morikawa, et al. // *Scientific Reports.* 2018. No. 8(1). URL: <https://www.nature.com/articles/s41598-018-28733-y> (дата обращения: 25.03.2022). doi: 10.1038/s41598-018-28733-y
9. *Myer P.R. Bovine Genome-Microbiome Interactions: Metagenomic Frontier for the Selection of Efficient Productivity in Cattle Systems* // *mSystems.* 2019. No. 4(3). URL: <https://journals.asm.org/doi/10.1128/mSystems.00103-19> (дата обращения: 20.03.2022). doi: 10.1128/mSystems.00103-19

10. Method of sampling beef cattle hair for assessment of elemental profile / S. Miroshnikov, A. Kharlamov, Zavyalov O., et al. // *Pakistan Journal of Nutrition*. 2015. No. 9(14). P. 632-636. doi: 10.3923/pjn.2015.632.636
11. Чадова Л.А. Особенности техногенных элементозов у работников тепловых электростанций // *Вестник ОГУ*. 2006. №2. С. 90-92.
12. The Reference Values of Hair Content of Trace Elements in Dairy Cows of Holstein Breed / S.A. Miroshnikov, A.V. Skalny, O.A. Zavyalov et al. // *Biological Trace Element Research*. 2020. No. 194(1). P. 145-151. doi: 10.1007/s12011-019-01768-6
13. The content of toxic elements in hair of dairy cows as an indicator of productivity and elemental status of animals / S. Miroshnikov, O. Zavyalov, A. Frolov, et al. // *Environmental Science and Pollution Research*. 2019. No. 26(18). P. 18554-18564. doi: 10.1007/s11356-019-05163-5
14. The total accumulation of heavy metals in body in connection with the dairy productivity of cows / S. Miroshnikov, S. Notova, T. Kazakova, et al. // *Environmental Science and Pollution Research*. 2021. URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11356-021-14198-6> (дата обращения: 21.03.2022). doi: 10.1007/s11356-021-14198-6
15. The total content of toxic elements in horsehair given the level of essential elements / V. Kalashnikov, A. Zaitsev, M. Atroschenko, et al. // *Environmental Science and Pollution Research*. 2019. No. 26(24). P. 24620-24629. doi: 10.1007/s11356-019-05630-z
16. Relationships between Pb, As, Cr, and Cd in individual cows' milk and milk composition and heavy metal contents in water, silage, and soil / X. Zhou, N. Zheng, C. Su, et al. // *Environmental Pollution*. 2019. No. 255(Pt 2). URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0269749119333391?via%3Dihub> (дата обращения: 25.03.2022). doi: 10.1016/j.envpol.2019.113322
17. Bacteria-zinc co-localization implicates enhanced synthesis of cysteine-rich peptides in zinc detoxification when *Brassica juncea* is inoculated with *Rhizobium leguminosarum* / G.A. Adediran, B.T. Ngwenya, J.F.W. Mosselmanns, et al. // *New Phytologist*. 2016. No. 209(1). P. 280-293. doi: 10.1111/nph.13588
18. The effects of high dose of two manganese supplements (organic and inorganic) on the rumen microbial ecosystem / S. Kišidayová, P. Pristaš, M. Zimováková, et al. // *PLoS One*. 2018. No. 13(1). URL: <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0191158> (дата обращения: 20.03.2022). doi: 10.1371/journal.pone.0191158
19. Heavy metals in blood, milk and cow's urine reared in irrigated areas with wastewater / C. Numa, C.S. Francisco, Fuentes de Maria-Torres, et al. // *Heliyon*. 2021. No. 7(4). URL: [https://www.cell.com/heliyon/fulltext/S2405-8440\(21\)00796-9?\\_returnURL=https%3A%2F%2Flinkinghub.elsevier.com%2Fretrieve%2Fpii%2FS2405844021007969%3Fshowall%3Dtrue](https://www.cell.com/heliyon/fulltext/S2405-8440(21)00796-9?_returnURL=https%3A%2F%2Flinkinghub.elsevier.com%2Fretrieve%2Fpii%2FS2405844021007969%3Fshowall%3Dtrue) (дата обращения: 22.03.2022). doi: 10.1016/j.heliyon.2021.e06693
20. Accumulation and depletion of cadmium and lead in tissues and milk of lactating cows fed small amounts of these metals / R.P. Sharma, J.C. Street, J. L. Shupe, et al. // *Journal of Dairy Science*. 1982. No. 65(6). P. 972-979. doi: 10.3168/jds.S0022-0302(82)82298-4
21. Immune responses in lactating Holstein cows supplemented with Cu, Mn, and Zn as sulfates or methionine hydroxy analogue chelates / L.M. Nemes, J.D. Richards, C.A. Atwell et al. // *Journal of Dairy Science*. 2012. No. 95(8). P. 4568-4577. doi: 10.3168/jds.2012-5404
22. Мирошников С.А., Завьялов О.А., Фролов А.Н. Влияние концентрации свинца в шерсти на межэлементное взаимодействие и молочную продуктивность голштиинских коров // *Животноводство и кормопроизводство*. 2019. №. 1(102). С. 54-70.
23. Kapusta A., Kuczyńska B., Puppel K. Relationship between the degree of antioxidant protection and the level of malondialdehyde in high-performance Polish Holstein-Friesian cows in peak of lactation // *PLoS One*. 2018. No. 13(3). URL: <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0193512> (дата обращения: 20.03.2022). doi: 10.1371/journal.pone.0193512.
24. Collins S.L., Patterson A.D. The gut microbiome: an orchestrator of xenobiotic metabolism // *Acta Pharmaceutica Sinica B*. 2020. No. 10(1). C. 19-32. doi: 10.1016/j.apsb.2019.12.001
25. Metallothionein in Brain Disorders / D. Juárez-Rebollar, C. Rios, C. Nava-Ruiz, et al. // *Oxid Med Cell Longev*. 2017. No. 2017. URL: <https://www.hindawi.com/journals/omcl/2017/5828056/> (дата обращения: 25.03.2022). doi: 10.1155/2017/5828056

Поступила в редакцию 25.04.2022

После доработки 30.05.2022

Принята к публикации 27.06.2022