

Земледелие и мелиорация**Дубовик Е.В., Дубовик Д.В.**

Изменение макроструктурного состояния почвы при различных способах обработки чернозема типичного при выращивании сои 3

Кружилин И. П., Никольская О. А.

Преимущества сочетания капельного орошения с ростостимулирующими подкормками при выращивании однолетних саженцев черешни 8

Растениеводство, защита и биотехнология растений**Дуборезов И.В., Косолапов А.В., Дуборезов В.М.**

Урожайность и питательность вегетативной массы силосных культур 14

Савва А. П., Тележенко Т.Н., Суворова В.А., Ковалев С. С.

Отечественный трехкомпонентный гербицид Пиксель, МД для защиты посевов озимого ячменя в Краснодарском крае 19

Петрова М. О., Черменская Т. Д.

Влияние природно-климатических условий на деградацию пестицидов при защите винограда от болезней и вредителей 24

Щенникова И.Н., Шуплецова О.Н., Кокина Л.П.

Биотехнология в создании сортов ярового ячменя 28

Золотарев В.Н., Клименко И.А., Косолапов В.М., Коровина В.Л., Антонов А.А.

Использование маркерного признака в селекции козлятника восточного (*Galega orientalis* Lam.) 33

Агрочвоведение и агроэкология**Хусниев И.Т., Романенков В.А., Пасько С.В., Ильичёв И.А.**

Агротехнологический потенциал управления органическим углеродом чернозёмов обыкновенных в зернопаропропашном севообороте 38

Башкин В. Н.

Увеличение эффективности использования азота: оценка азотминерализующей способности почв 45

Сайфуллина Л.Б., Азизов З.М., Имашев И.Г., Воронцова О.А., Демакина И.И.

Нитрификационная способность почвы как интегральный показатель мониторинга почвенного плодородия 51

Дубенок Н.Н., Лебедев А.В., Кузьмичев В.В.

Изменение роста древостоев лиственницы в Москве по данным долговременных наблюдений 56

Зоотехния и ветеринария**Вертипрахов В.Г., Грозина А.А., Овчинникова Н.В., Кислова И.В.**

Возрастные изменения активности ферментов в поджелудочной железе, кишечнике и плазме крови цыплят-бройлеров кросса Смена 9 62

Лейбова В.Б., Позовникова М.В.

Значение биохимических показателей крови в раннюю лактацию в прогнозировании воспроизводительной способности у молочных коз в последующем сезоне разведения 68

Farming and Amelioration**Dubovik E.V., Dubovik D.V.**

Changes in the macrostructural soil state with various tillage methods of typical chernozem in soybean cultivation 3

Kruzhilin I. P., Nikolskaya O.A.

The advantages of combining drip irrigation with growth-stimulating fertilizing when growing annual cherry seedlings 8

Plant Growing, Plant Protection and Biotechnology**Duborezov I.V., Kosolapov A.V., Duborezov V.M.**

Yield and vegetative mass nutrition of silage crops 14

Savva A. P., Telezhenko T.N., Suvorova V.A., Kovalev S. S.

Russian three-component herbicide Pixel, OD for protection of winter barley crops in the Krasnodar Territory 19

Petrova M. O., Chermenskaya T. D.

The influence of weather-climatic conditions on the degradation of pesticides in the grape protection from diseases and pests 24

Shchennikova I.N., Shupletsova O.N., Kokina L.P.

Biotechnology in the creation of spring barley varieties 28

Zolotarev V.N., Klimenko I.A., Kosolapov V.M., Korovina V.L., Antonov A.A.

Application of marker trait in breeding of forage galega (*Galega orientalis* Lam.) 33

Agricultural Soil Science and Agroecology**Khusniev I.T., Romanenkov V.A., Pasko S.V., Ilyichev I.A.**

Agrotechnological potential of organic carbon management in chernozems in grain-fallow crop rotation 38

Bashkin V. N.

Increasing the efficiency of nitrogen use: assessment of the nitrogen mineralizing capacity of soils 45

Sayfullina L.B., Azizov Z.M., Imashev I.G., Vorontsova O.A., Demakina I.I.

Soil nitrification capacity as an integral indicator of soil fertility monitoring 51

Dubenok N.N., Lebedev A.V., Kuzmichev V.V.

Changes in the growth of larch stands in Moscow according to the data of long-term observations 56

Animal Science and Veterinary Medicine**Vertiprakhov V.G., Grozina A.A., Ovchinnikova N.V., Kislova I.V.**

Age-related changes in enzyme activity in pancreas, intestines and blood plasma of broiler chickens of the Smena 9 breed 62

Leibova V.B., Pozovnikova M.V.

The value of blood biochemical parameters in early lactation in predicting the reproductive ability of dairy goats in the subsequent breeding season 68

Земледелие и мелиорация

УДК 631.434:631.51.01

DOI: 10.31857/S2500262722030012, EDN: GBOSBZ

ИЗМЕНЕНИЕ МАКРОСТРУКТУРНОГО СОСТОЯНИЯ ПОЧВЫ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ СПОСОБАХ ОБРАБОТКИ ЧЕРНОЗЕМА ТИПИЧНОГО ПРИ ВЫРАЩИВАНИИ СОИ

Е.В. Дубовик, доктор биологических наук,
Д.В. Дубовик, доктор сельскохозяйственных наук

Курский федеральный аграрный научный центр,
305021, Курск, ул. К.Маркса, 70б
E-mail: dubovikdm@yandex.ru

Исследования проводили с целью изучения влияния различных способов обработки почвы (вспашка, комбинированная обработка, поверхностная обработка, No-till) на структурное состояние чернозема типичного (Haplic Chernozems). Объект исследований – чернозем типичный мощный тяжелосуглинистый. Для анализа данных использовали метод интерпретации макроструктурного состояния по Хитрову Н.Б. и Чечуевой О.А. По результатам сухого и мокрого просеивания независимо от способа обработки почвы в слое 10...20 см были установлены следующие общие закономерности, по сравнению со слоем 0...10 см: рост средневзвешенного диаметра воздушно-сухих агрегатов (Dc), снижение средневзвешенного диаметра агрегатов после мокрого просеивания (Dm), увеличение средневзвешенного диаметра агрегатов, разрушающихся при увлажнении (D⁺), и средневзвешенного диаметра частиц, на которые распадаются агрегаты (имеющие средневзвешенный диаметр D⁺) при увлажнении (D⁻), а также повышение количества разрушающихся при увлажнении агрегатов (S). Анализ взаимосвязи суммы водоустойчивых агрегатов по Савинову и по показателю неустойчивости к разрушению при увлажнении показал, что при комбинированной и поверхностной обработках почва в слоях 0...10 см и 10...20 см, а также при вспашке и применении технологии No-till в слое 0...10 см обладала отличной агрегированностью и хорошей водоустойчивостью, что позволяет отнести ее к IVb классу. В слое 10...20 см на вспашке и при применении технологии No-till отмечена отличная агрегированность почвы в увлажненном состоянии при средней водоустойчивости, что характеризует качество структуры как среднее и дает возможность отнести ее к IIIв классу. Поскольку в слое 10...20 см формируются агрегаты, которые обладают высокой плотностью и низкой пористостью, это впоследствии отражается на росте Rws и снижении качества почвенной структуры.

CHANGES IN THE MACROSTRUCTURAL SOIL STATE WITH VARIOUS TILLAGE METHODS OF TYPICAL CHERNOZEM IN SOYBEAN CULTIVATION

Dubovik E.V., Dubovik D.V.

Federal Agricultural Kursk Research Center,
305021, Kursk, ul. Karla Marksa, 70b
E-mail: dubovikdm@yandex.ru

The purpose of this work was to study the influence of various methods of tillage (plowing, combined tillage, surface tillage, No-till) on the structural state of typical chernozem (Haplic Chernozems). The object of research was typical deep heavy loamy chernozem. The method of interpretation of macrostructural state according to Khitrov N.B. and Chechuyeva O.A. was used to analyze the data obtained. According to the results of dry and wet sieving, regardless of the method of tillage in a layer of 10-20 cm, general patterns were established: an increase in the weighted average diameter of air-dry aggregates (Dc), a decrease in the weighted average diameter of aggregates after wet sieving (Dm), an increase in the weighted average diameter of aggregates collapsing during moistening (D⁺), and the weighted average diameter of particles, into which aggregates (having a weighted average diameter D⁺) disintegrate when moistened (D⁻), as well as an increase in the number of aggregates collapsing when moistened (S). The analysis of the relationship between the total waterproof aggregates obtained by the Savinov method and the index of instability against destruction during moistening showed that the soil in layers 0-10 cm and 10-20 cm when treated with combined and surface tillage, as well as during plowing and when No-till technology in a layer of 0-10 cm was used had excellent aggregation and good water resistance, which allows the soil to be attributed to IVb class. Excellent aggregation of the soil in a moistened state with average water resistance is noted in a layer of 10-20 cm when plowing and No-till technology were used, which characterizes the quality of the structure as average and refers the soil to Class III. Since aggregates with high density and low porosity are formed in a layer of 10-20 cm, this subsequently affected the growth of Rws and a decrease in the quality of the soil structure.

Ключевые слова: чернозем типичный (Haplic Chernozems), способы обработки почвы, вспашка, комбинированная обработка, поверхностная обработка, прямой посев (No-till)

Key words: typical chernozem (Haplic Chernozems), tillage methods, plowing, combined tillage, surface tillage, direct sowing (No-till).

В современном сельскохозяйственном производстве, при преобладании интенсивных технологий возделывания культур, достаточно остро стоит вопрос сохранения почвенной структуры как одного из основных агрофизических показателей почвенного плодородия. Для ее восстановления и сохранения необходимо распространение почвозащитных способов обработки почвы [1]. Один из способов сохранения плодородия,

как в нашей стране, так и за рубежом, – снижение механического воздействия на почву, вплоть до отказа от ее обработки [2, 3]. В этой связи, актуально изучение технологии прямого посева или No-till [4, 5]. Ее применение исключает механическую обработку почвы, при этом посев, внесение питательных веществ средств защиты растений проводятся специализированной техникой [6, 7].

Однако длительное влияние минимизации обработки почвы, а также технологии прямого посева, на изменение агрофизических свойств почвы, и в частности, направленности процессов структурообразования, изучено недостаточно, а имеющиеся результаты зачастую противоречивы.

Так, при снижении глубины обработки, при возделывании различных культур, можно наблюдать увеличение глыбистой структуры почвы, что обусловлено как биологическими особенностями самих культур, так и технологиями их возделывания [8]. При этом глыбистая почва, с преобладанием агрегатов >10 мм, теряет в 2,0...2,5 раза больше влаги, чем почва с мелкокомковатой (3...1 мм) структурой [9, 10].

В тоже время на черноземах обыкновенных при переходе от глубокой вспашки к прямому посеву отмечается увеличение водопрочности почвенных агрегатов коэффициента структурности, что обусловлено как распределением структурных отдельностей, так и их водостойчивостью [11]. Также, по сравнению с глубокой обработкой почвы, минимальные способы обработки способствуют улучшению почвенной структуры [12, 13], повышению водопроницаемости и водостойчивости [14].

Такое неоднозначное влияние способа обработки на структурное состояние почвы требует дальнейшего изучения.

Цель исследований – изучение влияния различных способов обработки почвы на структурное состояние чернозема типичного, выражающееся изменением средневзвешенного диаметра сухих и водостойчивых агрегатов, а также энтропией их распределения, для более полной оценки макроструктурного состояния почвы.

Методика. Исследования проводили в полевом стационарном опыте ФГБНУ «Курский федеральный аграрный научный центр» (Курская область, Курский район, п. Черемушки, 51°37'46"N; 36°15'40"E) в четырехпольном севообороте.

Севооборот развернут в пространстве и во времени четырьмя полями, со следующим чередованием культур:

горох – озимая пшеница – соя – ячмень. Схема опыта включала следующие варианты: вспашка с оборотом пласта (20...22 см); комбинированная обработка (дискование 8...10 см + чизель 20...22 см); поверхностная обработка (дискование) до 8 см; прямой посев (No-till). Вариант No-till предусматривал прямой посев сеялкой Дон 114. Способы обработки почвы применяли с 2015 г. Размещение вариантов было систематическим в один ярус. Площадь посевной делянки 6000м² (60×100м), повторность трехкратная. В 2020 г. была начата вторая ротация севооборота. Отбор почвенных образцов проводили под посевами сои в 2020 и 2021 гг.

Технология возделывания сои (сорт Казачка) общепринятая для региона и по вариантам не различалась, за исключением способов основной обработки почвы. При этом особое внимание уделяли технологии прямого посева (No-till), так же было учтено, что она начинает действовать не ранее 4-го года систематического применения [15].

Объект исследования – чернозем типичный мощный тяжелосуглинистый (Haplic Chernozems). Содержание (среднее) гумуса в пахотном слое составляло 5,1%, щелочногидролизующего азота – 15,4 мг/100 г почвы, подвижного фосфора и калия (по Чирикову) – 20,1 и 13,1 мг/100 г почвы соответственно. Реакция почвенной среды – слабо кислая (рН_{KCl} 5,4).

Образцы для определения структурно-агрегатного состава отбирали после уборки сои (сентябрь), в 3-кратной повторности в слоях 0...10 см и 10...20 см, что обусловлено различной глубиной обработки чернозема типичного. Для этого по диагонали делянки были выбраны 3 площадки радиусом 5 м, и в этих пределах проводили выемку почвенных образцов ненарушенного сложения размером 25×25×10 см. Непосредственное определение структурно-агрегатного состава осуществляли по методу Н.И. Саввинова путем сухого и мокрого просеивания [16]. Полученные результаты обрабатывали с методом интерпретации данных макро- и микроструктуры почвы Хитрова и Чечуевой [17]. Статистическую обработку данных проводили с использованием программ Microsoft Excel, Statistica.

Табл. 1. Средневзвешенный диаметр агрегатов и энтропия распределения структурных отдельностей чернозема типичного при различных способах обработки почвы

Обработка	Слой, см	Показатель								
		Dс, мм*	Hс	Dm, мм	Hm	D ⁺ , мм	H ⁺	D ⁻ , мм	H ⁻	
Вспашка	0...10	3,15	2,51	0,81	2,03	4,26	1,42	0,27	1,13	
	10...20	3,38	2,46	0,71	2,08	4,61	1,39	0,30	1,26	
Комбинированная	0...10	3,62	2,36	1,81	2,38	4,49	1,21	0,26	1,06	
	10...20	3,68	1,98	1,43	2,47	5,31	1,04	0,33	1,31	
Поверхностная	0...10	3,40	2,42	1,34	2,30	4,47	1,27	0,26	1,08	
	10...20	3,93	2,26	0,90	2,23	4,94	1,33	0,32	1,33	
No-till	0...10	3,88	2,28	1,58	2,53	4,86	1,21	0,29	1,20	
	10...20	4,18	2,11	1,01	2,38	5,18	1,20	0,34	1,38	
HCP ₀₅	слой	0,31	0,22	0,31	0,17	0,36	0,15	0,03	0,09	
	обработка	0,44	0,31	0,45	0,25	0,52	0,22	0,04	0,13	

*Dс – средневзвешенный диаметр воздушно-сухих агрегатов, мм; Hс – энтропия распределения содержания воздушно-сухих агрегатов; Dm – средневзвешенный диаметр агрегатов после мокрого просеивания, мм; Hm – энтропия распределения содержания агрегатов после мокрого просеивания; D⁺ – средневзвешенный диаметр агрегатов, разрушающихся при увлажнении, мм; H⁺ – энтропия распределения содержания агрегатов со средневзвешенным диаметром D⁺; D⁻ – средневзвешенный диаметр частиц на которые распадаются агрегаты имеющие средневзвешенный диаметр D⁺ при увлажнении, мм; H⁻ – энтропия распределения содержания агрегатов со средневзвешенным диаметром D⁻.

Результаты и обсуждение. По результатам сухого просеивания, независимо от способа обработки чернозема типичного, в почве преобладали воздушно-сухие агрегаты размером >10 мм (28,97±1,82 %). При этом выход структурных отдельностей 1,0...0,5 мм был минимальным и составлял в среднем 6,02±0,65 %. Количество агрономически ценных агрегатов размером 10...0,25 мм в слое 0...20 см было преобладающим при вспашке и применении No-till (65,74...65,25 %) и имело тенденцию к снижению в ряду: поверхностная обработка (63,92 %) → комбинированная обработка (59,49 %).

Интерпретация макроструктурного состояния по методу Хитрова, Чечуевой [17] показала большей средне-взвешенный диаметр сухих агрегатов (Dc) в слое 10...20 см, по сравнению со слоем 0...10 см, не зависимо от способа обработки почвы (табл. 1). При этом максимальная в опыте величина этого показателя отмечена в варианте с технологией No-till, наименьшая – после вспашки, при использовании комбинированной и поверхностной обработки она занимала промежуточное положение.

Характер распределения воздушно-сухих агрегатов почвы можно оценить с помощью энтропии (Hs). По результатам наших исследований энтропия распределения сухих агрегатов чернозема типичного была выше при применении вспашки (Hs = 2,51...2,46) и снижалась в вариантах с минимизацией обработки почвы, что обусловлено ростом агрегатов >5 мм и снижением количества структурных отдельностей <1 мм. Повышение количества агрегатов >5 мм свидетельствует о формировании более глыбистой структуры, что указывает на тенденцию к ухудшению агрегатного состояния при вспашке.

Средневзвешенный диаметр структурных отдельностей чернозема типичного сохраняющегося после увлажнения (Dm) независимо от изучаемого слоя при комбинированной обработке был наибольшим (1,81...1,43 мм), а после вспашки наименьшим (0,81...0,71 мм). Общей закономерностью не зависимо от способа обработки почвы для величины этого показателя было снижение с глубиной обрабатываемого слоя, что в свою очередь свидетельствует о роли корневой системы растений в верхнем слое 0...10 см в водоустойчивости почвы (r=0,75).

При этом отмечается существенное (HCP₀₅ = 0,25) влияние способа обработки почвы на энтропию распре-

деления содержания водоустойчивых агрегатов почвы (Hm). Так, минимизация обработки почвы способствовала более равномерному распределению водоустойчивых агрегатов, по сравнению со вспашкой, и величина Hm при этих способах обработки была выше в 1,1...1,2 раза. Это связано с повышением количества агрегатов сохраняющихся после увлажнения >2 мм.

Средневзвешенный диаметр агрегатов, разрушающихся при увлажнении (D⁺), и средневзвешенный диаметр частиц, на которые распадаются агрегаты (имеющие средневзвешенный диаметр D⁺) при увлажнении (D⁻) независимо от способа обработки почвы в слое 10...20 см был существенно выше (HCP₀₅=0,36 и 0,03), чем в слое 0...10 см. При возделывании сои в варианте со вспашкой D⁺ был ниже, чем при минимизации обработки почвы на 5...15 %.

Количество разрушающихся при увлажнении агрегатов (S) зависело от слоя почвы, в слое 0...10 см оно было значительно ниже (HCP₀₅=10,15), чем в слое 10...20 см (табл. 2). При этом в слое 0...10 см после вспашки количество разрушающихся при увлажнении агрегатов было наибольшим – 58 %, в то время как при использовании технологии No-till подвержено разрушению 50 % агрегатов, а при поверхностной и комбинированной обработках, соответственно 48 и 43 %. Количество разрушающихся агрегатов (S) находится в тесной связи с массой корневых остатков (r=-0,91) и содержанием гумуса (r=-0,64).

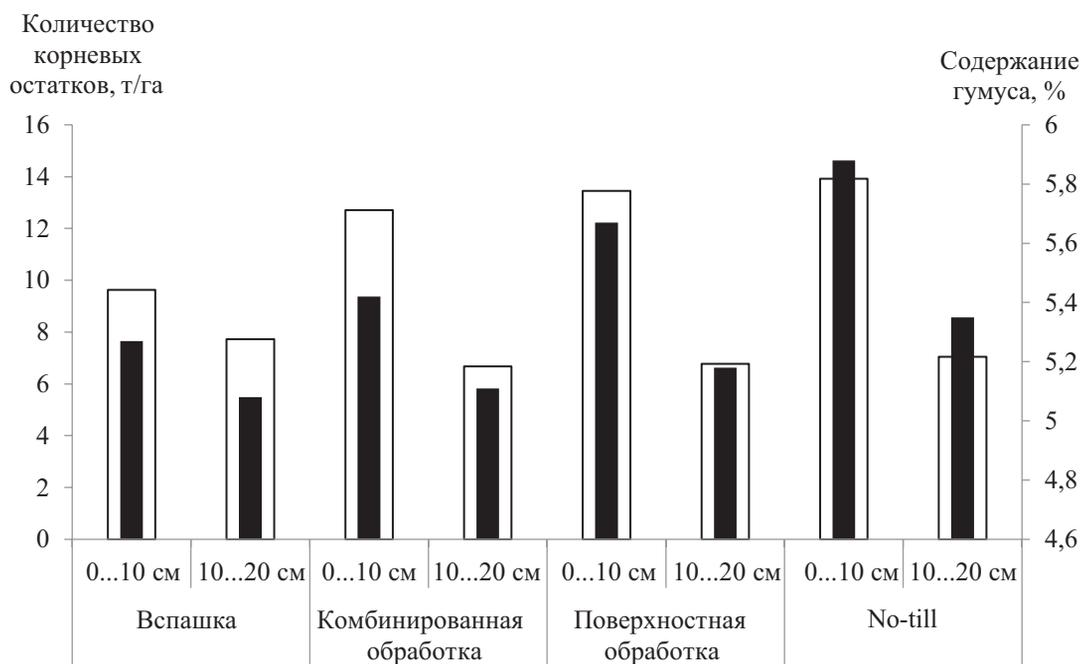
Установлено, что в слое 0...10 см при применении технологии No-till и поверхностной обработки количество корневых остатков было выше, по сравнению с комбинированной обработкой и вспашкой, на 9...31 %, содержание гумуса – на 8...10 % (см. рисунок). В слое 10...20 см масса корневых остатков по вспашке была наибольшей (7,73 т/га) и в зависимости от способа обработки почвы снижалась в ряду: No-till (7,05 т/га) → поверхностная обработка (6,78 т/га) → комбинированная обработка (6,67 т/га). При этом содержание гумуса в слое 10...20 см при использовании технологии No-till было на 3...5 % выше, чем в остальных вариантах.

Вместе с тем, количество «стабильных» (Ss) агрегатов, при минимизации обработки почвы в среднем был выше, чем по вспашке, в 1,1...1,2 раза. При этом количество «стабильных» агрегатов в слое 0...10 см, по сравнению со слоем 10...20 см, было достоверно выше

Табл. 2. Показатели водоустойчивости чернозема типичного при различных способах обработки почвы

Обработка	Слой, см	Показатель					
		S, %*	Ss, %	Ds, мм	Hs	Sm, %	Rws
Вспашка	0...10	58,73	41,26	2,27	1,57	62,43	2,40
	10...20	62,07	37,92	1,38	1,51	64,15	2,70
Комбинированная	0...10	42,88	57,11	2,97	1,89	68,47	1,81
	10...20	58,64	41,36	2,99	1,62	70,87	2,32
Поверхностная	0...10	48,49	51,50	2,40	1,83	63,87	2,07
	10...20	65,59	34,41	1,98	1,47	67,38	2,46
No-till	0...10	50,45	49,55	2,89	1,82	69,44	2,33
	10...20	65,62	34,38	2,29	1,47	69,56	3,18
HCP ₀₅	слой	10,15	10,15	0,19	0,22	2,25	0,38
	обработка	14,36	14,36	0,27	0,31	3,18	0,54

S – количество агрегатов, разрушающихся при переходе из одних условий определения к другим,%; Ss – количество «стабильных» агрегатов,%; Ds – средневзвешенный диаметр «стабильных» агрегатов и частиц, мм; Hs – энтропия распределения содержания «стабильных» агрегатов и частиц; Sm – сумма водоустойчивых агрегатов >0,25 мм, %; Rws – показатель оценки водоустойчивости макроструктуры почвы.



Изменение содержания гумуса и количество корневых остатков при различных способах обработки почвы при возделывании сои (среднее за 2 года): □ – корни, т/га; ■ – гумус, %.

(НСР₀₅=10,15) в вариантах с поверхностной и комбинированной обработками, а также при использовании технологии No-till. Это объясняется ролью корневой системы и гумуса в процессе формирования «стабильных» агрегатов, поскольку коэффициент корреляции между количеством «стабильных» агрегатов и массой корней составляет 0,91, содержанием гумуса – 0,64.

Средневзвешенный диаметр «стабильных» агрегатов и частиц (Ds), а также энтропия распределения «стабильных» агрегатов и частиц (Hs) в слоях почвы 0...10 см и 10...20 см при минимизации обработки почвы были в 1,1...1,6 раза выше, чем во вспашке. При этом независимо от способа обработки почвы в слое 0...10 см, по сравнению со слоем 10...20 см, величина Ds после вспашки была достоверно выше, чем в вариантах с поверхностной обработкой и применением технологии No-till (НСР₀₅=0,19), а достоверно наибольшая энтропия их распределения отмечена при минимизации обработки почвы (НСР₀₅=0,22). Вместе с тем, для Ds была установлена средняя связь с массой корневых остатков и содержанием гумуса (r=0,54...0,47), а для Hs – высокая (r=0,90...0,72).

Результаты анализа качества почвенной структуры по сумме частиц >0,25 мм, полученных при мокром просеивании по Саввинову (Sm), и показателю неустойчивости структуры к внешним воздействиям – Rws, то есть увлажнению, согласно классификации Хитрова и Чечуевой [17], свидетельствуют, что почва в слоях 0...10 см и 10...20 см при комбинированной и поверхностной обработках, а также в слое 0...10 см при вспашке и применении технологии No-till обладала отличной агрегированностью и хорошей водоустойчивостью. Это дает возможность отнести их к IVб классу.

В слое 10...20 см при вспашке и применении технологии No-till отмечена отличная агрегированность почвы в увлажненном состоянии при средней водоустойчивости, что характеризует качество структуры как среднее и соответствует IIIв классу. Это снижение качества обусловлено ростом Rws, и свидетельствует об уменьшении водоустойчивости почвенной структуры.

Таким образом, независимо от способа обработки почвы в слое 10...20 см установлено преобладание большего диаметра воздушно-сухих агрегатов (Dc), снижение средневзвешенного диаметра агрегатов после мокрого просеивания (Dm), увеличение средневзвешенного диаметра агрегатов, разрушающихся при увлажнении (D⁺), и средневзвешенного диаметра частиц, на которые распадаются агрегаты (имеющие средневзвешенный диаметр D⁺) при увлажнении (D⁻), а также повышение количества разрушающихся при увлажнении агрегатов (S), по сравнению со слоем 0...10 см. Такая картина свидетельствует о том, что в этом слое формируются агрегаты, которые обладают высокой плотностью и низкой пористостью, при этом плотность и пористость слоя 10...20 см в среднем составляла соответственно 1,12...1,19 г/см³ и 51...53 %, в слое 0...10 см – величины этих показателей были равны 0,99...1,04 г/см³ и 58...61 %, что впоследствии отразилось на росте Rws и снижении качества почвенной структуры.

Минимизация обработки почвы приводит к росту размера воздушно-сухих агрегатов (Dc) и агрегатов, полученных после мокрого просеивания (Dm), а также к повышению средневзвешенного диаметра агрегатов, разрушающихся при увлажнении (D⁺), и средневзвешенного диаметра частиц, на которые распадаются агрегаты (имеющие средневзвешенный диаметр D⁺) при увлажнении (D⁻), и снижению количества разрушающихся при увлажнении агрегатов (S), но в тоже время и к росту «стабильных» агрегатов (Ss), по сравнению с применением вспашки. Это свидетельствует о том, что минимизация обработки почвы способствует улучшению водоустойчивости чернозема типичного, а, следовательно, и повышению качества его структуры.

Литература.

1. 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. С. 8-16.

2. Комиссаров М.А., Клик А. Влияние нулевой, минимальной и классической обработок на эрозию и свойства почв в Нижней Австрии // Почвоведение. 2020. №4. С. 473-782.
3. Изменение физических свойств черноземов при прямом посеве / В.П. Белобров, С.А. Юдин, Н.В. Ярославцева и др. // Почвоведение. 2020. №7. С. 880-890.
4. Восстановление свойств почв в технологии прямого посева / В.К. Дридигер, А.Л. Иванов, В.П. Белобров и др. // Почвоведение. 2020. №9. С. 1111-1120.
5. Влияние технологии прямого посева на распределение органического углерода и азота во фракциях агрегатов черноземов типичных, обыкновенных и южных / В.А. Холодов, В.П. Белобров, Н.В. Ярославцева и др. // Почвоведение. 2021. №2. С. 240-246.
6. Динамика изменения агрофизических свойств почвы при возделывании полевых культур по технологии No-till / В.К. Дридигер, В.В. Кулинцев, Р.С. Стукалов и др. // Изв. Оренбургского гос. аграрного ун-та. 2018. № 5(73). С. 35-38.
7. Ипатовский опыт возделывания полевых культур без обработки почвы (No-till) / В.К. Дридигер, А.В. Невечеря, Г. Таран и др. // АгроСнабФорум. 2017. №3 (151). С. 35-40.
8. Магомедов Н.Р., Халилов М.И., Бедоева С.В. Ресурсосберегающие приемы обработки почвы под озимую пшеницу в равнинной зоне Дагестана // Российская сельскохозяйственная наука. 2017. №1. С. 33-35.
9. Власенко А.Н., Власенко Н.Г. Система No-till на черноземных почвах северной лесостепи Западной Сибири // Плодородие. 2021. №3. С. 81-83.
10. Мнатсаканян А.А. Влияние систем основной обработки почвы на агрофизические и агрохимические показатели и урожайность сои // Плодородие. 2021. №5. С. 22-25.
11. Влияние традиционной технологии возделывания и прямого посева полевых культур на агрофизические факторы почвенного плодородия чернозема обыкновенного в зоне неустойчивого увлажнения / И.А. Вольтерс, О.И. Власова, Л.В. Грубачева и др. // Агрофизика. 2018. №4. С. 24-30.
12. Поляков Д.Г. Обработка почвы и прямой посев: агрофизические свойства черноземов и урожайность полевых культур // Земледелие. 2021. №2. С. 37-43.
13. Soil wet aggregate distribution and pore size distribution under different tillage systems after 16 years in the Loess Plateau of China / L. Gao, B. Wang, S. Li et al. // Catena. 2019. Vol. 173. P. 38-47.
14. Влияние способов обработки и средств биологизации на агрофизические свойства чернозема типичного тяжелосуглинистого среднемоющего низкогумусного, подстилаемого галечником / Х.А. Хусайнов, А.В. Тунтаев, М.С. Муртазалиев и др. // Российская сельскохозяйственная наука. 2021. №6. С. 19-23.
15. Дридигер В.К. Особенности проведения научных исследований по минимизации обработки почвы и прямому посеву: методические рекомендации. Ставрополь: Сервисшкола, 2020. 69 с.
16. Вадюнина А.Ф., Корчагина З.А. Методы исследования физических свойств почвы. М.: Агропромиздат, 1986. 416 с.
17. Хитров Н.Б., Чечуева О.А. Способ интерпретации данных макро- и микроструктурного состояния почв // Почвоведение. 1994. №2. С. 84-92.

Поступила в редакцию 01.04.2022
После доработки 28.04.2022
Принята к публикации 12.05.2022

ПРЕИМУЩЕСТВА СОЧЕТАНИЯ КАПЕЛЬНОГО ОРОШЕНИЯ С РОСТОСТИМУЛИРУЮЩИМИ ПОДКОРМКАМИ ПРИ ВЫРАЩИВАНИИ ОДНОЛЕТНИХ САЖЕНЦЕВ ЧЕРЕШНИ*

И. П. Кружилин¹, доктор сельскохозяйственных наук,
О. А. Никольская², кандидат сельскохозяйственных наук

¹Всероссийский научно-исследовательский институт орошаемого земледелия,
400002, Волгоград, ул. Тимирязева, 9
E-mail: vniioz2009@rambler.ru

²Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук,
400062, Волгоград, Университетский просп., 97
E-mail: Lelka-Nikolskaya@mail.ru

Исследования проводили с целью изучения влияния водного режима почвы при капельном орошении и минеральных подкормок на выход и качество саженцев черешни Василиса. Работу выполняли на светло-каштановой почве в Волгоградской области. Схема опыта предусматривала изучение следующих вариантов: водный режим почвы (фактор А) – влажность в слое 0...0,4 м всю вегетацию поддерживали на уровне 80 % НВ; влажность в слое 0...0,2 м в начале вегетации составляла 80 % с увеличением глубины регулируемого слоя до 0,4 м с периода активного прироста до вызревания саженцев; влажность в слое 0...0,2 м поддерживали в начале вегетации 80 % с увеличением глубины регулируемого полива слоя почвы с периода активного прироста до 0,4 м с последующим снижением предполивной влажности в период вызревания в слое 0,4 м до 70 %; минеральные подкормки (фактор В) – 3-кратно N₁₀P₅ через 10 дней в начале вегетации и 2-кратно N₁₀ через 14 дней в период активного роста; 3-кратно N₁₀P₅ через 10 дней в начале вегетации и 2-кратно биостимулятором Изабион, 2 л/га через 14 дней в период активного роста; 3-кратно N₁₀P₅ через 10 дней в начале вегетации и 3-кратно препаратом Мастер, 5 кг/га через 14 дней в период активного роста). Лучшие параметры и сортность саженцев отмечены при поддержании влажности почвы не ниже 80 % в слое 0...0,2 м в начале вегетации и в слое 0...0,4 м в период активного роста со снижением предполивной влажности к вызреванию до 70 % на фоне подкормок препаратами Изабион и Мастер. Это обеспечило увеличение выхода первосортных саженцев до 93 %, или на 23 %, по сравнению с контрольными вариантами орошения и удобрения.

THE ADVANTAGES OF COMBINING DRIP IRRIGATION WITH GROWTH-STIMULATING FERTILIZING WHEN GROWING ANNUAL CHERRY SEEDLINGS

Kruzhilin I. P.¹, Nikolskaya O.A.²

¹All-Russian Research Institute of Irrigated Agriculture,
400002, Volgograd, ul. Timiryazeva, 9
E-mail: vniioz2009@rambler.ru

²Federal Research Center Agroecology, complex land reclamation and protective afforestation of the Russian Academy of Sciences,
400062, Volgograd, prosp. Universitetskii, 97
E-mail: Lelka-Nikolskaya@mail.ru

The aim of the work is to study the influence of the water regime of the soil during drip irrigation and mineral fertilizing on the yield and quality of seedlings of sweet cherry Vasilisa. The studies were carried out on light chestnut soil of the Volgograd region. The scheme of the experiment provided for the study of the following options: the water regime of the soil (factor A) – humidity in the layer 0 ... 0.4 m was maintained throughout the vegetation by 80% HB; humidity in the layer 0... 0.2 m was maintained at the beginning of the vegetation by 80% with an increase in the depth of the regulated layer to 0.4 m from the period of active growth to the ripening of seedlings; humidity in the 0...0.2 m layer was maintained at the beginning of the growing season by 80% with an increase in the depth of the soil layer regulated by irrigation from the period of active growth to 0.4 m, followed by a decrease in pre-watering humidity during the ripening period in the 0.4 m layer to 70%; mineral fertilizing (factor B) – 3-fold N10P5 after 10 days at the beginning vegetation and 2-fold N10 after 14 days during active growth; 3-fold N10P5 after 10 days at the beginning of vegetation and 2-fold biostimulator Izabion, 2 l / ha after 14 days during active growth; 3-fold N10P5 after 10 days at the beginning of the growing season and 3-fold with Master, 5 kg / ha after 14 days during the period of active growth). The best parameters and the variety of seedlings were noted when maintaining soil moisture of at least 80% in a layer of 0...0.2 m at the beginning of the growing season and in a layer of 0... 0.4 m during active growth with a decrease in pre-watering humidity for the ripening of seedlings up to 70% against the background of fertilizing with Isabion and Master preparations, which provided an increase in the yield of first-class seedlings up to 93%, or by 23%, compared to control irrigation and fertilizer options.

Ключевые слова: однолетние саженцы черешни, водный режим, режим орошения, высота растений, диаметр штамба, капельное орошение, минеральные подкормки.

Key words: annual cherry seedlings, water regime, irrigation regime, plant height, stem diameter, drip irrigation, mineral fertilizing.

Долголетие высокой продуктивности многолетних плодовых насаждений в немалой степени закладывается с использованием высококачественного посадочного

материала, выращенного в почвенно-климатических условиях размещения садов [1, 2, 3]. Сравнительно высокая по российской оценке теплообеспеченность

*Работа выполнена в рамках государственного задания НИР № 0713-2019-0009 «Теоретические основы, создание новых конкурентоспособных биотипов сельскохозяйственных культур с высокими показателями продуктивности, качества, устойчивости и сортовые технологии на основе новейших методов и технологических решений в условиях изменяющегося климата»

Волгоградской области, особенно в зоне распространения каштановых почв, благоприятствует расширению садовых насаждений, в том числе таких теплолюбивых косточковых культур, как персик, абрикос, черешня и др. [4, 5].

Закладка черешневых промышленных и любительских садов из-за отсутствия в достаточном количестве и ассортименте саженцев местного производства обеспечивается привозным посадочным материалом [6, 7, 8]. В то же время, как показывает опыт садоводов любителей и результаты наших исследований, в условиях подзоны светло-каштановых почв при сочетании капельного орошения с удобрениями можно гарантированно с высоким экономическим эффектом выращивать в питомниках конкурентоспособные высококачественные однолетние саженцы сортов черешни, востребованные рынком и адаптированные к местным условиям [9, 10, 11].

Цель исследований – изучить влияние водного режима почвы при капельном орошении и подкормок минеральными удобрениями и биостимуляторами на выход и качество саженцев черешни сорта Василиса.

Методика. Экспериментальную часть исследований выполняли в 2017–2020 гг. в Дубовском муниципальном районе Волгоградской области на территории питомника лаборатории селекции, семеноводства и питомниководства ФГБНУ «ФНЦ Агроэкологии РАН». Объектом исследований служили вегетативно размножаемые саженцы черешни сорта Василиса, привитые на подвое вишни сорта Антипка.

Планирование схемы опытов выполняли с учётом происходящих за вегетацию морфологических изменений и физиологических процессов. По этим признакам за период от весеннего пробуждения окулянта до получения готового к реализации саженца выделено три характерных периода. Первый продолжается от пробуждения почки окулянта до полной адаптации окулянта с привоем и перехода к совместному их функционированию по формированию вегетативных органов саженцев. Второй период характеризуется активизацией ростовых процессов, направленных на формирование корневой системы и габитуса саженцев. На этом этапе происходят основные морфологические изменения и наблюдается наиболее высокая активность физиологических процессов в саженцах. Начало третьего периода вегетации связано со снижением прироста саженцев и последовательным переходом к состоянию зимнего покоя. Основываясь на этих положениях, схема опыта предполагала изучение следующих вариантов:

водный режим почвы (фактор А) – влажность почвы в слое 0...0,4 м поддерживается поливами в течение всей вегетации не ниже 80 % НВ (A_1); влажность почвы в слое 0...0,2 м в течение первого периода вегетации поддерживается не ниже 80 % НВ, с начала активного прироста до вызревания саженцев, во втором и третьем периодах глубина регулируемого поливами слоя почвы увеличивается до 0,4 м (A_2); влажность почвы в слое 0...0,2 м поддерживается в течение первого периода вегетации не ниже 80 % НВ, со второго периода глубина регулируемого поливами слоя почвы увеличивается до 0,4 м, в третьем периоде предполивная влажность в слое 0,4 м снижается до 70 % НВ (A_3);

питательный режим почвы (фактор В) – 3-кратная подкормка $N_{10}P_5$ через 10 дней в первом периоде вегетации и 2-кратная подкормка N_{10} через 14 дней во втором периоде (B_1); 3-кратная подкормка $N_{10}P_5$ через 10 дней в первом периоде вегетации и 2-кратная обработка биостимулятором роста Изабион (2 л/га с расходом рабочего раствора 300 л/га) через 14 дней во втором периоде (B_2); 3-кратная подкормка $N_{10}P_5$ через 10 дней в первом периоде вегетации и 3-кратная подкормка питательным комплексом «Мастер» (NPK 18:18:18 + микроэлементы) в дозе 5 кг/га через 14 дней во втором периоде (B_3);

Корневые подкормки ($N_{10}P_5$, N_{10} и «Мастер») совмещали с поливами.

Повторность опытов трёхкратная с систематическим одноуровневым размещением вариантов. Площадь опытных деланок первого уровня составляла 54 м², второго уровня – 18 м². С учётом схемы посадки школы саженцев 1,5 м × 0,15 м на деланках второго уровня размещали 80 саженцев. Во всех вариантах первого уровня для наблюдения за изменением влажности почвы размещали динамические площадки размером 2,67 м × 1,5 м. Динамику линейных изменений саженцев определяли измерением центрального побега в фазе активного роста через 7 суток, в третьем периоде вегетации – через 14 суток [12].

Полив осуществляли через систему капельного орошения с расположением капельных линий через 1,5 м и капельниц – через 0,3 м. Подача воды через капельницу – 1,1 л/ч. В зависимости от допустимых по схеме опыта изменений влажности почвы, в пределах наименьшей влагоемкости (НВ) и предполивной влажности (ПВП), поливная норма для слоя 0...0,2 м при ПВП 80 % НВ составляла 50 м³/га, для слоя 0...0,4 м при ПВП 80 % НВ – 100 м³/га, для слоя 0...0,4 м при ПВП 70 % НВ – 160 м³/га. Влажность почвы определяли термостатно-весовым методом и влагомером Irgometer R-12, эвапотранспирацию – методом водного баланса, поливные нормы для

Табл. 1. Температурный режим и распределение осадков по месяцам вегетационного периода.

Показатель	Год	Месяц						
		IV	V	VI	VII	VIII	IX	IV-IX
Среднемесячная температура, °С	норма	11	18	23	26	24	17	19,8
	2017	10	16	21	26	27	19	19,8
	2018	11	21	25	27	25	20	21,5
	2019	12	20	27	23	23	16	20,2
	2020	9	16	25	29	23	19	18,5
Сумма осадков, мм	норма	28,0	43,4	40,1	26,6	21,2	31,1	190,7
	2017	51,5	28,6	43,8	1,3	0,7	23,8	149,7
	2018	19,4	12,7	7,2	79,2	0,8	19,2	138,5
	2019	21,8	50,4	13,9	59,8	3,8	19,3	169,2
	2020	2,2	53,5	18,6	0,6	13,6	1,8	90,3

несмыкающихся контуров увлажнения – по А.Н. Костякову в модификации И.П. Кружилина, Е.А. Ходякова и др. [13]. Качество полученных саженцев определяли в соответствии с требованиями ГОСТ РФ 53135-2008, ГОСТ 31783-2012 [14].

Почва опытного участка – светло-каштановая в комплексе с солонцами до 15 %. Содержание гумуса в пахотном слое – 1,7 %. Содержание валового азота в почве варьирует в пределах 0,10...0,16 %, валового фосфора – 0,14...0,16 %. Обеспеченность почвы опытного участка легкого гидролизующим азотом – низкая; подвижными формами фосфора и калия – средняя, pH – 7,8...8,4, НВ в слое 0...0,2 м – 21,5 %, 0...0,4 м – 18,3 %, плотность сложения с глубиной возрастает от 1,10 т/м³ в пахотном слое до 1,34 т/м³ в слое 0,8...1,0 м. Подготовку почвы к закладке опыта начинали с внесения P₄₀K₆₀ и заделки осенней вспашкой на глубину 0,20...0,22 м. В начале мая высаживали школу вишни сорта Антипка с окулировкой её в августе почкой черешни сорта Василыса. Уход за саженцами начинали весной следующего года с ревизии наличия жизнеспособных окулянтов и, при необходимости, перепрививки. Далее проводили рыхление междурядий, защиту от вредителей, болезней и сорняков, обрезку и формирование габитуса саженцев. Выкопку саженцев проводили скобой, заглубляемой на 0,45 м. Саженцы сортировали на первый и второй сорт, остальные выбраковывали.

Результаты и обсуждение. Vegetационные периоды в годы исследований по тепло- и влагообеспеченности отличались как от среднепогодных значений, так и между собой (табл. 1).

Наиболее теплообеспеченным был 2018 г. с превышением средней за вегетационный период температуры, по сравнению с нормальным, на 1,7 °С. Самым прохладным, на 1,3 °С ниже нормы, был 2020 г. По сумме выпавших осадков годы исследований отличались от среднепогодного значения в меньшую сторону, а в 2020 г. их выпало ниже нормы более чем на половину. По гидротермическому коэффициенту (ГТК) вегетационные периоды характеризовались: 2017 г. – засушливый (ГТК = 0,6), 2019 г. – слабозасушливый (ГТК = 0,7), 2018 и 2020 гг. – сухие (ГТК соответственно 0,5 и 0,3). Продолжительные периоды с незначительной суммой осадков были в 2017 г., за июль и август их выпало 2 мм,

а в 2020 г. – в апреле, июле и сентябре соответственно 2,2, 0,6 и 1,8 мм, оказали существенное влияние на различие по годам числа и распределения поливов саженцев (табл. 2).

Для поддержания водного режима почвы в первом варианте опыта общее число поливов изменялось от 14 в 2019 г. до 22 в 2020 г. оросительными нормами соответственно 1400 и 2200 м³/га. Самое большое число поливов во все годы потребовалось во втором варианте водного режима, где влажность почвы в первом периоде вегетации саженцев, как и в третьем варианте, поддерживали не ниже 80 % НВ в слое 0...0,2 м, а во втором и третьем периодах вегетации – 0...0,4 м. Однако из-за снижения в третьем варианте предполивной влажности почвы на завершающем этапе вегетации саженцев до 70 % НВ общее число поливов, по сравнению со вторым, уменьшилось с 18 до 16 в 2019 г. и с 29 до 25 в 2020 г. При этом оросительная норма в варианте А₁, в засушливом 2019 г. составила 1450 м³/га, в сухом 2020 г. – 2300 м³/га. В варианте А₃ она снизилась по годам соответственно до 1310 и 2120 м³/га.

Увеличение числа поливов в вариантах А₂ и А₃ в первом периоде вегетации для поддержания влажности почвы не ниже 80 % НВ в слое 0...0,2 м способствовало более ранней адаптации привоя с окулянтом и переходу саженцев в фазу активного роста. В разные годы с учётом особенностей метеоусловий разница в сроках перехода к активному росту саженцев в вариантах А₁ и А₂, А₃ составляла 3...5 суток. Благодаря этому высота центрального стебля саженцев к периоду завершения вегетации в вариантах А₂В₁ и А₃В₁ была больше, чем в контроле (А₁В₁), в среднем за 2017–2020 гг. на 0,09...0,10 м (табл. 3).

В первом периоде вегетации прирост подвоя протекал медленно. В среднем за годы исследований за 53 дня он составил 0,31...0,37 м, главным образом, в предшествующие к началу фазы активного роста саженцев 15 суток. Объясняется это тем, что из-за малой облиственности подвоя ресурс утилизации солнечной энергии остается низким, недостаточным для активизации биохимических процессов фотосинтеза в объемах, обеспечивающих интенсивный прирост вегетативной массы. Так, появление на подвое первых 3...4 листьев отмечали по вариантам в разные годы только через 20...

Табл. 2. Распределение поливов по вариантам вегетации саженцев в разные годы

Вариант водного режима	Год	Общее число поливов	Количество поливов / норма полива, м ³ /га			Оросительная норма, м ³ /га
			I период (адаптация школы и окулянта)	II период (активный рост саженца)	III период (завершение вегетации)	
А ₁	2017	15	3/100	8/100	4/100	1500
	2018	16	4/100	8/100	4/100	1600
	2019	14	3/100	8/100	3/100	1400
	2020	22	5/100	12/100	5/100	2200
А ₂	2017	19	6/50	9/100	4/100	1600
	2018	22	10/50	8/100	4/100	1700
	2019	18	7/50	8/100	3/100	1450
	2020	29	10/50	13/100	5/100	2300
А ₃	2017	16	6/50	9/100	2/160	1420
	2018	19	10/50	8/100	1/160	1460
	2019	16	7/50	8/100	1/160	1310
	2020	25	10/50	13/100	2/160	2120

Табл. 3. Влияние изучаемых факторов на формирование высоты стебля саженцев (среднее за 2017–2020 гг.), м

Вариант	I период вегетации		II период вегетации		Завершение перехода к фазе покоя	Эффективность, %		
	начало 18.04	конец 10.06	начало (11.06)	конец (12.08)		подкормки	водный режим	
A ₁	B ₁ (κ)	0,01	0,32	0,32	1,50	1,68	100	100
	B ₂	0,01	0,32	0,32	1,66	1,86	112	
	B ₃	0,01	0,32	0,32	1,64	1,86	112	
	среднее	0,01	0,32	0,32	1,60	1,08	108	
	HCP ₀₅	0,0005	0,016	0,016	0,08	0,054	–	
A ₂	B ₁	0,01	0,37	0,37	1,61	1,78	106	112
	B ₂	0,01	0,37	0,37	1,85	2,03	121	
	B ₃	0,01	0,38	0,38	1,78	1,98	118	
	среднее	0,01	0,37	0,37	1,75	1,93	115	
	HCP ₀₅	0,0005	0,019	0,019	0,09	0,097	–	
A ₃	B ₁	0,01	0,38	0,38	1,62	1,77	105	111
	B ₂	0,01	0,37	0,37	1,86	1,99	118	
	B ₃	0,01	0,38	0,38	1,83	1,97	117	
	среднее	0,01	0,38	0,38	1,77	1,91	113	
	HCP ₀₅	0,0005	0,019	0,019	0,09	0,096	–	
Среднее	B ₁	0,01	0,36	0,36	1,58	1,74	104	108
	B ₂	0,01	0,35	0,35	1,79	1,96	117	
	B ₃	0,01	0,36	0,36	1,75	1,94	116	
	среднее	0,01	0,36	0,36	1,71	1,88	112	
	HCP ₀₅	0,0005	0,018	0,018	0,09	0,094	–	

25 суток после пробуждения привитой почки при высоте стебля 0,05 м. И только в среднем через 27...32 суток при высоте 0,32...0,38 м на фоне разных водных режимов почвы в первом периоде вегетации саженцы переходили в активную фазу роста, второй период вегетации.

В среднем за годы исследований в первом варианте водного режима переход саженцев в активную фазу роста отмечали 10 июня. Это способствовало увеличению прироста центрального стебля саженца к очередной дате измерения с 0,24 до 0,33 м, т.е. на 0,09 м. За соответствующее время благодаря лучшей влагообеспеченности и более раннему переходу к активному росту прирост саженцев в вариантах A₂ и A₃ увеличился до 0,11 м (табл. 4).

Заложенные в первом периоде вегетации саженцев в вариантах A₂ и A₃ по сравнению с вариантом A₁ более

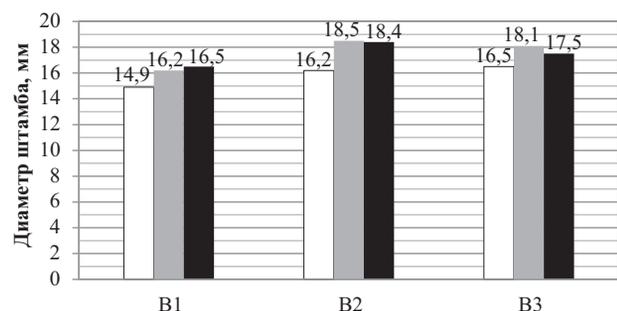
благоприятные условия водообеспечения оказывали положительное влияние на их рост и формирование практически в течении всего периода вегетации. В этих вариантах они были более облиственными и благодаря этому сохраняли за собой лидерство по высоте центрального стебля к завершению вегетационного периода, по сравнению с контрольным A₁B₁, в разные годы от 0,11 до 0,14 м. Синергизм водного режима почвы в вариантах A₂ и A₃ с подкормками вегетирующих саженцев многокомпонентными препаратами способствовал увеличению разницы высоты стебля с контролем в конце вегетации в среднем за годы исследований до 0,28...0,35 м.

Снижение предполивной влажности почвы в период перехода саженцев к покою в варианте A₃ способствовало последовательному, в соответствии с генетической программой, завершению их вегетации и получению по-

Табл. 4. Влияние водного режима почвы на изменение интенсивности прироста саженцев черешни (среднее за 2017–2020 гг.), м

Вариант	Дата измерения					
	20.05	27.05	04.06	13.06	20.06	27.06
A ₁ B ₁ (κ)	0,12	0,18	0,24	0,33	0,44	0,59
Прирост	–	0,06	0,06	0,09	0,11	0,15
A ₂ B ₁	0,15	0,20	0,26	0,37	0,51	0,66
Прирост	–	0,05	0,06	0,11	0,14	0,15
A ₃ B ₁	0,14	0,20	0,27	0,38	0,50	0,65
Прирост	–	0,06	0,07	0,11	0,12	0,15
Прирост A ₂ и A ₃ к A ₁	0,02	0,02	0,02	0,04	0,06	0,06
HCP ₀₅	–	0,003	0,003	0,005	0,006	0,008

садового материала высокого качества. В варианте А₂ поддержание в этот период влажности не ниже 80 % НВ в благоприятных условиях сочетания тепла и влаги осенью 2019 и 2020 гг. саженцы продолжали вегетировать, а при резком переходе в октябре к низким температурам остались не подготовленными к периоду покоя. Поэтому в зимний период из-за повышенной влажности посадочного материала он подвергся поражению плесенью и гнилью, что привело к его выбраковке. Следовательно снижение влажности в активном слое почвы до умеренной в период подготовки саженцев к зимнему покою не оказывает негативного влияния на их биометрические показатели, но способствует последовательному переходу в состояние покоя.



Влияние водного режима почвы и минеральных подкормок на диаметр штамба саженцев черешни (среднее за 2017–2020 гг.), мм: □ – А1; ■ – А2; ■ – А3.

Оценка качества саженцев по диаметру штамба показала (см. рисунок), что в среднем за 4 года только в контрольном варианте А₁В₁ они были несколько ниже (15,4 мм – контроль, 16,9 мм и более – ГОСТ) требований ГОСТ для отнесения к первосортным. Во всех других вариантах сочетания водного режима почвы с ростостимулирующими подкормками величина этого показателя

была выше нижнего уровня категории саженцев первого сорта. Наиболее эффективными на фоне всех водных режимов почвы зарекомендовали себя подкормки, сочетающие комплекс ростостимулирующих элементов, Изабион и Мастер.

Наряду с наземной частью, хорошо развитая корневая система саженцев придаёт им привлекательный вид, способствует лучшей приживаемости посадочного материала и адаптации к условиям внешней среды после посадки. Основная масса корней однолетних саженцев черешни во всех вариантах опыта формировалась в слое 0,0...0,4 м. На фоне капельного орошения корни имели большую длину вдоль капельной линии. В контрольном по водному режиму и ростостимулирующей подкормке варианте саженцы в разные годы формировали 3...4 стержневых корня длиной 0,31...0,39 м. В вариантах подкормок вегетирующих саженцев с сочетанием макро- и микроэлементов число стержневых корней увеличивалось до 4...7 в варианте А₁ длиной 0,50...0,65 м, а в вариантах А₂ и А₃ – до 5...8 длиной 0,53...0,70 м. Следовательно, развитие корневой системы идет синхронно с изменениями надземной части саженцев. По структуре и опущению стержневых корней более мелкими обрастающими корнями позволяло относить их к товарной продукции с преимущественным наличием первосортной категории (табл. 5).

Самые низкие по количественному и качественному составу товарные саженцы получены в контрольном варианте А₁В₁. В вариантах дифференцированного водного режима почвы А₂ и А₃ на фоне моноподкормки N₁₀ (В₁) количество товарных саженцев в среднем за 2017–2020 гг., по сравнению с контролем, было получено на 14 % больше. В структуре контрольного варианта доля первосортных саженцев составляла 70 %, а в вариантах А₂В₁ и А₃В₁ – соответственно 75 и 76 %. Наиболее высокий выход товарных саженцев, 40340 и 40233 шт/га, отмечен в вариантах соответственно А₃В₂ и А₃В₃, из числа которых 93 % отнесены к группе 1 сорта.

Табл. 5. Показатели качества саженцев черешни в зависимости от водного режима почвы и минеральных подкормок (средние за 2017–2020 гг.)

Вариант	Получено товарных саженцев		1 сорт		2 сорт		
	шт./га	%	шт./га	%	шт./га	%	
А ₁	В ₁ (к)	33848	100	23657	70	10191	30
	В ₂	36448	100	30869	85	5579	15
	В ₃	36132	100	30917	86	5215	14
	среднее	35476	100	28481	80	6995	20
А ₂	В ₁	38313	100	28634	75	9639	25
	В ₂	40099	100	35552	89	4547	11
	В ₃	40114	100	35565	89	4549	11
	среднее	39509	100	33250	84	6245	16
А ₃	В ₁	38810	100	29512	76	9298	24
	В ₂	40340	100	37436	93	2904	7
	В ₃	40233	100	37330	93	2903	7
	среднее	39794	100	34759	87	5035	9
Среднее	В ₁	36990	100	27268	74	9709	26
	В ₂	38962	100	34619	89	4343	11
	В ₃	38826	100	34604	89	4222	11
	среднее	38259	100	32164	84	6091	16
НСР ₀₅	1912,9	–	1608,2	–	304,6	–	

Изложенные преимущества поддержания поливами дифференцированного водного режима почвы по схеме варианта A_3 не ниже 80 % НВ в первом периоде вегетации однолетних саженцев черешни в слое 0...0,2 м с последующим увеличением глубины регулируемого поливами водного режима почвы во втором периоде до 0...0,4 м и снижением предполивной влажности почвы до 70 % НВ в третьем периоде подтверждаются и экономическими показателями. Получаемая на фоне такого режима орошения саженцев в сочетании с азотными подкормками чистая прибыль от реализации товарной продукции составляет 3506,89 тыс. руб./га, или на 35 % больше, по сравнению с контрольным A_1B_1 при рентабельности соответственно 134 и 99 %. Сочетание режима орошения саженцев, обеспечивающего рекомендуемую дифференциацию водного режима почвы с подкормками вегетирующих растений ростостимуляторами, типа Изабион или Мастер, повышает результаты экономической эффективности питомниководства. Так, например, сочетание режима орошения по схеме A_3 с биостимулятором Изабион и комплексным удобрением Мастер способствует увеличению прибыли до 4077,9 и 4062,63 тыс. руб./га соответственно при рентабельности 155 %.

Таким образом, при выращивании однолетних саженцев черешни применение варианта различного по глубине промачивания почвы и предполивному порогу влажности имеет преимущество перед другими двумя вариантами водного режима. Подтверждается это самой высокой нормой положительной реакции саженцев, как на дифференциацию водного режима почвы, так и применение на его фоне минеральных подкормок Изабионом и Мастером, содержащих в своем составе комплекс макроэлементов с микроэлементами в хелатной форме (цинк, медь, марганец, железо, магний, сера, бор).

Лучшим зарекомендовал себя вариант поддержания влажности почвы не ниже 80 % НВ до периода полной адаптации подвоя с привоем и перехода к активному приросту саженцев в слое 0...0,2 м в сочетании с трехкратной подкормкой $N_{10}P_5$ и последующим увеличением глубины промачиваемого поливами слоя во втором и третьем периодах вегетации до 0...0,4 м с двукратной подкормкой вегетирующих саженцев комплексным ростостимулирующим удобрительным препаратом. На завершающем периоде вегетации перехода к зимнему покою предполивную влажность почвы следует снижать до 70 % НВ. Поддержание такого водного режима почвы обеспечивает проведение в первом периоде в засушливые годы (ГТК 0,6...0,7) 6 или 7 поливов, в сухие (ГТК 0,3...0,5) – до 10 поливов нормой при несмыкающихся контурах увлажнения 50 м³/га, во втором периоде – соответственно 8 или 9 и 8 или 13 поливов нормой 100 м³/га, в третьем – 1 или 2 полива нормой 160 м³/га. Сочетание такого водного режима с ростостимулирующими подкормками препаратами Изабион и Мастер обеспечивает снижение расхода оросительной воды, по сравнению с контролем, на 100 м³/га и повышение уровня рентабельности с 99 до 155 %.

Литература

1. Винтер М. А., Щербаков Н. А. Производство посадочного материала плодовых культур в России: проблемы и решения // *Плодоводство и виноградарство Юга России*. 2018. № 52 (4). С. 42–49.
2. Дубенок Н. Н., Гемонов А. В., Лебедев А. В. Особенности водопотребления саженцев сливы, выращиваемых в питомнике при капельном орошении // *Плодородие*. 2020. № 4 (115). С. 53–56.

3. Дубенок Н. Н., Гемонов А. В., Лебедев А. В. Особенности формирования саженцев сливы, выращиваемых в плодовом питомнике при капельном орошении // *Российская сельскохозяйственная наука*. 2020. № 4. С. 42–45.
4. Галимов В. Р., Глаз Н. В., Уфимцева Л. В. Развитие саженцев вишни в зависимости от минеральных подкормок и подвойных комбинаций // *Селекция, семеноводство и технология плодово-ягодных, овощных культур и картофеля: Сборник научных трудов*. Челябинск: ФГБНУ «Южно-Уральский научно-исследовательский институт садоводства и картофелеводства», 2017. С. 63–69.
5. Dubenok N. N., Gemonov A. V., Lebedev A. V. Moisture consumption by plum seedlings under drip irrigation in the central nonchernozem zone of Russia // *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*. 2020. Vol. 15. No. 2. P. 191–199.
6. Багиров О. Р., Оценка биологических показателей форм черешни // *Национальная Ассоциация Ученых*. 2017. № 4 (31). С. 5–7.
7. Романовская А. Ю., Шумакова К. Б. Регулирование водного режима дерново-подзолистой почвы в условиях плодового питомника и характер распределения влаги в почвенном профиле при различных режимах увлажнения // *Бюллетень Почвенного института им. В. В. Докучаева*. 2021. № 106. С. 130–162.
8. Кружилин И. П., Никольская О. А. Обоснование водного режима почвы и регламента капельного полива саженцев черешни // *Российская сельскохозяйственная наука*. 2021. № 2. С. 9–13.
9. Кружилин И. П., Никольская О. А. Эффективность минеральных подкормок вегетирующих орошаемых саженцев черешни // *Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование*. 2021. 2 (62). 14–22.
10. Смирнов Р. В., Чумаков С. С. Перспективы применения комбинированной системы минерального питания саженцев яблони в условиях современного питомника // *Субтропическое и декоративное садоводство*. 2020. № 73. С. 173–180.
11. Biodegradable polymer/clay systems for highly controlled release of npk fertilizer / T. S. Daitx, M. Giovanela, L. N. Carli, et al. // *Polymers for Advanced Technologies*. 2019. Vol. 30. No. 3. P. 631–639.
12. Седов Е. Н. Программа и методика селекции плодовых, ягодных и орехоплодных культур. Орел: ВНИИСПК, 1999. 608 с.
13. Способ определения поливных норм при капельном орошении томатов: пат. 2204241 РФ, МПК А 01 G 25/02/ И. П. Кружилин, А. М. Салдаев, Ю. И. Кружилин и др.; заявитель и патентообладатель Всерос. науч.-исслед. ин-т орошаемого земледелия. № 2001128337/13; заявл. 18.10.01; опубл. 20.05.03. Бюл. № 14. 5 с.
14. Тумятова И. С., Окладников В. А., Ступакова О. М. Сравнительный анализ различных источников стандартов на посадочный материал // *Современные проблемы озеленения городской среды: материалы национальной (Всероссийской) научно-практической студенческой конференции*. Новосибирск: Новосибирский государственный аграрный университет, 2020. С. 138–140.

Поступила в редакцию 24.03.2022
 После доработки 22.04.2022
 Принята к публикации 05.05.2022

Растениеводство, защита и биотехнология растений

УДК 636.085.51

DOI: 10.31857/S2500262722030036, EDN: GBUSKH

УРОЖАЙНОСТЬ И ПИТАТЕЛЬНОСТЬ ВЕГЕТАТИВНОЙ МАССЫ СИЛОСНЫХ КУЛЬТУР**И.В. Дуборезов¹, А.В. Косолапов²**, кандидаты сельскохозяйственных наук,
В.М. Дуборезов¹, доктор сельскохозяйственных наук¹Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт животноводства им. Л.К. Эрнста,
142132, Московская обл., Подольск, п. Дубровицы, 60

E-mail: korma10@yandex.ru

²ООО ПО Сиббиофарм,

633004, Новосибирская обл., Бердск, ул. Химзаводская, 11/1

E-mail: sibbio@sibbio.ru

Исследования проводили с целью сравнительной оценки питательности зеленого корма и продуктивности подсолнечника, сорго сахарного и гибридов кукурузы различных групп спелости. Работу выполняли в условиях Московской области. Определяли урожайность и химический состав вегетативной массы перечисленных культур. Все изучаемые силосные культуры отличаются высокой урожайностью вегетативной массы. У кукурузы она возрастает по мере повышения числа условного показателя скороспелости (ФАО) с 374 ц/га – у раннеспелых гибридов до 486 ц/га – у среднеспелых. Наибольшая величина этого показателя отмечена у сорго сахарного – 491 ц/га, сбор вегетативной массы подсолнечника составил 442 ц/га. Увеличение высоты среза при уборке среднеранних гибридов снижает урожайность вегетативной массы на 10 %, но увеличивает энергетическую ценность зеленого корма с 2,08 МДж ОЭ до 2,41 МДж ОЭ. Уборка среднеспелых гибридов кукурузы после заморозков несколько повышает питательность натурального корма (с 1,87 до 2,00 МДж ОЭ), но снижает концентрацию энергии в сухом веществе с 9,74 до 9,48 МДж ОЭ. Сорго сахарное по выходу питательных веществ с 1 га и концентрации энергии в сухом веществе силоса не уступает кукурузе, а по выходу протеина с 1 га характеризуется самой высокой величиной этого показателя – 1028 кг. Однако по энергетической ценности (1,86 МДж ОЭ) натуральный корм из сорго сахарного уступает кукурузному. Подсолнечник из-за высокой влажности отличается низкой питательностью зеленого корма (1,53 МДж ОЭ) и наименьшим выходом обменной энергии с 1 га (67,6 ГДж, против 90,9 ГДж – у среднеспелых гибридов кукурузы).

YIELD AND VEGETATIVE MASS NUTRITION OF SILAGE CROPS**Duborezov I.V.¹, Kosolapov A.V.², Duborezov V.M.¹**¹Ernst Federal Science Center for Animal Husbandry,
142132, Moskovskaya obl., Podol'sk, p. Dubrovitsy, 60

E-mail: korma10@yandex.ru

²ООО ПО Сиббиофарм,

633004, Novosibirskaya obl., Berdsk, ul. Khimzavodskaya, 11/1

E-mail: sibbio@sibbio.ru

The research was carried out with the aim of comparative evaluation of the nutritional value of green fodder and the productivity of sunflower, sugar sorghum and corn hybrids of different ripeness groups. The study was conducted under the conditions of the Moscow region. The yield and chemical composition of the vegetative mass of the listed crops were determined. All studied silage crops were characterised by a high yield of vegetative mass. In corn, it increased as the number of the conditional indicator of early maturity (FAO) increased from 374 c/ha in early-ripening hybrids to 486 c/ha in mid-season ones. The highest value of this indicator was observed in sugar sorghum – 491 c/ha, the collection of the vegetative mass of sunflower was 442 c/ha. An increase in the cutting height when harvesting mid-early hybrids reduced the yield of the vegetative mass by 10%, but increased the energy value of green fodder from 2.08 MJ ME to 2.41 MJ ME. Harvesting mid-season corn hybrids after frost slightly increased the nutritional value of natural fodder (from 1.87 to 2.00 MJ ME), but reduced the energy concentration in dry matter from 9.74 to 9.48 MJ ME. Sugar sorghum in terms of nutrient yield per 1 ha and energy concentration in the dry matter of silage did not concede to corn, and in terms of protein yield per 1 ha it was characterised by the highest value of this indicator – 1028 kg. However, in terms of energy value (1.86 MJ ME), natural fodder from sugar sorghum was inferior to corn. Sunflower, due to high humidity, was characterized by a low nutritional value of green fodder (1.53 MJ ME) and the lowest metabolizable energy yield per 1 ha (67.6 GJ, versus 90.9 GJ for mid-ripening corn hybrids).

Ключевые слова: кукуруза, сорго сахарное, подсолнечник, урожайность, питательные вещества, энергетическая ценность.

Key words: corn; sugar sorghum; sunflower; yield; nutrients; energy value.

Полноценное кормление молочного скота с максимальным использованием растительных кормов – один из основных факторов реализации генетического потенциала продуктивности и рентабельного производства продукции [1].

Вместе с тем, новотельные и высокопродуктивные коровы не могут потреблять большое количество объемистых кормов, которые обеспечивают потребности

в энергии и питательных веществах для образования молока и восстановления живой массы. Это приводит к отрицательному энергетическому балансу, животные теряют в весе и снижают продуктивность. При этом у них может отмечаться нарушение обмена веществ [2].

Нередко такую проблему решают путем увеличения доли концентрированных кормов до 50...60 % питательности рациона. Однако значительное количество

концентратов (более 12 кг на голову в сутки) отрицательно влияет на обменные процессы и в конечном итоге приводит к ухудшению здоровья коров, снижению воспроизводительной функции и сокращению продолжительности их использования в производстве.

Для предотвращения таких проблем необходимо повышать концентрацию энергии и питательных веществ в сухом веществе рациона. Прежде всего эту задачу следует решать путем производства объемистых кормов с высоким содержанием энергии [3, 4]. В молочном скотоводстве к числу основных объемистых кормов относится силос. Главным образом его готовят из кукурузы – культуры с очень высоким потенциалом урожайности вегетативной массы, которая в благоприятных для возделывания условиях может превышать 700 ц/га [5].

Однако кукуруза предъявляет повышенные требования к теплу и влаге. Согласно классификации ФАО, по скороспелости гибриды делят на пять групп. Поэтому большое внимание необходимо уделять грамотному подбору сортов и гибридов с учетом агроклиматических условий в зоне возделывания. С точки зрения сокращения рисков в хозяйствах следует выращивать несколько гибридов.

В качестве альтернативных силосных культур могут выступать сорго сахарное и подсолнечник. Сорго сахарное характеризуется относительно невысокими требованиями к почве и благодаря жаро- и засухоустойчивости формирует высокие и стабильные урожаи зеленой массы. Ее можно использовать для приготовления силоса, сенажа и зерносенажа, травяной муки, а также на зеленую подкормку [6, 7, 8]. Урожайность вегетативной массы этой культуры находится на уровне или превышает величину этого показателя у кукурузы. Например, на Кубани у новых сортов она достигает 500 ц/га, у гибридов – 600 ц/га [9], на юго-западе центральной России – может превышать 700 ц/га [5].

Подсолнечник также относится к теплолюбивым культурам, однако эту особенность следует учитывать при возделывании культуры для производства вызревших маслосемян. При ее использовании на кормовые цели, например, на силос, основные характеристики, которые необходимо принимать во внимание, – высокая урожайность и легкая силосуемость вегетативной массы [10, 11]. Кроме того, учитывая продолжительность вегетационного периода подсолнечника, его зеленую массу можно использовать летом в виде объемистого корма или в качестве подкормки к основному рациону. В связи с этим в последние годы возможность использования культуры на такие цели изучают в центральных и северных регионах РФ [10].

В связи с изложенным, цель наших исследований заключалась в сравнении урожайности и питательности зеленого корма различных силосных культур при их возделывании в условиях Московской области для определения их максимальной продуктивности и энергетической ценности.

Методика. Работу проводили на опытных делянках ФИЦ ВИЖ им. Л.К. Эрнста и полях Э/Х «Кленово-Чегодаево» Московской области в 2017–2020 гг. Изучали три кормовые культуры – кукурузу, сорго сахарное и подсолнечник.

Почва опытно-экспериментального хозяйства суглинистая с мощностью гумусового горизонта 25...30 см и содержанием гумуса – около 3 %, P_2O_5 и K_2O (по Кирсанову) – 127 и 134 мг/кг почвы.

Подготовку почвы и посев проводили по общепринятой для зоны исследований технологии. Осенью выполняли зяблевую вспашку на глубину 23...25 см,

весной – сплошную культивацию и предпосевную обработку. Под вспашку вносили органические удобрения из расчета 50 т/га, под культивацию – минеральные удобрения в норме N60P60K60.

В период проведения исследований метеорологические условия в целом можно охарактеризовать как благоприятные для возделывания изучаемых культур. При хорошем обеспечении почвы влагой, средняя температура воздуха в мае составила 13,1 °С, июне – 19 °С, июле – 19,4 °С, августе – 21,1 °С, сентябре – 14,3 °С. Для максимального выхода питательных веществ и его сравнения между культурами, уборку осуществляли одновременно в 3-й декаде октября, которая характеризовалась относительно низкой температурой воздуха (около 2,5 °С), а ночью фиксировали ее отрицательные значения до -2 °С.

Посев всех культур проводили в третьей декаде мая. Кукурузу и подсолнечник высевали широкорядным способом с междурядьями 70 см на глубину 4...5 см с нормой посева соответственно 30 кг/га и 20 кг/га. Посев сорго проводили сплошным способом с нормой посева семян 23 кг/га, глубина заделки семян – 3...4 см.

Исследовали гибриды трех групп спелости: раннеспелые (ФАО 100-199) – Росс 145, РОСС 199 МВ, Машук 175 МВ, Катерина СВ, Краснодарский 194 МВ; среднеранние (ФАО 200-299) – Ньютон, Росс-209 МВ, Росс 211 МВ, Краснодарский 291 АМВ; среднеспелые (ФАО 300-399) – Ставропольская 1, Поволжский 89, Машук 350 МВ, Юбилейный 390 МВ. Позднеспелые генотипы не изучали по причине дефицита активных температур в климатической зоне проведения исследований.

В качестве дополнительного фактора изучали влияние высоты среза растений кукурузы на урожайность и питательность зеленого корма на примере среднеранних гибридов, для чего проводили уборку на уровне первого (традиционная высота среза 10...15 см от поверхности почвы, контроль) и третьего междоузлий (35...40 см от поверхности почвы).

Также проводили оценку целесообразности уборки вегетативной массы кукурузы после наступления осенних заморозков, которую в последние годы применяют в производственных условиях с целью получения натурального корма повышенной питательности. Для этого исследовали химический состав и рассчитывали энергетическую ценность зеленой массы растений среднеспелых гибридов, попавших под заморозки при уборке с высотой среза 15 см.

Химико-аналитические исследования вегетативной массы проводили общепринятыми методами [12]. Энергетическую ценность вегетативной массы силосных культур рассчитывали на основании содержания сырых питательных веществ по уравнению для крупного рогатого скота [13]:

$$OЭ = 0,0166 \cdot СП + 0,0172 \cdot СЖ + 0,00286 \cdot СК + 0,01159 \cdot СБЭВ,$$

где OЭ – обменная энергия, МДж в 1 кг корма; СП, СЖ, СК, СБЭВ – соответственно сырой протеин, клетчатка, жир, безазотистые экстрактивные вещества, г/кг.

Полученные в опыте материалы обрабатывали биометрически.

Результаты и обсуждение. В Нечерноземной зоне при благоприятных погодных условиях кукуруза способна формировать урожай вегетативной массы до 500 ц/га. Однако величина этого показателя сильно варьирует по годам. В то же время прослеживаются определенные закономерности роста и развития гибридов различных групп спелости. Так, у раннеспелых и среднеранних

гибридов рост растений в основном происходит на начальных этапах вегетации и останавливается при достижении цветения. Дальнейший рост кукурузы отмечен только у среднеспелых гибридов.

При этом урожайность вегетативной массы увеличивается постоянно по мере развития растений. После цветения основной ее прирост вегетативной происходит в результате образования початков и созревания зерна. Причем в большей степени это характерно для раннеспелых и среднеранних гибридов, у которых доля початков в 3-ей декаде сентября может достигать около половины урожая.

Максимальную среди изученных образцов урожайность формировали среднеспелые гибриды – 486 ц/га, что на 112 ц/га, или на 30 % больше, чем у раннеспелых гибридов, и на 76 ц/га, или на 18,5%, чем у среднеранних (табл. 1).

Табл. 1. Урожайность вегетативной массы силосных культур

№	Вариант	Урожайность, ц/га
1	кукуруза, раннеспелые гибриды	374,0±12,5
2	кукуруза, среднеранние гибриды: на низком срезе (первое междоузлие)	410,0±18,3
3	на высоком срезе (третье междоузлие)	371,0±19,7
4	кукуруза, среднеспелые гибриды: до заморозков	486,0±20,4*(1,2,3)
5	после заморозков	434,0±23,7*(1,3)
6	сорго сахарное	491,0±14,8*(1,2,3,5)
7	подсолнечник	442,0±16,6*(1,3)

* p ≤ 0,05

При увеличении высоты среза растения при уборке в заготавливаемой вегетативной массе уменьшается доля нижней части стебля, которая из-за повышенной влажности и высокого содержания клетчатки менее питательна. Одновременно увеличивается доля наиболее энергетической части растения – початков. Кроме того, если нижняя часть стебля остается в поле, в скошенной массе повышается содержание сухого вещества и снижается количество нежелательной для животных эпифитной микрофлоры. В результате получается корм с более высокой биологической и энергетической ценностью, что особенно важно для высокопродуктивных коров

[1]. В то же время высокий срез неизбежно приводит к сокращению урожайности. Так, в наших исследованиях скашивание кукурузы на уровне третьего междоузлия снижало сбор вегетативной массы кукурузы на 39 ц/га, или на 10,5 %.

Осенние заморозки также снижают урожайность кукурузы. В основном это происходит из-за потери влаги в листьях при разрушении клеток. Сбор вегетативной массы кукурузы, попавшей под краткосрочные заморозки, составил 434 ц/га, что на 12 % меньше, чем при уборке в оптимальные сроки.

У сорго сахарного по росту и развитию прослеживается такая же тенденция, как и у среднеспелых гибридов, их вегетация продолжается практически до наступления заморозков. При этом его урожайность оказалась наибольшей среди всех изучаемых культур – 491 ц/га. Это на 117 ц/га больше, чем у раннеспелых гибридов кукурузы, и на 81 ц/га, чем у среднеранних гибридов, убранных на низком срезе.

Рост подсолнечника заканчивается с началом цветения растений. Дальнейшее повышение урожайности происходит в результате образования семян в корзинке. В среднем она составила 442 ц/га и находилась между показателями урожайности среднеранних и среднеспелых гибридов кукурузы.

Максимальное в опыте содержание сухого вещества при уборке в 3 декаде октября отмечено у раннеспелых гибридов кукурузы – 228 г/кг зеленого корма, наименьшее (167 г/кг) – у подсолнечника. Наибольшим содержанием протеина (табл. 2) характеризовалась зеленая масса раннеспелых гибридов кукурузы (10,92 %) и подсолнечника (13,83 %), наименьшим – среднеспелые гибриды кукурузы (8,13 %) и сорго сахарного (8,17 %).

Уборка кукурузы при повышенном срезе, наряду с увеличением содержания сухого вещества с 21,3 до 23,5 %, повышает количество протеина на 1,2 % и снижает содержание клетчатки на 5,5 %.

У кукурузы, попавшей под заморозки, по содержанию сухого вещества наблюдали аналогичную картину, оно возросло с 19,2 до 21,1 %. При этом содержание протеина снизилось на 0,36 %, клетчатки – возросло на 0,58 %.

Содержание сахаров в зеленой массе всех исследуемых культур находилось на относительно высоком уровне, по сравнению с другими кормовыми культурами, что характеризует их как легко силосуемые. Наибольшая величина этого показателя отмечена у сорго сахарного – 29,94 % в расчете на сухое вещество, что почти в 2 раза больше, чем у других изучаемых культур.

Табл. 2. Концентрация питательных веществ в сухом веществе вегетативной массы силосных культур, %

№	Культура	Протеин	Жир	Клетчатка	БЭВ	Сахар
1	кукуруза, раннеспелые гибриды	10,92±0,19*(2,4,5,6)	1,80±0,12*(6)	16,45±0,97	67,32±1,67	11,89±0,56
2	кукуруза, среднеранние гибриды: на низком срезе	9,53±0,11	1,83±0,06*(6)	22,77±1,05*(1,3)	62,39±1,43	11,88±0,73
3	на высоком срезе	10,72±0,24*(2,4,5,6)	1,80±0,09*(6)	17,28±0,88	66,21±1,55	9,79±0,45
4	кукуруза, среднеспелые гибриды: до заморозков	8,13±0,27	1,57±0,14	20,42±1,13	65,10±1,37	15,57±0,57*(1,2,3,5)
5	после заморозков	7,77±0,34	1,54±0,13	21,00±1,22	63,22±1,61	9,76±0,60
6	сорго сахарное	8,17±0,16	1,13±0,17	24,72±1,07*(1,3)	60,50±1,29	29,94±0,49***(1,2,3,4,5,7)
7	подсолнечник	13,83±0,31*(1,3)***(2,4,5,6)	2,63±0,22*(1,2,3)***(4,5,6)	32,87±1,25*(2,4,5,6)***(1,3)	47,07±1,40*(1-6)	15,81±1,25***(1,2,3,5)

*p≤0,05; **p≤0,01

Табл. 3. Энергетическая ценность вегетативной массы и продуктивность силосных культур

Культура	Обменная энергия, МДж/кг		Выход с 1 га			
	зеленый корм	сухое вещество	сухое вещество, ц	ОЭ, ГДж	протеин, кг	сахар, кг
Кукуруза, раннеспелые гибриды	2,37	10,39	85,3	88,6	931	1014
Кукуруза, среднеранние гибриды: на низком срезе	2,08	9,77	87,3	85,3	832	1037
на высоком срезе	2,41	10,26	87,2	89,4	935	853
Кукуруза, среднеспелые гибриды: до заморозков	1,87	9,74	93,3	90,9	758	1453
после заморозков	2,00	9,48	91,6	86,8	712	894
Сорго сахарное	1,67	9,28	88,4	82,0	722	2130
Подсолнечник	1,53	9,16	73,8	67,6	1021	1167

При кормлении высокопродуктивного молочного скота особое значение приобретает концентрация в корме энергии и питательных веществ [11]. Расчеты показали, что наибольшей концентрацией основных питательных веществ характеризуется подсолнечник и раннеспелые гибриды кукурузы, наименьшей – кукуруза, убранная после заморозков. В частности, содержание протеина в сухом веществе подсолнечника было выше, чем у раннеспелых гибридов кукурузы, на 2,91 %, сорго сахарного – на 5,66 %. Раннеспелые гибриды кукурузы превосходили по величине этого показателя среднеранние на 1,39 %, среднеранние – на 2,79 %. По содержанию сахаров раннеспелые и среднеранние гибриды находились практически на одном уровне и уступали среднеспелым на 3,68 и 3,69 % соответственно.

В то же время, подсолнечник при максимальной среди изученных образцов концентрации сырого протеина (13,8 %) отличается и наибольшим содержанием клетчатки (32,9 %), что свидетельствует о невысоком кормовом достоинстве такого зеленого корма, поскольку оптимальный ее уровень в сухом веществе рационов высокопродуктивных коров составляет от 18 до 22 % [2]. Исходя из этого, можно заключить, что зеленая масса подсолнечника или приготовленный из нее силос могут заменить корм из кукурузы при кормлении молодняка скота или взрослого поголовья средней продуктивности. К такому же заключению приходит и ряд других исследователей [11].

Между продолжительностью вегетационного периода и урожаем сухого вещества (то есть накоплением питательных веществ) существует тесная корреляция. В связи с этим при выращивании гибридов кукурузы более поздних групп спелости, которые будут эффективнее использовать вегетационный период региона, валовой сбор питательных веществ будет увеличиваться. В условиях нашего эксперимента такой прирост достигал 30 %. Однако с точки зрения зоотехнических требований к корму, важна его энергетическая ценность, которая находится в прямой зависимости от доли спелых початков. То есть в этом отношении наибольший интерес представляют раннеспелые гибриды.

Расчет энергетической ценности вегетативной массы силосных культур по уравнению регрессии с учетом содержания сырых питательных веществ показал, что наибольшей она была у раннеспелых гибридов – 2,37 МДж ОЭ (табл. 3). Уборка среднеранних гибридов при повышенном срезе способствует увеличению энергетической ценности на 0,33 МДж ОЭ. В этих вариантах отмечена и самая высокая концентрация энергии в сухом веществе – соответственно 10,39 и 10,26 МДж ОЭ. Энергетическая ценность зеленого корма из сорго

сахарного и подсолнечника была ниже, чем у всех гибридов кукурузы. Например, в сравнении с раннеспелыми гибридами кукурузы, у сорго сахарного величина этого показателя была ниже на 0,70 МДж ОЭ, у подсолнечника – на 0,84 МДж ОЭ.

Максимальный в опыте сбор сухого вещества обеспечили раннеспелые гибриды (93,3 ц/га), а наименьший, в силу высокой влажности, – подсолнечник (73,8 ц/га). Самый высокий выход обменной энергии отмечен у кукурузы – от 85,3 ГДж ОЭ у среднеранних гибридов при уборке на низком срезе, до 90,9 ГДж ОЭ у среднеспелых. Выращивание подсолнечника обеспечило наибольший сбор протеина с 1 га (1021 кг), сорго сахарного – сахара (2130 кг).

Таким образом, в условиях Московской области все испытываемые силосные культуры формируют высокую урожайность вегетативной массы. У кукурузы она возрастает по мере повышения условного показателя скороспелости (ФАО). Наибольшая питательность зеленого корма отмечена у кукурузы. Ее уборка на уровне третьего междоузлия значительно повышает величину этого показателя. Альтернативой кукурузе может служить сорго сахарное. Подсолнечник, несмотря на высокую урожайность, характеризуется самой низкой энергетической ценностью зеленого корма.

Литература.

1. Дуборезова М.Е., Бойко И.И., Дуборезов В.М. Силос для высокопродуктивных коров // *Молочная промышленность*. 2014. № 6. С. 24-25.
2. Рекомендации по детализированному кормлению молочного скота: *Справочное пособие* / А.В. Головин, А.С. Аникин, Н.Г. Первов и др. Дубровицы: ВИЖ им. Л.К. Эрнста. 2016. 240 с.
3. Косолапов В.М., Бондарев В.А., Клименко В.П. Повышение качества объемистых кормов // *Доклады Российской академии сельскохозяйственных наук*. 2008. № 5. С. 20-24.
4. Пути увеличения производства растительного белка / И.В. Савченко, А.М. Медведев, В.М. Лукомец и др. // *Вестник Российской академии сельскохозяйственных наук*. 2009. № 1. С. 11-13.
5. Бельченко С.А., Дронов А.В., Васькина Т.И. Особенности биологии, опыт возделывания и перспективы переработки сорго сахарного на юго-западе центральной России // *Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии*. 2019. № 2 (46). С. 24-32.
6. Даниленко Ю.Н., Панина Л.В., Володин А.Б. Совершенствование технологии возделывания сахарного сорго // *Зерновое хозяйство России*. 2014. Т. 35. № 4. С. 60-63.

7. Признаковая и генетическая коллекция скороспелых форм сахарного сорго / А.Е. Романюкин, Е.А. Шишова, Н.А. Ковтунова и др. // *Аграрный вестник Урала*. 2016. № 07 (149). С. 46-50.
8. Роль сахарного сорго в укреплении кормовой базы в засушливых условиях среднего Поволжья / Л.Ф. Сыркина, А.К. Антимонов, О.Н. Антимонова и др. // *Зерновое хозяйство России*. 2011. № 5. С. 19-21.
9. Кормовая ценность сахарного сорго / Н.А. Ковтунова, Г.М. Ермолина, С.И. Горпиниченко и др. // *Аграрная наука Евро-Севера-Востока*. 2017. № 3 (58). С. 21-25.
10. Перспективы возделывания подсолнечника на силос в Нечерноземной зоне Российской Федерации / М.А. Куликов, А.П. Глинушкин, В.И. Старцев и др. // *Достижения науки и техники АПК*. 2019. Т. 33. № 12. С. 52–55.
11. Троц В. Б. Подсолнечник на силос в смеси с высокобелковыми культурами // *Достижения науки и техники АПК*. 2015. № 5. С. 53–55.
12. Физико-химические методы анализа кормов / В.М. Косолапов, В.А. Чуйков, Х.К. Худякова и др. М.: Издательский дом «Типография Россельхозакадемии», 2014. 344 с.
13. Методика расчета обменной энергии в кормах на основе содержания сырых питательных веществ (для крупного рогатого скота, овец, свиней) / М.П. Кирилов, Е.А. Махаев, Н.Г. Первов и др. Дубровицы: ВИЖ Россельхозакадемии, 2008. 32 с.

Поступила в редакцию 15.03.2022

После доработки 10. 04. 2022

Принята к публикации 05.05.2022

ОТЕЧЕСТВЕННЫЙ ТРЕХКОМПОНЕНТНЫЙ ГЕРБИЦИД ПИКСЕЛЬ, МД ДЛЯ ЗАЩИТЫ ПОСЕВОВ ОЗИМОГО ЯЧМЕНЯ В КРАСНОДАРСКОМ КРАЕ*

А. П. Савва, кандидат биологических наук, Т.Н. Тележенко, В.А. Суворова, С. С. Ковалев

Федеральный научный центр биологической защиты растений,
350039, Краснодар, п/о 39
E-mail: savap53@mail.ru

Исследования проводили с целью оценки биологической и хозяйственной эффективности нового отечественного трехкомпонентного гербицида Пиксель, МД (90 г/л тифенсульфурон-метила + 24 г/л флуметсулама + 18 г/л флорасулама) на посевах озимого ячменя сорта Рубеж в Краснодарском крае. Работу проводили в 2017–2018 гг. в соответствии с рекомендациями по испытаниям гербицидов в сельском хозяйстве. Почвенный покров опытных участков – чернозем выщелоченный. Площадь делянки – 25 м², повторность – четырехкратная, расположение – рендомизированное. Схема опыта включала внесение изучаемого препарата Пиксель, МД в нормах 0,25; 0,27 и 0,30 л/га, эталонов Примадонна СЭ – 0,60 л/га, Дерби 175, СК – 0,05 л/га, контроль – без гербицидов. Внесение препаратов проводили в период кушения озимого ячменя, расход рабочей жидкости 200 л/га. Исходная засоренность посевов двудольными сорными растениями в среднем составляла 70 экз./м². Действие гербицидов оценивали по численности и массе сорняков, урожайности зерна культуры, в сравнении с вариантом без использования гербицидов. Все сорные виды (яснолка полевая, подмаренник цепкий, мак самосейка, бодяк щетинистый) показали высокую чувствительность к испытываемому препарату. В вариантах с гербицидом Пиксель, МД в нормах 0,25...0,30 л/га отмечали биологическую эффективность на уровне 88...100 %. Отрицательного воздействия препарата на культуру не наблюдали. Достоверные прибавки урожая зерна озимого ячменя составили 7,7...8,7 %. В результате двухлетних испытаний, гербицид Пиксель, МД показал высокую биологическую и хозяйственную эффективность в посевах озимого ячменя.

RUSSIAN THREE-COMPONENT HERBICIDE PIXEL, OD FOR PROTECTION OF WINTER BARLEY CROPS IN THE KRASNODAR TERRITORY

Savva A. P., Telezhenko T.N., Suvorova V.A., Kovalev S. S.

Federal Scientific Center for Biological Plant Protection
350039, Krasnodar, p/o 39
E-mail: savap53@mail.ru

The study aimed to assess the biological and economic efficiency of a new domestic three-component herbicide Pixel, OD (90 g/l thifensulfuron-methyl + 24 g/l flumetsulam + 18 g/l florasulam) on the winter barley crop Rubezh in the Krasnodar Territory. The work was carried out in 2017–2018 in accordance with the recommendations for herbicides testing in agriculture. The soil covering of the experimental plots was leached chernozem. Plot area was 25 m² with quadruple repetition and randomized location of pieces. The experimental design included the introduction of the studied drug Pixel, OD in the norms of 0.25, 0.27 and 0.30 l/ha, standards Primadonna SE – 0.60 l/ha, Derby 175, SC – 0.05 l/ha, control – without herbicides. The introduction of preparations was carried out during the tillering period of winter barley, the flow rate of the working fluid was 200 l/ha. The initial infestation of crops with dicotyledonous weeds averaged 70 pcs/m². The effect of herbicides was assessed by the number and mass of weeds and crop grain yield compared to the variant without the use of herbicides. All weed species (field chickweed, goose grass, canker rose, yellow thistle) showed high sensitivity to the tested preparation. In the variants with the herbicide Pixel, OD in the norms of 0.25–0.30 l/ha, biological efficiency was observed at the level of 88–100%. The negative impact of the drug on the culture was not observed. Reliable increases in the yield of winter barley grain amounted to 7.7–8.7%. As a result of two-year tests, the herbicide Pixel, OD showed high biological and economic efficiency in winter barley crops.

Ключевые слова: озимый ячмень, урожайность, сорное растение, гербицид, эффективность.

Key words: winter barley; yield; weed plant; herbicide; efficiency.

Озимый ячмень (*Hordeum vulgare* L.) – одна из важнейших зернофуражных культур России. На территории Краснодарского края в 2021 г. под его посевы было отведено 199,4 тыс. га. Урожайность в среднем составила 5,24 т/га [1].

Одна из основных причин потери урожайности и снижения качественных характеристик зерна сельскохозяйственных культур – засоренность посевов. В мире потери урожая озимых зерновых колосовых культур от сорняков растений ежегодно составляют 17...30 % [2]. Сорняки лучше, чем культурные растения, конкурируют за влагу, солнечную энергию и другие ресурсы, они активнее используют элементы питания вносимых минеральных удобрений и потенциал почвенного плодородия [3]. Наряду с прямым отрицательным воздействием на размеры и качество урожая, сорные рас-

тения наносят косвенный вред, будучи резерватарами возбудителей болезней и вредителей, что создает благоприятные условия для накопления и распространения фитопатогенов и фитофагов [4]. Кроме того, сорняки затрудняют проведение агротехнических мероприятий, что вызывает дополнительные затраты труда и материальных ресурсов [5].

Таким образом, управление и контроль засоренности посевов сельскохозяйственных культур имеют особое значение и относятся к числу приоритетных задач в интегрированной системе защиты.

На сегодняшний день в снижении засоренности полей важное место отводится применению гербицидов, действующие вещества которых относятся к соединениям различных классов. Правильное их использование дает возможность снизить или полностью уничтожить

*исследования выполнены согласно Государственному заданию Министерства науки и высшего образования РФ в рамках НИИР по теме № FGRN-2022-0001.

сорные растения, присутствующие в посевах сельскохозяйственных культур [6, 7].

Преимущества химического метода заключаются в том, что при использовании гербицидов достигается высокая биологическая и хозяйственная эффективность и быстрая окупаемость в отличие от других форм борьбы с сорными растениями. В связи с этим, такой метод широко применяют при возделывании сельскохозяйственных культур практически во всем мире [8, 9].

Ежегодно благодаря целенаправленному поиску и скринингу новых эффективных веществ ассортимент средств борьбы с сорняками пополняют новые препараты на основе отдельных соединений и их композиций, в состав которых входит несколько действующих веществ с различным механизмом действия [10]. При этом главное требование к новым гербицидам, наряду с высокой биологической эффективностью в отношении сорняков, – безопасность для теплокровных и окружающей среды.

Работая в этом направлении в АО «Щелково Агрохим» создали гербицид Пиксель, МД. Преимущество препарата заключается в уникальной комбинации трех действующих веществ, суммарный синергетический эффект которых позволяет максимально увеличить гербицидную активность против сорняков. Применение препарата в виде масляной дисперсии способствует быстрому проникновению действующих веществ в растения сорняков (https://betaren.ru/catalog/sredstva-zashchity-rasteniy/gerbitsidy/pixel_md/).

Цель исследования – оценка биологической и хозяйственной эффективности нового отечественного гербицида Пиксель, МД в посевах озимого ячменя центральной зоны Краснодарского края.

Для ее достижения решали следующие задачи: определить влияние гербицида Пиксель, МД на засоренность

посевов озимого ячменя и отдельные виды сорняков; изучить степень безопасности препарата для культуры и оценить его хозяйственную эффективность.

Методика. Изучение биологической и хозяйственной эффективности испытываемого препарата проводили в 2017–2018 гг. на посевах озимого ячменя сорта Рубеж на базе Федерального научного центра биологической защиты растений» (г. Краснодар).

Климат Краснодарского края на равнинной части – умеренно-континентальный. В течение года отмечаются резкие колебания месячных и сезонных температур. Температура воздуха января в среднем составляет -3...-5 °С, июля – +22...+24 °С, сумма атмосферных осадков за год – 400...600 мм.

Температурный режим марта–июля 2017 г. находился на уровне среднемноголетнего. В апреле наблюдали дефицит влаги, поскольку количество выпавших осадков было в 2 раза ниже нормы. В мае отмечали обилие осадков которое в 3 раза превысило норму. Количество осадков в марте, июне и июле было близко к уровню средних многолетних данных. Март–июль 2018 г. выдалась более теплыми и засушливыми, чем по среднемноголетним данным. Среднемесячные температуры в этот период превышали норму в среднем на 10 °С. Кроме того, отмечали сильный дефицит атмосферных осадков, что повлияло на урожайность культуры.

Технология выращивания озимого ячменя была общепринятой для центральной зоны Краснодарского края. После уборки урожая предшественника (озимая пшеница) проводили дисковое лущение стерни с последующей не глубокой осенней вспашкой и предпосевной культивацией. Посев озимого ячменя сорта Рубеж осуществляли во второй декаде октября сеялкой СЗ-3,6. Норма высева – 180 кг/га.

Табл. 1. Действие гербицида Пиксель, МД на общую засоренность посевов озимого ячменя (среднее за 2017–2018 гг.)

Вариант	Учет	Численность сорных растений		Сырая масса сорных растений			
		экз./м ²	снижение, % к контролю	г/м ²		снижение, % к контролю	
				ОДС*	МДС**	ОДС*	МДС**
Без гербицидов (контроль)	2	66,4	–	426	316	–	–
	3	64,5	–	645	474	–	–
	4	62,9	–	–	–	–	–
Пиксель, МД – 0,25 л/га	2	5,8	91,3	20	27	95,3	91,5
	3	6,9	89,3	42	49	93,5	89,7
	4	7,8	87,6	–	–	–	–
Пиксель, МД – 0,27 л/га	2	2,5	96,2	7	9	98,4	97,2
	3	3,6	94,4	19	22	97,1	95,4
	4	4,3	93,2	–	–	–	–
Пиксель, МД – 0,30 л/га	2	0	100,0	0	0	100,0	100,0
	3	0	100,0	0	0	100,0	100,0
	4	0	100,0	–	–	–	–
Примадонна, СЭ (эталон) – 0,60 л/га	2	4,9	92,6	16	23	96,2	92,7
	3	5,8	91,0	36	42	94,4	91,1
	4	6,9	89,0	–	–	–	–
Дерби 175, СК (эталон) – 0,05 л/га	2	6,9	89,6	26	34	93,9	89,2
	3	7,8	87,9	49	59	92,4	87,6
	4	8,9	85,9	–	–	–	–

*ОДС – однолетние двудольные сорные растения; **МДС – многолетние двудольные сорные растения

Почва опытных участков была представлена черноземом выщелоченным, легкосуглинистым по гранулометрическому составу. Содержание гумуса в пахотном горизонте (по Тюрину, ГОСТ 2613-94) – 3,39 %, подвижного фосфора (по Чирикову, ГОСТ 26204-91) – 182 мг/кг почвы, подвижных форм калия (по Мачигину, ГОСТ 26205-91) – 306 мг/кг почвы, рН_{водн} (по ГОСТ 26423-85) – 6,9 ед.

Посевы озимого ячменя в основном были засорены однолетними (ясколка полевая (*Cerastium arvense* L.), мак самосейка (*Papaver rhoeas* L.), подмаренник цепкий (*Galium aparine* L.)) и многолетними (бодяк щетинистый (*Cirsium setosum* (Willd.) Bess.)) двудольными сорными растениями.

Схема опыта предусматривала применение изучаемого гербицида Пиксель, МД, в состав которого входят три действующих вещества – 90 г/л тифенсульфурон-метила + 24 г/л флуметсулама + 18 г/л флорасулама, эталонов Дерби 175, СК и Примадонна, СЭ.

Обработку гербицидами проводили в период кушения озимого ячменя согласно схеме опыта, которая предусматривала использование препарата Пиксель, МД в нормах 0,25; 0,27 и 0,30 л/га, эталонов Примадонна, СЭ – 0,60 л/га и Дерби 175, СК – 0,05 л/га, контроль – без применения гербицидов.

Обработку посевов осуществляли с использованием ручного опрыскивателя «PULVEREX», оснащенного двухметровой штангой с щелевыми распылителями типа ТЕЕJЕТ 11002 VS. Размер опытных делянок составлял 25 м², повторность – четырехкратная, расположение – рендомизированное. Норма расхода рабочей жидкости – 200 л/га.

Полевые испытания проводили в соответствии с «Методическими указаниями по регистрационным испытаниям гербицидов в сельском хозяйстве» (под ред. В. И. Долженко. С-Пб: ВИЗР, 2013). Засоренность учитывали в четыре срока. Первый – до внесения гербицидов с определением видовой принадлежности сорных растений (исходная засоренность), плотности засоренности и их фазы роста и развития. Второй и третий учеты

(спустя 30 и 45 дней после обработки) проводили количественным и весовым методом с учетом числа сорняков по видам и определением сырой надземной биомассы сорных растений. Четвертый (количественный) – перед уборкой урожая культуры.

Учет урожая зерна озимого ячменя проводили прямым комбайнированием (ХЕГЕ-125) экспериментальных делянок каждого варианта и повторности опыта с последующим взвешиванием и определением урожайности.

Биологическую и хозяйственную эффективность гербицидов оценивали по снижению засоренности посевов озимого ячменя и урожаю культуры, в сравнении с контролем. Данные обрабатывали методом дисперсионного анализа с использованием программы MS EXEL.

Результаты и обсуждение. При проведении полевых экспериментов 2017 и 2018 г. посевы озимого ячменя в основном были засорены характерными для Краснодарского края двудольными сорными растениями, исходная численность бодяка щетинистого в среднем составляла 10 шт./м², мака самосейки – 19 шт./м², подмаренника цепкого – 24 шт./м², ясколки полевой – 15 шт./м².

В контроле через 30 дней после обработки гербицидами общее количество сорняков в среднем составляло 66,4 экз./м², суммарная сырая надземная биологическая масса однолетних двудольных видов – 426 г/м², многолетних двудольных – 316 г/м² (табл. 1). Спустя 45 дней численность сорных растений оставалась примерно на таком же уровне, а их биомасса значительно возросла и составила 645 и 474 г/м² соответственно.

Внесение 0,25 л/га препарата Пиксель, МД на озимом ячмене в период кушения по данным учета общая численность сорных растений через 30 дней после обработки снизилась на 91,3 %, одновременно наблюдалось высокое подавление их надземной биомассы (однолетних – на 95,3 %, многолетних – на 91,5 %), по сравнению с вариантом без использования гербицидов. В последующем действии гербицида несколько снижалось,

Табл. 2. Действие гербицида Пиксель, МД на основные виды сорных растений в посевах озимого ячменя (среднее за 2017–2018 гг.)

Вариант	Учет	Снижение численности сорных растений, % к контролю			
		Galium aparine	Papaver rhoeas	Cerastium arvense	Cirsium setosum
Контроль (без гербицидов)*	2	23,6	18,3	14,9	9,6
	3	22,4	17,8	14,7	9,6
	4	21,6	17,3	14,4	9,6
Пиксель, МД – 0,25 л/га	2	90,3	92,3	94,0	87,5
	3	88,4	90,4	91,8	85,4
	4	87,0	89,0	90,3	82,3
Пиксель, МД – 0,27 л/га	2	96,2	96,2	97,3	94,8
	3	94,6	94,9	95,2	91,7
	4	93,5	93,1	93,7	91,7
Пиксель, МД – 0,30 л/га	2	100,0	100,0	100,0	100,0
	3	100,0	100,0	100,0	100,0
	4	100,0	100,0	100,0	100,0
Примадонна, СЭ (эталон) – 0,60 л/га	2	91,1	93,4	95,3	90,6
	3	89,7	92,1	93,9	87,5
	4	88,0	90,2	91,7	85,4
Дерби 175, СК (эталон) – 0,05 л/га	2	89,0	90,7	91,9	85,4
	3	87,5	89,3	90,5	82,3
	4	85,6	87,3	88,2	80,2

*в контроле приведены данные по численности сорняков, экз./м²

Табл. 3. Урожайность озимого ячменя сорта Рубеж при применении гербицида Пиксель, МД

Вариант	Урожайность, т/га		Средняя	
	2017 г.	2018 г.	т/га	% к контролю
Контроль (без гербицидов)	5,14	4,43	4,79	100,0
Пиксель, МД – 0,25 л/га	5,55	4,76	5,16	107,7
Пиксель, МД – 0,27 л/га	5,58	4,79	5,19	108,3
Пиксель, МД – 0,30 л/га	5,61	4,81	5,21	108,7
Примадонна, СЭ (эталон) – 0,60 л/га	5,56	4,77	5,17	107,9
Дерби 175, СК (эталон) – 0,05 л/га	5,53	4,74	5,14	107,3
НСР ₀₅	1,40	1,31	–	–

но оставалось на высоком уровне и по данным учета, проведенного через 45 дней после обработки, величины упомянутых показателей составили 89,3 %, 93,5 и 89,7 %, соответственно.

Перед уборкой урожая озимого ячменя так же наблюдалась высокая гербицидная эффективность испытываемого препарата. Снижение общего количества сорняков, относительно контроля, составило 87,6 %. Примерно такой же эффект был отмечен и при использовании эталонных препаратов Примадонна, СЭ (0,60 л/га) и Дерби 175, СК (0,05 л/га).

Повышение нормы испытываемого препарата до 0,27 л/га приводило к увеличению эффективности его применения. По данным трех учетов Пиксель, МД обеспечил 93,2...96,2 %-ное снижение общего числа сорных растений и подавление их массы на 95,4...98,4 %. Дальнейшее увеличение нормы гербицида Пиксель, МД (0,30 л/га) приводило к полному очищению посевов озимого ячменя от однолетних и многолетних двудольных сорняков, что по эффективности значительно превосходило эталоны. На наш взгляд, преимущество гербицида Пиксель, МД, в сравнении с эталонами, обусловлено тем, что в составе нового препарата совмещены три действующих вещества и, по всей видимости, происходит синергетический эффект, в результате которого усиливается его гербицидное действие на сорные растения.

Наиболее высокую чувствительность к гербициду Пиксель, МД проявили однолетние двудольные сорные растения (подмаренник цепкий – 87,0...90,3 %; мак самосейка – 89,0...92,3 %; ясколка полевая – 90,3...94,0 %), несколько менее – многолетний сорняк бодяк щетинистый (82,3...87,5 %). Это отчетливо прослеживалось при использовании препарата в норме 0,25 л/га (табл. 2). При норме 0,27 л/га эти различия несколько нивелировались, а в максимальной норме (0,30 л/га) они исчезали.

В процессе визуальных наблюдений за сорными растениями, обработанными гербицидом Пиксель, МД, установлено, что первые видимые признаки их поражения можно наблюдать через 3...4 дня после применения препарата. Проявлялись они в остановке роста и развития, обесцвечивании первоначально точки роста, а затем и всего растения. В дальнейшем сорняки бурели, засыхали и отмирали. Полная гибель наступала спустя 3...4 недели после обработки гербицидом и зависела от фазы развития сорняков и условий погоды во время обработки. Симптомов повреждения культуры не отмечали.

Урожайность зерна в контроле (без применения гербицида) за 2017 и 2018 гг. в среднем составляла 4,79 т/га. Применение 0,25...0,30 л/га препарата Пиксель, МД в период кушения озимого ячменя позволило получить статистически достоверные прибавки урожая, которые в

среднем составили 7,7...8,7 %. Достоверных различий по урожайности между вариантами с применением испытываемого препарата и эталонов не наблюдали (табл. 3).

Результаты наших исследований, хорошо согласуются с данными по испытанию нового гербицида Пиксель, МД на озимой пшенице в центральной зоне Краснодарского края (Россия) и Минского района Республики Беларусь [11, 12]. Где его применение в нормах 0,25...0,30 л/га при достижении культурой фазы кушения обеспечило высокую гербицидную активность (90...100 %) в отношении однолетних и многолетних двудольных видов сорных растений.

Таким образом, биологическая эффективность препарата Пиксель, МД, внесенного в нормах 0,25...0,30 л/га, на посевах озимого ячменя против однолетних и многолетних двудольных сорняков (бодяк щетинистый, мак самосейка, подмаренник цепкий, ясколка полевая) составляет 88...100 %.

Его применение позволило снизить или устранить конкуренцию сорных растений в результате чего дополнительно было собрано 7,7...8,7 % урожая зерна озимого ячменя, в сравнении с контролем (без внесения гербицидов).

Литература

1. *Бюллетени о состоянии сельского хозяйства (электронные версии): сельское хозяйство, охота и лесное хозяйство/ Федеральная служба государственной статистики. Москва, 2021. URL: <https://krsdstat.gks.ru/storage/mediabank/YmoM8Ipf/%D0%BF%D1%80%D0%B5%D1%81%D1%81.htm> (дата обращения: 26.02.2022).*
2. Rao A.N., Chauhan B.S. *Weeds and Weed Management in India A Review // Weed Science in the Asian-Pacific Region. 2015. P. 87-118.*
3. *Effect of Six Problematic Weeds on Growth and Yield of Wheat / I. Siddiqui, R. Bajwa, Z. E. Huma, et al. // Pakistan Journal of Botany. 2010. Vol. 42. No. 4. P. 2461-2471.*
4. Capinera J.L. *Relationships Between Insect Pests and Weeds: An Evolutionary Perspective // Weed Science. 2005. Vol. 53. No. 6. P. 892-901. doi: 10.1614/WS-04-049R.1*
5. Ozpinar S. *Effects of Tillage Systems on Weed Population and Economics for Winter Wheat Production under the Mediterranean Dryland Conditions // Soil and Tillage Research. 2006. Vol. 87.No. 1. P. 1-8. doi: 10.1016/j.still.2005.02.024.*
6. Спирidonov Ю. Я., Будынков Н. И., Сайфулин П. Г. *Борьба с вредными организмами на посевах полевых культур // Аграрный научный журнал. 2016. № 9. С. 43-48.*

7. Спиридонов Ю. А., Шестаков В. Г. Практика создания эффективного применения комбинированных отечественных гербицидов в борьбе с сорняками в посевах зерновых колосовых культур // *Агрехимия*. 2013. № 1. С. 35-49.
8. Липский С. И., Пантюхов И. В., Ивченко В. К. Эффективность гербицидов АО «Байер» в борьбе с сорными растениями в посевах зерновых культур // *Вестник КрасГАУ*. 2018. № 3 (138). С. 12-19.
9. Mayerova M., Madaras M., Soukup J. Effect of chemical weed control on crop yields in different crop rotations in a long-term field trial // *Crop Protection*. 2018. Vol. 114. P. 215 – 222. doi: 10.1016/j.cropro.2018.08.001.
10. Спиридонов Ю. Я., Жемчужин С. Г. Современное состояние проблемы изучения применения гербицидов (Обзор публикаций за 2011-2013 гг.) // *Агрехимия*. 2016. № 5. С. 76-85.
11. Савва А. П., Тележенко Т. Н., Суворова В. А. Трехкомпонентный гербицид «Пиксель» для защиты посевов озимой пшеницы // *Вестник КрасГАУ*. 2021. № 10 (175). С. 42-48. doi: 10.36718/1819-4036-2021-10-42-48.
12. Сорока С. В., Сорока Л. И., Пестерева А. С. Трехкомпонентный гербицид Пиксель, МД для защиты посевов озимой пшеницы в Беларуси // *Защита растений*. 2021. № 45. С. 69-75.

Поступила в редакцию 05.03.2022

После доработки 28.03.2022

Принята к публикации 05.05.2022

ВЛИЯНИЕ ПРИРОДНО-КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ НА ДЕГРАДАЦИЮ ПЕСТИЦИДОВ ПРИ ЗАЩИТЕ ВИНОГРАДА ОТ БОЛЕЗНЕЙ И ВРЕДИТЕЛЕЙ

М. О. Петрова, Т. Д. Черменская, кандидаты биологических наук

*Всероссийский научно-исследовательский институт защиты растений,
196608, Санкт-Петербург-Пушкин, ш. Подбельского, 3
E-mail: mar34915696@yandex.ru*

Исследования проводили с целью изучения влияния погодных условий (температура, влажность) на динамику разложения различных видов пестицидов, применяемых для контроля болезней и вредителей винограда. Работу выполняли в 2019 и 2020 гг. в Темрюкском районе Краснодарского края, Сальском районе Ростовской области и Бахчисарайском районе Республики Крым. Пробы ягод отбирали отдельно с каждой делянки (5 кустов) по вариантам, из них готовили средний образец (по одному на вариант). Анализ образцов на содержание остаточных количеств боскалида, фенпироксимата и двух пиретроидов, действующих веществ соответственно фунгицида, акарицида и инсектицидов, в ягодах и соке винограда проводили с использованием газожидкостной и высокоэффективной жидкостной хроматографии по методическим указаниям, утвержденным Роспотребнадзором. В 2020 г. разложение боскалида происходило в условиях Краснодарского края в 2 раза быстрее, чем в 2019 г. Жаркая погода с недостаточной влажностью ускорила этот процесс в Краснодарском крае в 2 раза, по сравнению с Ростовской областью. Деградация фенпироксимата в Республике Крым происходила на 10 дней быстрее, чем в Краснодарском крае, благодаря более высокой влажности в период наблюдений, при практически одинаковых среднемесячных температурах. Высокая температура и низкая влажность в Краснодарском крае способствовали также и увеличению скорости деградации пиретроидов в среднем на 10 дней. Изложенные факты можно использовать для выбора схемы защиты винограда от болезней и вредителей, при разработке которой необходимо учитывать особенности природно-климатических условий конкретного региона возделывания культуры.

THE INFLUENCE OF WEATHER-CLIMATIC CONDITIONS ON THE DEGRADATION OF PESTICIDES IN THE GRAPE PROTECTION FROM DISEASES AND PESTS

Petrova M. O., Chermenskaya T. D.

*All-Russian Institute of Plant Protection
196608, Sankt-Petersburg-Pushkin, sh. Podbelskogo, 3
E-mail: mar34915696@yandex.ru*

The aim of this investigation was study of the influence of weather conditions (temperature, humidity) on the dynamics of degradation of various types of pesticides to control diseases and pests of grapes. The work was carried out in 2019 and 2020 in the following regions: Temryuksky district of the Krasnodar region, Salsky district of the Rostov region and Bakhchisaraysky district of the Republic of Crimea. The experimental plots area was 5 bushes, block arrangement. Samples of berries were taken separately from each plot according to the variants; an average sample was prepared from them (one per variant). Analysis of samples for the content of residual amounts of boscalid, fenpyroximate and two pyrethroids, active ingredients of fungicide, acaricide and insecticides, in berries and grape juice was carried out using gas-liquid and high-performance liquid chromatography according to guidelines approved by Rospotrebnadzor. In 2020, the boscalid decomposition in grape from Krasnodar region was two times faster, that in 2019. Hot weather with insufficient humidity accelerated the decomposition of boscalid in the grape in the Krasnodar region compared to the Rostov region. Degradation of fenpyroximate occurred 10 days faster in the Republic of Crimea, in contrast to the Krasnodar region, due to the higher humidity during the observation period, at practically the same average monthly temperatures. The high temperature and low humidity in the Krasnodar region contributed to an increase in the rate of pyrethroid degradation. Thus, it is necessary to take into account the peculiarities of the natural and climatic conditions of a particular region of crop cultivation to choose a plant protection system from diseases and pests.

Ключевые слова: почвенно-климатическая зона, температура, влажность, пестицид, остаточные количества, хроматография

Key words: soil-climatic zone, temperature, humidity, pesticide, residual amounts, chromatography.

Природно-климатические условия выступают одним из основных факторов, определяющих количество и качество урожая сельскохозяйственных растений. Состояние атмосферы в определенный момент времени называют погодой. Это сложная многовариантная система, состоящая из отдельных элементов – метеопараметров (температуры, давления, влажности) и их производных (облачности, осадков, ветра и др.).

Климат определяют как наиболее вероятное состояние атмосферы за некоторый период времени. Для его характеристики используют средние величины метеопараметров за определенный временной интервал.

С развитием науки и техники совершенствуются методы борьбы с вредителями и болезнями, которые в большинстве своем предусматривают использование химических средств защиты растений. Последующее их

обращение в окружающей среде определяют процессы, влияющие на кинетику рассеивания пестицидов. На характер динамики разложения пестицидов даже в одних и тех же условиях окружающей среды влияют физико-химические свойства, биодоступность и эффективность препаратов. Поэтому при прогнозе кинетики их рассеивания необходимо учитывать каждый фактор [1].

Оптимальная температура для применения пестицидов – 18...24 °С. При ее повышении разложение действующих веществ синтетических препаратов происходит ускоренными темпами, а снижение температуры воздуха замедляет процессы сокодвижения и диссипации [2].

На скорость деградации пестицидов существенное влияние оказывают и периодически наступающие почвенные и воздушные засухи, снижающие сокодвижение в растениях, и, как следствие, вызывающие торможение

обменных процессов и уменьшение скорости деградации действующих веществ пестицидов [3].

При разработке экологизированных систем защиты растений от вредителей и болезней необходимо учитывать закономерности трансформации остаточных количеств пестицидов. Изучение процессов их деградации в продукции растениеводства имеет важное значение при освоении новых средств защиты растений (СЗР) [4]. Для обоснования норм применения новых препаратов и определения сроков ожидания проводят исследования по динамике разложения и измерению остаточных количеств пестицидов [5].

Цель исследований – изучение влияния природно-климатических условий на скорость деградации пестицидов при защите винограда от болезней и вредителей.

Методика. Работу проводили в 2019 и 2020 гг. в следующих насаждениях: Темрюкский район Краснодарского края – виноград посадки 2009 г., сорт Шардоне; Сальский район Ростовской области – виноград посадки 2013 г., сорт Ляна; Бахчисарайский район Республики Крым – виноград посадки 2005 г., сорт Каберне-Совиньон.

На большей части Краснодарского края климат умеренный. Средняя годовая температура по всему региону составляет +12 °С. Сумма и вид осадков зависят от природной зоны. В среднем годовое количество осадков на Таманском полуострове составляет от 350 мм, в равнинной части – от 450 до 550 мм, в горах – до 2000 мм. На степных равнинах большинство осадков выпадает в июне, в горах и на морском побережье – осенью и зимой. Влажность воздуха полностью зависит от сезона. При ее уменьшении до 30 % появляется засуха [6].

Климат Ростовской области умеренно-континентальный. В июне, июле и августе преобладает жаркая и солнечная погода. При этом июнь самый дождливый месяц, а июль – самый жаркий. Средняя дневная температура июля +25 °С, но не редко поднимается до +35 °С. Август в Ростовской области характеризуется жаркой и засушливой погодой с суховеями и пыльными бурями. В сентябре жара спадает до +20 °С. Максимальная влажность (85...90 %) отмечается в зимние месяцы, минимальная (48...60 %) в летние. При суховеях относительная влажность воздуха понижается до 30 % и менее. В среднем за год число суховейных дней колеблется от 45 на юго-западе до 85 на юго-востоке области [7].

Климат основной части Крыма можно охарактеризовать как умеренный. Наибольшее количество осадков выпадает при прохождении над территорией региона метеорологических фронтов циклонов. Летом в Крыму вследствие того, что континентальный воздух умеренных широт преобразуется в местный тропический, преобладает засушливая погода. Выпадают обильные, интенсивные, но чаще всего кратковременные дожди [8].

В Темрюкском районе Краснодарского края в 2019 г. погода соответствовала средним многолетним данным. Средняя температура в июле составила –26,4 °С, в августе –24,7 °С. Относительная влажность воздуха: в июле –55,3, в августе –59,7 %. В 2020 г. в апреле фиксировали заморозки вплоть до третьей декады апреля. Суховейные явления наблюдали в течение 6...10 дней первой декады этого месяца. Третья декада мая характеризовалась пониженным температурным режимом с ливневыми осадками, местами сильными, в отдельных пунктах с градом. Во второй и третьей декаде июня прошли значительные осадки. Относительная влажность воздуха составила 65 %. Первая декада июля была аномально жаркой, средняя температура воздуха составила 28,2 °С

при климатической норме 22,4 °С. Третья декада также была жаркой, с полным отсутствием осадков и с частыми интенсивными суховеями – средняя температура воздуха составила 31,2 °С при норме 23,7 °С. В августе средняя температура была еще выше (31,3 °С), а относительная влажность воздуха –45,0 %.

В Сальском районе Ростовской области в 2019 г. средняя температура в июле составила 22,6 °С, в августе –23,1 °С, относительная влажность воздуха –соответственно 58,2 и 44,0 %. В 2020 г. средняя температура в июле была равна 26,6 °С, в августе –22,5 °С, относительная влажность воздуха –соответственно 44,0 и 54,0 %.

В Бахчисарайском районе Республики Крым в 2019 г. средняя температура в августе составила 23,7 °С, в сентябре –20,7 °С, а сумма осадков –41,8 мм и 2,5 мм соответственно. В 2020 г. относительная влажность воздуха в августе находилась на уровне 68,0 %, в сентябре –70,5 %, а средняя температура –23,3 и 21,1 °С при сумме осадков 0 мм и 28,5 мм соответственно.

Площадь опытных делянок –5 кустов, расположение блочное. Пробы ягод отбирали отдельно с каждой делянки по вариантам, из них готовили средний образец (по одному на вариант).

Отбор проб в 2019 г. в Ростовской области проводили с 05 июля, в Краснодарском крае –с 21 июля, в Крыму с 10 августа; в 2020 г. в Ростовской области –с 09 июля, в Краснодарском крае –с 21 июля, в Крыму –с 14 августа, с периодичностью раз в 10 дней. Отобранные пробы замораживали при температуре –18 °С и хранили при этой же температуре до проведения анализа.

Влияние температуры на динамику деградации пестицидов в винограде изучали на примере фунгицида, содержащего 500 г/кг боскалида (препаративная форма – водно-диспергируемые гранулы) с рекомендуемой нормой расхода по действующему веществу –600 г/га. Как правило, после обработки препаратом, часть боскалида остаётся на поверхности растения, другая проникает внутрь, распространяется трансламинарно и по сосудистой системе листа акропетально [9].

Анализ образцов на содержание боскалида проводили согласно МУК 4.1.2672-10 на газовом хроматографе «Кристалл 2000М» с ДЭЗ и кварцевой капиллярной колонкой длиной 30 м, внутренним диаметром 0,32 мм с толщиной слоя неподвижной фазы НР-5 0,25 мкм.

Влияние влажности воздуха на динамику деградации действующих веществ пестицидов изучали на примере фенпироксимата (50 г/л) (препаративная форма – суспензионный концентрат), входящего в состав препаратов, применяемых на виноградниках для контроля численности паутинного клеща, с рекомендуемой нормой расхода по действующему веществу –45 г/га.

Концентрацию фенпироксимата в ягодах определяли в соответствии с МУК 4.1.1439-03, в соке – по МУК 4.1.2859-11 на жидкостном хроматографе «ACQUITY» фирмы «Waters» с быстро-сканирующим УФ-детектором. Колонка ACQUITY UPLC ВЕН С-18 (100 x 2,1) мм, 1,7 мкм (Waters). Рабочая длина волны 258 нм.

Влияние температуры и влажности на динамику деградации пиретроидов изучали на примере инсектицидов (препаративная форма – концентрат эмульсии), содержащих 150 г/л α -циперметрина с рекомендуемой нормой расхода по действующему веществу 36 г/га; 50 г/л лямбда-цигалотрина с рекомендуемой нормой расхода по действующему веществу –24,0 г/га.

Анализ образцов на содержание альфа-циперметрина и лямбда-цигалотрина проводили по МУ № 4344-87. Количественное определение лямбда-цигалотрина проводили на газовом хроматографе «Agilent 7890В» с ДТИ

и кварцевой капиллярной колонкой длиной 30 м, диаметром 0,32 мм с неподвижной фазой НР-5 (0,25 мкм), альфа-циперметрин – на хроматографе «Кристалл 2000 М» с электрозахватным детектором (ДЭЗ), колонка капиллярная RTX-5 длиной 30 м, внутренний диаметр 0,32 мм, толщина слоя неподвижной фазы 0,25 мкм.

Результаты и обсуждение. Вне зависимости от почвенно-климатической зоны, в пробах винограда полное разложение боскалида происходило в среднем через 20 дней после обработки, но влияние температуры воздуха и количества осадков вносило свои коррективы (табл. 1).

Табл. 1. Динамика разложения боскалида (500 г/л) в винограде в зависимости от почвенно-климатической зоны

Срок отбора проб после обработки	Содержание, мг/кг			
	Краснодарский край		Ростовская область	
	2019 г.	2020 г.	2019 г.	2020 г.
День обработки	1,04	0,95	0,71	0,53
10 дней	0,47	0,14	0,12	0,32
20 дней	0,19	н.о.*	0,05	0,11
30 дней	0,08	н.о.	н.о.	н.о.
40 дней (ягоды, сок)	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.
*не обнаружено				

Так, в Краснодарском крае в 2020 г. разложение боскалида происходило в 2 раза быстрее, чем в 2019 г., что объясняется аномально жаркой и сухой погодой в период проведения эксперимента.

В Ростовской области в 2019 и 2020 гг. погода сильно не отличалась, не было зафиксировано экстремальных условий, что привело к плавному снижению содержания боскалида в ягодах винограда в оба года. Однако в связи с тем, что в 2019 г. в период проведения эксперимента выпало больше осадков, деградация действующего вещества проходила быстрее. В 2019 г. его количество в ягодах через 20 дней после обработки снизилось в 14,2 раза, в 2020 г. – в 4,8 раза.

В 2019 г. период полураспада боскалида в винограде в условиях Краснодарского края составил около 10 дней, а в Ростовской области – около 4 дней, тогда как в 2020 г. наоборот, в Краснодарском крае – 3 дня, а в Ростовской области – более 10 дней. По литературным данным известно, что в огурцах после обработки период полураспада боскалида составлял 2,7...9,9 дня [9].

Относительная влажность воздуха также имеет большое влияние на эффективность обработок и скорость деградации пестицидов.

В условиях Республики Крым деградация фенпироксимата происходила быстрее на 10 дней, а полное разложение наступило к 20 дню после обработки, тогда как в Краснодарском крае вещество не обнаруживалось

Табл. 2. Динамика разложения фенпироксимата (50 г/л) в винограде в зависимости от почвенно-климатической зоны в 2020 г.

Срок отбора проб после обработки	Содержание, мг/кг	
	Краснодарский край	Республика Крым
День обработки	0,122	0,070
10 дней	0,081	0,027
20 дней	0,031	н.о.
30 дней	0,015	н.о.
40 дней (ягоды, сок)	н.о.*	н.о.
*не обнаружено		

только к 40 дню (табл. 2). Значительно более высокая относительная влажность воздуха в Бахчисарайском районе Крыма по сравнению с Темрюкским районом Краснодарского края сыграла решающую роль в скорости деградации фенпироксимата.

Фенпироксимат обладает высокой устойчивостью к неблагоприятным факторам окружающей среды (высокая температура, сильная солнечная инсоляция, осадки) [10]. Имеются только ограниченные данные о скорости его деградации в полевых условиях. Так, на яблоках, цитрусовых, плодах и листьях винограда, содержание остаточных количеств фенпироксимата после однократного применения снижалось через 7 дней соответственно с 1,63, 0,33, 0,49 и 1,75 мг/кг до 0,14 мг/кг (на 91,41 %), 0,09 мг/кг (на 72,7 %), 0,08 мг/кг (на 83,6 %) и 0,07 мг/кг (на 96,0 %) [11]. В наших экспериментах было показано, что через 7 дней количество фенпироксимата снизилось на 23,5% в пробах из Краснодарского края, и на 43,0% – в Крыму, что как раз и может быть обусловлено разницей природно-климатических условий региона произрастания культуры.

Для защиты винограда от вредителей широко используются пиретроиды. Нами были отмечены различия в деградации разных пиретроидов в климатических зонах, отличающихся температурными и влажностными показателями (табл. 3).

Табл. 3. Динамика разложения пиретроидов (50 г/л) в винограде в зависимости от почвенно-климатической зоны в 2019 г.

Срок отбора проб после обработки	Содержание пиретроидов, мг/кг			
	Краснодарский край		Республика Крым	
	альфа-циперметрин	лямбда-цигалотрин	альфа-циперметрин	лямбда-цигалотрин
День обработки	0,93	0,253	1,40	0,315
10 дней	0,37	0,075	0,65	0,086
20 дней	0,22	0,010	0,21	0,008
30 дней	н.о.*	н.о.	0,09	н.о.
40 дней (ягоды, сок)	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.
*не обнаружено				

В пробах, отобранных в день обработки, содержание альфа-циперметрина в Краснодарском крае превышало МДУ (0,5 мг/кг) в 1,9 раза, в Республике Крым – в 2,8 раза, лямбда-цигалотрина (МДУ – 0,15 мг/кг) соответственно в 1,7 и 2,1 раза. Концентрация обоих пиретроидов в винограде в Краснодарском крае через 10 дней после обработки снизилась в 3 раза, в Республике Крым – в 2 раза. Кроме того, в Крыму скорость деградации альфа-циперметрина была ниже, чем в Краснодарском крае, и полное его разложение было зафиксировано только на 30 день после обработки. На увеличении скорости деградации обоих пиретроидов сказались более высокая температура и меньшая влажность воздуха в период проведения эксперимента в Краснодарском крае.

Принимая во внимание низкую транслокацию остатков альфа-циперметрина в различных частях растения и липофильные свойства его активного вещества, можно было предположить, что он долго сохраняется на обработанной поверхности. При исследовании метаболизма циперметрина на листовом салате, через 21 день после обработки, растения содержали в основном неизмененное действующее вещество (33 % от исходной концентрации) [12]. В других влажных матрицах (томат,

огурец, рапс, капуста и перец) альфа-циперметрин разлагается с периодом полураспада всего 2,8...8,9 дня [13]. В нашем случае, при исследовании деградации альфа-циперметрина на винограде, через 20 дней после обработки, в ягодах из Крыма и Краснодарского края сохранялось 15,0 % и 23,6 % действующего вещества от исходной концентрации, соответственно, а период полураспада находился в пределах 5...9 дней в зависимости от региона.

Лямбда-цигалотрин относится к стабильным соединениям и не смывается дождем, так как быстро, в течение часа, проходит через кутикулу листа. Но на эффективность применения препарата влияет температура. Период полураспада лямбда-цигалотрина на поверхности растений составляет 5 дней [14]. По результатам наших исследований период полураспада также составил около 5 дней в обоих регионах.

Кроме температуры и влажности на поведение пестицидов могут влиять такие факторы, как интенсивность и количество осадков, препаративная форма пестицидов, водорастворимость пестицидов и др.

Таким образом, природно-климатические условия оказывают значительное влияние на деградацию пестицидов, используемых для защиты винограда от болезней и вредителей. Жаркая погода с недостаточной относительной влажностью воздуха ускоряет разложение боскалида в винограде. Деградация фенпироксимата происходит быстрее при повышенной влажности воздуха при практически одинаковых среднемесячных температурах. Высокая температура и низкая влажность воздуха в Краснодарском крае увеличивает скорость деградации лямбда-цигалотрина и альфа-циперметрина.

В целом при выборе препаратов для защиты культур от вредителей в жаркий период следует исключить действующие вещества с низкой устойчивостью к высоким температурам. Для достижения высокой биологической эффективности и производства экологически безопасной продукции в таких условиях следует обратить внимание на инсектициды из группы пиретроидов.

Литература

1. *An overview on common aspects influencing the dissipation pattern of pesticides: a review* / W. Farha, A. M. Abd El-Aty, M. M. Rahman, et al. // *Environmental Monitoring and Assessment*. 2016. Vol. 188. No. 12. P. 693. URL: https://www.researchgate.net/publication/310838655_An_overview_on_common_aspects_influencing_the_dissipation_pattern_of_pesticides_a_review (дата обращения: 08.08.2021). doi: 10.1007/s10661-016-5709-1.
2. *Влияние температуры на эффективность препаратов* // *Союзagroхим*. URL: <https://s-ah.ru/documents/articles-and-publications/163> (дата обращения: 30.03.2022).
3. *Influence of meteorological conditions on the residual content of pesticides in plants* / M. O. Petrova, T. D. Chermenskaya, A. S. Komarova, et al. // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2021. Vol. 937. 042032. URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/937/4/042032> (дата обращения: 01.02.2022). doi: 10.1088/1755-1315/937/4/042032.
4. *Комарова А. С., Человечкова В. В. Динамика разложения ацетамиприда в ягодах и соке винограда* // *Российская сельскохозяйственная наука*. 2021. № 1. С. 26–28. doi: 10.31857/S2500262721010063.
5. *Петрова М. О., Черменская Т. Д. Поиск остаточных веществ пестицидов в сельскохозяйственной продукции – путь к безопасному продовольствию* // *Биосфера*. 2019. Т. 11. № 1. С. 40–47. doi: 10.24855/biosfera.v11i1.468.
6. *Погода и климат Краснодарского края* // *Северный Кавказ*. URL: <http://severnykavkaz.ru/pogoda-krasnodarskogo-kraya> (дата обращения: 30.03.2022).
7. *Климат и погода Ростовской области* // *Северный Кавказ*. URL: <http://severnykavkaz.ru/klimat-i-pogoda-rostovskoj-oblasti> (дата обращения: 30.07.2021).
8. *Ergina E. I., Zhuk V. O. Spatiotemporal variability of the climate and dangerous hydrometeorological phenomena on the Crimean Peninsula*. // *Russian Meteorology and Hydrology*. 2019. Vol. 44. Iss. 7. P. 494–500. <https://doi.org/10.3103/S1068373919070082>
9. *Dissipation pattern and residual levels of boscalid in cucumber and soil using liquid chromatography-tandem mass spectrometry* / Y. He, M. Meng, W. K. Yohannes, et al. // *Journal of Environmental Science and Health, Part B. Pesticides, Food Contaminants, and Agricultural Wastes*. 2020. Vol. 55. No. 4. P. 388–395. doi: <https://doi.org/10.1080/03601234.2019.1706374>.
10. *A World Compendium. The pesticide manual*. 19th edition. BCPC. 2021. 1400 p.
11. *Abd Al-Rahman S. H., Almaz M. M., Osama I. A. Determination of degradation rate of acaricide fenpyroximate in apple, citrus, and grape by HPLC-DAD* // *Food Analytical Methods*. 2012. Vol. 5. No. 2. P. 306–311. doi: <https://doi.org/10.1007/s12161-011-9243-z>.
12. *The metabolism of cypermethrin in plants: The conjugation of the cyclopropyl moiety* / A. N. Wright, T. R. Roberts, A. J. Dutton, et al. // *Pesticide Biochemistry and Physiology*. 1980. Vol. 13. P. 71–80. doi: [https://doi.org/10.1016/0048-3575\(80\)90084-X](https://doi.org/10.1016/0048-3575(80)90084-X).
13. *Enantioselective degradation of the chiral alpha-cypermethrin and detection of its metabolites in five plants* / G. Yao, J. Gao, C. Zhang, et al. // *Environmental Science and Pollution Research*. 2019. Vol. 26. P. 1558–1564. doi: 10.1007/s11356-018-3594-6.
14. *The Rapid Degradation of Lambda-Cyhalothrin Makes Treated Vegetables Relatively Safe for Consumption* / R. Djouaka, M. F. Soglo, M. O. Kusimo, et al. // *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2018. Vol. 15. No. 7. P. 1536. URL: https://www.researchgate.net/publication/326555832_The_Rapid_Degradation_of_Lambda-Cyhalothrin_Makes_Treated_Vegetables_Relatively_Safe_for_Consumption. (дата обращения: 11.12.2021). doi: 10.3390/ijerph15071536.

Поступила в редакцию 11.01.2022
После доработки 31.01.2022
Принята к публикации 05.04.2022

БИОТЕХНОЛОГИЯ В СОЗДАНИИ СОРТОВ ЯРОВОГО ЯЧМЕНЯ

И.Н. Щенникова, член-корреспондент РАН, О.Н. Шуплецова, доктор биологических наук, Л.П. Кокина, кандидат сельскохозяйственных наук

Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока им. Н.В. Рудницкого,
610007, Киров, ул. Ленина 166 а
E-mail: i.schennikova@mail.ru

Исследования проводили в условиях Кировской области. Оценивали селекционный потенциал нового сорта ячменя регенерантного происхождения Диалог (550-08), созданного на основе гибридной комбинации сортов Valeta (к-22345, Нидерланды) и Lulu (к-25169, Германия). Ячмень вводили в культуру in vitro, индуцировали каллус и проводили последовательный отбор каллусных линий на кислых (рН 3,8) селективных средах с ионами алюминия с последующей регенерацией растений. Семенное потомство растений-регенерантов служило исходным материалом для проведения дальнейшего клеточного отбора. В результате трехэтапной клеточной селекции на фоне повышающегося градиента концентрации ионов алюминия (20 и 40 мг/л) с внесением 1,0 мг/л абсцизовой кислоты в качестве иммуномодулятора получены регенерантные линии, которые изучали в лабораторных, вегетационных и полевых опытах. Сравнительный анализ проводили относительно стандартов (Биос 1 и Белгородский 100) и алюмотолерантного сорта Новичок. Регенерантные линии имели преимущество в условиях алюмокислого стресса. В водной культуре индекс длины корней у них был равен 1,17, при 0,80 у исходной формы и 0,84 у стандарта. В вегетационных опытах преимущество регенерантной линии над стандартом по урожайности составляло 0,66 т/га (90,4 %), в полевых испытаниях – 0,85 т/га (97,6 %). Создан сорт ячменя регенерантного происхождения, характеризующийся высокими адаптивными свойствами в условиях кислых дерново-подзолистых почв Кировской области, в том числе при недостатке влаги: высокой урожайностью, хорошими технологическими свойствами зерна и умеренной устойчивостью к гельминтоспориозным пятнистостям листьев и корневым гнилям.

BIOTECHNOLOGY IN THE CREATION OF SPRING BARLEY VARIETIES

Shchennikova I.N., Shupletsova O.N., Kokina L.P.

Federal Agrarian Scientific Center of the North-East of N.V. Rudnitsky,
610007, Kirov, ul. Lenina 166 а
E-mail: i.schennikova@mail.ru

The studies were carried out on the basis of the Federal Research Center of the North-East (Kirov). The breeding potential of a new barley variety of regenerated origin Dialogue (550-08), created on the basis of a hybrid combination of varieties Valeta (k-22345, the Netherlands) and Lulu (k-25169, Germany), was evaluated. Barley was introduced into in vitro culture, callus was induced, and callus lines were sequentially selected on acidic (pH 3.8) selective media with aluminum ions, followed by plant regeneration. The seed progeny of regenerated plants served as the starting material for further stages of cell selection. As a result of a three-stage cell selection against the background of an increasing concentration gradient of aluminum ions (20 and 40 mg/l) and the introduction of 1.0 mg/l of abscisic acid as an immunomodulator, regenerative lines were obtained, which were studied in laboratory, vegetation and field experiments. A comparative analysis was carried out with respect to the standards (Bios 1 and Belgorodsky 100) and the aluminum tolerant variety Novichok. Regenerated lines had an advantage under conditions of alumina stress: in aquatic culture in terms of the development of the root system (root length index: 1.17 – regenerating, 0.80 – original form, 0.84 – standard); in vegetation experiments, the yield exceeded the standard by 0.66 t/ha (90.4%), in field trials – 0.85 t/ha (97.6%). A variety of barley of regenerative origin has been created, which is characterized by high adaptive properties in the conditions of acid soddy-podzolic soils of the Kirov region, incl. with a lack of moisture: high yield, good technological properties of the grain and moderate resistance to Helminthosporium leaf spots and root rot.

Ключевые слова: каллус, клеточная селекция, регенерант, алюмоустойчивость, урожайность, адаптивность, качество зерна, устойчивость к болезням

Key words: callus, cell selection, regenerating, aluminum resistance, yield, adaptability, grain quality, disease resistance

Стабильное производство зерна в любой стране или регионе базируется на использовании новейших селекционных достижений. Приволжский федеральный округ (ПФО) один из основных центров производства зерна в РФ, на долю которого приходится 22 % его валового сбора. В целом по ПФО основные площади зернового клина заняты яровой пшеницей, однако в Кировской области первенство принадлежит яровому ячменю. Это проверенная, высоконадёжная культура, которая максимально использует свой биологический потенциал для формирования устойчивых урожаев. Последние годы в Кировской области наблюдается тенденция увеличения площади, занятой ячменем, и в 2021 г. она достигла 100,5 тыс. га [1].

Растения ячменя требовательны к почвенным условиям, имеют слаборазвитую корневую систему, которая размещается, в основном, в пахотном слое по-

чвы [2]. Культура не переносит кислую реакцию почвы и особенно присутствие в почвенном растворе ионов алюминия. Критическое содержание подвижных форм этого минерального элемента, при превышении которого происходит гибель растений, составляет 8...10 мг/100 г почвы [3].

В структуре почвенного покрова Кировской области 76 % пашни приходится на дерново-подзолистые почвы [4]. Это обуславливает наличие больших площадей с высокой степенью кислотности. По результатам последнего цикла агрохимического обследования из 736 тыс. га посевных площадей Кировской области, на кислые почвы приходится 74,6 %, на почвы с низким содержанием фосфора – 26,1 %, калия – 24,5 %, гумуса – 50 %. Деградацию почв связывают с практически полным прекращением проведения мероприятий по известкованию и фосфоритованию кислых почв, значительным

снижением внесения органических и минеральных удобрений [5].

В современных селекционных программах пристальное внимание уделяется созданию адаптивных селекционных форм, которые в условиях нестабильности агроклиматических ресурсов способны формировать экономически значимую урожайность [6, 7, 8]. Совместно с пластичными, широко распространенными сортами, необходимо осуществлять адресную селекцию для конкретных почвенно-климатических и экономических условий [9]. Создание таких регионспецифичных сортов ярового ячменя для условий Волго-Вятского региона успешно ведется в ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока имени Н.В. Рудницкого [10].

Использование методов прикладной биотехнологии в сочетании с гибридизацией и отбором – перспективное направление интенсификации селекционного процесса [11, 12]. Хорошо разработанная система «растение-клетка *in vitro*-растение» открывает возможности для решения многих проблем практической селекции [13]. Для получения генотипов с необходимыми признаками эффективно использование клеточной селекции – культивирование клеток и тканей на искусственных питательных средах со стрессовым фактором в зависимости от конкретной селекционной задачи. Однако на сегодняшний день не существует универсальных методик проведения отбора *in vitro* для разных видов растений к различным стрессорам [14, 15, 16]. Кроме того, широкому применению клеточной селекции препятствует длительная нестабильность проявления целевых признаков у семенных потомств растений-регенерантов [17, 18]. Поэтому необходима их комплексная оценка в условиях *in vivo*, а также выявление связей между продуктивными признаками регенерантов и используемыми при их получении условиями отбора в каллусной культуре.

Цель исследований – оценка селекционного и хозяйственного потенциала нового сорта ячменя регенерантного происхождения.

Методика. Работу проводили на базе ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока (г. Киров). Объектами исследования служили генотипы ярового ячменя (*Hordeum vulgare* L.): сорт регенерантного происхождения 550-08, первоначально индуцированный в каллусной культуре с применением разработанных ранее методов, и алюмотолерантный сорт ячменя гибридного происхождения Новичок. В качестве стандарта использовали рекомендованные Государственной комиссией по сортоиспытанию сорта Биос 1 и Белгородский 100. Для создания генотипов ячменя, устойчивых к ионной токсичности алюминия в условиях кислых почв, в каллусной культуре на селективных средах получали растения-регенеранты, семенное потомство которых оценивали в лабораторных и вегетационных опытах [19].

Для определения уровня относительной алюмоустойчивости в лабораторных опытах в условиях рулонной культуры оценивали ИДК (индекс длины корней) как отношение средней длины корней при наличии стрессового фактора (рН 3,8, Al³⁺ 20 мг/л) к средней длине корней при его отсутствии (рН 6,0, Al³⁺ 0 мг/л). Вегетационные испытания проводили в сосудах (5...7 л) с дерново-подзолистой почвой в следующих вариантах: 1 – рН 6,0 Al³⁺ 0 мг/100 г почвы; 2 – рН 4,3; Al³⁺ 2,1 мг/100 г почвы; 3 – рН 3,8 Al³⁺ 8,7 мг/100 г почвы; 4 – рН 3,7 Al³⁺ 21 мг/100 г почвы.

Полевые наблюдения, оценки и учет урожая осуществляли в соответствии с методикой Госкомиссии по сортоиспытанию сельскохозяйственных культур [20]. Изучение проводили в конкурсном сортоиспытании

на делянках с учетной площадью 10 м², в 4-х кратной повторности. Посевы располагались в селекционном севообороте. Почва опытных участков типичная для Кировской области дерново-подзолистая с низким содержанием гумуса, небольшой мощностью пахотного горизонта в значительной части с низкой рН. Основную и предпосевную обработку почвы осуществляли в соответствии с зональными рекомендациями [21, 22] Посев проводили в оптимально ранние сроки, минеральные удобрения вносили перед посевом в дозе N₄₈P₁₀K₁₄.

В целом почвенно-климатические условия способствовали выявлению потенциальных возможностей сортов (табл. 1). В 2018–2020 гг. во все межфазные периоды, за исключением «выход в трубку – колошение», складывались близкие к оптимальным по влагообеспеченности (1,0 ≤ ГТК ≥ 2,0) условия вегетации, что способствовало проявлению потенциальных возможностей сортов. Условия вегетации 2021 г. позволили оценить стрессоустойчивость генотипов, поскольку от фазы «всходы» до фазы «колошение» отмечали дефицит осадков (0 ≤ ГТК ≤ 0,83).

Табл. 1. Условия вегетации (ГТК) сортов ячменя

Сорт	ГТК в период			
	всходы– кущение	кущение– выход в трубку	выход в трубку– колошение	коло- шение– созревание
2018–2020 гг.				
Белгородский 100, стандарт	1,10	2,30	0,74	1,56
Новичок	1,10	2,67	0,54	1,55
Диалог	1,14	2,15	0,55	1,61
2021 г.				
Белгородский 100, стандарт	0,65	0*	0,83	1,60
Новичок	0,62	0,22	0,82	1,65
Диалог	0,62	0*	0,49	1,72

*осадки не выпадали

Экологическую стабильность сортов оценивали в соответствии с методикой, описанной А.А. Гончаренко [23], согласно которой разность между минимальной и максимальной урожайностью сорта за годы изучения ($Y_{\min} - Y_{\max}$). Этот показатель имеет отрицательный знак и отражает уровень устойчивости сорта к стрессовым факторам, чем меньше разрыв между значениями, тем выше стрессоустойчивость сорта. Средняя урожайность сорта в контрастные по условиям вегетации годы ($(Y_{\min} - Y_{\max})/2$) характеризует генетическую гибкость сорта, чем выше соответствие между генотипом и различными факторами среды, тем больше величина этого показателя.

Для оценки влагообеспеченности в период вегетации растений, использовали гидротермический коэффициент (ГТК), вычисляемый по формуле:

$$ГТК = \Sigma P / \Sigma T \cdot 0,1$$

где ΣP – сумма осадков за рассматриваемый период, мм; ΣT – сумма активных температур выше 10 °С, накопившихся за тот же период уменьшенная в 10 раз, °С.

Математическую обработку полученных результатов осуществляли статистическими методами в изложении Б.А. Доспехова [24].

Результаты и обсуждение. Регенерантная линия 550-08 была получена в процессе разработки оптимальных селективных систем *in vitro* для индукции новых стрессоустойчивых генотипов со стабильным целевым признаком алюмоустойчивости. Исходной формой

служила гибридная линия, созданная с участием коллекционных образцов ячменя *Valletta* (к-22345, Нидерланды) и *Lulu* (к-25169, Германия), которая характеризовалась чувствительностью к токсичности алюминия на кислых почвах. Ячмень вводили в культуру *in vitro*, индуцировали каллус и проводили отбор каллусных линий на кислых селективных средах с ионами алюминия с последующей регенерацией растений. Семенное потомство растений-регенерантов служило исходным материалом для проведения последующих этапов клеточного отбора. Первоначально осуществляли селекцию каллуса в присутствии 20 мг/л Al^{3+} и pH 3,8 (табл. 2). В этих условиях погибло более половины каллусной ткани при невысокой частоте регенерации (12,4 %), а способность к каллусогенезу даже в контрольных условиях (в отсутствие ионной токсичности алюминия) не превышала 50 %. Таким образом, наблюдали совпадение реакции на стресс условий *in vivo* / *in vitro*.

Табл. 2. Влияние кратности отборов *in vitro* в алюмокислых условиях на параметры развития каллусной культуры ячменя

Генотип (происхождение)	Параметр развития каллусной культуры		
	условия отбора <i>in vitro</i>	выживаемость, %	частота регенерации, %
<i>Valletta</i> × <i>Lulu</i>	исходный генотип	—	—
173-85 (RA <i>Valletta</i> × <i>Lulu</i>)	20 мг/л Al^{3+} (pH 3,8)	44,8	12,4
530-98 (RA 173-85)	40 мг/л Al^{3+} (pH 3,8)	67,9	25,6*
550-08 (RA 530-98)	40 мг/л Al^{3+} (pH 3,8) + 1,0 мг/л абсцизовая кислота	62,5	50,0

Изолированные зародыши с растений-регенерантов (линия 173-85) вводили в культуру *in vitro*, а индуцированный каллус помещали на селективные среды с удвоенной концентрацией Al^{3+} (40 мг/л) при сохранении кислотности (pH 3,8). При повторном введении регенерантов ячменя в культуру *in vitro* способность незрелых зародышей к каллусогенезу, а также толерантность к алюмокислотному стрессу индуцированных из них каллусов и регенерированных из них растений существенно повышалась: выживаемость каллуса – в 1,5 раз; регенерационная способность – в 1,8 раз (при $P > 0,99$). Полученная на этом этапе регенерантная линия 530-98 была передана в коллекцию ВИР в качестве генетического источника толерантности к повышенному содержанию в почве ионов водорода и алюминия. Очевидно, при первом культивировании изолированных зародышей происходил негативный отбор по признакам способности к каллусогенезу и регенерации. Поэтому клеточную селекцию генотипов с низкими стрессоустойчивостью и способностью к каллусогенезу целесообразно проводить в несколько этапов [14].

На третьем этапе отборов в селективные среды дополнительно в качестве неспецифического иммуномодулятора вносили абсцизовую кислоту в количестве 1,0 мг/л. Известно, что экзогенное внесение этого фитогормона повышает активность морфогенетических процессов каллусной ткани ячменя в присутствии стрессоров различной природы [14]. В результате такой многоэтапной клеточной селекции была создана линия 550-08.

Дальнейшая оценка регенерантных линий в лабораторных и вегетационных опытах подтвердила эффективность используемых методов *in vitro*. В условиях водной культуры было установлено, что длина корневой системы регенеранта 530-98 на стрессовом фоне была достоверно больше, чем в отсутствие стресса и, соответственно, их соотношение (ИДК) превышало единицу. Кроме того, величина ИДК у линии 530-98 было существенно (на 0,37 единиц) больше, чем у 173-85 и стандарта (рис. 1).

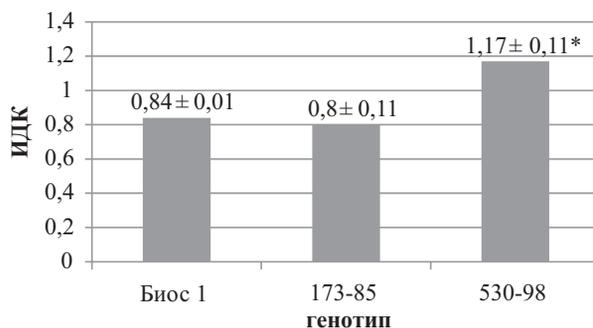


Рис. 1. Оценка алюмоустойчивости (ИДК) регенерантных линий ячменя в водной культуре (*достоверно отличается от стандарта при $P \geq 0,95$).

В вегетационных опытах толерантность к токсическому действию ионов водорода и алюминия регенеранта 530-98 проявлялась при усилении эдафического стресса. При благоприятных условиях выращивания (pH 6,0) и отсутствии свободных ионов алюминия в почвенном растворе отмечали преимущество стандарта (+0,24 т/га, 4,5 %).

Усиление почвенного стресса повлияло на урожайность обоих сортов (рис. 2). В условиях повышенной кислотности и невысокого содержания ионов алюминия в почвенном растворе (вариант 2), она была равной и составляла 5,0 т/га. Дальнейшее ухудшение условий произрастания (вариант 3) вызвало существенное снижение урожайности у стандарта и незначительное её повышение у RA 530-98, относительно предыдущего варианта, в итоге урожайность регенеранта была на 1,37 т/га (35,8 %) выше, чем у стандарта. Явное преимущество регенеранта проявилось при увеличении содержания алюминия в почвенном растворе до 21 мг/100 г почвы (4 вариант), превышение урожайности, по отношению к стандарту, составляло 0,66 т/га (90,4 %).

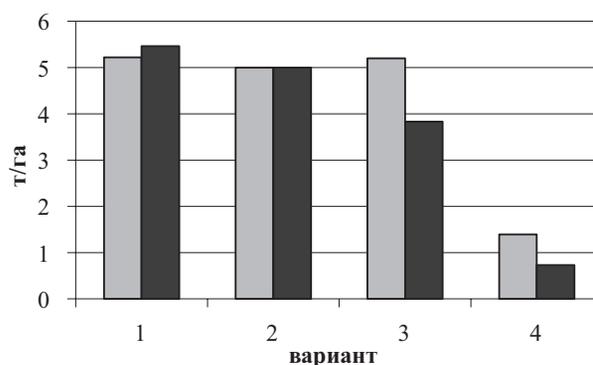


Рис. 2. Влияние условий выращивания на урожайность сортов ячменя: 1 – pH 6,0 Al^{3+} 0 мг/100 г почвы; 2 – pH 4,3; Al^{3+} 2,1 мг/100 г почвы; 3 – pH 3,8 Al^{3+} 8,7 мг/100 г почвы; 4 – pH 3,7 Al^{3+} 21 мг/100 г почвы; ■ – RA 530-98; ■ – стандарт.

Табл. 3. Характеристика сортов ячменя по дополнительному сбору зерна относительно стандарта

Сорт	Прибавка к стандарту, т/га				
	2018 г.	2019 г.	2020 г.	2021 г.	средняя
Диалог	+0,05	+0,63	+0,51	+1,40	+0,85
Новичок	-0,46	-0,58	+1,05	+0,83	+0,43
НСР ₀₅	0,67	0,61	0,69	0,39	–

Адаптационное свойство некоторых алюмотолерантных сортов ячменя повышать урожайность при наличии небольшого содержания ионов алюминия в почвенном растворе, относительно известкованного фона, ранее уже отмечали [20] в вегетационных опытах на сортах ячменя Новичок, Фермер и др.

В результате последующих отборов *in vitro* была получена линия 550-08 (см. табл. 2). По итогам полевой оценки, включающей всю схему селекционного процесса для самоопылителей, ее выделили по ряду селекционно-ценных признаков и урожайности и подготовили для передачи на государственное сортоиспытание под рабочим названием Диалог.

Ботаническая характеристика перспективного сорта Диалог (550-08). Разновидность *nutans*. Форма куста – полупрямостоячая-промежуточная. Опушение листовых влагалищ нижних листьев отсутствует. Антоциановая окраска ушек и стеблевых узлов имеется. Соломина полая, средней толщины, прочная. Колос двурядный, цилиндрической формы, со слабым восковым налетом, средней длины и плотности, полупрямостоячий, соломенно-желтый. Ости длинные, зазубренные по всей длине, соломенно-желтые. Переход цветковой чешуи в ость постепенный. Опушение основной щетинки зерновки длинное.

Продолжительность вегетационного периода перспективного сорта находилась на уровне среднеспелого стандарта Белгородский 100 (83±8 дней, НСР₀₅=3 дня, $r=1,25\%$) и в среднем за годы изучения составляла 86±6 дней. По времени наступления фаз развития существенных различий между сортами не отмечали.

Установлена достоверная корреляционная связь между значением ГТК в период «выход в трубку-колошение» и урожайностью ($r = 0,520$) ячменя. У перспективного сорта Диалог и сорта Новичок период «выход в трубку-колошение» проходил при явном недостатке влаги, что не помешало им проявить адаптационные свойства, сформировав более высокую, чем у стандарта, урожайность. Ранее была установлена способность линии 550-08 формировать мощную корневую систему при дефиците влаги. Так, в 2016 г. в условиях жесткой засухи на протяжении всего вегетационного периода у нее отмечали в среднем 9,1 корень/раст. (при 3,7 шт. у стандартного сорта, НСР₀₅=2,4 корня/раст.), что обеспечило высокую сохранность растений к уборке (87,3 %, против 74,3 % у стандарта, НСР₀₅=7,9%) и, соответственно, большую урожайность. Высокие адаптивные свойства перспективного сорта Диалог подтвердились в 2021 г., когда в условиях засухи, которая продолжалась в течение всего межфазного периода «кущение – колошение» (см. табл. 1), его урожайность была выше, чем у стандарта, на 1,40 т/га (табл. 3).

По результатам оценки адаптивности и экологической пластичности регенерант отличался наименьшей разностью между максимальной и минимальной урожайностью, что характеризовало его высокую стрессоу-

стойчивость, относительно стандарта и сорта Новичок. По средней урожайности в контрастные по условиям вегетации годы он также продемонстрировал преимущество перед стандартом (табл. 4).

Табл. 4. Адаптивный потенциал сортов ячменя (2018–2020 гг.), т/га

Сорт	Показатель			
	Y _{min}	Y _{max}	Y _{min} -Y _{max}	(Y _{min} -Y _{max})/2
Белгородский 100, стандарт	1,48	6,18	-4,70	3,83
Диалог	2,88	6,69	-3,81	4,79
Новичок	2,31	7,23	-4,92	4,77

Перспективный сорт Диалог формировал зерно с хорошими технологическими свойствами: натура – 662 г/л, выровненность – 93,2 %, содержание сырого протеина в зерне – 10,9 %, крахмала – 50,7 %, жира – 1,7 %, клетчатки – 3,33 %. Оценка на инфекционно-провокационном фоне, проведенная в лаборатории иммунитета и защиты растений ФАНЦ Северо-Востока, характеризует его как умеренно устойчивый к гелиминтоспориозным пятнистостям листьев (степень поражения сетчатой пятнистостью 15,0 %, темно-бурой – 16,3 %; при величинах этих показателей у индикаторных сортов 29,0 и 50,0 % соответственно) и средне устойчивый к корневым гнилям (24,6 %, при 48,4 % у индикаторного сорта). В естественных полевых условиях отмечали слабое поражение пыльной головней (до 0,2%).

Таким образом, использование регенерантных линий ячменя позволяет усовершенствовать технологию селекционного процесса. Создан новый перспективный сорт ярового ячменя регенерантного происхождения Диалог (550-08), характеризующийся высокой урожайностью в условиях эдафического стресса, хорошими технологическими свойствами зерна и умеренной устойчивостью к болезням. Его высокие адаптивность и экологическая пластичность обусловлены фактом отборов алюмоустойчивых форм на стадии каллуса в селективных системах *in vitro*, что подтверждает эффективность применяемых методов клеточной селекции.

Литература.

1. Генералов И.Г. Тенденции развития зернового хозяйства в Приволжском федеральном округе // Вестник НГИЭИ. 2019. № 1 (92). С. 129–138.
2. Родина Н.А. Селекция ячменя на Северо-Востоке Нечерноземья. Киров, 2006. 488 с.
3. Дзюин Г.П., Дзюин А.Г. Урожайность ячменя в зависимости от уровня плодородия дерново-подзолистой суглинистой почвы // Вестник Марийского государственного университета. Серия «Сельскохозяйственные науки. Экономические науки». 2016. Т. 2. № 4 (8). С. 16–21.
4. О состоянии окружающей среды Кировской области в 2019 году: Региональный доклад / Под общей редакцией А.В. Албеговой. Киров: Министерство охраны окружающей среды Кировской области, 2020. 208 с.
5. Молодкин В.Н., Бусыгин А.С. Плодородие пахотных почв Кировской области // Земледелие. 2016. №8. С. 16-18.
6. Баталова Г.А. Состояние и перспективы селекции и возделывания зернофуражных культур в России // Зерновое хозяйство России. 2011. №3. С.15-22.
7. Оценка качественных показателей зерна сортов и линий ярового ячменя / Л.М. Ерошенко, М.М. Ро-

- махин, А.Н. Ерошенко и др. // *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2019. №20(2). С. 126-133.
8. Носков А.Н., Батакова О.Б., Корелина В.А. Сравнительная оценка гибридных форм ярового ячменя по урожайности и адаптивным свойствам в условиях северного региона РФ // *Земледелие*. 2022. №1. С. 35-38.
 9. Марухняк А.Я. Оценка адаптивных особенностей сортов ярового ячменя. *Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии*. 2018. №1. С. 67–72.
 10. Щенникова И.Н., Кокина Л.П. Приоритетные направления и некоторые результаты селекции ярового ячменя в Волго-Вятском регионе // *Известия Самарского научного центра Российской академии наук*. 2018. Т.20. №2(2). С. 214-219.
 11. Егорова Н.А., Ставцева И.В. Использование биотехнологических методов для создания исходного селекционного материала у некоторых эфиромасличных растений // *Труды Кубанского государственного аграрного университета*. 2016. №. 59. С. 122-131.
 12. Расторгуев С.Л., Квочкин А.Н., Соловых Н.В. Применение методов биотехнологии в агропромышленном секторе страны // *Достижения науки и техники АПК*. 2010. №. 12. С. 8-9.
 13. Кильчевский А.В. Генетико-экологические основы селекции растений // *Информационный вестник ВОГИС*. 2005. Т.9. №5. С. 518-526.
 14. Induced dedifferentiation of barley (*Hordeum vulgare* L.) embryonic cells and its relationship with agronomic traits / R. Naseri, K. Cheghamirza, L. Zarei, et al. // *Cell Mol Biol (Noisy le Grand)*. 2017. Vol. 63. P. 11-19.
 15. Highly efficient and genotype-independent barley gene editing based on anther culture / Y. Han, S. Broughton, L. Liu, et al. // *Plant Communications*. 2021. Vol. 2. No 2. P.1-13. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S259034622030105X?via%3Dihub> (дата обращения: 10.02.2022) doi: 10.1016/j.xplc.2020.100082.
 16. A cell death assay in barley and wheat protoplasts for identification and validation of matching pathogen AVR effector and plant NLR immune receptors // I. Saur, S. Bauer, X. Lu, et al. // *Plant Methods*. 2019. Vol. 15. No. 118. P. 1-17. URL: <https://plantmethods.biomedcentral.com/articles/10.1186/s13007-019-0502-0> (дата обращения: 09.02.2022) doi: 10.1186/s13007-019-0502-0.
 17. Никитина Е.Д., Хлебцова Л.П., Ерещенко О.В. Разработка отдельных элементов технологии клеточной селекции яровой пшеницы на устойчивость к абиотическим стрессам // *Известия Алтайского государственного университета*. 2014. Т.2. №.3. С. 50-54.
 18. Рожанская О.А., Горшкова Е.М. Культура *in vitro* как источник биоразнообразия для селекции сои // *Сибирский вестник сельскохозяйственной науки*. 2019. Т. 49. №. 4. С. 24-31.
 19. Шуплецова О.Н. Селективные системы *in vitro* для получения генотипов ячменя с комплексной устойчивостью к почвенным стрессовым факторам: дис. ... докт. биол. наук. М., 2019. 291 с.
 20. Методика Госкомиссии по испытанию сельскохозяйственных культур. – М.: Калининская областная типография, 1985. 389 с.
 21. Popov F.A., Noskova E.N., Kozlova L.M. Effectiveness of various elements of grain cultivation technology // *BIO Web of Conferences*. 2021. Vol. 36. article 07001. URL: https://www.bio-conferences.org/articles/bioconf/abs/2021/08/bioconf_fsraaba2021_07001/bioconf_fsraaba2021_07001.html (дата обращения: 15.02.2022). doi: 10.1051/bioconf/20213607001
 22. Дёмишин С.Л. Техника для обработки почвы и посева в условиях Евро-Северо-Востока России. *Инновации в сельском хозяйстве*. 2016. №3(18). С. 17-24.
 23. Гончаренко А.А. Об адаптивности и экологической устойчивости сортов зерновых культур // *Вестник Российской академии сельскохозяйственных наук*. 2005. №6. С. 49-53.
 24. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). М.: Агрпромиздат. 1985. 351 с.

Поступила в редакцию 09.03.2022
 После доработки 14.04.2022
 Принята к публикации 11.05.2022

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МАРКЕРНОГО ПРИЗНАКА В СЕЛЕКЦИИ КОЗЛЯТНИКА ВОСТОЧНОГО (*GALEGA ORIENTALIS* LAM.)

В.Н. Золотарев, кандидат сельскохозяйственных наук, **И.А. Клименко**, кандидат сельскохозяйственных наук, **В.М. Косолапов**, доктор сельскохозяйственных наук, академик РАН, **В.Л. Коровина**, старший научный сотрудник, **Антонов А.А.**, младший научный сотрудник

Федеральный научный центр кормопроизводства и агроэкологии
имени В.Р. Вильямса,
141055, Московская обл., Лобня, ул. Научный городок, корп. 1
E-mail: semvik@vniikormov.ru

По состоянию на 2021 г. в Государственном реестре селекционных достижений зарегистрировано 17 сортов козлятника восточного (*Galega orientalis* Lam.). Все они были созданы методами массового и индивидуального отбора для конкретных условий из интродуцированных дикорастущих популяций или сорта Гале. В результате использования исходного материала на основе общей генетической базы большинство из них по морфологическим характеристикам в целом однотипны. В связи с этим очень актуальны проблемы идентификации сортов, защиты авторских прав и апробации семенных посевов для селекционеров. Существенно упростить ее решение может выведение сортов с маркерными морфологическими признаками. Одновременно в последние годы возрастает значение современных методов, основанных на использовании молекулярных ДНК-маркеров, как дополнение к традиционным способам оценки селекционного и сортового материала. Цель исследования – создать сорт козлятника восточного с маркерным фенотипическим признаком и провести молекулярно-генетический анализ по выявлению информативных ДНК-маркеров для сортовой идентификации. Для решения поставленной задачи из популяции сорта Гале были выделены растения с различной окраской цветков. Методом последовательного репродуцирования потомств в нескольких поколениях и негативного отбора, удалось стабилизировать розовоцветковую и белоцветковую популяции. В потомстве козлятника с розовой окраской цветков этот признак сохраняли 98 % растений. После конкурсного испытания популяция была зарегистрирована как сорт козлятника Вест с маркерным морфотипическим признаком. По кормовой и семенной продуктивности сорт Вест превосходит сорт Гале на 15...34 %. ПЦР-анализ с использованием 10 пар SSRs и 6...8 комбинаций SRAP-праймеров, в сравнении с синецветковой и белоцветковой популяциями, позволил определить две информативные комбинации SRAP-маркеров – ME3-EM4 и ME3-EM2, которые можно использовать в качестве дополнительного инструмента при сортовой ДНК-идентификации и создании генетического паспорта нового сорта.

APPLICATION OF MARKER TRAIT IN BREEDING OF FORAGE GALEGA (*GALEGA ORIENTALIS* LAM.)

Zolotarev V.N., Klimenko I.A., Kosolapov V.M., Korovina V.L., Antonov A.A.

Federal Williams Research Center of Forage Production & Agroecology
141055, Moskovskaya obl., Lobnya, ul. Nauchnyi gorodok, korp. 1
E-mail: semvik@vniikormov.ru

As of 2021, 17 varieties of forage galega (*Galega orientalis* Lam.) were registered in the State Register of Breeding Achievements. All of them were created by methods of mass and individual selection for specific conditions from introduced wild populations or varieties of Gale. As a result of using the source material on the basis of a common genetic base, most of the available varieties are generally of the same type in morphological characteristics. The problem of identification of varieties, copyright protection and testing of seed crops for breeders is one of the most urgent. A significant simplification of the solution of this problem is the breeding of varieties with marker morphological features. Along with this, in recent years, the importance of modern methods based on the use of molecular DNA markers has been increasing as an addition to traditional methods of evaluating breeding and varietal material. The aim of the work is to create a forage galega variety with a marker phenotypic trait and to conduct a molecular genetic analysis to identify informative DNA markers for varietal identification. To solve this problem, plants with different flower colors were isolated from the population of the Gale variety. By the method of successive reproduction of offspring in several generations and negative selection, it was possible to stabilize the pink-flowered and white-flowered populations. It was found that 98% of plants retained this feature in the progeny of forage galega with pink flowers. This population, after a competitive trial, was registered as a forage galega West variety with a marker morphotypic feature. In terms of feed and seed productivity, the West variety exceeds the Gale variety by 15-34%. PCR analysis using 10 pairs of SSRs and 6-8 combinations of SRAP primers in comparison with blue-flowered and white-flowered populations allowed us to identify two informative combinations of SRAP markers ME3-EM4 and ME3-EM2, which can be used as an additional tool for varietal DNA identification and the creation of a genetic passport of a new variety.

Ключевые слова: козлятник восточный (*Galega orientalis* Lam.), сорт, маркерный фенотипический признак, окраска цветков, молекулярно-генетическая характеристика.

Key words: forage galega (*Galega orientalis* Lam.), variety, marker phenotypic trait, flowers color, molecular and genetic characteristic.

На современном этапе развития кормопроизводства дополнительное повышение эффективности этой отрасли возможно в результате более широкого вовлечения в процесс хозяйственного использования ценных в кормовом отношении, но еще малораспространенных культур, обладающих высоким потенциалом продуктивности, технологичностью, устойчивостью к абиотическим стрессам и способностью к адаптации в различных

почвенно-климатическим условиях. Козлятник восточный, или галега восточная (*Galega orientalis* Lam.) выделяется среди других бобовых трав рядом морфобиологических и биогеоценотических особенностей и относится к группе растений, обладающих высокой биологической продуктивностью и экологической пластичностью [1, 2, 3]. Эта культура характеризуется адаптивностью, устойчивостью и непрехотливостью, высокой конкурентной

способностью в травосмесях и выносливостью, морозо- и зимостойкостью, засухоустойчивостью, повышенной азотфиксирующей способностью [4, 5, 6]. Вследствие высокой способности к адаптации в различных условиях козлятник восточный может возделываться в широком диапазоне почвенно-климатических условий [7, 8, 9].

Одно из условий повышения эффективности хозяйственного использования козлятника восточного – перманентный процесс создания и расширения сортиментария сортов, адаптированных к разным почвенно-климатическим условиям и технологическим требованиям. По состоянию на 2021 г. в Государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию на территории России, включено 17 сортов этой культуры. Первым с 1988 г. был зарегистрирован сорт Гале селекции ВНИИ кормов им. В.Р. Вильямса, выведенный массовым отбором из дикорастущей популяции, интродуцированной еще в 30-е гг. прошлого века из естественного ареала. В результате многолетнего отбора сформировалась популяция из наиболее акклиматизированных для условий Центрального Нечерноземья биотипов, которую в 1988 г. юридически оформили как сорт Гале [10]. В процессе культивирования семена популяции рассылали во многие научные учреждения и хозяйства по всей стране. Этот материал послужил основой для выведения новых сортов козлятника в разных агроклиматических зонах. Так, районированные сорта Горноалтайский 87, Ялгинский, Магистр и другие выведены методом массового отбора непосредственно из сорта Гале, полученного из коллекции ВНИИ кормов [10]. Сорта Кривич, Юбиляр и Талисман селекции Псковского НИИ сельского хозяйства также созданы с использованием исходного материала псковской репродукции сорта Гале [11]. Сорта Полеская, Нестерка, Садружнась, зарегистрированные в Госреестре Республики Беларусь, и сорта литовской селекции Vidmantai, Laukiai и Melsviai также получены методами массового и индивидуального отбора лучших растений из ранее интродуцированной популяции сорта [12, 13].

Козлятник восточный может быть классифицирован как культура с очень небольшим генетическим селекционным улучшением. Величина кормовой и семенной продуктивности районированных сортов галеги определяется в основном почвенно-климатическими условиями и технологиями возделывания, а не генетической базой [10]. Возделываемые ранее в производстве сорта галеги восточной в целом характеризуются незначительным разнообразием по морфологическим и хозяйственно-полезным признакам и свойствам. Фенотипически большинство сортов, созданных преимущественно методами отбора, характеризуются сине-фиолетовой окраской цветков и по этому признаку существенно не отличаются от растений из дикорастущих популяций [12].

В условиях рыночной конъюнктуры проблемы идентификации сортов, сохранения авторских прав, апробации семенных посевов и сбора роялти для селекционеров становятся очень актуальными. Сорт выступает в качестве рентаобразующего фактора, его создание требует существенных затрат времени, а также интеллектуальных и финансовых вложений [14]. Сорта относятся к важным объектам интеллектуальной собственности и жизненно важно, чтобы инновации в селекцию растений получали соответствующие материальные стимулы [15]. В связи с этим актуальна проблема разработки критериев новизны, отличности, однородности и стабильности (DUS) селекционных достижений в соответствии с конвенцией UPOV. Существенным упрощением решения этой задачи представляется селекция сортов с маркер-

ными признаками, которые визуально легко и надежно определимы и проявляются независимо от влияния условий среды [16, 17].

На сегодняшний день на отдельных культурах расширяются работы по сбору коллекций и выведению сортов с маркерными признаками. При этом обращается внимание на новые маркерные морфологические признаки, для установления корреляции между ними и хозяйственно-биологическими показателями, изучается их генетика [18]. Так, генетический анализ мутантных линий льна выявил доминантное моногенное наследование анатомических маркерных особенностей строения стебля растений и в результате взаимодействия неаллельных генов полигенный контроль по типу эпистаза окраски семян [19].

Цель исследований – создать сорт козлятника восточного с выраженным маркерным морфологическим признаком и хозяйственно-полезными свойствами, не уступающими районированному сорту Гале, и провести молекулярно-генетический анализ по выявлению информативных ДНК-маркеров для сортовой идентификации.

Методика. Работу выполняли в ФНЦ «ВИК им. В.Р. Вильямса» в 1993–2021 гг. в отделе генофонда и лаборатории семеноводства и семеноведения кормовых культур Сравнительный ПЦР-анализ проведен в лаборатории молекулярно-генетических исследований кормовых культур. Для решения поставленной задачи на начальном этапе в 1993 г. было проведено обследование старовозрастных (10...12 г.п.) посевов сорта Гале в фазе цветения с целью поиска биотипов с маркерными признаками по окраске цветков. Из травостоя были выделены растения с белой, розовоцветковой (сиреневой) и светло-голубой окраской цветков, а также комбинированной (например, типичной сине-фиолетовой паруса и крыльев, белой – лодочки и другие вариации и оттенки). Отобрано от 2 до 21 парциальных кустов козлятника с семью различными вариантами окраски цветков. Осенью этого же года выделенные биотипы пересадили в пространственно изолированные питомники с комплектованием по признакам окраски цветка для изучения возможности их закрепления при переопылении, оценки биологических и хозяйственно-полезных показателей популяций. Семена, выращенные в питомниках переопыления, репродуцировали в трех поколениях в условиях пространственной изоляции при непрерывном негативном отборе. Основной метод в селекции козлятника с маркерным признаком – направленный индивидуальный и массовый отбор по маркерным признакам при сохранении высоких показателей кормовой и семенной продуктивности исходного сорта.

Учеты и наблюдения, оценку сформированных популяций проводили в соответствии с методическими указаниями по селекции многолетних трав (М.: ВИК, 1985). Стандартом в конкурсном сортоиспытании на кормовую и семенную продуктивность служил сорт Гале. Размер делянок составлял 10 м², повторность – 4-х кратная.

Почва опытных участков дерново-подзолистая, среднесуглинистая с содержанием в пахотном слое (0...20 см) подвижных форм фосфора (по Кирсанову) – 112...150 мг/кг, обменного калия (по Масловой) – 108...112 мг/кг, гумуса (по Тюрину) – 2,36...2,47 %, рН_{сол} – 5,3...5,6. Минеральные удобрения в виде суперфосфата простого гранулированного (18 % P₂O₅) и калия хлористого (K₂O – 60 %) из расчета P45K90 вносили на участках с питомниками осенью раз в три года. Метеорологические условия в период проведения

исследований в отдельные годы отличались между собой и от среднемноголетних показателей (прохладные или с избыточным выпадением осадков вегетационные сезоны 2000, 2017 гг., но в основном засушливые или с повышенным температурным фоном при норме или избытке осадков – 2002, 2004, 2006, 2007, 2009, 2014 гг., аномально засушливые – 2010 и 2011 гг.) что дало возможность отобрать наиболее адаптивные образцы.

Для выявления особенностей нового сорта на генетическом уровне провели ПЦР-анализ, в котором для сравнительной оценки использовали исходный сорт Гале и селекционный белоцветковый образец, полученный в результате отбора и последующих пересевов для закрепления отличительного признака.

Геномную ДНК для анализа выделяли из ткани 30 семидневных проростков от каждого экспериментального образца на основе базового SDS-метода с внесением ряда модификаций [20]. Использовали 10 пар SSRs и 6 комбинаций SRAP-праймеров в различных парных сочетаниях [21, 22]. Состав компонентов реакционной смеси для ПЦР: 10x Taq Turbo buffer – 3 мкл, 50 dNTP mix – 0,5 мкл, 5U Taq-ДНК полимеразы – 0,4 мкл, 1 мкл каждого праймера и 1 мкл геномной ДНК концентрацией 20 нг/мкл (на 1 реакцию объёмом 20 мкл). Амплификацию с осуществляли на приборе «Bio-Rad T-1000, USA» в соответствии с условиями для SSR-маркеров [21] и SRAP-маркеров [23].

Продукты реакции разделяли методом электрофореза в 1,6 %-ном LE2-агарозном геле при 50 В в течение 90 мин. Для оценки размера фрагментов продуктов амплификации использовали молекулярный маркер 100 kb DNA Ladder («ThermoFisher Scientific»). Визуализацию фрагментов амплификации проводили на приборе «Gel Doc™ XR+» (Bio-Rad, USA). Размер продуктов амплификации и показатели генетического разнообразия, рассчитанные на основании данных бинарных матриц, определяли с использованием программ Image Lab и PopGene.

Результаты и обсуждение. Исходный материал – это биологическая платформа, на которой в процессе использования различных селекционных методов работы формируется определенный генотипа с комплексом необходимых морфотипических и хозяйственных признаков. Появление биотипов с новыми признаками в старовозрастных посевах козлятника связано с тем, что в процессе интродукции в новых районах с резко отличающимися климатическими условиями в популяциях вследствие морфогенетического процесса расширился диапазон полиморфизма признаков и произошло множество новых трансформаций. Спонтанная мутация окраски цветков, обнаруженная в старовозрастных травостоях, подтверждает закономерности проявления варибельности комбинации по этому и другим признакам в гетерогенных популяциях, имеющие отношение к закону гомологических рядов [24].

Методами последовательного репродуцирования потомств в нескольких поколениях и негативного отбора удалось стабилизировать розовоцветковую и белоцветковую популяции. Было установлено, что в потомстве козлятника с розоцветковой (сиреневой) окраской цветков этот признак сохранили 98 % растений.

Образцы с белой окраской цветков отличаются не только по фенотипу, но и по хозяйственно полезным признакам. Они характеризуются слабой изменчивостью количественных признаков, которая характеризуется коэффициентом вариации в пределах от 4,3 до 8,3 %, что подтверждают данные других авторов [11, 24].

Розовоцветковая популяция отличается от сорта Гале более высокой облиственностью растений и содержи-

ем сухого вещества. При этом облиственность варьирует от 47...58 % до 72...80 % в зависимости от года жизни и типа побегов (монокарпические генеративные или вегетативные).

Зимостойкость растений первого года жизни при весеннем сроке посева розоцветковой популяции составила 96...98 %. На последующем этапе рекуррентной биотипической селекции на протяжении трех циклов пересева выполняли массовый негативный отбор, что способствовало закреплению биотипического состава сформированной популяции с маркерным признаком – розоцветковой (сиреневой) окраски цветков.

В 2007–2012 гг. проводили конкурсное и экологическое сортоиспытание, а также селекционное размножение в питомнике сортосохранения. В 2012 г. перспективный сорт передали на государственное сортоиспытание по экспертной оценке под названием Вест, с 2014 г. его внесли в Госреестр селекционных достижений России (оригинатор – ФНЦ «ВИК им. В.П. Вильямса»). Растения козлятника сорта Вест характеризуются ярко выраженным отличительным маркерным морфологическим признаком репродуктивных органов – фиолетово-розовой (сиреневой) окраской цветков: парус и крылья светло-розово-фиолетовые, лодочка – фиолетово-розовая, более темно окрашенная. Пыльники тычинок имеют оранжево-желтую окраску [25].

Оценка продуктивности показала, что урожайность зеленой массы галеги сорта Вест в среднем за первые 3 года пользования составила 36,5 т/га, у сорта Гале – 32,8 т/га, или на 11 % меньше. Сбор сухого вещества был равен соответственно 6,33 и 5,73 т/га. Вследствие более высокой облиственности содержание сырого протеина в фазе стеблевания – начала бутонизации (III декада мая – I декада июня) у нового сорта составляет 26...30 %; в фазе цветения (I-II декады июня) оно снижается до 18,4...19,4 %, а количество сырой клетчатки за этот период увеличивается с 22,8 до 28,7 % [25].

Фактический сбор семян сорта Вест в первый год пользования в среднем составил – 74 кг/га, во второй – 397 кг/га, третий – 427 кг/га, что соответственно на 34, 15 и 31 % выше, чем у сорта Гале. В благоприятные годы фактический сбор семян сорта Вест достигал 597...612 кг/га, биологическая урожайность – 1000 кг/га.

Следует отметить, что в семенном потомстве в посевах могут появляться единичные синецветковые растения, что требует проведения сортовой прополки. Для предотвращения переопыления обязательно соблюдение пространственной изоляции от других сортов и дикорастущих популяций козлятника.

SSR-анализ с использованием маркеров, фланкирующих микросателлитные последовательности генома, оказался малоинформативным на изучаемом материале. В общей выборке из 10 пар праймеров только три (VSpS 038, VSpS 066, VSpS 245) генерировали мономорфные фрагменты амплификации, не позволяющие оценить уровень полиморфизма ДНК (рис. 1). С остальными амплификация не прошла или была слабовыраженной. Это можно объяснить, как неудачным подбором маркеров, так и отсутствием различий в исследуемых областях генома вследствие узкой генетической основы анализируемого материала.

Результаты анализа на основе 8 комбинаций SRAP-маркеров, разработанных для амплификации интрон-экзонных участков в геноме, показали, что сорт Вест, наряду с общими фрагментами амплификации, характерными для других образцов, отличался уникальным ДНК-спектром по 6 комбинациям. В качестве примера

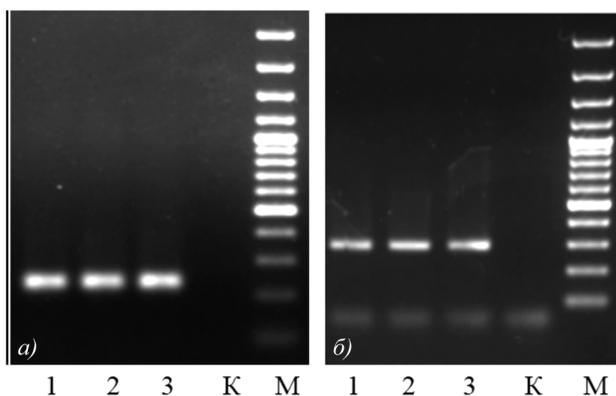


Рис. 1. Электрофореграмма ПЦР-продуктов, полученных при амплификации образцов ДНК козлятника восточного с SSR-праймерами: а) VSpS 245; б) VSpS 038; 1 – белоцветковое растение; 2 – сорт Вест; 3 – сорт Гале; К – отрицательный контроль (H₂O); М – маркер молекулярной массы (100 bp DNA Ladder).

приведены электрофореграммы с некоторыми из информативных праймеров. В частности, сорт Вест выделялся наличием ампликонов размером 229 и 726 пар нуклеотидов (п.н.) и отсутствием фрагментов ДНК размером 1108 п.н. и 781 п.н., имеющих в спектре сорта Гале и белоцветковой формы, с комбинациями праймеров ME3-EM4, ME3-EM2 и ME3-EM5 соответственно (рис. 2).

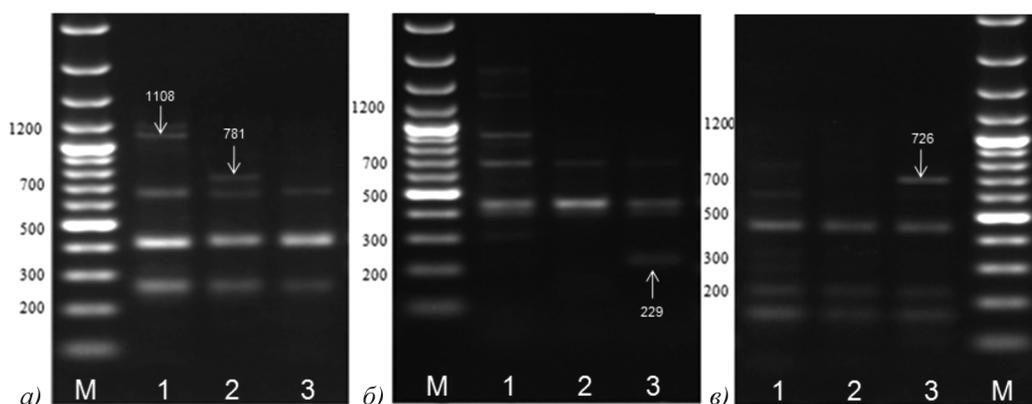


Рис. 2. Электрофореграмма ПЦР-продуктов, полученных при амплификации образцов ДНК козлятника восточного с использованием SRAP-праймеров: а) ME3-EM5; б) ME3-EM4; в) ME3-EM2; 1 – сорт Гале; 2 – Гале б/ц (белоцветковое растение на основе сорта Галле); 3 – сорт Вест; М – маркер молекулярной массы (100 bp DNA Ladder).

По результатам, полученным с использованием SRAP-маркеров ME1-EM5 и ME1-EM1, обнаружено высокое сходство на генетическом уровне между сортом Вест и белоцветковой формой, что подтверждало и высокое значение индекса разнообразия по Нею (H_e) – 0,833 (см. табл.). Указанные образцы оказались рас-

Индексы генетического разнообразия по Нею для анализируемых образцов козлятника восточного*

Образец	Гале, синецветковый	Гале, белоцветковый	Вест, розовоцветковый
Гале		0,722	0,677
Гале б/ц	0,325		0,833
Вест	0,406	0,182	

*над диагональю приведены индексы генетического сходства, под диагональю – генетические дистанции; Гале б/ц – белоцветковое растение, полученное из сорта Галле.

положенными на общей ветви генеалогического дерева и на дендрограмме, построенной методом UPGMA (невзвешенной попарной группировки с усреднением), анализируемые образцы (рис. 3).

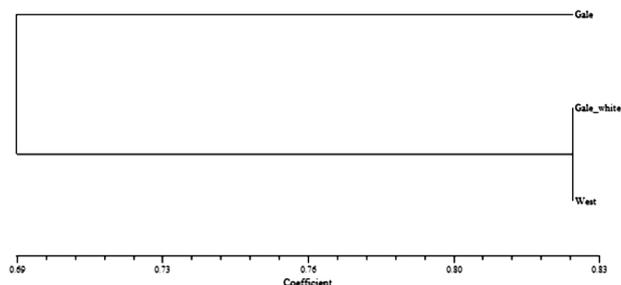


Рис. 3. UPGMA-дендрограмма генетического сходства между образцами козлятника восточного (Gale – сорт Гале; Gale white – белоцветковая форма; West – сорт Вест).

Таким образом, интродуцированные популяции козлятника восточного в результате морфогенетического процесса подвержены генетической изменчивости. Новые нетипичные признаки окраски цветков могут использоваться в селекции для создания сортов с маркерными признаками. На основании отбора отдельных биотипов из популяции сорта Гале были выделены растения с различной окраской цветков. Методом последовательного репродуцирования потомств в нескольких

поколениях и негативного отбора, удалось стабилизировать розовоцветковую и белоцветковую популяции. В потомстве козлятника с розовой окраской цветков такой признак сохранили 98 % растений. Эта популяция после конкурсного испытания была зарегистрирована в Госреестре селекционных достижений как сорт козлятника Вест с маркерным морфотипическим признаком – розовой окраской цветков. Новый сорт характеризуется высокой продуктивностью. По сбору кормовой массы и урожайности семян он превосходит сорт Гале на 15...34 %. Наличие маркерного фенотипического признака позволяет легко визуально идентифицировать сорт Вест при ведении его семеноводства.

По результатам молекулярно-генетического анализа определены информативные комбинации SRAP-маркеров ME3-EM4 и ME3-EM2, которые можно использовать в качестве дополнительного инструмента при сортовой ДНК-идентификации и создании генетического паспорта нового сорта.

Литература.

1. Productivity of Galega (*Galega orientalis*) in single-species and binary crops with Sainfoin (*Onobrychis arenaria*): a case study of forest-steppe of European Russia / V.I. Cherniavskii, E.V. Dumacheva, F.N. Lisetskii, et al. // *Bioscience biotechnology research communications*. 2020. No. 13. (1) P. 15-22. doi: 10.1088/1742-6596/1942/1/012103.
2. Технологические приемы формирования продуктивности козлятника восточного / В.И. Турусов, А.М. Новичихин, Л.А. Пискарева и др. // *Достижения науки и техники АПК*. 2016. Т. 30. № 3. С. 68-70.
3. Сафина Н.В., Кильянова Т.В. Влияние покровной культуры, способов посева и доз вносимых удобрений на продуктивность козлятника восточного в условиях Среднего Поволжья // *Достижения науки и техники АПК*. 2015. Т. 29. № 10. С. 80-82.
4. Иванова М. В., Плотников А. А. Сравнительная эффективность бобово-злаковых травостоев на основе козлятника восточного (*Galega orientalis* Lam.) // *Достижения науки и техники АПК*. 2019. Т. 33. № 1. С. 10–13. doi: 10.24411/0235-2451-2019-10103.
5. Анализ симбиотической эффективности бактериальных и грибных препаратов на кормовых культурах по данным урожайности семян / А.П. Юрков, Ю.В. Лактионов, А.П. Кожемяков и др. // *Кормопроизводство*. 2017. № 3. С. 16–21.
6. Дронова Т.Н., Бурицева Н.И., Кулик Д.К. Симбиотическая деятельность и продуктивность многолетних бобовых трав при использовании микробиологических препаратов // *Плодородие*. 2018. № 5 (104). С. 61–63.
7. Черняских В.И., Думачева Е.В. Эффективность совместных посевов козлятника восточного с эспарцетом песчаным на семена // *Кормопроизводство*. 2019. № 12. С. 21–25. doi: 10.25685/KRM.2019.2019.49854.
8. Rytuzja K., Bombik A. Application of a logistic function to describe the growth of Fodder Galega // *Journal of Ecological Engineering*. 2017. No. 18 (1). P. 125–131. doi: 10.12911/22998993/66245.
9. Fodder galega (*Galega orientalis* Lam) grass potential as a forage and bioenergy crop / H. Meripõld, Ü. Tamm, S. Tamm, et al. // *Agronomy Research*. 2017. No. 15(4). P. 1693-1699.
10. Золотарев В.Н. Перспективы и проблемные аспекты использования козлятника восточного в кормопроизводстве России: состояние и направления селекции // *Кормопроизводство*. 2021. № 5. С. 35-46. doi: 10.25685/KRM.2021.40.11.001.
11. Сорты и перспективные образцы козлятника восточного селекции Псковского института сельского хозяйства / Т.В. Шайкова, В.С. Баева, Н.С. Рогозина, et al. // *Владимирский земледелец*. 2019. № 4 (90). С. 72-76. doi: 10.24411/2225-2584-2019-10099.
12. Авраменко М.Н., Бушуева В.И. Оценка исходного материала галеги восточной в коллекционном питомнике // *Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии*. 2012. № 1. С. 64-69.
13. Baležentienė L. Bio-morphological peculiarities of new cultivars of fodder galega (*Galega orientalis* Lam.) // *Latvian Journal of Agronomy / Agronomija Vestis*. 2008. No. 10. P. 82-87.
14. Малько А.М. Мировой рынок семян и место России в нем // *Картофель и овощи*. – 2013. № 4. С. 2-4.
15. Bostyn S. J. R. Towards a Fair Scope of Protection for Plant Breeders' Rights in an Era of New Breeding Techniques: Proposals for a Modernization of the Essentially Derived Variety Concept // *Agronomy*. 2021. No. 11 (8). P. 1511. URL: <https://www.mdpi.com/2073-4395/11/8/1511> (дата обращения: 12.02.2022). doi: 10.3390/agronomy11081511.
16. Morphological Characteristics of Grapevine Cultivars and Closed Contour Analysis with Elliptic Fourier Descriptors / M. Kupe, B. Sayıncı, B. Demir et al. // *Plants*. 2021. No. 10 (7). P. 1350. URL: <https://www.mdpi.com/2223-7747/10/7/1350> (дата обращения: 15.02.2022). doi: 10.3390/plants10071350.
17. Assessment of the Genetic Diversity of *Chrysanthemum* Cultivars Using SSR Markers / A. Olejnik, K. Parkitna, B. Kozak, et al. // *Agronomy*. 2021. No. 11 (11). P. 2318. URL: <https://www.mdpi.com/2073-4395/11/11/2318> (дата обращения: 14.02.2022). doi: 10.3390/agronomy11112318.
18. Маркерные признаки сортов льна и их значение в селекции и семеноводстве / С.Ф. Тихвинский, С.В. Доронин, А.Н. Дудина и др. // *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2008. № 11. С. 42-44.
19. Журавель В.Н., Будилка Г.И., Вендель Г.В. Использование рецессивного маркерного признака бледно-желтая окраска лепестков цветков в селекции горчицы сизой (*Brassica juncea* Czern.) // *Научно-технический бюллетень Института масличных культур НААН*. 2018. № 26 (26). С. 14-20.
20. Эффективный способ выделения ДНК для ПЦР-анализа из «балк-образцов» проростков / И.А. Клименко, А.А. Антонов, В.А. Душкин и др. // *Адаптивное кормопроизводство*. 2021. № 3. С. 29-48. doi: 10.33814/AFP-2222-5366-2021-3-29-48.
21. Development of 65 novel polymorphic cDNA-SSR markers in common vetch (*Vicia sativa* subsp. *sativa*) using next generation sequencing / J.W. Chung, T.S. Kim, S. Suresh, et al. // *Molecules*. 2013. No. 18(7). P. 8376-8392.
22. Li G., Quiros C. F. Sequence-related amplified polymorphism (SRAP), a new marker system based on a simple PCR reaction: its application to mapping and gene tagging in Brassica // *Theoretical and applied genetics*. 2001. No. 103 (2). P. 455-461.
23. Assessment of genetic diversity in *Galega officinalis* L. using ISSR and SRAP markers / Z. Wang, J.E. Wang, X.M. Wang, et al. // *Genetic resources and crop evolution*. 2012. No. 59(5). P. 865-873.
24. Bushuyeva V.I. The use of the regularities of manifestation of hereditary variability characteristics in legumes in the selection of galega orientalis (Book Chapter) // *Ecological consequences of increasing crop productivity: Plant breeding and biotic diversity*. New York: Apple Academic Press, Inc., 2014. P. 277-286.
25. Золотарев В.Н., Коровина В.Л. Сорт козлятника восточного (*Galega orientalis* Lam.) с маркерным признаком // *Адаптивное кормопроизводство*. 2021. № 1. С. 6-14. doi: 10.33814/AFP-2222-5366-2021-1-6-14.

Поступила в редакцию 04.03.2022
 После доработки 30.03.2022
 Принята к публикации 25.04.2022

Агрочвоведение и агроэкология

УДК 631.4:631.8:631.17

DOI: 10.31857/S2500262722030085, EDN: GCRTOF

АГРОТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПОТЕНЦИАЛ УПРАВЛЕНИЯ ОРГАНИЧЕСКИМ УГЛЕРОДОМ ЧЕРНОЗЁМОВ ОБЫКНОВЕННЫХ В ЗЕРНОПАРОПРОПАШНОМ СЕВОБОРОТЕ**И.Т. Хусниев¹, В.А. Романенков^{1,2}, доктор биологических наук, С.В. Пасько³, кандидат сельскохозяйственных наук, И.А. Ильичёв¹**¹Факультет почвоведения МГУ имени М.В. Ломоносова, 119991, Москва, Ленинские горы, 1, стр.12
E-mail: husniev.ilshat@gmail.com²ВНИИ агрохимии имени Д.Н. Прянишникова, 127550, Москва, ул. Прянишникова, 31 а
E-mail: romanenkov@soil.msu.ru³Федеральный Ростовский аграрный научный центр, 346735, Ростовская обл., Аксайский район, пос. Рассвет, ул. Институтская, 1

Исследование проводили с целью оценки агротехнологического потенциала управления органическим углеродом пахотной почвы – чернозёма обыкновенного среднемоющего мицеллярно-карбонатного тяжёлосуглинистого. Работу выполняли в длительном эксперименте Географической сети полевых опытов с удобрениями, zaloженном в 1974 г. Федеральным Ростовским аграрным научным центром. Изучали динамику органического углерода в трёх контрастных вариантах опыта в течение пяти ротаций – за 40-летний период. По экспериментальным данным за 1975–2011 гг. с помощью динамического моделирования воспроизведена месячная динамика запасов органического углерода в каждом варианте опыта до 2020 г. Во всех вариантах опыта модель описывает наблюдаемое снижение запасов органического углерода после прохождения пяти ротаций севооборота. При этом на фоне органо-минеральной системы удобрения в течение первых трёх ротаций происходило увеличение запасов С. Однако затем накопленный углерод был потерян, что указывает на неравновесность запасов и значительную их зависимость от продуктивности севооборота, что проявляется даже при прохождении одной ротации. При этом межгодовая изменчивость за девятилетнюю ротацию могла превышать 4 т/га, или около 5 % от общих запасов. На основании моделирования установлено, что необходимое для поддержания запасов органического углерода в пахотном слое почвы поступление С с растительными остатками составляет в среднем 3,87 т/га в год. Ежегодное накопление органического углерода в размере 0,4 % от первоначальных запасов 88 т/га в первое двадцатилетие обеспечивало совместное внесение наиболее высоких доз минеральных и органических удобрений. Стратегия «4 промилле» может быть реализована в чернозёме обыкновенном в условиях рассматриваемого опыта при ежегодном поступлении 4,3...5,7 т/га С растительных остатков. Внесение высоких доз органических удобрений, обеспечивающих названную продуктивность, – необходимый компонент поддержания и увеличения запасов органического углерода в почвах.

AGROTECHNOLOGICAL POTENTIAL OF ORGANIC CARBON MANAGEMENT IN CHERNOZEMS IN GRAIN-FALLOW CROP ROTATION**Khusniev I.T.¹, Romanenkov V.A.^{1,2}, Pasko S.V.³, Ilyichev I.A.¹**¹Faculty of Soil Science, Lomonosov Moscow State University, 119991, Moskva, Leninskie gory, 1, str.12
E-mail: husniev.ilshat@gmail.com²All-Russian Research Institute of Agrochemistry named after D.N. Pryanishnikov, 127550, Moskva, ul. Priyanishnikova, 31 а
E-mail: romanenkov@soil.msu.ru³Federal Rostov Agricultural Research Center, 346735, Rostovskaya obl., Aksaiskii r-n, pos. Rassvet, ul. Institutskaya, 1

Assessment of the agrotechnological potential of organic carbon management in arable soil – chernozems, medium thick micellar-carbonate heavy loamy. Object of research: long-term experience of the Geographical network of long-term field experiments with fertilizers, founded in 1974 by the Federal Rostov Agricultural Research Center. The dynamics of organic carbon was studied in three contrasting variants of the experiment during five rotations – over a 40-year period. According to experimental data 1975–2011, using dynamic modeling, the monthly dynamics of organic carbon stocks in each variant of the experiment until 2020 was reproduced. Results: In all variant of the experiment, the model describes the observed decrease in organic carbon stocks after five crop rotations. At the same time, in the variants with an organo-mineral fertilizer system, during the first three rotations, an increase in C reserves was observed, but then the accumulated C was lost, which indicates a non-equilibrium of reserves and a significant dependence on crop rotation productivity, manifested even during the passage of one of the crop rotations. At the same time, the interannual variability for a nine-year rotation could be more than 4 t/ha, or about 5% of the total C stock. Based on the modeling, it was found that the C input with plant residues necessary to maintain organic carbon reserves in the arable soil layer is on average 3.87 t/ha per year. The annual accumulation of organic carbon in the amount of 0.4% from the initial reserves of 88 t/ha was ensured in the first twenty years with the combined use of the highest doses of mineral and organic fertilizers. The strategy of 4 ppm can be implemented in the chernozems of the study experiment with an annual input of 4.3–5.7 t/ha C of plant residues. The introduction of high doses of organic fertilizers, which provide the mentioned productivity, is a necessary component for maintaining and increasing the stocks of organic carbon in soils.

Ключевые слова: запас органического углерода, чернозём, «четыре промилле», длительный полевой опыт, органические удобрения.

Key words: stock of organic carbon, chernozems, 4 ppm, long-term field experiments, organic fertilizers.

В природных и агроэкосистемах круговорот и запасы органического углерода в почве определяются множеством факторов [1], подверженных влиянию человека и глобальным климатическим изменениям [2]. Запас С – один из основных показателей почвенного плодородия и здоровья почвы, а его сохранение – условие устойчивого состояния агроэкосистем. На Парижской конференции по климату (COP 21) в 2015 г. была предложена программа «Инициатива 4 промилле», цель которой заключается в увеличении содержания органического углерода в культивируемых почвах на 4 % в год для компенсации выбросов парниковых газов и обеспечения постоянства концентрации углерода в атмосфере [3]. Практические механизмы реагирования на эти инициативы должны быть разработаны на региональном и местном уровне [4].

Как правило, в почвах с низким содержанием органического углерода его запасы могут быстро увеличиваться при смене агротехнологий или их элементов [5, 6]. Почвы с исходно высокой величиной этого показателя обладают значительно меньшими возможностями для накопления органического С, даже при последовательном применении углеродсеквестрирующих технологий. В чернозёмах, составляющих большую часть пахотного фонда страны, чаще удаётся стабилизировать его запас или снизить потери, например, при минимализации обработки почвы, чем обеспечить длительный процесс увеличения запасов [7, 8, 9].

Так, для чернозёма ортик отмечали накопление органического углерода в верхнем слое 0...15 см при введении обработки почвы No-till в течение 11 лет. При этом скорость процесса составляла 400...500 кг/га в год [10]. В другой работе, в чернозёме калык в течение 77 лет после прекращения обработки пашни и восстановления степной растительности содержание С в слое 0...10 см возросло в 1,4 раза [11]. Необходимо отметить, что в первом случае запас С в начале опыта составлял 27 т/га, во втором – не более 25 т/га, если исходить из содержания С – 1,97 %.

Согласно данным обзора Minasny et al. [3], цель накопления 4 % в год может быть достижима при начальных запасах С почвы менее 80 т/га. Это близко к исходному уровню или даже превышает его для полевого опыта ВНИИ сахара и сахарной свёклы на выщелоченном чернозёме. В этом эксперименте накопление С почвы наблюдали только в 7 из 62 лет, рассчитанное ежегодное поступление С с растительными остатками для накопления не менее 4 % должно составлять 2400 кг/год [12].

В этой связи весьма информативны результаты моделирования, проведённого Rolinski et al. [13] для территории освоенных целинных земель России и Казахстана, северная часть которых представлена чернозёмами. Моделирование для почвенного слоя 0...300 см при условии вывода земель из сельскохозяйственного оборота показывает, что для сценария будущего климата СМIP3 [14] запасы С почвы постепенно возрастают при его начальном содержании 150 т/га. При начальном содержании С 220 т/га запасы его убывают до 2070 г., а затем стабилизируются на равновесном уровне. При начальном содержании С 400 т/га запасы органического углерода, динамика которых во всех почвах смоделирована до 2100 г., постоянно убывают. Очевидно, что решающим фактором были начальные запасы С, максимальные величины которых оценены авторами в 40...50 т/га в слое 0...20 см в 1985–1995 гг. В этом случае при выводе пахотных земель из сельскохозяйственного оборота не происходит секвестрации С. При запасах С почвы 20 т/га секвестрация оказывается значительной (в среднем 0,86 кг/м²

в год). В работе Kurganova et al. [15] для той же территории, продолжительность накопления почвенного углерода до достижения нового состояния равновесия при постагрогенной эволюции чернозёмов оценивается в 30...40 лет.

Интенсивность процессов фиксации углерода будет зависеть и от степени выпашанности почвы. По оценкам Minnikova et al. [16], на территории проведения обсуждаемого в статье длительного полевого опыта, среди пахотных почв преобладают карбонатно-мицеллярные чернозёмы с запасами С в слое 0...30 см 83,6 ± 1,4 т/га. Эти величины близки к запасам С на начало опыта 88 т/га, что подтверждает влияние длительного использования участка под пашню перед закладкой опыта на потери почвенного углерода. В пахотных карбонатно-мицеллярных чернозёмах потери составляют около 1/3 от запасов органического углерода нативных почв. Близкие цифры приведены и в работе Черновой и др. [8], где потери С чернозёмами Ростовской области в пределах Предкавказской провинции за 50...60 лет распашки из слоя 0...25 см оценены в 25...40 %.

Методика. Исследования проводили в длительном эксперименте Географической сети длительных полевых опытов с удобрениями «Эффективность минеральных и органических удобрений в зависимости от насыщенности ими севооборота», заложенном в 1974 г. на базе Федерального Ростовского аграрного научного центра. Опытное поле расположено в центральной части Ростовской области вблизи поселка Рассвет Аксайского района в 20 км от берега реки Дон на водораздельном плато. Высота поверхности над уровнем моря 250 м.

Климат территории умеренно континентальный. Среднегодовое количество осадков 429 мм. Средне-многолетняя сумма температур воздуха выше 10 °С составляет 3400 °С, продолжительность безморозного периода – 240 дней. Радиационный баланс – 2603 МДж/м² в год. Осень наступает обычно в конце сентября, в начале её удерживается тёплая ясная погода. Далее число пасмурных дней возрастает, дожди учащаются и становятся более длительными. Зима неустойчивая, с частыми оттепелями, начинается в середине – конце декабря. Весной потепление идёт очень быстро, в конце февраля – начале марта температура воздуха переходит через 5 °С, в начале мая – через 15 °С.

Почва хорошо оструктурена, преобладающая часть агрегатов относится к агрономически ценным фракциям. Сумма водопорочных агрегатов составляет 50...55 %. Плотность гумусового горизонта не превышает 1,4 г/см³, в пахотном – составляет 1,0...1,2 г/см³. Пахотный слой имеет вполне удовлетворительную пористость – 50...60 %. Водный режим почвы непромывной. В отдельные годы после чистого пара наблюдаются глубокие промачивания. Запасы доступной влаги в слое почвы 0...20 см в период посева озимой пшеницы по чистому пару составляют 20...30 мм, снижаясь после непаровых предшественников. Естественная влагозарядка почвы происходит осенью и зимой. Максимум запасов влаги наблюдается ранней весной, составляя в полутораметровом слое обычно не менее 200 мм.

Обеспеченность минеральным азотом и подвижным фосфором – низкая, обменным калием – средняя. Агрохимическая характеристика почвы опытного участка до закладки опыта: гумус – 2,54 %, рН – 7,2, P₂O₅ (по Мачигину) – 13,5...14,0 мг/кг почвы; K₂O (по Мачигину) – 360 мг/кг почвы; нитрификационная способность (по Кравкову) – 15...20 мг/кг почвы.

Участок до закладки опыта находился в длительном использовании под пашню. Севооборот зерно-

паропропашной. Первая ротация: чистый пар; озимая пшеница; озимая пшеница; горох; озимая пшеница; яровой ячмень; кукуруза на силос; озимая пшеница; подсолнечник. Со второй ротации: чистый пар; озимая пшеница; кукуруза на зерно; яровой ячмень; кукуруза на силос; озимая пшеница; горох; озимая пшеница; подсолнечник. Количество полей – 2, повторность 4-х кратная, площадь делянки 135 м², общая площадь опыта 1,94 га.

В среднем за 5 ротаций севооборота продуктивность сельскохозяйственных культур без внесения удобрений составила 2,91 тыс. зерн. ед./га. В среднем за период исследований внесение удобрений повышало величину этого показателя, относительно неудобренного фона, на 29...36 %, а также улучшало качество зерна. Наибольший рост продуктивности севооборота к контролю был равен 10,5 ц/га при максимальной в опыте дозе органоминеральных удобрений (вариант 11).

Содержание органического углерода определяли в пахотном и подпахотном горизонте почвы в 1974, 1983, 1992, 1998, 2001 и 2010 гг. осенью после уборки урожая. Возделывание сельскохозяйственных культур без удобрения в течение 5 ротаций зернопаропашного полевого севооборота приводило к уменьшению содержания углерода в пахотном и подпахотном слоях чернозема обыкновенного. Перед закладкой опыта содержание углерода в пахотном слое составляло 2,56 %, в подпахотном – 2,3 %. К концу 6 ротации оно снизилось соответственно до 2,27 % и 1,91 %.

Комплексное применение органических и минеральных удобрений в средних и повышенных дозах на протяжении длительного периода стабилизировало содержание углерода в почве в пахотном слое на уровне 2,4...2,54 %, в подпахотном – 2,25...2,36 %. При средних дозах (вариант 8) в пятой ротации наблюдали тенденцию к снижению содержания гумуса в пахотном слое, при этом в подпахотном оно оставалось на прежнем уровне.

В ходе исследования с использованием динамического моделирования была воспроизведена непрерывная динамика органического углерода в пахотном слое почвы в течение пяти ротаций, что открывает возможности для более точной оценки агротехнологического потенциала

управления его запасами путем корректировки условий минерального питания растений в зернопаропашном севообороте. Моделирование осуществляли на основе данных 1975–2011 гг. по следующим вариантам: абсолютный контроль (контроль), 80 т/га навоза + N3300P190K190 в среднем за севооборот (вариант 8) и 100 т/га навоза + N580P330K330 в среднем за севооборот (вариант 11). Ранее модель использовали для имитационного моделирования динамики органического углерода почвы до 1998 г. по тем же вариантам опыта [17].

Использованная модель круговорота органического углерода в автоморфных почвах RothC-26.3 учитывает влияние типа почвы, температуры, влажности и типа растительного покрова на процесс круговорота углерода. Она работает с месячным шагом, рассчитывая запас общего С (т·га⁻¹), С микробной биомассы (т·га⁻¹) и Δ¹⁴С во временном диапазоне от года до столетий [18, 19, 20]. Модель требует небольшого количества доступных входных данных, представляя собой модификацию более ранней версии [21]. Для запуска модели была обновлена БД стандарта EuroSOMNET – Европейской сети полевых опытов по изучению органического вещества почвы, в который входит длительный полевой опыт [22]. Количество ежемесячно поступающего С в почву рассчитывали с использованием показателей ежегодной урожайности [23] и справочных данных по качеству навоза. Начальное распределение углерода по пулам для запуска модели смоделировано для условий равновесного содержания С. Предварительно вычисляли содержание пула инертного органического углерода по [24]. После этого модель RothC запускали в режиме расчёта распределения С по пулам в начале опыта путём подбора среднепогодной величины поступления С в почву таким образом, чтобы полученный расчётным путем запас органического С соответствовал экспериментально определённым. Настройку модели выполняли по контрольному варианту с использованием остальных вариантов в качестве независимых для проверки качества настройки.

Проверку по экспериментальным данным со статистической оценкой точности проводили на основе Modeval – модели статистической оценки результатов моделирования по RothC [25]. Она представляет собой компьютерную программу, которая рассчитывает ряд показателей для адекватного статистического анализа.

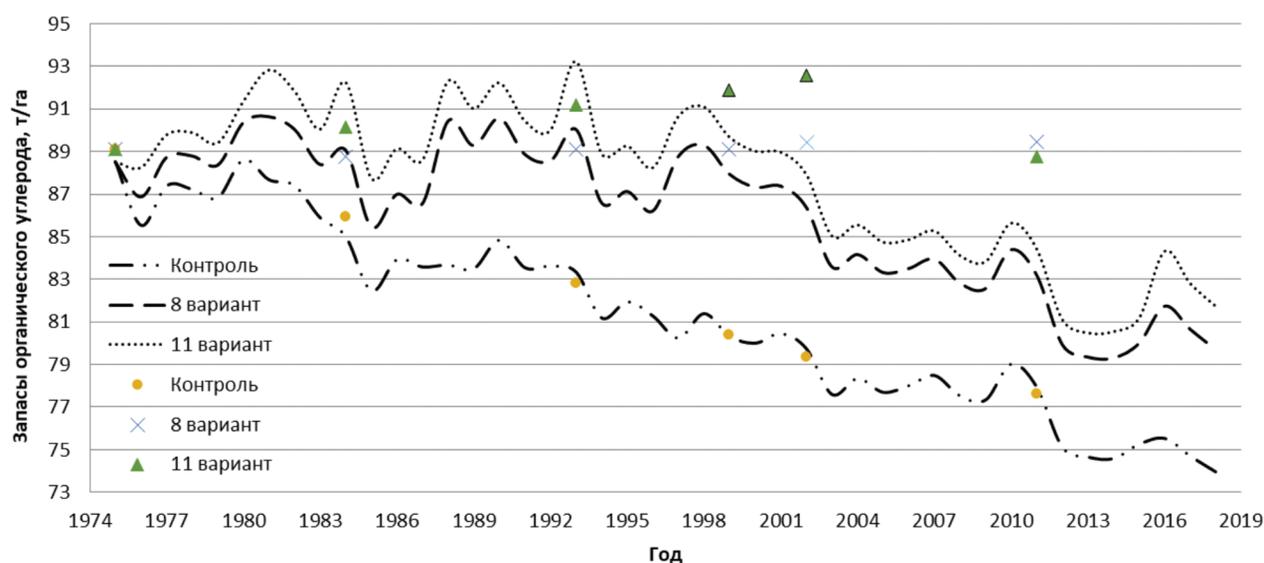


Рис. 1. Динамика запасов (т/га) органического углерода почвы, рассчитанных по модели RothC (линии) и определенных экспериментально (точки) в пахотном слое.

Табл. 1. Статистическая оценка результатов моделирования динамики запасов органического углерода по модели Roth-C в длительном полевом опыте

Вариант	Коэффициент корреляции (r)	Среднеквадратичная ошибка модели (RMSE)	Относительная ошибка (E)	Коэффициент детерминации (CD)	Систематическая ошибка (M)
Контроль	0,99	0,66	0,06	1,23	0,06
8	0,76	3,26	1,81	0,01	1,62
11	0,40	3,32	1,39	0,20	1,26

Результаты и обсуждение. Начальное содержание углерода в слое 0...30 см соответствовало запасу 88,5 т/га. Модель показывает, что в вариантах с органоминеральной системой удобрения в течение первых трёх ротаций абсолютная величина этого показателя возросла до 92...93 т/га. Однако затем накопленный углерод был потерян, что свидетельствует о неравномерности его запасов и значительной зависимости от продуктивности севооборота. В контроле за тот же период при многолетнем отрицательном тренде запасов С было потеряно около 15 т/га от исходной величины. Скорость накопления в благоприятные годы и потери при паровании снижались в следующем ряду: 11 вариант > 8 вариант > контроль (рис. 1).

Статистическая оценка результатов моделирования (табл. 1) указывает на удовлетворительную сходимость экспериментальных данных опыта с расчетными для всех трех исследуемых вариантов, в сравнении с литературными данными оценки точности моделирования RothC по материалам длительных опытов [26].

Лучшая корреляция экспериментальных и расчетных данных наблюдается в контроле, худшая – в 11 варианте. Наименьшее значение корня среднеквадратичной ошибки (RMSE) отмечено в контрольном варианте, но во всех случаях RMSE не превышает 3,4, что свидетельствует о незначительных различиях между прогнозируемыми и фактическими величинами. Коэффициент детерминации в контроле больше 1, что о меньшем отклонении расчетных значений от среднего, чем у экспериментальных данных, то есть модель описывает их лучше, чем график, построенный по средневзвешенным экспериментальным значениям. Значимость систематической ошибки (M) варьирует в диапазоне 0,06...1,62, что свидетельствует о разной степени расхождения между прогнозируемыми и фактическими величинами. Полученные значения систематической ошибки статистически значимы. Необходимо отметить, что ранее, при использовании данных за первые две ротации севооборота, удалось получить более точное соответствие экспериментальных и расчетных данных: величина RMSE не превышала 0,86; M составляла -0,01...-0,02 [17].

Поступление углерода с растительными остатками и навозом в вариантах 8 и 11 в последние 20 лет проведения опыта несколько снижается из-за отсутствия внесения органических удобрений. В контрольном варианте опыта за тот же период запасы органического углерода не претерпевают столь значительного снижения из-за увеличения количества поступающих растительных остатков, по сравнению с предыдущими годами. Отмеченные различия в динамике между контролем и вариантами с внесением удобрений могут быть обусловлены как относительно меньшим количеством растительных остатков, так и меньшим соотношением подземной и надземной продукции в общей биомассе в вариантах 8 и 11, что учитывается в расчетах поступающего в почву углерода с растительными остатками по методике Левина [23].

Наблюдаемые изменения в поступлении органического углерода объясняются регулярным внесением 2 раза за ротацию севооборота органических удобрений. Нулевые значения поступления углерода с растительными остатками и навозом в вариантах 8 и 11 обусловлены тем, что начиная с 2000 г. внесение навоза было прекращено. При этом тенденция увеличения средней величины поступления С в почву при повышении дозы минеральных удобрений сохраняется. Пики с поступлением в почву 8...9 т/га углерода объясняются внесением органических удобрений в почву сразу после уборки урожая кукурузы на силос.

Во всех вариантах опыта модель описывает постепенное снижение запасов органического углерода после прохождения пяти ротаций севооборота (см. рис. 1). При этом видно, что наибольшие расхождения между экспериментальными и моделируемыми данными характерны для вариантов 8 и 11 в 2010 г. Различия в запасах достигали 2,0...2,5 т/га. В то время как модель показывает отрицательный тренд потерь ранее накопленных запасов, выраженный после прохождения второй ротации севооборота, экспериментальные данные демонстрируют относительную стабильность запасов в варианте 8 и потерю около 2 т/га в 2001–2010 гг. в варианте 11. Такое расхождение между наблюдаемыми и рассчитанными по модели данными после третьей ротации может быть связано со значительным пространственным варьированием как содержания органического С в пахотном слое, так и его плотности. Тем не менее, наблюдаемые при анализе модели тенденции указывают на неравномерность накопленных запасов органического С, проявляющуюся даже во время одной ротации севооборота. При этом межгодовая изменчивость за девятилетнюю ротацию могла превышать 4 т/га, или около 5 % от общего запаса С.

Наименьшие потери органического углерода почв, как в абсолютных, так и в относительных величинах по данным модели наблюдаются в 11 варианте опыта с внесением наибольшей дозы органических и минеральных удобрений и достигают максимума в контроле (табл. 2). Как и в длительном опыте ГНУ ВНИИ сахара и сахарной свёклы имени А.Л. Мазлумова [11], по результатам моделирования динамики запасов органического углерода пахотного горизонта почв

Табл. 2. Изменения запасов органического С в длительном полевом опыте с 1975 по 2015 гг., рассчитанные по среднегодовым моделируемым значениям

Показатель	Вариант опыта		
	1 (контроль)	8	11
Абсолютные потери, т/га	13,26	8,50	7,34
Относительные потери, %	14,99	9,60	8,30
Относительные потери в год, %	0,37	0,23	0,20

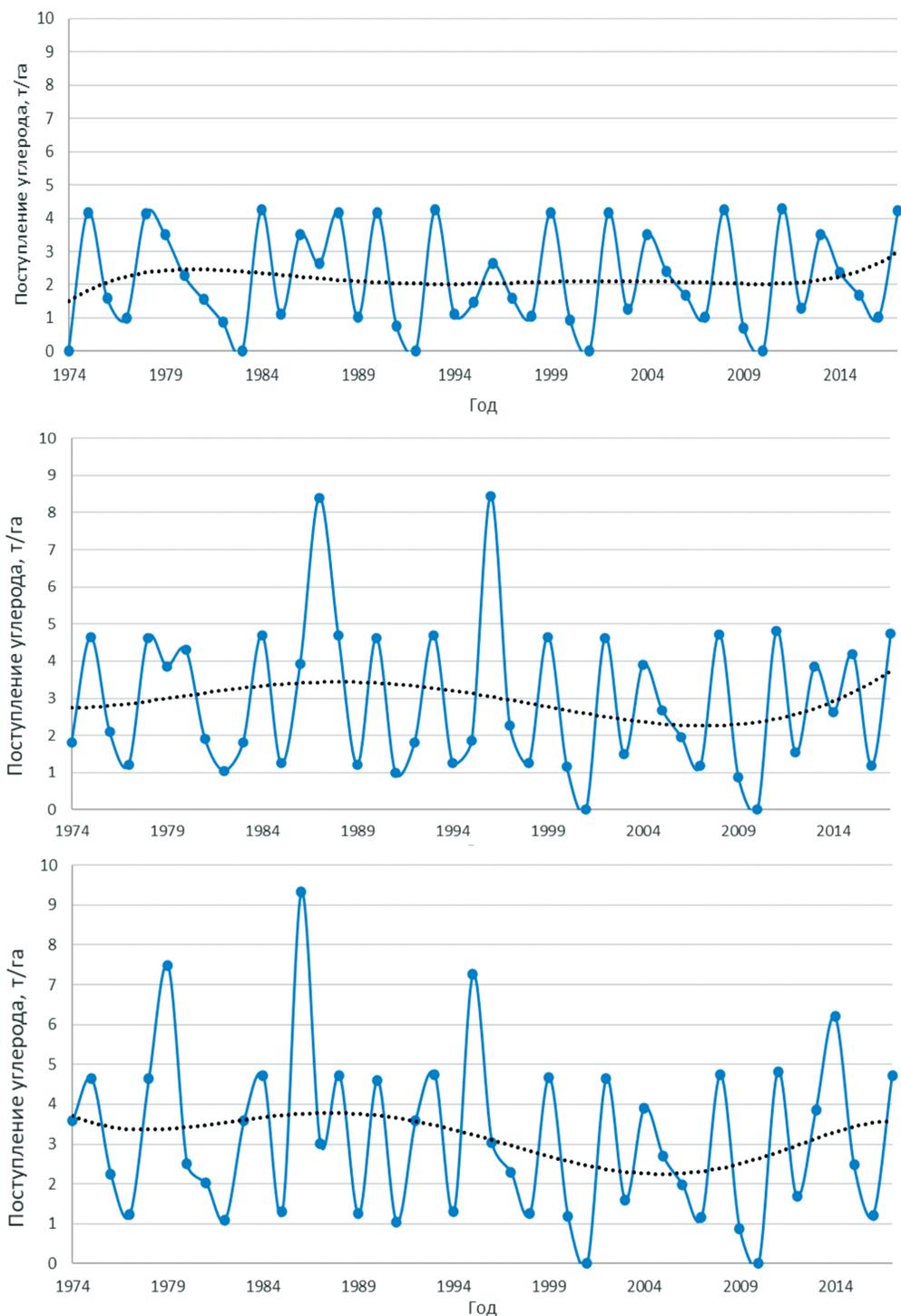


Рис. 2. Поступление углерода с растительными остатками и навозом в 1974–2017 гг.: а) контроль; б) 8 вариант; в) 11 вариант.

отмечена прямая зависимость между дозой внесения органических и минеральных удобрений и потерями органического углерода. Относительные среднегодовые потери его запасов в опыте возрастали с 0,20 % (11 вариант) до 0,37 % (контроль).

Тренд увеличения запасов органического углерода в вариантах с внесением органических и минеральных удобрений наблюдали только в 1975–1993 гг. (см. рис. 1). Анализируя динамику запасов органического С в

этот период (табл. 3), можно наблюдать их ежегодное увеличение в вариантах 8 и 11 соответственно на 0,1 и 0,3 %, что свидетельствует о теоретической возможности достижения цели «Инициативы 4 промилле».

Если рассмотреть скорость накопления либо потери углерода в почве за 1975–2015 гг. (см. табл. 2) и ежегодного поступления С в почву с поверхностными остатками, подземной биомассой и органическими удобрениями (см. рис. 2), оцениваемое моделью среднегодо-

вое количество поступающего в почву С, определяемое линейным уравнением (1), необходимое для поддержания запасов органического углерода в пахотном слое почвы, составит в среднем 3,87 т/га в год:

$$\Delta C = 0,1908 \cdot C_{inp} - 0,7382, \quad (1)$$

где ΔC – среднегодовое изменение запасов С в слое 0...30 см, т/га; C_{inp} – ежегодное суммарное поступление С в почву с пожнивными остатками, подземной биомассой и органическими удобрениями, т/га.

Согласно экспериментальным данным, для поддержания запасов органического углерода необходимо его ежегодное поступление в количестве 2,99 т/га в год.

При наборе культур и агротехнологиях, использованных в период до 1993 г. в варианте 11, согласно линейному уравнению, выведенному по данным моделирования, цель в 4 % в год может быть успешно достигнута при увеличении поступления углерода в почву в среднем до 5,72 т/га. Согласно уравнению, полученному по экспериментальным данным, поступление органического углерода в почву достаточно увеличить до 4,25 т/га.

Табл. 3. Изменения запасов органического С в длительном полевом опыте за 1975–1993 гг., рассчитанные по среднегодовым значениям

Показатель	Вариант опыта		
	1 (контроль)	8	11
Абсолютное изменение, т/га	-3,7	+2,1	+4,7
Относительное изменение, %	-4,2	+2,3	+5,3
Относительное ежегодное изменение, %	-3,3	1	3

Анализируя динамику изменения запасов органического углерода в почвах длительного опыта по двум двадцатилетиям (1975–1995, 1995–2015), можно отметить явное различие в темпах потери или накопления органического углерода в 8 и 11 вариантах, по сравнению с контролем (табл. 4). Наблюдаемое различие связано с заметным снижением доз вносимых органических удобрений в 4 и 5 ротациях севооборота.

Кроме того, в 11 варианте опыта можно выделить небольшой прирост запасов углерода (0,4 % от первоначальных запасов ежегодно) с 1975 по 1995 гг., по сравнению с другими вариантами, в то время как с 1995 по 2015 гг. фиксируются значительные потери. Во втором двадцатилетии для вариантов 8 и 11 ежегодная средняя потеря составляла 4,3 %. В контроле различия между рассматриваемыми 20-летними периодами незначительны и определяются лишь изменением количества и качества поступающих в почву растительных остатков.

Минимальное в опыте накопление органического углерода в первое двадцатилетие происходило при поступлении в почву 3,63 т/га органического углерода, что

Табл. 4. Ежегодный прирост (потери) и поступления С, по вариантам

Период	Вариант опыта		
	1 (контроль)	8	11
1975-1995	-3,72/2,16*	-0,78/2,89	0,4/3,63
1995-2015	-4,08/2,10	-4,09/2,77	-4,53/2,88

*в числителе ежегодный прирост (потери), %; в знаменателе – поступление С, т/га

близко к величинам, полученным по уравнениям зависимости скорости накопления либо потери углерода в почве от поступления С ежегодно в почву с поверхностными остатками, подземной биомассой и органическими удобрениями (3,87 и 2,99 т/га, для смоделированных и экспериментальных данных соответственно).

Таким образом, результаты моделирования подтверждают представления о сложности управления запасами органического углерода и обеспечения его прогрессивного депонирования в почвах, богатых органическим веществом. Ежегодное накопление органического углерода в размере 0,4 % от первоначальных запасов в слое 0...30 см 88 т/га чернозёмом обыкновенным среднемощным мицеллярно-карбонатным тяжелосуглинистым за 40-летний период обеспечивалось в первое двадцатилетие при совместном применении наиболее высоких доз минеральных и органических удобрений. Их внесение поддерживало продуктивность севооборота со средним ежегодным поступлением С с растительными остатками более 3,6 т/га, использование органических и минеральных удобрений позволило за этот период накопить в верхнем слое почвы около 5 т/га С. На фоне наблюдаемой с использованием модели неравновесности накопленных запасов органического С, проявляющейся в межгодовой изменчивости за девятилетнюю ротацию более 4 т/га, или около 5 % от общего запаса С почвы, снижение доз органических удобрений во второе десятилетие и соответствующее уменьшение поступления С на 25 % привело к потере ранее накопленных запасов С. Стратегия «4 промилле» может быть реализована для почвы исследуемого длительного опыта при ежегодном поступлении 4,3...5,7 т/га С растительных остатков. Внесение высоких доз органических удобрений было необходимым компонентом для поддержания и увеличения запасов органического углерода в почвах. В условиях недостатка органических удобрений необходимо дальнейшее имитационное моделирование, чтобы выяснить, могут ли зеленые удобрения, биочар и другие альтернативные источники углерода заменить традиционные органические удобрения на основе навоза.

Литература

1. *The detrital input and removal treatment (DIRT) network: Insights into soil carbon stabilization.* / K. Lajtha, R.D. Bowden, Set Crow, et al. // *Science of The Total Environment.* 2018. Vol. 640. P. 1112–1120, doi:10.1016/j.scitotenv.2018.05.388.
2. *Longterm effects of climate change on carbon storage and tree species composition in a dry deciduous forest* / I. Fekete, K. Lajtha, Z. Kotrocó, et al. // *Global Change Biology.* 2017. Vol. 23. P. 3154–3168. doi:10.1111/gcb.13669.
3. *Soil carbon 4 per mille* / B. Minasny, B.P. Malone, A.B. McBratney, et al. // *Geoderma.* 2017. Vol. 292. P. 59–86, doi:10.1016/j.geoderma.2017.01.002.
4. *A global agenda for collective action on soil carbon.* / S. Vermeulen, D. Bossio, J. Lehmann, et al. // *Nature Sustainability.* 2019. Vol. 2. P. 2–4, doi:10.1038/s41893-018-0212-z.
5. *Arable Podzols Are a Substantial Carbon Sink under Current and Future Climates: Evidence from a Long-Term Experiment in the Vladimir Region, Russia.* / I. Ilichev, V. Romanenkov, S. Lukin, et al. // *Agronomy.* 2021. Vol. 11. No. 1. P. 90.
6. *The effect of crop rotation and cultivation history on predicted carbon sequestration in soils of two experimental fields in the Moscow region, Russia.* / K. Prokopyeva, V. Romanenkov, N. Sidorenkova, et al. // *Agronomy.* 2021. Vol. 11. No. 2. P. 226.

7. Содержание и запас гумуса в черноземе обыкновенном при использовании различных систем основной обработки. / А.М. Медведева, О.А. Бирюкова, Я.И. Ильченко и др. // *Успехи современного естествознания*. 2018. № 1. С. 29–34.
8. Современное состояние гумусированности пахотных черноземов настоящих степей (на примере Ростовской области) / О.В. Чернова, И.О. Алябина, О.С. Безуглова и др. // *Юг России: экология, развитие*. 2021. Т. 15. № 4. С. 99–113.
9. Безуглова О.С., Назаренко О.Г., Ильинская И.Н. Динамика деградации земель в Ростовской области // *Известия Российской академии наук. Серия географическая*. 2022. Т. 86. № 1. С. 41–54.
10. Carbon sequestration in a Brown Chernozem as affected by tillage and rotation / C.A. Campbell, B.G. McConkey, R.P. Zentner, et al. // *Canadian Journal of Soil Science*. 1995. Vol. 75. No. 4. P. 449–458.
11. Mechanisms of carbon sequestration and stabilization by restoration of arable soils after abandonment: A chronosequence study on Phaeozems and Chernozems / I. Kurganova, A. Merino, V.L. de Gerenyu, et al. // *Geoderma*. 2019. Vol. 354. P. 113882.
12. Modelling and Prediction of Organic Carbon Dynamics in Arable Soils Based on a 62-Year Field Experiment in the Voronezh Region, European Russia / I. Husniev, V. Romanenkov, O. Minakova, et al. // *Agronomy*. 2020. Vol. 10. No. 10. P. 1607. doi: 10.3390/agronomy10101607.
13. Dynamics of soil organic carbon in the steppes of Russia and Kazakhstan under past and future climate and land use / S. Rolinski, A.V. Prishchepov, G. Guggenberger, et al. // *Regional Environmental Change*. 2021. Vol. 21. No. 3. P. 73.
14. The WCRP CMIP3 multimodel dataset: A new era in climate change research / G.A. Meehl, C. Covey, T. Delworth, et al. // *Bulletin of the American meteorological society*. 2007. Vol. 88. No. 9. С. 1383–1394.
15. Kurganova I., Lopes de Gerenyu V., Kuzyakov Y. Large-scale carbon sequestration in post-agrogenic ecosystems in Russia and Kazakhstan // *Catena*. 2015. Vol. 133. P. 461–466.
16. Soil Organic Carbon Dynamics in Response to Tillage Practices in the Steppe Zone of Southern Russia / T. Minnikova, G. Mokrikov, K. Kazeev, et al. // *Processes*. 2022. Vol. 10. No. 2. P. 244.
17. Soil organic carbon dynamics in long-term experiments with mineral and organic fertilizers in Russia / V. Romanenkov, M. Belichenko, A. Petrova, et al. // *Geoderma Regional*. 2019. Vol. 17. P. e00221.
18. Jenkinson D. The turnover of organic carbon and nitrogen in soil // *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences*. 1990. Vol. 329. No. 1255. P. 361–368.
19. Calculating net primary production and annual input of organic matter to soil from the amount and radiocarbon content of soil organic matter / D.S. Jenkinson, D.D. Harkness, E.D. Vance, et al. // *Soil Biology and Biochemistry*. 1992. Vol. 24. No. 4. P. 295–308.
20. Parshotam A., Hewitt A.E. Application of the Rothamsted carbon turnover model to soils in degraded semi-arid land in New Zealand // *Environment International*. 1995. Vol. 21. No. 5. P. 693–697.
21. Jenkinson D.S., Rayner J.H. The turnover of soil organic matter in some of the Rothamsted classical experiments // *Soil science*. 1977. Vol. 123. No. 5. P. 298–305.
22. EuroSOMNET—a database for long-term experiments on soil organic matter in Europe / U. Franko, G. Schramm, V. Rodionova, et al. // *Computers and Electronics in Agriculture*. 2002. Vol. 33. No. 3. P. 233–239.
23. Левин Ф.И. Количество растительных остатков в посевах полевых культур и его определение по урожаю основной продукции // *Агрехимия*. 1977. № 8. С. 36–42.
24. Falloon P. Estimating the size of the inert organic matter pool from total soil organic carbon content for use in the Rothamsted carbon model // *Soil Biology and Biochemistry*. 1998. Vol. 30. No. 8-9. P. 1207–1211.
25. A comparison of the performance of nine soil organic matter models using datasets from seven long-term experiments / P. Smith, J.U. Smith, D.S. Powlson et al. // *Geoderma*. 1997. Vol. 81. No. 1-2. P. 153–225.
26. Potential for carbon sequestration in European soils: preliminary estimates for five scenarios using results from long-term experiments / P. Smith, D. Powlson, M. Glendinning, et al. // *Global Change Biology*. 1997. Vol. 3. No. 1. P. 67–79.

Поступила в редакцию 22.03.2022
 После доработки 22.04.2022
 Принята к публикации 05.05.2022

**УВЕЛИЧЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АЗОТА:
ОЦЕНКА АЗОТМИНЕРАЛИЗУЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ПОЧВ****В.Н. Башкин**, доктор биологических наук*Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН,
142290, Московская обл., Пушкино, ул. Институтская, 2-2
E-mail: vladimirbashkin@yandex.ru*

На сегодняшний день вопросам повышения эффективности использования азота уделяется большое внимание, поскольку очевидно, что в ближайшем будущем невозможно ожидать существенного роста производства и применения азотных удобрений. Необходимо разработка приёмов установления доз азотных удобрений, максимально приближенных к потребностям растений, прежде всего с учетом актуальной минерализации этого элемента из почвенного органического вещества. Цель исследований – разработка метода определения азотминерализующей способности почвы (АМС) для диагностики азотного режима почв. В ходе реализации разработанного метода количественной оценки азотминерализующей способности почв определение АМС проводится при компостировании образцов почвы в оптимальных условиях температуры (18...28 °С) и влажности (60 % ППВ) в течение 4 недель с набором (4...6) возрастающих доз азотных удобрений, эквивалентных планируемым под различные сельскохозяйственные культуры. Величина азотминерализующей способности почвы определяется путем нахождения первой производной квадратного уравнения регрессии, описывающего накопление доступного азота (нитраты и обменный аммоний) в почве в зависимости от доз вносимых удобрений. Испытания этого метода в различных опытах, проведенных как в экспериментальных, так и в производственных условиях в различных почвенно-климатических зонах и с разными культурами показали, что расхождение в величинах использования почвенного азота, определённых с использованием метки ¹⁵N и предлагаемого метода не превышают 10...12 %, что допустимо для диагностических целей. Определение этой величины позволяет прогнозировать и моделировать различные аспекты трансформации азота в почве, оценивать аккумуляцию и динамику подвижных минеральных азотных соединений в почве, а также превращение азота в таких системах, как почва – удобрение – растение.

**INCREASING THE EFFICIENCY OF NITROGEN USE: ASSESSMENT
OF THE NITROGEN MINERALIZING CAPACITY OF SOILS****Bashkin V.N.***Institute of Physico-Chemical and Biological Problems of Soil Science of the Russian Academy of Sciences,
142290, Moskovskaya obl., Pushchino, ul. Institutskaya, 2-2
E-mail: vladimirbashkin@yandex.ru*

Currently, much attention is being paid to increasing the efficiency of nitrogen use, since it is obvious that in the near future it is impossible to expect a significant increase in the production and use of nitrogen fertilizers. It is necessary to develop methods for setting doses of nitrogen fertilizers that are as close as possible to the needs of plants, primarily taking into account the actual mineralization of nitrogen from soil organic matter. The purpose of this article is to develop a method for determining the nitrogen mineralizing ability of the soil (NMA) to diagnose the nitrogen regime of soils. Accordingly, a fairly simple in execution, but quite workable method for quantifying the nitrogen mineralizing ability of soils (NMA) has been developed. Determination of NMA is carried out when composting soil samples under optimal conditions of temperature (18... 28 °C) and moisture (60% WHC) for 4 weeks with a set of (4 ... 6) increasing doses of nitrogen fertilizers equivalent to those planned for various crops. The value of the nitrogen mineralizing capacity of the soil is determined by finding the first derivative of the quadratic regression equation describing the accumulation of available nitrogen (nitrates and exchangeable ammonium) in the soil depending on the doses of nitrogen fertilizers applied. Tests of this method in various experiments conducted both in experimental and production conditions in different soil-climatic zones and with different crops showed that the discrepancies in the values of soil nitrogen use determined using the ¹⁵N label and the proposed method did not exceed 10-12%, which is acceptable for diagnostic purposes. The determination of this value makes it possible to predict and model various aspects of nitrogen transformation in the soil, to assess the accumulation and dynamics of mobile mineral nitrogen compounds in the soil, as well as the conversion of nitrogen in such systems as soil – fertilizer – plant.

Ключевые слова: азотные удобрения, азотминерализующая способность почв, изотоп азота ¹⁵N, диагностика азотного режима почв

Key words: nitrogen fertilizers, nitrogen mineralizing ability of soils, nitrogen isotope ¹⁵N, diagnostics of nitrogen regime of soils

В последние годы отмечается возрастающий интерес к оценке различных факторов, связанных с увеличением эффективности использования азота. В первую очередь, это обусловлено ростом применения минеральных азотных удобрений, которое в начале 20-х гг. XX в. превысило 120 млн т. Кроме того, растет количество используемых органических удобрений и компостов, которые также служат источником привносимого в агроэкосистемы азота. В агрохимической литературе вопросам оценки коэффициента использования азота из минеральных и органических удобрений было уделено большое внимание и существующие оценки для мине-

ральных удобрений в среднем не превышают 40...50%. Однако даже сейчас невозможно с необходимой точностью оценить величины использования азота, минерализуемого из почвенного органического вещества в виду сложности учета разнообразных метеорологических, почвенных, биологических, экологических и других факторов [1, 2, 3 и др.].

Известно, что суммарная оценка трансформации азота в почве под воздействием различных факторов (дозы удобрений, гидротермические параметры, агрохимические показатели почвы, микробиологическая активность) возможна на основании определения азот-

минерализующей способности почвы. Она может быть охарактеризована как количество органического азота в почве, способного к минерализации в течение прогнозируемого вегетационного сезона и будет включать в себя азот, поглощенный растениями, реиммобилизуемый микроорганизмами, теряемый при вымывании и денитрификации, а также остающийся в доступной форме после окончания периода вегетации.

Следует отметить, что еще в 70-х гг. XX в. было предложено определение азотминерализующего потенциала N_0 , определяемого как количество органического азота почвы в нулевой момент времени, которое может быть минерализовано при благоприятных условиях за неопределенно долгий период времени [4]. При допущении, что процесс минерализации подчиняется кинетике первого порядка, величина потенциала минерализации азота может быть определена по следующему уравнению:

$$dN/dt = kN,$$

где $N = N_0 - N_t$ – содержание потенциально минерализуемого азота в конце интервала t ; k – константа скорости минерализации, то есть доля N_0 , минерализуемая в единицу времени.

Анализ современного состояния оценки этого потенциала приведен в обзоре [5].

Несмотря на десятилетия исследований, точная оценка минерализации азота, которая относится к микробиологическим процессом, остается сложной задачей [6, 7, 8, 9].

Например, исследования с применением ^{15}N -индикаторов показали, что N_t минерализованный из почвенного органического вещества (ПОВ), обычно обеспечивает >50 % N , усваиваемого кукурузой в течение вегетационного периода, несмотря на высокие дозы применения N -удобрений [10].

Оценивая результаты определения азотминерализующей способности почв, полученные различными способами, следует подчеркнуть, что, наряду с учетом ряда факторов, не принимается во внимание один из важнейших, а именно воздействие вносимых минеральных азотных удобрений. Хотя разработаны различные приемы и методы [1, 2, 3], позволяющие либо рассчитывать, либо определять аналитически, например, с использованием меченных азотных удобрений, это воздействие [10, 11], однако, в практике оценки эффективности использования азота, а также диагностике азотного питания, они не получили широкого распространения. Следовательно, необходимо разработать достаточно простой, но в то же время информативный метод определения азотминерализующей способности почв.

В связи с изложенным, цель наших исследований – разработка метода определения азотминерализующей способности почвы (АМС) для диагностики азотного режима почв.

Методика. Оценка азотминерализующей способности почвы, которая служит важнейшим критерием степени выраженности агрохимического цикла азота, может быть выполнена на основании определения количества минерализуемого азота почвы, эквивалентного по доступности азоту вносимых минеральных удобрений. Определение последнего проводится при компостировании образцов почвы при оптимальных условиях температуры (18...28 °C) и влажности (60 % ППВ) в течение 4 недель с набором (4...6) возрастающих доз азотных удобрений, эквивалентных планируемому под различные сельскохозяйственные культуры. Величина азотминерализующей способности почвы определяется путем нахождения первой производной квадратного уравнения регрессии, описывающего накопление до-

ступного азота (нитраты и обменный аммоний) в почве в зависимости от доз вносимых азотных удобрений. Можно также использовать более сложный метод решения этого уравнения с вычислением квадратного корня.

Влияние гидротермических условий вегетационного периода учитывают на основе долгосрочных метеорологических прогнозов или среднемноголетних данных для конкретного региона. Для этого вводят поправочные коэффициенты к скорости накопления доступного для питания растений сельскохозяйственных культур азота в почве в зависимости от температурных условий и влажности почвы.

Используя математическое выражение зависимости накопления доступного азота в почве при компостировании от доз азотных удобрений, можно оценить азотминерализующую способность почвы, которая будет включать в себя весь потенциально доступный азот почвенного фонда, способного к минерализации в течение прогнозируемого вегетационного периода.

Обоснование предлагаемого метода определения азотминерализующей способности связано с оценкой так называемого “priming effect” или величин «экстра»- N , что характеризует степень усиления минерализации азотных соединений почвы при внесении азотных удобрений. Подробно этот вопрос исследован в работах ряда авторов [4 и др.], наиболее детальная сводка дана в монографии В.Н. Кудярова [12]. Согласно такому подходу, в каждый отдельно взятый момент времени величина азотминерализующей способности почвы будет пропорциональна количеству «экстра»- N . Величины «экстра»- N , обнаруживаемые в почве в виде доступных соединений азота после её компостирования, будут отражать актуальную способность почвы к минерализации азотсодержащих органических компонентов, включая процессы иммобилизации и ремобилизации азота вносимых минеральных удобрений.

Определение количества «экстра»- N по предлагаемому методу позволяет дать оценку актуальной азотминерализующей способности почв, то есть той, которая может иметь место в течение прогнозируемого периода или вегетационного сезона. В том её отличие от азотминерализующего потенциала, когда определяется количество потенциально минерализуемого азота. Поэтому величины азотминерализующей способности почв, оцениваемые по предлагаемому методу, будут в основном меньше.

Для реализации предлагаемого метода из каждого образца почвы (воздушно-сухой, просеянной через сито с диаметром отверстий 2 мм, или нативно-влажной) берется 5 навесок по 50 г и помещается в полиэтиленовые пакеты. К навескам почвы прибавляется азотное удобрение (аммиачная селитра или другое, преимущественно используемое под выращиваемые культуры) в виде водного раствора из расчёта доз, планируемых под различные сельскохозяйственные культуры: для зерновых культур – 0; 0,5; 1,0; 2,0 и 2,5 мл раствора с концентрацией 1 мг N /мл; для картофеля, кукурузы и технических культур – 0; 0,5; 1,0; 3,0 и 4,0 мл; для интенсивных овощных культур – 0; 1,0; 3,0, 4,0 и 5,0 мл. Общая влажность почвы устанавливается в пределах 60...80 % ППВ путём добавления необходимого количества дистиллированной воды. После тщательного перемешивания почвы пакеты плотно закрываются и компостируются в термостате при 18...28 °C в течение 4 недель. Точное значение влажности и температуры компостирования выбирается в зависимости от преимущественных гидротермических условий конкретного региона. После окончания компостирования (во влажных

образцах с отбором проб на влажность) осуществляется определение суммы обменного аммония и нитратов любым стандартным методом.

Определение величины азотминерализующей способности почвы осуществляется путём решения уравнения кривой, описывающей накопление доступного N - ($\text{NO}_3^- + \text{NH}_4^+_{\text{обм}}$) в почве (y) в зависимости от доз азотного удобрения (x):

$$y = ax^2 + bx + c \quad (1)$$

Все величины используются в одной размерности. Степень аппроксимации различных видов уравнений оценивается по остаточной дисперсии. Сама величина АМС находится по следующей формуле:

$$\text{АМС} = [f(0) \times x^*] / [f(0) - f(x^*)], \quad (2)$$

где $f(0)$ – решение получаемого квадратичного уравнения при $x = 0$ (или величина «с» в уравнении (1)), $f(x^*)$ решение этого уравнения при $x = 0,1$, первой используемой в опыте дозы N-удобрения (например, 0,1 мг N/100 г почвы, или 3 кг/га).

Учёт гидротермических условий предстоящего вегетационного периода осуществляется следующим образом: отклонение средних температур почвы от интервала 18...28 °C учитывается посредством введения коэффициента 0,2 на каждый градус; отклонение средних значений влажности почвы от интервала 40...80 % ППВ – коэффициента 0,023 на каждый % ППВ. Также учитывается и относительная доля периода отклонений этих значений от продолжительности периода вегетации выращиваемой культуры. В годы с ожидаемым оптимальным режимом поправочные коэффициенты не учитываются [13]. Ниже будет дан пример таких расчетов для конкретных вегетационных периодов и культур.

Результаты и обсуждение. Способ определения азотминерализующей способности почвы был также испытан в условиях ряда полевых опытов на различных почвах с использованием меченных ^{15}N азотных удобрений, что позволило рассчитать вклад азота почвы и удобрений в обеспечение растений азотом. Азотминерализующую способность во всех случаях определяли согласно приведенной прописи метода. В почве определяли содержание доступного азота ($\text{NO}_3^- + \text{NH}_4^+_{\text{обм}}$). При оценке азотминерализующей способности образцы почвы для компостирования отбирали с соответствующих вариантов полевых опытов до внесения удобрений. После уборки урожая в растениях определяли содержание общего

азота, соотношение изотопов $^{15}\text{N} : ^{14}\text{N}$ и рассчитывали вынос азота из почвы и удобрения.

Учитывая равную доступность азота удобрения и почвы, коэффициенты использования азота, полученные с помощью ^{15}N для азота удобрения, могут быть отнесены и к использованию азота почвы. Таким образом, после уборки урожая были рассчитаны запасы доступного азота почвы, эквивалентного по усвояемости азоту удобрений. Полученные величины послужили основой для сравнительной оценки показателей обеспеченности растений доступным азотом в течение периода вегетации (суммарные величины запасов аммонийного и нитратного азота в слое 0...20 см и АМС).

На серой лесной почве южного Подмосковья были проведены опыты с ячменем и кукурузой. Схема опыта с ячменем включала в себя внесение возрастающих доз аммиачной селитры (0, 30, 60, 80 и 120 кг/га) на фоне $\text{P}_{90}\text{K}_{90}$ (двойной суперфосфат и хлористый калий). Повторность опыта 4-кратная, площадь делянок – 120 м². На каждой делянке в 5-кратной повторности дополнительно размещали микроделянки площадью 1 м² с внесением меченного ^{15}N удобрения. Перед началом опыта содержание доступного азота ($\text{NO}_3^- + \text{NH}_4^+_{\text{обм}}$) в слое почвы 0...20 см в среднем составляло 23 кг/га.

Количество азота почвы, способного к минерализации и рассчитанное по выносу азота удобрения с использованием метки ^{15}N , в среднем составило 123 кг/га. Определение азотминерализующей способности по предлагаемому методу с использованием уравнения регрессии ($y = 1,556 + 0,472x + 0,149x^2$) дало величину, равную 95 кг/га. Необходимо также учесть, что запасы доступного азота в почве были равны 23 кг/га, то есть сумма азота, доступного растениям ячменя в течение вегетационного периода составляла 118 кг/га. Следовательно, величины доступного растениям азота, определенные двумя различными методами, были близки – 123 и 118 кг/га.

На основании метеорологических данных установлено, что средняя температура почвы в слое 0...20 см в течение периода вегетации ячменя составляла 16,5 °C, то есть отличалась от оптимального режима на 1,5 °C. Поправочный коэффициент при этом был равен 0,3 (1,5×0,2). Влажность почвы отличалась от оптимального интервала 40...80 % ППВ в течение 10 дней из 108, отклонения составили 10 % ППВ. Поправочный коэффи-

Табл. 1. Оценка величин азотминерализующей способности серой лесной почвы при выращивании кукурузы, кг N/га

Вариант действия и последствие N ₁₂₀ на фоне P ₉₀ K ₉₀					Урожайность сухой массы, т/га	Расчет по выносу азота с использованием ^{15}N (А)	Оценка величины доступного азота перед началом вегетаци- онного сезона			Разность А – Б
							Год опыта			
1-й	2-й	3-й	4-й	5-й						
0	0	0	0	0	4,6	82	28	66	94	-12
0	0	0	0	^{15}N	13,5	120	36	76	112	+8
0	0	0	^{15}N	^{14}N	14,6	135	36	96	132	+3
0	0	^{15}N	^{14}N	^{14}N	15,0	124	33	80	113	+11
0	^{15}N	^{14}N	^{14}N	^{14}N	15,1	135	36	106	142	-7
^{15}N	^{15}N	^{15}N	^{15}N	^{15}N	13,5	163	58	104	162	+1
^{15}N	0	0	0	0	7,2	85	36	48	84	+1
^{14}N	^{15}N	0	0	0	9,2	152	33	115	148	+4
^{14}N	^{14}N	^{15}N	0	0	9,8	135	35	102	137	-2
^{14}N	^{14}N	^{14}N	^{15}N	0	11,2	148	51	96	147	+1

циент на условия увлажнения был равен 0,021 ($10 : 108 \times 10 \times 0,023$). Суммарный поправочный коэффициент: $[1 - (0,3 \times 0,021)] = 0,99$, то есть при условиях вегетации ячменя им можно было пренебречь.

Оценку применимости способа определения азотминерализующей способности в условиях многолетнего полевого опыта с кукурузой на серой лесной почве проводили на фоне внесения двойного суперфосфата и хлористого калия по 90 кг/га действующего вещества. В качестве азотного удобрения использовали меченную ^{15}N и немеченную аммиачную селитру. Схема опыта (табл. 1) позволяла вычлнить действие и последствие азотных удобрений. Рассматривали данные 5-го года эксперимента.

Согласно результатам исследований вынос азота удобрения изменялся от 27 до 49 кг/га, или 23...40 % от дозы внесенного N. Вынос почвенного азота в контроле составил 24 кг/га, в вариантах с изучением действия азотного удобрения – 43...58 кг/га, последствие – 35...63 кг/га.

Перед началом вегетационного сезона было оценено содержание доступного почвенного азота в слое почвы 0...20 см и определены величины АМС согласно прописи метода. Содержание доступного азота в верхнем слое почвы изменялось от 28 до 58 кг/га, отражая предшествующую историю удобрения. Внесение азота в течение первых 4-х лет эксперимента сказалось на величинах АМС почвы, которые составили 48...115 кг/га (см. табл. 1). Минимальные величины этого показателя были зафиксированы в вариантах без внесения азота или с изучением его длительного последствие: 48...66 кг/га. Периодическое внесение азотных удобрений увеличивало лабильный фонд почвы и приводило к повышению азотминерализующей способности в 1,5...2,0 раза (до 115 кг/га). Гидротермические условия в течение периода вегетации кукурузы практически не отличались от оптимальных, поэтому поправочный коэффициент не применяли.

Разность между величинами доступного растениям азота, определенными по выносу кукурузы с использованием метки и предлагаемого способа, в вариантах с изучением действия и последствие азотных удобрений составила 1...11 кг/га, или 1...10 %.

Изучение азотминерализующей способности *пойменной почвы* среднего течения р. Ока проводили в условиях производственного опыта с капустой при орошении. На производственных картах в 6-кратной повторности размещали экспериментальные делянки площадью 3 м² с внесением меченных ^{15}N удобрений. Схема опыта включала в себя наложение возрастающих доз азота в виде аммиачной селитры (0, 100, 150, 200 кг N/га на фоне 150 кг/га P_2O_5 (двойной суперфосфат) и 280 кг/га K_2O (хлористый калий), производственные дозы $\text{N}_{206}\text{P}_{215}\text{K}_{315}$. Влажность почвы поддерживали в течение вегетационного сезона на оптимальном для этой культуры уровне путем проведения соответствующего количества поливов. Поправки на гидротермические условия не вводили.

Систематическое внесение высоких доз азотных удобрений привело к увеличению количества азота, способного к минерализации. Например, после уборки урожая в почве оставалось 60...75 % азота внесенного удобрения, в основном, в органической форме. Азотминерализующая способность пойменной почвы в этих условиях составила 336 кг/га (среднее для различных вариантов). В корнеобитаемом слое, который при выращивании капусты составляет 40...50 см, перед началом периода вегетации содержалось в среднем 167 кг N/га

(нитраты и обменный аммоний), то есть суммарные запасы доступного азота в пойменной почве перед началом вегетации составляли 503 кг/га. По оценке доступного растениям азота, выполненной по выносу почвенного азота с использованием метки ^{15}N , величина этого показателя составила 550 кг/га. Следовательно, разница была равна 47 кг N/га, или 8 %.

Способ определения азотминерализующей способности был также испытан в полевом опыте с панголой (тропическая многолетняя злаковая трава) на *бурой ферралитовой почве* опытной станции «Эскамбрай» (Республика Куба). Эта почва, как и пойменная, отличалась от серой лесной относительно более высоким содержанием гумуса (3,35 %). Используемые дозы минеральных удобрений составляли 400...480 кг N/га, что сопровождалось аккумуляцией азота в почве. Удобрения вносили в виде меченных ^{15}N сульфата аммония и аммиачной селитры в дозах 30 и 60 кг N/га под укос, что эквивалентно 180 и 360 кг N/га за вегетационный сезон при наличии 6 укосов на фоне $\text{P}_{30}\text{K}_{30}$ под каждый укос. Результаты определения азотминерализующей способности показывают, что определение доступного растениям азота с использованием метки ^{15}N и по предлагаемому методу давало близкие результаты: 690...711 кг/га и 642...779 кг/га соответственно (табл. 2).

Табл. 2. Оценка азотминерализующей способности бурой ферралитовой почвы в опыте с панголой, кг N/га

Форма удобрения	Расчет по выносу почвы панголой с использованием ^{15}N	В слое почвы 0...20 см (А)	АМС по предлагаемому методу (Б)	Сумма А+Б
$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	690	140	502	642
NH_4NO_3	711	140	639	779

Резюмируя представленные результаты опытов с меченными ^{15}N азотными удобрениями в различных почвенно-климатических и экологических условиях, можно отметить, что независимо от почвы и схемы опыта величины доступного растениям азота, определенные разными методами, были близкими. При этом установлено, что размеры АМС (х) имели достоверную обратную корреляционную связь с величинами коэффициентов использования азотных удобрений (у):

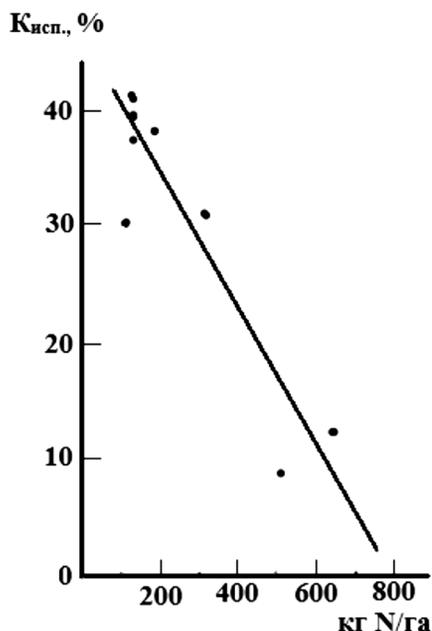
$$y = 43,4 - 0,0550 x, r = -0,928, P_{0,01}$$

Аналогичная связь отмечена и для величин суммы доступного растениям азота (суммарное количество $\text{N}-(\text{NO}_3^- + \text{NH}_4^+)$) и АМС):

$$y = 44,5 - 0,0449 x, r = -0,942, P_{0,01}$$

В общей сумме азота, доступного в течение периода вегетации растениям, на АМС приходится в основном более 70...75 %. Ее оценка позволяет диагностировать азотный режим почв и возможность применения азотных удобрений, поскольку коэффициенты их использования тесно связаны с величинами АМС почв: возрастают при уменьшении количества почвенного минерализуемого азота и уменьшаются при его увеличении (см. рисунок).

Количество минерального азота, присутствующего в почве перед началом вегетационного сезона, как правило, не имеет статистической достоверной связи с величиной азотминерализующей способности, которая в значительно большей степени определяется дозами азотных удобрений и складывающейся в течение всего вегетационного сезона динамикой доступного N. Следовательно, оценка этой величины возможна без предварительного учёта исходного содержания доступ-



Зависимость величин коэффициента использования азота удобрений (y) различными культурами от азотминерализующей способности почвы (x).

ного N_{\min} , отражающего уже существующее равновесие сопряженных процессов трансформации органического вещества, тогда как внесение азотных удобрений обычно сдвигает эти процессы в конечном итоге в сторону минерализации.

В целях же диагностики азотного режима почв доступный N_{\min} , однако, должен быть определен, поскольку характеризует обеспеченность азотом растений в начальный период вегетации. Сумма исходного N и азотминерализующей способности почвы позволяет диагностировать потребность растений в этом элементе в течение всего вегетационного периода.

Следовательно, с агрохимической точки зрения, определение азотминерализующей способности почв позволяет с необходимой точностью устанавливать величины доступного растениям азота в течение предстоящего вегетационного периода и прогнозировать потребность в азотных удобрениях под планируемый урожай выращиваемых культур. В свою очередь, оптимальное внесение азотных удобрений позволяет увеличить эффективность их использования и уменьшить отрицательные последствия нерационального применения [14, 15, 16]. Это также даёт возможность оценить экологические риски, включая риски для здоровья населения, возникающие при избыточном накоплении соединений азота в грунтовых питьевых водах и растениеводческой продукции, и управлять ими [17, 18].

В целом следует отметить, что сегодня рассмотрению приёмов повышения эффективности использования азота уделяется большое внимание [19, 20], поскольку очевидно, что в ближайшем будущем невозможно ожидать существенного роста производства и применения азотных удобрений. Следовательно, количественная оценка азотминерализующей способности почв позволит оптимизировать дозы азота под планируемый урожай.

Таким образом, в результате исследований разработан достаточно простой в исполнении, но вполне работоспособный метод количественной оценки азотми-

нерализующей способности почв. Его испытания в различных опытах, проведенных как в экспериментальных, так и производственных условиях в разных почвенно-климатических зонах и с различными культурами показали, что расхождения в величинах использования почвенного азота, определённых с использованием метки ^{15}N и предлагаемого метода не превышают 10...12 %, что допустимо для диагностических целей.

Следовательно, азотминерализующая способность почвы – комплексный количественный показатель для характеристики основных процессов агрохимического цикла азота (иммобилизация ↔ мобилизация) и оценки влияния на эти процессы азотных удобрений. Определение этой величины позволяет прогнозировать и моделировать различные аспекты трансформации азота в почве, оценивать аккумуляцию и динамику подвижных минеральных азотных соединений в почве, превращение азота в таких системах как почва – удобрение – растение и почвогрунты – вода.

При этом величины АМС могут быть использованы при диагностике азотного режима почв и расчете доз азотных удобрений под планируемый урожай. Чем они выше величины, тем меньшими должны быть соответствующие дозы удобрений и тем больше будет эффективность их использования.

Литература.

1. Завалин А.А., Соколов О.А., Шмырева Н.Я. Экология азотфиксации. М.: РАН, 2019. 252 с.
2. Завалин А.А., Шмырева Н.Я., Соколов О.А. Поток ^{15}N , почвенного и симбиотического азота в дерново-подзолистой эродированной почве // *Агрохимия*. 2020. № 6. С. 22–32. doi: 10.31857/s0002188120060149.
3. Кудяров В.Н. Агрогеохимические циклы углерода и азота в современном земледелии России // *Агрохимия*. 2019. № 12. С. 3–15 doi: 10.1134/S000218811912007X.
4. Stanford G., Smith S. Nitrogen mineralization potentials of soils // *Soil Science Society of America Proceedings*. 1972. Vol. 36. No. 3. P. 465–472
5. Семенов В.М. Функции углерода в минерализационно-иммобилизационном обороте азота в почве // *Агрохимия*. 2020. № 6. С. 78–96. doi: 10.31857/S0002188120060101.
6. Estimation of Annual Soil Nitrogen Mineralization Rates using an Organic-Nitrogen Budget Approach / D. Geisseler, K.S. Miller, B.J. Aegerter, et al. // *Soil Science Society of America Journal*. 2019. Vol. 83. P. 1227–1235. doi:10.2136/sssaj2018.12.0473.
7. A global synthesis of the rate and temperature sensitivity of soil nitrogen mineralization: latitudinal patterns and mechanisms / Y. Liu, C. Wang, N. He, et al. // *Global Change Biology*. 2017. Vol. 23. P. 455–464.
8. Miller K.S., Geisseler D. Temperature sensitivity of nitrogen mineralization in agricultural soils // *Biology and Fertilization of Soils*. 2018. Vol. 54. P. 853–860. doi:10.1007/s00374-018-1309-2.
9. Relationship between soil properties and nitrogen mineralization in undisturbed soil cores from California agroecosystems / K.S. Miller, B.J. Aegerter, N.E. Clark, et al. // *Communications in Soil Science and Plant Analyses*. 2019. Vol. 50. P. 77–92. doi:10.1080/00103624.2018.1554668.
10. Gardner J.B., Drinkwater L.E. The fate of nitrogen in grain cropping systems: a meta-analysis of ^{15}N field experiments // *Ecological Applications*. 2009. Vol. 19. P. 2167–2184.

11. Использование минеральных удобрений и биологического азота в севооборотах нечерноземной зоны России / А.А. Завалин, В.Г. Сычев, Н.С. Алметов и др. М.: ВНИИА, 2014. 84 с.
12. Кудеяров В. Н. Цикл азота в почве и эффективность удобрений. М.: Наука, 1989. 214 с.
13. Башкин В.Н., Кудеяров В.Н., Метод определения азотминерализующей способности почв. Авторское свидетельство СССР, 1983. № 1206703.
14. Гамзиков Г.П., Сулейменов С.З. Азотминерализующая способность серой лесной почвы Новосибирского Приобья при компостировании и паровании растительных остатков // Почвоведение, 2021. №5. С. 582-591.
15. Loecke T.D., Cambardella C.A., Liebman M. Synchrony of net nitrogen mineralization and maize nitrogen uptake following applications of composted and fresh swine manure in the Midwest US // Nutrient Cycling in Agroecosystems. 2012. V. 93. P. 65–74.
16. Новиков А. А. Азотминерализующая способность почв как компонент устойчивости агроценоза // Научный журнал КубГАУ. 2021. №. 173(09). С. 93-101. doi: 10.21515/1990-4665-173-008.
17. Bashkin V.N. *Modern Biogeochemistry: Environmental Risk Assessment*. 2d Edition. Dordrecht: Springer Publishers, 2006. 444 pp.
18. *A Research Road Map for Responsible Use of Agricultural Nitrogen* / M. Udvardi, F.E. Below, M.J. Castellano, et al. // *Frontiers in Sustainability of Food Systems*. 2021. Vol. 5. 660155. URL: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fsufs.2021.660155/full> (дата обращения: 01.03.2022). doi: 10.3389/fsufs.2021.660155
19. *Linking crop- and soil-based approaches to evaluate system nitrogen-use efficiency and tradeoffs* / R. A. Martinez-Feria, M. J. Castellano, R. N. Dietzel, et al. // *Agricultural Ecosystem Environment*. 2018. Vol. 256. P. 131–143. doi: 10.1016/j.agee.2018.01.002.
20. *50 year trends in nitrogen use efficiency of world cropping systems: the relationship between yield and nitrogen input to cropland*. L. Lassaletta, G. Billen, B. Grizzetti, et al. // *Environmental Research Letters*. 2014. Vol. 9. 105011. URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/9/10/105011> (дата обращения: 03.03.2022). doi: 10.1088/1748-9326/9/10/105011.

Поступила в редакцию 21.03.2022

После доработки 27.04.2022

Принята к публикации 11.05.2022

НИТРИФИКАЦИОННАЯ СПОСОБНОСТЬ ПОЧВЫ КАК ИНТЕГРАЛЬНЫЙ ПОКАЗАТЕЛЬ МОНИТОРИНГА ПОЧВЕННОГО ПЛОДОРОДИЯ

Л.Б. Сайфуллина, кандидат сельскохозяйственных наук, **З.М. Азизов**, доктор сельскохозяйственных наук, **И.Г. Имашев**, кандидат сельскохозяйственных наук, **О.А. Воронцова**, кандидат сельскохозяйственных наук, **И.И. Демакина**, кандидат сельскохозяйственных наук

Федеральный аграрный научный центр Юго-Востока,
410010, Саратов, ул. Тулайкова, 7
E-mail: raiser_saratov@mail.ru

*Исследования проводили с целью определения оптимальных нормативных значений нитрификационной способности и сроков отбора образцов почвы для диагностики азотонакопления в паровых полях и прогнозирования урожая озимых культур в условиях засушливой степи Поволжья. Работу выполняли в 2016–2019 гг. в стационарных опытах в условиях степной и сухостепной зон Саратовской области (географические координаты 51.603656, 46.032527). Доказана возможность использования нитрификационной способности почвы как для целей мониторинга плодородия почв, так и для краткосрочного агрономического планирования. Выявлена высокая отрицательная корреляция ($r=-0,98^{**}$) между накоплением нитратного азота и нитрификационной способностью почвы. В условиях аридного климата потенциальная нитрификационная способность начинает формироваться после полного оттаивания почвы и достигает максимального уровня при возрастании суммы активных температур выше $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ на глубине почвы 20 см до $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ и прогревании верхнего слоя почвы (0...5 см) до $15...17\text{ }^{\circ}\text{C}$. Наибольшую нитрификационную активность наблюдали в период трубкования – начала колошения озимой пшеницы. Нитрификационная способность в это время положительно коррелирует с урожаем зерна ($r=0,98$). Поэтому целесообразно проводить диагностику режима азотного питания растений озимой пшеницы в фазе трубкования – начала колошения. Установлены агроклиматические условия формирования оптимального уровня нитрификационной способности (14...17 мг/кг), определяющие потенциал азотного питания посевов озимой пшеницы. При повышенной нитрификационной способности и благоприятных погодных условиях вегетационного периода отмечается интенсивное формирование зеленой массы и максимальный вынос азота. Вынос азота с фитомассой и урожайность зерна озимой пшеницы достоверно коррелируют с нитрификационной способностью в период трубкования – начала колошения.*

SOIL NITRIFICATION CAPACITY AS AN INTEGRAL INDICATOR OF SOIL FERTILITY MONITORING

Sayfullina L.B., Azizov Z.M., Imashev I.G., Vorontsova O.A., Demakina I.I.

Federal Center of Agriculture Research of the South-East Region,
410010, Saratov, ul. Tulaykova, 7
E-mail: raiser_saratov@mail.ru

*The research aimed to determine the optimal standard values of the nitrification capacity and the periods of soil sampling to diagnose nitrogen accumulation in fallow fields and to predict the yield of winter crops under the conditions of the arid steppe of the Volga region. The work was carried out in 2016–2019, in stationary experiments under the conditions of the steppe and dry steppe zones of the Saratov region (geographical coordinates 51.603656, 46.032527). The possibility of using the nitrifying capacity of the soil both for the purposes of monitoring soil fertility and for short-term agronomic planning was proved. A high negative correlation ($r=-0.98^{**}$) between the accumulation of nitrate nitrogen and the nitrification capacity of the soil was revealed. In an arid climate, the potential nitrification capacity began to form after complete thawing of the soil and reached its maximum level when the sum of active temperatures rose above $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ at a soil depth of 20 cm to $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ and the upper soil layer (0-5 cm) warmed up to $15-17\text{ }^{\circ}\text{C}$. The highest nitrification activity was observed during the booting period - the beginning of the winter wheat heading. The nitrification capacity at that time positively correlated with the grain yield ($r=0.98$). Therefore, it is advisable to diagnose the nitrogen nutrition regime of winter wheat plants in the booting phase – the beginning of heading. The agroclimatic conditions for the formation of the optimal level of nitrification capacity (14-17 mg/kg), which determine the potential of nitrogen nutrition of winter wheat crops, were established. With increased nitrification capacity and favourable weather conditions during the growing season, intensive green mass formation and maximum nitrogen removal were observed. Nitrogen removal from the phytomass and the yield of winter wheat grains were significantly correlated with the nitrification capacity during the booting period – the beginning of heading.*

Ключевые слова: погодные условия, нитратный азот, нитрификационная способность почвы, почвенное плодородие.

Key words: weather conditions; nitrate nitrogen; soil nitrification capacity; soil fertility.

К задачам комплексного мониторинга плодородия почв земель сельскохозяйственного назначения относятся наблюдение за химическими, физико-химическими, биологическими, физическими и водно-физическими свойствами почв. Мониторинг служит основой для разработки проектов и планов по использованию земельных угодий, восстановлению почвенного плодородия и принятия решений в агрономии [1, 2].

Плодородие почв земель сельскохозяйственного назначения характеризуется перечнем показателей в соответствии с ОСТ 10 294-2002. Вместе с тем, как показали результаты предыдущих исследований [3], использование для оценки азотного режима почвы такого показателя, как содержание нитратного азота не информативно, поскольку находится под влиянием многих факторов, не имеет ярко выраженной корреляции с урожайностью сельскохозяйственных культур и

достоверных различий по вариантам в период вегетации в связи с выносом азота фитомассой. Поэтому для проведения комплексного мониторинга плодородия почв земель сельскохозяйственного назначения необходимо использовать интегральные показатели биологической активности почв. Среди основных показателей биогенности почв (дыхание, нитрификационная способность, азотфиксирующая и целлюлозоразлагающая активность) для условий аридных регионов наиболее актуальна нитрификационная способность [1]. Она обеспечивает естественный приток нитратного азота, служит одним из факторов формирования урожая, обуславливает накопление нитратного азота в процессе ухода за паром [4]. Определение диапазона возможного варьирования и оптимальных величин нитрификационной способности почвы – важное условие диагностики азотного питания растений применительно к конкретным почвенно-климатическим зонам, а также вегетации конкретных культур [1].

На сегодняшний день методика использования нитрификационной способности почвы как интегрального показателя почвенного плодородия для условий аридных регионов РФ научно не обоснована. Например, существует практика отбора образцов весной до начала агротехнических мероприятий, когда почва находится в состоянии гомеостаза [2], но в этот период формирование нитрификационной способности только начинается. В литературе известны результаты изучения нитрификационной способности в течение вегетации растений, однако в этих исследованиях не удалось определить сроки, в каком случае она коррелирует с размерами урожая культур [6].

Вопрос о необходимой длительности компостирования также остается открытым. Компостирование почвы до 30 дней и более позволяет раскрыть потенциальные возможности азотонакопления и особенности структуры органического вещества, но с точки зрения агрономии наиболее оперативно семидневное компостирование [2].

Проявление микробиологической активности почв в различных диапазонах времени связано с сезонной динамикой температуры и количества осадков [7, 8]. Доказан низкий уровень нитрификационной способности при температуре почвы 5 °С [9, 11, 12], и ее ослабление в мерзлотных почвах с глубиной [10]. Результаты наших исследований свидетельствуют, что годовые колебания температуры и количества осадков, особенно во второй половине апреля – мае месяце, оказывают большое влияние на формирование нитрификационной способности и азотонакопление в паровых полях [4], что связано с сезонной динамикой микробиологической активности почвы [9].

Следовательно, увеличение биологической активности происходит по мере прогревания почвы в весенний период и может рассматриваться как функция от суммы активных температур выше 5 °С на глубине почвы 20 см. Вероятно, поэтому высокая вариабельность нитрификационной способности в агроландшафтах связана не только с вариабельностью плодородия, но и с дифференциацией прогревания склонов разной экспозиции и инсоляции [7]. В условиях современной аридизации климата сроки установления оптимальных для нитрификации температур значительно варьируют [8]. В связи с этим можно предположить, что сроки отбора проб почвы необходимо устанавливать не календарные, а в привязке к четко идентифицируемым этапам жизнедеятельности биологических объектов.

Таким образом, для каждой зоны и сельхозкультуры возможно научное обоснование эффективной методики

использования нитрификационной способности почвы как для целей мониторинга плодородия, так и для краткосрочного агрономического планирования.

Цель исследований – определение оптимальных нормативных значений нитрификационной способности и сроков отбора образцов почвы для диагностики азотонакопления в паровых полях, а также прогнозирования урожая озимых культур в условиях засушливой степи Поволжья.

Методика. Работу выполняли в 2016–2019 гг. в стационарных опытах ФГБНУ «ФАНЦ Юго-Востока» в условиях степной и сухостепной зон Саратовской области (географические координаты 51.603656, 46.032527). Коэффициент увлажнения территории, рассчитанный по Н.Н. Иванову, в среднем составляет 0,47. Почва – чернозем южный малогумусный среднемощный тяжелосуглинистый со средним содержанием гумуса – 4,1...4,5%, валового азота – 0,220...0,235 %, валового фосфора 0,118...0,130 % и валового калия 1,8...2,0 %. Обеспеченность доступными растениям формами фосфора по Мачигину высокая 47,0...62,0 мг/кг почвы, калия 350...500 мг/кг почвы.

Образцы почвы в слое 0...30 см отбирали в одни и те же сроки в паровых полях и под озимой пшеницей в севооборотах разной продолжительности и состава с использованием разных агротехнологий (классическая, мелкая, разноглубинная обработки пашни). В четырехпольном севообороте ранней весной под озимую пшеницу вносили аммиачную селитру в дозе N40 кг/га д. в. и под предпосевную культивацию под просо – N60 кг/га д. в. Сроки посева (1.09–10.09) и нормы высева (4,0...4,5 млн всхожих зерен на 1 га) соответствовали зональным технологиям возделывания озимой пшеницы.

За основу наблюдения за формированием нитрификационной способности и ее реализацией были приняты интегральные показатели азотонакопления в теплый период года в бессменном пару и паровых полях севооборотов, поскольку здесь исключен один из основных факторов расхода почвенного азота – вынос с фитомассой. В опыте выращивали сорт озимой мягкой пшеницы Калач 60 селекции ФГБНУ «ФАНЦ Юго-Востока».

Сроки отбора образцов в паровых полях и под озимой пшеницей, были приурочены к основным фазам развития культуры, поскольку в апреле–мае они тесно коррелируют с агроклиматическими изменениями почвенных показателей [7]. Пробы отбирали в следующие сроки: 1 – апрель (полное оттаивание почвы, начало вегетации озимой пшеницы); 2 – первая половина мая (трубкавание – начало колошения озимой пшеницы); 3 – конец мая – начало июня (цветение озимой пшеницы); 4 – конец июля – начало августа (уборка озимой пшеницы); 5 – середина августа (посев озимой пшеницы по пару). В 2016 и 2018 гг. образцы отбирали также после посева озимой пшеницы по всходам (начало сентября) и в фазе осеннего кушения (конец сентября).

Компостирование почвы (7-дневное) проводили по методу Кравкова, содержание нитратного азота определяли ионометрическим методом по ГОСТ 26951-86.

Анализ данных о современных тенденциях изменения погодных условий опирался на результаты наших предыдущих исследований [8]. Сведения о метеоусловиях в годы наблюдения были предоставлены метеостанцией «Саратов Юго-Восток» Саратовского ЦГМС – филиала ФГБУ «Приволжское УГМС».

Для статистической обработки экспериментальных данных использовали двух- и трехфакторный дисперсионный анализ. Обработку материала проводили в программах Excel и Agros.

Результаты и обсуждение. По данным многолетнего мониторинга содержания нитратного азота в паровых полях его наиболее активная сезонная динамика отмечена в слое почвы 0...30 см. Накопление нитратного азота в черных парах севооборотов к посеву озимой пшеницы в пахотном слое в среднем за 2010–2019 гг. составило 17...19 мг/кг. Остаточная нитрификационная способность под черным паром сохранялась на уровне 7...13 мг/кг, благодаря чему в оптимальных условиях сентября – октября продолжалось азотонакопление в период всходов и осеннего кущения озимой пшеницы. В бессменном пару, по сравнению с черными парами севооборотов, способность почвы к нитрификации к середине августа практически исчерпывалась (2 мг/кг почвы). Таким образом, свежие растительные остатки в почве полевых севооборотов в некоторой степени поддерживают ее биологическую активность и интегральные показатели азотонакопления.

Интенсивность накопления минерального азота не всегда зависит от валовых запасов этого минерального элемента, поскольку в черноземах они энергетически не доступны. Одна из задач агротехнологий возделывания культур – создание режимов питания растений, обеспечивающих формирование повышенной нитрификационной способности за счет естественных запасов азота. Так, по данным мониторинга почвенного плодородия чернозема южного в рамках опыта по применению классической и разноглубинной обработки почвы на полях ФАНЦ Юго-Востока, применение традиционной технологии обработки почвы повышает запасы нитратного азота, по сравнению с прилегающей залежью, в верхнем полуметровом слое примерно в семь раз (47,7 и 6,9 кг/га), несмотря на пониженное содержание валового азота (10 000 и 13 000 кг/га соответственно).

В условиях 2016–2019 гг. нитрификационная способность почвы начинала активно формироваться с достижением суммы активных температур (выше +5 °С) на глубине почвы 20 см до 20 °С и возрастает с постепенным прогреванием верхнего слоя почвы (0...5 см) до +10...15 °С.

За период наблюдения сроки полного оттаивания почвы варьировали в пределах 2 декад, наиболее раннее оттаивание отмечали в 2016 г., позднее – в 2018 г. (табл. 1). Сроки оттаивания почвы и неустойчивость метеоусловий по годам (в мае варибельность ГТК была равна 45, суммы выпадающих осадков – 39, в июле – соответственно 63 и 62), влияли на развитие интегральных показателей азотонакопления в паровых полях и объясняли высокую варибельность нитрификационной способности почвы (от 2 до 14,5 мг/кг почвы; $K_{\text{вар}}=61$) как в начале ухода за паром, так и к посеву озимой пшеницы [12].

Табл. 1. Агроклиматические показатели в весенний период

Показатель	Год			
	2016	2017	2018	2019
Срок оттаивания почвы	09.03	25.03	18.04	23.03
ГТК за май	1,6	2,3	0,5	0,6

Важный агроклиматический показатель для развития азотонакопления, кроме сроков оттаивания почвы, – интенсивность прогревания в весенний период (рис. 1). Согласно результатам многолетних наблюдений нитрификационная способность почвы в паровых полях в мае имеет достоверную положительную корреляцию с ГТК и количеством осадков ($r=0,62^{**}$). В то время как содержа-

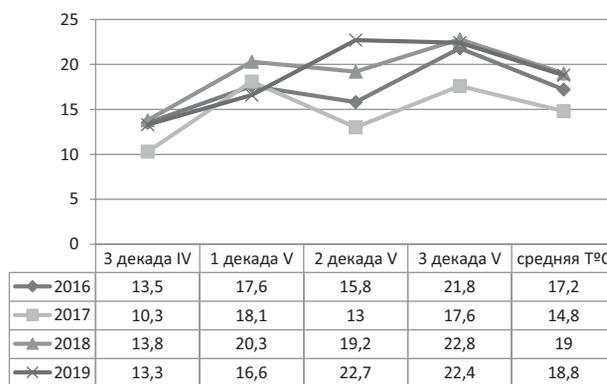


Рис. 1. Динамика прогрессивности верхнего слоя почвы (0,00...0,05 м) в апреле-мае.

ние нитратного азота коррелирует с этими показателями отрицательно, а на протяжении всего теплого периода тесно связано со средней температурой и абсолютным температурным максимумом на поверхности и в верхних слоях почвы ($r=0,85^{**}$). Для разных агротехнологий возделывания сельскохозяйственных культур в зависимости от сроков оттаивания и прогревания почвы сохраняется одинаковая тенденция развития интегральных показателей. Поскольку в этом сообщении мы показываем общую зависимость биологической активности от погодных условий, то используем средние значения.

Высокий уровень нитрификационной способности в мае 2017 г. объясняется высоким ГТК – 2,3 (см. табл. 1) и минимальной за период наблюдения температурой верхних слоев почвы – 14,8 °С (см. рис. 1). В таких условиях отмечали затруднение реализации потенциальной способности почвы к нитрификации и накоплению нитратного азота в черном пару в первой половине мая, по сравнению с 2016 г. (рис. 2). В среднем по севооборотам нитрификационная способность в 2017 г. была значимо выше, чем в 2016 г. (22,17 и 11,83 мг/кг почвы) при пониженном содержании нитратного азота (соответственно 6,92 и 12,43 мг/кг почвы).

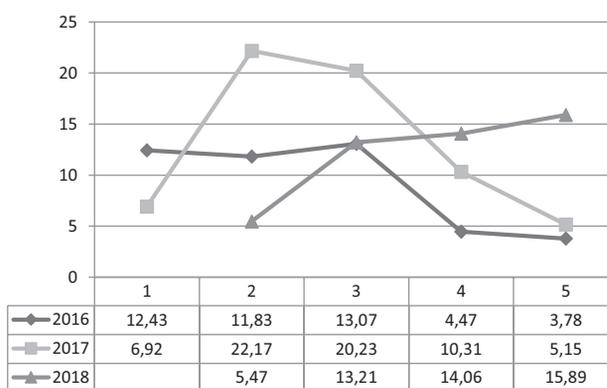


Рис. 2. Динамика нитрификационной способности в паровых полях. Сроки отбора образцов: 1 – апрель; 2 – первая половина мая; 3 – конец мая – начало июня; 4 – июль; 5 – конец июля – август.

Повышенная средняя температура верхних слоев почвы в мае 2016 г. (21,8 °С), по сравнению с 2017 г. (17,6 °С), служит одной из причин преимущественного накопления нитратного азота к посеву озимой пшеницы (соответственно в среднем по севооборотам 21,3 и 16,3 мг/кг).

Позднее оттаивание почвы в 2018 г. сдвинуло сроки формирования нитрификационной способности. А по-

Табл. 2. Формирование фитомассы в фазе трубкования – начало колошения на площади 0,25 м² и урожая зерна озимой пшеницы в связи с азотонакоплением в почве

Год	Фитомасса с учетной площади, кг	Интегральный показатель азотонакопления, мг/кг почвы		Урожайность зерна, т/га	Содержание сырого протеина, %
		нитрификационная способность	N-NO ₃		
2016	0,450b**	7,380a	3,620b	4,14b	9,630a
2017	0,150a	20,210b	1,950a	7,11c	10,230ab
2018	0,147a	6,990a	4,200b	3,37a	13,220c
НСР	87,279	1,495	4,421	1,11	0,961
F	69,246*	309,260*	7,381*	4830,26*	46,535*

*F-критерий показывает достоверность различий показателей по годам
**согласно критерию Дункана варианты с одинаковыми латинскими буквами, различаются незначимо

следующая засуха с прогреванием почвы уже в первой декаде мая до 20 °С затормозила ее развитие. Поэтому величина интегрального показателя потенциального азотонакопления достигла уровня 2016 г. только в июне и не менялась до августа. Результатом стала тенденция пониженного содержания нитратного азота к посеву озимой пшеницы (конец июля) – 14 мг/кг.

Таким образом, особенности динамики интегрального показателя «нитрификационная способность почвы» в паровых полях определяют накопление нитратного азота к концу ухода за паром.

Процессы азотонакопления под культурами севооборотов сопряжены с выносом азота фитомассой и урожаем. Изменения агроклиматических характеристик почвы в середине апреля–мае совпадают с началом весеннего отрастания озимой пшеницы и последующими фазами ее вегетации. При наличии весенних запасов влаги это определяет в аридном климате региона рост и развитие культуры, сопровождаемые интенсивным выносом азота. Пониженная температура верхних слоев почвы замедляет накопление фитомассы, поэтому между показателями в этот период отмечается отрицательная корреляция ($r=-0,83^{**}$). Повышение температуры стимулирует биологическую активность почвы, азотонакопление, а также рост и развитие культуры. Синхронность этих процессов обеспечивает трофику агроценозов озимых культур и играет важную роль в агроэкологии.

Максимальный уровень нитрификационной способности под озимой пшеницей, как и в паровых полях, отмечается к фазе трубкования – началу колошения. Количественно вынос биологического азота, формирование фитомассы в ходе вегетации и впоследствии урожая зерна в большой мере зависят от уровня нитрификационной способности к этой фазе ($r=0,98^{**}$).

Так, пониженная температура почвы в конце апреля – начале мая 2017 г. сдерживала формирование фитомассы к фазе трубкования – началу колошения, затрудняла реализацию нитрификационной способности и накопление нитратного азота в почве (табл. 2). Прогревание почвы в мае – июне способствовало активному азотонакоплению благодаря высокой нитрификационной способности (18...27 мг/кг) и интенсивному нарастанию фитомассы. Пониженное содержание нитратного азота в почве в 2017 г. на протяжении вегетации, по сравнению с другими годами наблюдения, объясняется нарастающим выносом этого элемента при прогревании почвы во второй половине мая – июне, что обеспечивалось реализацией нитрификационной способности. Постепенный приток биологического азота в дальнейшем обеспечил формирование урожая зерна сорта Калач 60 по отдельным

вариантам агротехнологий до 10 т/га. По содержанию азота в зерне в среднем отмечалась тенденция к его увеличению, по сравнению с 2016 г.

Согласно критерию Дункана, при раннем оттаивании почвы в 2016 г. к фазе трубкования накопление фитомассы было на 67 % выше, чем в два последующих года (0,45 кг/м², против 0,15 и 0,147 кг/м² соответственно). К фазе цветения он составил 0,670 кг/м². При этом нитрификационная способность была ниже, чем в 2017 г. в 2,7 раза, а урожай зерна – в 1,7 раз.

В условиях позднего оттаивания почвы и ранней засухи 2018 г. неблагоприятные метеоусловия не только сказались на росте растений (даже к фазе цветения фитомасса была меньше, чем в 2016 г. на 40 %, а по сравнению с 2017 г. – на 22 %), но и привели к позднему формированию нитрификационной способности. Урожай озимой пшеницы сорта Калач 60 был минимальным за 3 года наблюдения.

Пониженная нитрификационная способность почвы в мае 2018 г. сдерживала азотонакопление, тем самым сохраняя азот в форме легкоминерализуемых органических соединений, что на фоне его меньшего выноса с фитомассой сохраняло потенциальное плодородие почвы в условиях засушливых степей.

Таким образом, становится очевидным, что формирование в условиях засушливых степей в отдельные годы высокого урожая зерна с повышенным содержанием белка тесно связано с высоким азотонакоплением при благоприятных погодных условиях.

Многолетнее изучение переходящих осенне-весенних показателей свидетельствует о продолжении накопления нитратного азота при сохранении высокого уровня ни-

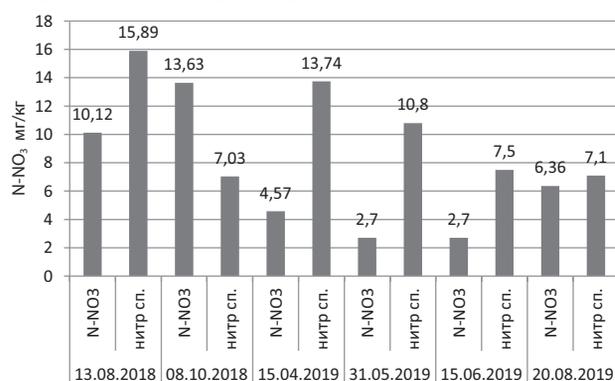


Рис. 3. динамика интегральных показателей азотонакопления в среднем по 4-польному севообороту под озимой пшеницей (2018–2019 гг.).

трификационной способности в раннеосенний период (рис. 3). Так, в 2018 г. после посева озимой пшеницы по черному пару, несмотря на осеннее кущение культуры и вынос азота, накопление нитратов в почве продолжалось (с 10,12 мг/кг в середине августа до 13,63 мг/кг в начале октября) при снижении нитрификационной способности с 15,89 до 7,03 мг/кг.

Длительное изучение пищевого режима в севооборотах свидетельствует о снижении запасов нитратного азота за период с температурой воздуха ниже биологического нуля озимых культур в среднем в 2 раза. Это связано с его частичным сбросом вниз по профилю и процессом денитрификации. К началу вегетации 2019 г. содержание нитратного азота уменьшилось, по сравнению с позднеосенним, в 3 раза (до 4,57 мг/кг). В то время как нитрификационная способность возросла до 13,74 мг/кг. По мере роста и развития культуры приток биологического азота осуществлялся в результате реализации нитрификационной способности при сохранении гомеостатического содержания нитратного азота в почве (2,7 мг/кг). После уборки урожая к концу августа отмечали накопление нитратного азота до 6,36 мг/кг.

Таким образом, результаты исследований доказали возможность использования нитрификационной способности почвы как для целей мониторинга плодородия почвы, так и для краткосрочного агрономического планирования.

В условиях аридного климата потенциальная нитрификационная способность начинает формироваться после полного оттаивания почвы и достигает максимального уровня при возрастании суммы активных температур выше 5 °С на глубине почвы 20 см до 20 °С и прогревании верхнего слоя почвы (0...5 см) до 15...17 °С.

Отбирать почвенные образцы для диагностики азотного питания озимой пшеницы в связи с формированием нитрификационной способности целесообразно в фазе трубкования – начала колошения. В этот период вегетации нитрификационная способность положительно коррелирует с урожайностью зерна ($r=0,98$).

Литература.

1. Кирюшин В. И. *Методология комплексной оценки сельскохозяйственных земель* // *Почвоведение*. 2020. №7. С. 871-879. doi: 10.31857/S0032180X20070060.
2. *Методические указания по проведению комплексного мониторинга плодородия почв земель сельскохозяйственного назначения*. М.: «Росинформагротех», 2003. 240 с.
3. Новосёлов С.И. Влияние агроэкологических условий на аммонифицирующую и нитрифицирующую способность почвы // *Вестник Марийского государственного университета*. 2015. № 4. С. 42-46.
4. Сайфуллина Л.В. Формирование азотного режима в паровых полях степной зоны Нижнего Поволжья / Л.Б. Сайфуллина, Ю.Ф. Курдюков, Г.В. Шубитидзе и др. // *Успехи современного естествознания*. 2018. №5. С. 50-56.
5. Макаров В.И. Нитрификационная способность почв Удмуртии // *Плодородие*. 2016. №6. С. 42-44.
6. Горянин О.И., Чичкин А.П., Джангабаев Б.Ж. Оптимальные параметры агроценозов, средообразующих факторов и агротехнологий возделывания озимой пшеницы в Самарском Заволжье // *Достижения науки и техники АПК* 2014, № 10, стр. 18-21.
7. Методы оценки и прогноза агроклиматических и почвенных показателей в агроландшафтах / В.М. Гончаров, Е.В. Шейн, С.И. Зинченко и др. Владимир: Владимирский НИИСХ Россельхозакадемии, 2010. 172 с.
8. Левицкая Н.Г., Демакина И.И. Современные изменения климата Саратовской области и стратегия адаптации к ним селекции и агротехнологий // *Успехи современного естествознания*. 2019. №10. С. 7-12. doi: 10.17513/use.37206.
9. Чернов Т.И., Железова А. Д. Динамика микробных сообществ почвы в различных диапазонах времени (обзор) // *Почвоведение*. 2020. № 5. С. 590-600. doi: 10.31857/S0032180X20050044.
10. Роль микроорганизмов в экологических функциях почв / Т.Г. Добровольская, Д. Г. Звягинцев, И. Ю. Чернов и др. // *Почвоведение*. 2015. № 9. С. 1087–1096.
11. High soil microbial activity in the winter season enhances nitrogen cycling in a cool-temperate deciduous forest / K. Isobe, H. Oka, T. Watanabe, et al. // *Soil Biology Biochemistry* 2018. Vol. 124. P. 90–100.
12. Microbial community and the analysis of microbiological processes in soddy-podzolic soil / R.S. Kutuzova, L.B. Sirota, O.V. Orlova, et al. // *Eurasian Soil Science*. 2001. Vol. 34. No. 3. P. 286-297.

Поступила в редакцию 27.03.2022

После доработки 22.04.2022

Принята к публикации 05.05.2022

ИЗМЕНЕНИЕ РОСТА ДРЕВОСТОЕВ ЛИСТВЕННИЦЫ В МОСКВЕ ПО ДАННЫМ ДОЛГОВРЕМЕННЫХ НАБЛЮДЕНИЙ

Н.Н. Дубенок, академик РАН, А.В. Лебедев, кандидат сельскохозяйственных наук,
В.В. Кузьмичев, доктор биологических наук

Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева,
127550, Москва, ул. Тимирязевская, 49
E-mail: alebedev@rgau-msha.ru

Исследование проводили с целью проверки гипотезы о наличии временных тенденций в изменении показателей роста и производительности древостоев лиственницы в условиях города Москвы в течение долговременных наблюдений. Материалами для исследования служили данные наблюдений на постоянных пробных площадях Лесной опытной дачи РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева за период с 1893 по 2015 гг. Наличие тенденций в изменении роста древостоев определяли путем моделирования таксационных показателей в зависимости от возраста и календарного года с использованием линейных моделей смешанных эффектов. Древостои на постоянных пробных площадях в разные годы подвергались влиянию окружающей среды. С конца XIX в. повысились среднегодовая температура воздуха и годовая сумма осадков. Одновременно произошло увеличение вегетационного периода и числа опасных погодных явлений, усилилось воздействие промышленных выбросов. Лиственничные древостои в урбанизированных условиях Москвы в начале и конце XX в. характеризовались разными тенденциями роста. Для одновозрастных древостоев увеличилась средняя высота (+19%), средний диаметр (+13%), средний объем стволов (+35%) и уменьшилось количество растущих деревьев (-14%). В среднем ускорение прохождения основных этапов роста за рассматриваемый временной промежуток составило 20...40 лет. Так как влияние негативных факторов со стороны города не привело к снижению продуктивности древостоев, лиственницу можно считать древесной породой, устойчивой к условиям урбанизации.

CHANGES IN THE GROWTH OF LARCH STANDS IN MOSCOW ACCORDING TO THE DATA OF LONG-TERM OBSERVATIONS

Dubenok N.N., Lebedev A.V., Kuzmichev V.V.

Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy,
127550, Moscow, ul. Timiryazevskaya, 49
E-mail: alebedev@rgau-msha.ru

The study tests the hypothesis of the presence of temporal trends in the growth and yield of larch stands in the conditions of the city of Moscow based on long-term observations. The materials for the study were observational data on permanent trial plots of the Forest Experimental Station of the Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy for the period from 1893 to 2015. The presence of trends in the growth of forest stands was studied by modeling stand variables depending on age and calendar year using linear models of mixed effects. Forest stands on permanent trial plots were subjected to environmental changes in different years. Since the end of the 19th century, the average annual air temperature and the annual amount of precipitation have increased. At the same time, there was an increase in the growing season and the number of dangerous weather events. Tree stands were exposed to industrial emissions. Larch stands in the urbanized conditions of Moscow at the beginning and at the end of the 20th century had different growth trends. For forest stands of the same age, the average height (+19%), average diameter (+13%), average trunk volume (+35%) increased, and the number of growing trees decreased (-14%). On average, larch stands accelerate the passage of the main stages of growth over the considered time period by 20-40 years. Since the influence of negative factors from the side of the city did not lead to a decrease in the productivity of forest stands, larch can be considered a resistant tree species to the conditions of urbanization and recommended for use in urban landscaping.

Ключевые слова: лиственница, урбанизация, рост древостоев, продуктивность древостоев.

Key words: larch, urbanization, Moscow, growth of forest stands, productivity of forest stands.

Первые упоминания о возможных изменениях в росте древостоев в странах Центральной Европы на фоне климатических изменений и загрязнения воздуха относятся к 1980-м гг. [1]. Такие результаты на участках долговременных наблюдений изначально воспринимали как исключение из общего правила, а не в качестве общей закономерности. Дальнейшие исследования подтвердили наличие в последние 100 лет тенденции к повышению продуктивности древостоев на фоне климатических изменений [1, 2]. Результаты многолетних наблюдений на постоянных опытных участках в центре европейской части России также свидетельствуют о ускорении роста лесов и интенсивном выходе широколиственных пород в полог леса [3, 4, 5]. На фоне происходящих изменений необходима разработка стратегии адаптации системы управления лесами, учитывающей текущий климат, прогнозируе-

мое влияние климата в будущем и связанные с ними последствия для лесных экосистем и ведения лесного хозяйства.

Результаты ранее проведенных исследований охватывают значительные географические регионы и в целом могут быть интерполированы на большую часть Европы, в том числе европейскую часть России. Однако вопрос о том, как сказываются климатические изменения на росте древостоев на фоне воздействия различных антропогенных факторов в урбанизированных условиях, остается открытым. Большое количество исследований в разных городах мира направлено на изучение влияния условий урбанизированной среды на рост и продуктивность отдельных деревьев [6, 7, 8]. Например, в Японии, Германии, Канаде, Франции, Чили, Южной Африки, Вьетнама, Австралии и США была выявлена общая тенденция, что с 1960-гг.

деревья в городах растут быстрее, чем, находящиеся в естественной среде [7]. Климатические изменения объясняют в среднем 35 % ускорения роста, в том числе 21 % приходится на эффект глобального потепления и 14 % на городской островной тепловой эффект.

Цель исследования – проверка гипотезы о наличии временных тенденций в изменении показателей роста и производительности древостоев лиственницы в условиях города Москвы по материалам долговременных наблюдений.

Результаты оценки моделей изменения роста древостоев лиственницы

Показатель	Переменная	Параметр	Оценка	Стандартная ошибка	p-value	Условный R ²	Предельный R ²
Средняя высота							
Фиксированные эффекты	<i>Intercept</i>	β_0	-8,027e+00	1,057e+00	2,04e-10	0,916	0,839
	<i>ln(Age)</i>	β_1	2,835e+00	1,496e-01	< 2e-16		
	<i>ln(Age)²</i>	β_2	-2,837e-01	2,032e-02	< 2e-16		
	<i>Year</i>	β_3	2,221e-03	4,779e-04	2,29e-05		
	Уровень	Параметр	Стандартное отклонение				
Случайные эффекты	Пробная площадь	b_i	0,1008				
	Остатки	ε_{it}	0,1058				
Средний диаметр							
	Переменная	Параметр	Оценка	Стандартная ошибка	p-value	Условный R ²	Предельный R ²
Фиксированные эффекты	<i>Intercept</i>	β_0	-4,967e+00	1,243e+00	0,000174	0,953	0,873
	<i>ln(Age)</i>	β_1	1,857e+00	1,433e-01	< 2e-16		
	<i>ln(Age)²</i>	β_2	-1,380e-01	2,056e-02	2,18e-10		
	<i>Year</i>	β_3	1,501e-03	5,767e-04	0,011738		
	Уровень	Параметр	Стандартное отклонение				
Случайные эффекты	Пробная площадь	b_i	0,1353				
	Остатки	ε_{it}	0,1042				
Объем ствола							
	Переменная	Параметр	Оценка	Стандартная ошибка	p-value	Условный R ²	Предельный R ²
Фиксированные эффекты	<i>Intercept</i>	β_0	-22,742837	3,093306	6,28e-10	0,948	0,865
	<i>ln(Age)</i>	β_1	5,469366	0,379324	< 2e-16		
	<i>ln(Age)²</i>	β_2	-0,446206	0,053350	1,22e-14		
	<i>Year</i>	β_3	0,003750	0,001418	0,0107		
	Уровень	Параметр	Стандартное отклонение				
Случайные эффекты	Пробная площадь	b_i	0,3186				
	Остатки	ε_{it}	0,2536				
Число деревьев							
	Переменная	Параметр	Оценка	Стандартная ошибка	p-value	Условный R ²	Предельный R ²
Фиксированные эффекты	<i>Intercept</i>	β_0	12,706788	1,661924	4,73e-13	0,935	0,358
	<i>ln(Age)</i>	β_1	-0,623652	0,067600	< 2e-16		
	<i>Year</i>	β_2	-0,001916	0,000965	0,0482		
	Уровень	Параметр	Стандартное отклонение				
Случайные эффекты	Пробная площадь	b_i	0,4106				
	Остатки	ε_{it}	0,1383				

Методика. Материалами для исследования служили данные инвентаризаций древостоев лиственницы на постоянных пробных площадях Лесной опытной дачи Российского государственного аграрного университета – МСХА имени К.А. Тимирязева, которая расположена в северо-западной части города Москвы. Преобладающие древесные породы лесного фонда – сосна, лиственница, дуб, береза и липа. По итогам лесоустройства 2009 г. площадь Лесной опытной дачи составляет 248,7 га, в том числе покрытых лесом земель – 233,4 га (93,8 %). Лиственничные древостои произрастают на площади 34,8 га с общим запасом 11900 м³ [9]. В исследовании использованы данные по 37 постоянным пробным площадям с лиственничными древостоями [10]. Измерения таксационных показателей проводили с 1893 по 2015 гг., когда возраст древостоев составлял от 14 до 146 лет.

Наличие тенденций в изменении роста древостоев изучали путем моделирования таксационных показателей в зависимости от возраста и календарного года. Для изучения изменения средней высоты, среднего квадратического диаметра и среднего объема дерева использовали следующую структуру линейной модели смешанных эффектов:

$$\ln(Y_{it}) = \beta_0 + \beta_1 \times \ln(Age_{it}) + \beta_2 \times \ln(Age)^2 + \beta_3 \times YEAR_{it} + b_i + \varepsilon_{it} \quad (1)$$

где Y – моделируемый показатель; Age – возраст древостоя, лет; $YEAR$ – календарный год; i – индекс пробной площади; t – индекс момента времени; $\beta_0 \dots \beta_3$ – параметры фиксированных эффектов; b_i – случайный эффект пробной площади $b_i \sim N(0, \tau^2)$; ε_{it} – случайная ошибка $b_i \sim N(0, \sigma^2)$; N – функция нормального распределения.

Зависимость между количеством растущих деревьев и возрастом может быть представлена монотонной убывающей кривой. Для определения связи между величинами этих показателей с учетом календарного года использовали линейную модель смешанных эффектов следующего вида:

$\ln(Y_{it}) = \beta_0 + \beta_1 \times \ln(Age_{it}) + \beta_2 \times YEAR_{it} + b_i + \varepsilon_{it}$, (2)
 где Y – моделируемый показатель; Age – возраст древостоя, лет; $YEAR$ – календарный год; i – индекс пробной площади; t – индекс момента времени; $\beta_0 \dots \beta_2$ – параметры фиксированных эффектов; b_i – случайный эффект пробной площади $b_i \sim N(0, \tau^2)$; ε_{it} – случайная ошибка $b_i \sim N(0, \sigma^2)$; N – функция нормального распределения.

Включение в модель логарифмических значений возраста и таксационных показателей позволяет в достаточной степени охватить нелинейный характер связи с использованием линейной регрессии [2]. Введение в уравнение случайных эффектов позволяет избежать автокорреляции в регрессионных остатках. Для оценки достоверности моделей использовали условный и предельный коэффициенты детерминации (R^2). Предельный R^2 учитывает только дисперсию фиксированных эффектов и указывает, какую часть дисперсии модели объясняет только часть фиксированных эффектов. Условный R^2 учитывает, как фиксированные, так и случайные эффекты и показывает, какую часть дисперсии объясняет «полная» модель. Для всех расчетов использовали статистическую программу R 4.0.3, в частности функцию lmer из пакета lme4 [11].

Результаты и обсуждение. На территории Москвы за последние 100 лет произошло значительные изменения среднегодовой температуры, количества выпадающих осадков и состояния окружающей среды. С конца XIX в. среднегодовая температура повысилась в среднем более чем на 80 %, рост годовой суммы осадков составил около 20 %. Одновременно произошло увеличение вегетационного периода и числа опасных погодных явлений (ливни, ураганные ветры, заморозки и др.). Исследуемые лиственничные древостои в разные годы подвергались воздействию промышленных выбросов (1920–1990 гг.), выбросов от железнодорожного (1900–1950 гг.) и автомобильного транспорта (с 1950 г.), а также отдыхающего на природе населения города (с середины XIX в.). Результатом промышленного развития города стали повышенные концентрации в атмосферном

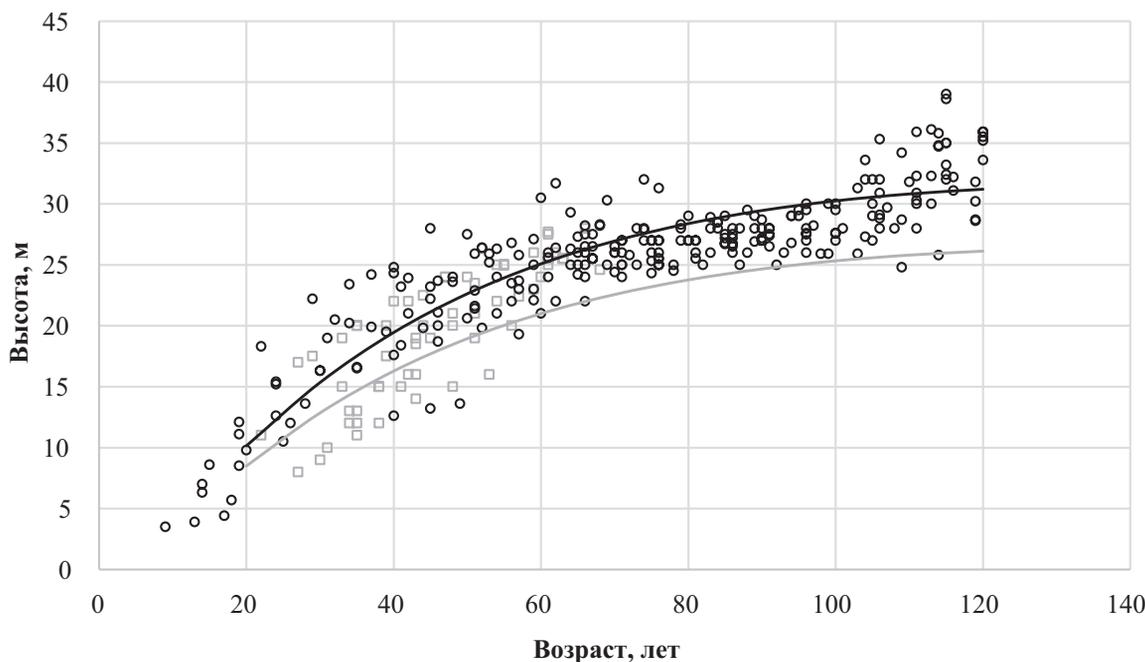


Рис. 1. Возрастные тренды средних высот древостоев: □ – данные 1860–1940 гг.; ○ – данные 1940–2020 гг.; — — — — модель 1900 г.; — — — — модель 1980 г.

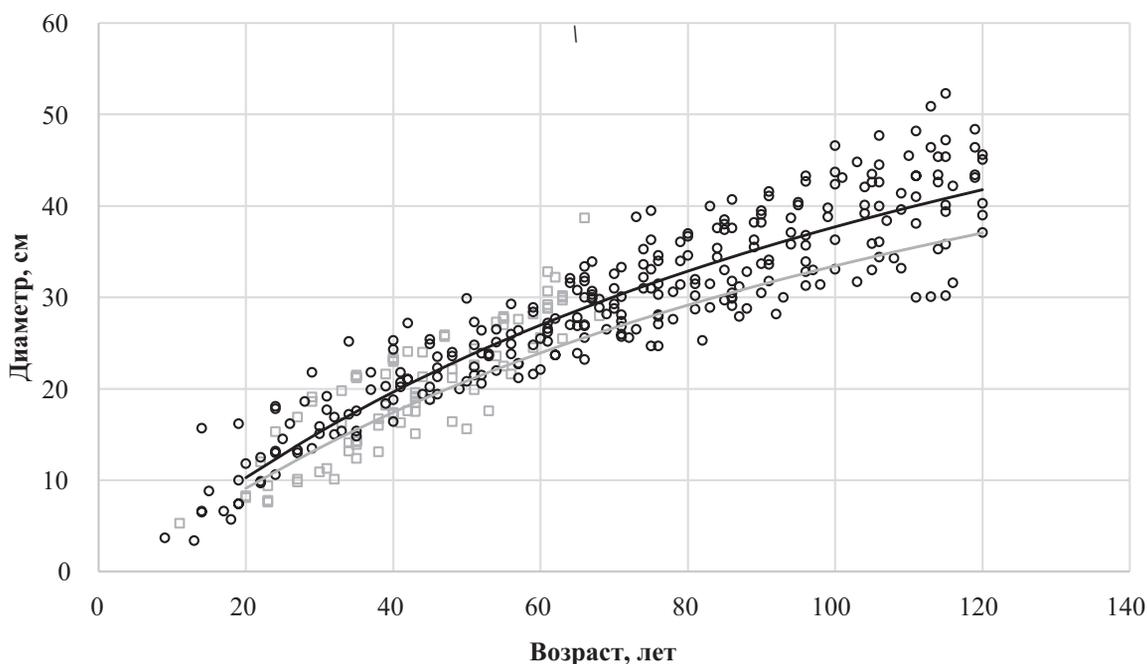


Рис. 2. Возрастные тренды средних диаметров древостоев: □ – данные 1860–1940 гг.; ○ – данные 1940–2020 гг.; — — модель 1900 г.; — — модель 1980 г.

воздухе диоксида серы (до 0,24 мг/м³) в период с 1950 по начало 1990 гг. и диоксида азота (до 0,10 мг/м³) с 1960 по 2010 гг. Таким образом, с одной стороны изменения климатических условий должны способствовать повышению скорости роста и продуктивности древостоев, а с другой, комплекс неблагоприятных факторов урбанизированной среды может замедлять эти процессы.

Для всех изучаемых таксационных показателей числовые оценки перед переменной календарного года статистически значимы ($p < 0,05$). Более высокие величины условного R^2 (более 0,9), по сравнению с предельным R^2 , указывают на хорошую обобщающую способность модели (см. табл.).

В урбанизированных условиях для древостоев лиственницы с 1900 по 1980 гг. произошло увеличение средней высоты, среднеквадратического диаметра и среднего объема ствола, а также снижение числа растущих деревьев. Оценить изменения трендов таксационных показателей можно с учетом оценок параметров модели при нулевых случайных эффектах. С 1900 по 1980 гг. увеличение средней высоты древостоев составило +19 % (рис. 1), или +4,8 м в возрасте 100 лет. Таким образом, согласно бонитетной шкале [12] произошло повышение продуктивности на 1 класс бонитета. Средний диаметр столов деревьев относится к одним из основных таксационным показателей, определяющих

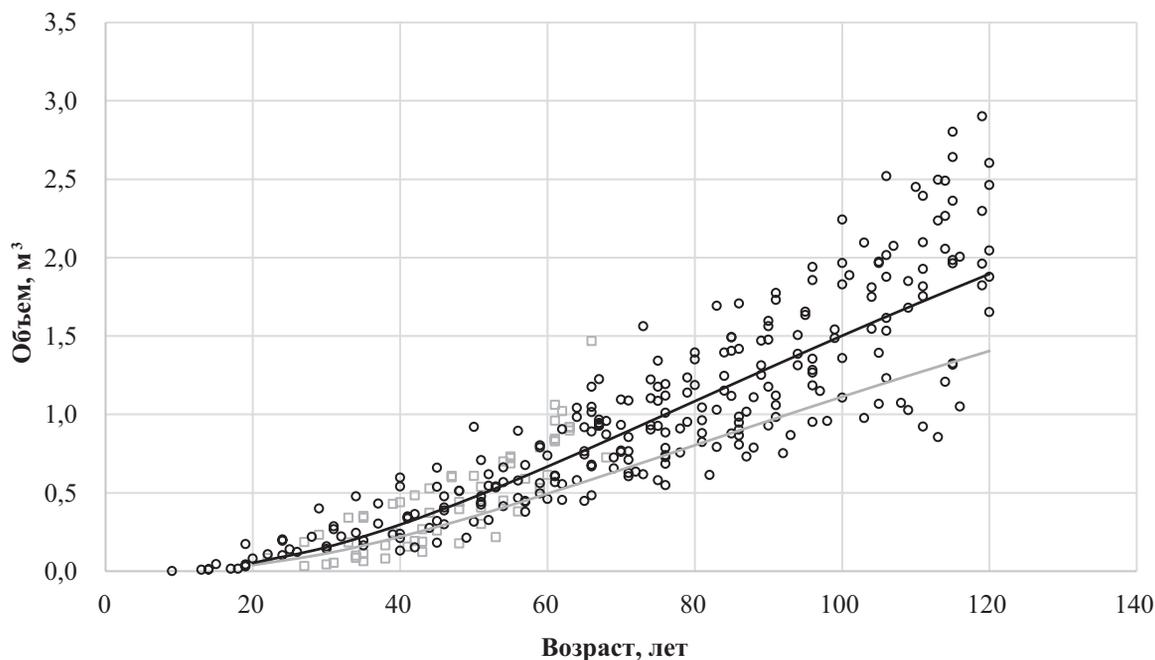


Рис. 3. Возрастные тренды объема ствола среднего дерева: □ – данные 1860–1940 гг.; ○ – данные 1940–2020 гг.; — — модель 1900 г.; — — модель 1980 г.

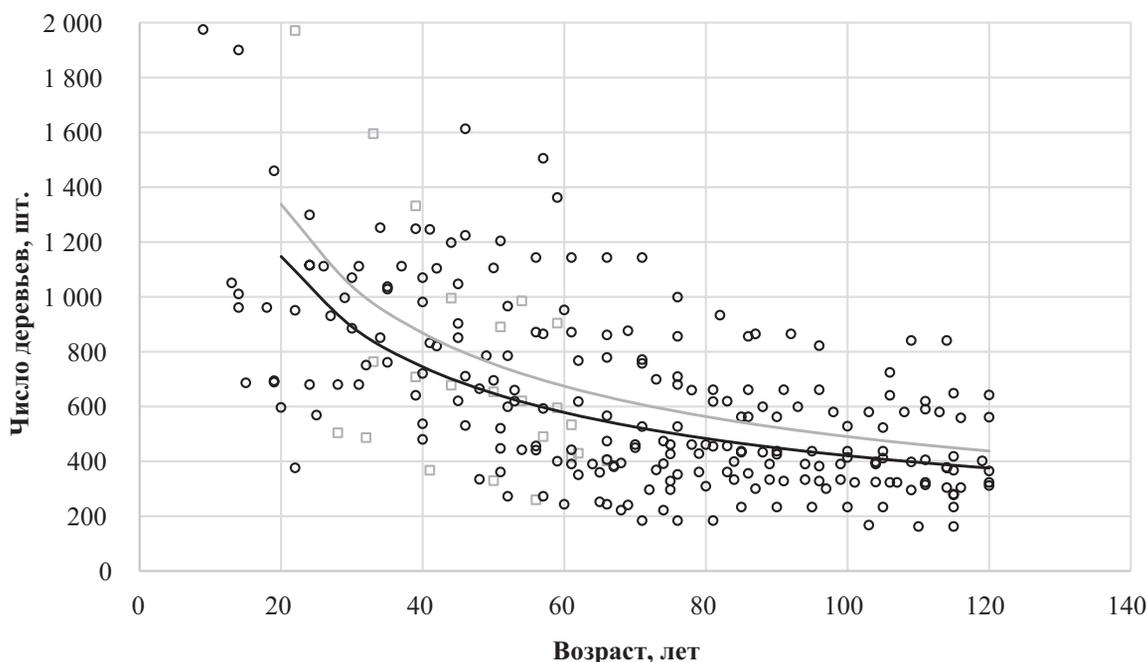


Рис. 4. Возрастные тренды изменения числа деревьев: □ – данные 1860–1940 гг.; ○ – данные 1940–2020 гг.; — — модель 1900 г.; — — модель 1980 г.

в эксплуатационных лесах выход деловой древесины. За рассматриваемый временной промежуток изменение среднего диаметра составило +13 % (рис. 2). Об увеличении количества крупномерной древесины свидетельствует изменение среднего объема стволов деревьев на +35 % (рис. 3). Уменьшение количества растущих деревьев на единицы площади в среднем составило –14 % (рис. 4).

Для изучаемых древостоев лиственницы время достижения целевых показателей сократилось. Например, пороговый средний диаметр 40 см в 1980 г. отмечали раньше, чем в условиях 1900 г., на 30 лет, а средний объем дерева в 1 м³ – на 20 лет. В среднем ускорение древостоями лиственницы прохождения основных периодов роста за рассматриваемый временной промежуток составило 20...40 лет.

Согласно результатам ранее проведенных исследований, повышение продуктивности деревьев и древостоев происходит благодаря росту температуры воздуха и количества выпадающих осадков, увеличению продолжительности вегетационного периода и повышению уровня CO₂ в атмосфере [1, 13, 14]. Эти причины можно рассматривать в качестве основных в ускорении роста и повышении продуктивности древостоев лиственницы в Москве. Считается, что высокие концентрации SO₂ и NO₂ в атмосферном воздухе могут вызывать повреждения деревьев напрямую через хвою и косвенно через почву [15, 16], приводя к снижению прироста. Последствия повышенных содержаний загрязняющих веществ могут сказываться на функционировании лесных экосистем на протяжении нескольких десятилетий. Лиственница в условиях Москвы показала значительную устойчивость к комплексу неблагоприятных воздействий со стороны города, кроме того, продемонстрировала значительное повышение продуктивности.

Таким образом, лиственничные древостои в урбанизированных условиях Москвы в начале и в конце XX в. имели разные тенденции роста. Для одновозрастных древостоев увеличилась средняя высота,

средний диаметр, средний объем дерева и уменьшилось количество растущих деревьев. Так как влияние негативных факторов со стороны города не привело к снижению продуктивности древостоев, то лиственницу можно считать древесной породой, устойчивой к условиям урбанизации и рекомендовать для использования в городском озеленении. Выявленные тенденции указывают на повышение предоставления экосистемных услуг городскими лиственничными лесными массивами. При организации будущих наблюдений на постоянных пробных площадях в городских условиях необходимо фиксировать как показатели роста и продуктивности древостоев, так и условия окружающей среды с целью более точного выявления причин изменения в трендах таксационных показателей.

Литература.

1. *Forest stand growth dynamics in Central Europe have accelerated since 1870* / H. Pretzsch, P. Biber, G. Schütze, et al // *Nature Communications*. 2014. No. 5. article number 4967. doi: 10.1038/ncomms5967.
2. *Changes of forest stand dynamics in Europe. Facts from long-term observational plots and their relevance for forest ecology and management* / H. Pretzsch, P. Biber, G. Schütze, et al // *Forest Ecology and Management*. 2014. Vol. 316. P. 65-77. doi: 10.1016/j.foreco.2013.07.050.
3. *Alekseev A.S., Sharma S.K. Long-Term Growth Trends Analysis of Norway Spruce Stands in Relation to Possible Climate Change: Case Study of Leningrad Region* // *Lesnoi Zhurnal*. 2020. T. 31. № 1-2. С. 42–54. doi: 10.37482/0536-1036-2020-3-42-54.
4. *Влияние экологических и социально-экономических факторов на формирование лесов Подмосковья* / С.А. Коротков, Л.В. Стоноженко, В.В. Киселева и др. // *Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем*. 2020. Т. 31. № 1-2. С. 90-115. doi: 10.21513/0207-2564-2020-1-90-115.
5. *Дубенок Н.Н., Кузьмичев В.В., Лебедев А.В. Результаты экспериментальных работ за 150 лет в Лесной*

- опытной даче Тимирязевской сельскохозяйственной академии. – М.: Наука, 2020. 382 с.
6. Monteiro M.V., Levanič T., Doick K.J. Growth rates of common urban trees in five cities in Great Britain: A dendrochronological evaluation with an emphasis on the impact of climate // *Urban Forestry & Urban Greening*. 2017. No. 22. P. 11-23. doi: 10.1016/j.ufug.2017.01.003.
 7. Climate change accelerates growth of urban trees in metropolises worldwide / H. Pretzsch, P. Biber, E. Uhl, et al // *Scientific Reports*. 2017. No. 7. id 15403. doi: 10.1038/s41598-017-14831-w.
 8. Urban tree growth and ecosystem services under extreme drought / T. Rötzer, A. Moser-Reischl, M.A. Rahman, et al // *Agricultural and Forest Meteorology*. 2021. No. 308-309. id 108532. doi: 10.1016/j.agrformet.2021.108532.
 9. Дубенок Н.Н., Кузьмичев В.В., Лебедев А.В. Рост и продуктивность древостоев сосны и лиственницы в условиях городской среды // *Вестник Поволжского государственного технологического университета*. Серия: Лес. Экология. Природопользование. 2018. № 1(37). С. 54-71. doi: 10.15350/2306-2827.2018.1.54.
 10. Dubenok N.N., Lebedev A.V., Gemonov A.V. Data set of long-term experiments in Forest Experimental Station of the Timiryazev Agricultural Academy since 1862 // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2021. P. 012025. doi: 10.1088/1755-1315/876/1/012025.
 11. Fitting Linear Mixed-Effects Models Using lme4 / D. Bates, M. Mächler, B. Bolker, et al. // *Journal of Statistical Software*. 2015. No. 67(1). P. 1–48. doi: 10.18637/jss.v067.i01.
 12. Таблицы и модели хода роста и продуктивности насаждений основных лесообразующих пород Северной Евразии. Нормативно-справочные материалы / А.З. Швиденко, Д.Г. Щенащенко, С. Нильсон и др. М.: Федеральное агентство лесного хозяйства, 2008. 886 с.
 13. Production of *Picea abies* in south-east Norway in response to climate change: A case study using process based model simulation with field validation / D. Zheng, M. Freeman, J. Bergh, et al. // *Scandinavian Journal of Forest Research*. 2002. No. 17(1). P. 35-46.
 14. Regional differences in climatic responses of Norway spruce (*Picea abies* L. Karst) growth in Norway / K. Andreassen, S. Solberg, O.E. Tveito, et al. // *Forest Ecology and Management*. 2006. No. 222(1-3). P. 211-221. doi: 10.1016/j.foreco.2005.10.029.
 15. Impacts of Air Pollution and Climate Change on Forest Ecosystems-Emerging Research Needs / E. Paoletti, A. Bytnerowicz, C. Andersen, et al. // *Scientific World Journal*. 2007. No. 7. P. 1–8.
 16. Chojnacka-Ożga L., Ożga W. The Impact of Air Pollution on the Growth of Scots Pine Stands in Poland on the Basis of Dendrochronological Analyses // *Forests*. 2021. No. 12. P. 1421. doi: 10.3390/f12101421.

Поступила в редакцию 22.01.2022
После доработки 21.02.2022
Принята к публикации 05.05.2022

Зоотехния и ветеринария

УДК 636.52/58:612.34

DOI: 10.31857/S2500262722030127, EDN: GDDNJS

ВОЗРАСТНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ АКТИВНОСТИ ФЕРМЕНТОВ В ПОДЖЕЛУДОЧНОЙ ЖЕЛЕЗЕ, КИШЕЧНИКЕ И ПЛАЗМЕ КРОВИ ЦЫПЛЯТ-БРОЙЛЕРОВ КРОССА СМЕНА 9*

В.Г. Вертипрахов¹, доктор биологических наук, А.А. Грозина², кандидат биологических наук, Н.В. Овчинникова^{1,3}, И.В. Кислова³, кандидат биологических наук¹Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева, 127434, Москва, ул. Тимирязевская, 49
E-mail: vertiprahov@rgau-msha.ru²Федеральный научный центр «Всероссийский научно-исследовательский и технологический институт птицеводства» РАН, 141311, Московская обл., Сергиев Посад, ул. Птицеградская, 10³Научно-исследовательский институт нормальной физиологии имени П.К. Анохина, 125315, Москва, ул. Балтийская, 8

Исследования проводили с целью изучения в онтогенезе у цыплят-бройлеров пищеварительных органов, активности панкреатических и дуоденальных ферментов, щелочной фосфатазы и ферментов плазмы крови. Опыты выполняли на 120 цыплятах-бройлерах кросса Смена 9. Материал для исследований брали после декапитации в 1-, 7-, 14-, 21-, 28-, 35-суточном возрасте птицы, ферментативную активность определяли классическими методами, а также с использованием полуавтоматического биохимического анализатора SINNOWA BS-3000P с набором реактивов для определения ферментов компании «ДИАКОН-ВЕТ». Живая масса цыплят-бройлеров к 35 сут. увеличивалась в 50,4 раза, масса поджелудочной железы – в 68,7 раза, 12-перстной кишки – в 23,7 раза. Наиболее интенсивно органы пищеварения развивались в первые 7 сут.: относительная масса поджелудочной железы достигала 0,53 %, 12-перстной кишки – 2,48 % от живой массы птицы. К 35 сут. величины этих показателей снижались соответственно до 0,19 % и 0,45 %. Цыплята вытуплялись из яйца с активно действующим пищеварительным аппаратом. В первую неделю постэмбриогенеза происходило уменьшение активности панкреатических ферментов. В 21-суточном возрасте наблюдали увеличение активности амилазы на 149,4 %, липазы – на 6,0 %, протеаз – на 95,1 %, по сравнению с суточным возрастом. В 35 суток происходило увеличение активности обобщенных протеаз в 2,1 раза, активность трипсина оставалась на 27,0 % ниже, чем у суточных особей. В активности ферментов поджелудочной железы можно выделить два периода в постэмбриогенезе: первый (1...14 сут.) характеризуется становлением функции поджелудочной железы, адаптацией её к внешнему питанию, второй (15...35 сут.) – высоким уровнем панкреатических ферментов, способных гидролизовать возрастающее количество корма при повышении активности щелочной фосфатазы. Активность дуоденальных ферментов, наоборот, была относительно высокой в первые 14 сут. Активность трипсина в плазме крови снижалась с возрастом цыплят.

AGE-RELATED CHANGES IN ENZYME ACTIVITY IN PANCREAS, INTESTINES AND BLOOD PLASMA OF BROILER CHICKENS OF THE SMENA 9 BREED

Vertiprahov V.G.¹, Grozina A.A.², Ovchinnikova N.V.^{1,3}, Kislova I.V.³¹Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, 127434, Moscow, ul. Timiryazevskaya, 49
E-mail: vertiprahov@rgau-msha.ru²Federal scientific center «All-Russian Research and Technological Poultry Institute» of Russian Academy of Sciences, 141311, Moskovskaya obl., Sergiev Posad, ul. Ptiitsegradskaya, 10³Research Institute of Normal Physiology named after P.K. Anokhin, 125315, Moscow, ul. Baltiiskaya, 8

The aim of the study was to study the ontogeny of the digestive organs in broiler chickens, the activity of pancreatic enzymes and alkaline phosphatase, the activity of duodenal and blood plasma enzymes. The experiments were carried out on 120 broiler chickens of the Smena 9 breed (FSC ARRTPI RAS, 2021). The material for research was taken after decapitation at 1-, 7-, 14-, 21-, 28-, 35-day-old birds, the enzymatic activity was determined by classical methods, as well as using a semi-automatic biochemical analyzer SINNOWA BS-3000P with a set of reagents for determining enzymes of the company «DIAKON-VET». Live weight of broiler chickens aged 1-35 days increased by 50.4 times, the weight of the pancreas increased by 68.7 times, and that of the duodenum by 23.7 times. The digestive organs developed most intensively in the first 7 days: the relative weight of the pancreas reached 0.53%, duodenal ulcer – 2.48% of the live weight of the bird. By day 35 the indicators decreased to 0.19% and 0.45%, respectively. The chicks hatched from an egg with an active digestive apparatus. In the first week of postembryogenesis, a decrease in the activity of pancreatic enzymes was noted. At the age of 21 days, there was an increase in the activity of amylase by 149.4%, lipase – by 6.0%, protease – by 95.1% compared with the day old. At 35 days, there was an increase in the activity of total proteases by 2.1 times, the activity of trypsin remained lower by 27.0% than in day old individuals. Thus, in the activity of pancreatic enzymes, two periods in postembryogenesis can be distinguished: the first (1...14 days) is characterized by the formation of pancreatic function, its adaptation to external nutrition, the second (15...35 days) is characterized by a high level of pancreatic enzymes capable of hydrolyzing an increasing amount of feed with an increase in the activity of alkaline phosphatase. The activity of duodenal enzymes, on the contrary, had relatively high activity in the first 14 days. In blood plasma, trypsin activity decreased with the age of chickens.

Ключевые слова: цыплята-бройлеры, ферменты поджелудочной железы, дуоденальные ферменты, ферменты крови, трипсин, онтогенез

Key words: broiler chickens, pancreatic enzymes, duodenal enzymes, blood enzymes, trypsin, ontogeny.

*работа выполнялась при финансовой поддержке проекта тематики научных исследований рег. №1021032421700-9

Для совершенствования технологии кормления птицы необходимо знать происходящие возрастные морфофункциональные изменения пищеварительной системы, поскольку каждый возрастной период характеризуется особенностями, которые требуют индивидуального подхода к организации питания. Поджелудочная железа считается одним из центральных органов пищеварительной системы, участвующих в саморегуляции деятельности желудочно-кишечного канала. Она выполняет экзокринную и эндокринную функции, её значение не ограничивается процессами пищеварения. Поджелудочная железа участвует также во взаимодействии висцеральных систем и общих метаболических процессах в организме.

Для изучения возрастных изменений секреторной функции поджелудочной железы используют острый метод, когда после убоя птицы извлекают и изучают ткань поджелудочной железы в гомогенате. Результаты исследования цыплят-бройлеров кросса Смена-8 показали, что наиболее интенсивный период роста современных кроссов бройлеров соответствует периоду 14...21 сутки. Масса поджелудочной железы интенсивно увеличивается в первые 7 суток (в 12,3 раза), в этот период отмечается самая высокая относительная её масса, которая составляет 0,53 % от живой массы птицы [1]. Имеются данные о том, что наиболее интенсивно в первый постэмбриональный период развивается тонкий кишечник, особенно двенадцатиперстная кишка [2]. Поэтому создание новых кроссов цыплят-бройлеров должно базироваться на фундаментальных знаниях развития пищеварительной системы в онтогенезе, которые служат основой для разработки рационального питания птицы. Это имеет особое значение при нормировании питания для вновь создаваемых кроссов цыплят-бройлеров, которые по своим генетическим показателям, превосходят предшественников.

Цель исследований – определение возрастных изменений активности ферментов в поджелудочной железе, 12-перстной кишке и плазме крови цыплят-бройлеров нового кросса Смена 9.

Методика. Опыты выполняли на 120 цыплятах-бройлерах кросса Смена 9 (ВНИТИП, 2021). Цыплят выращивали с суточного до 35-суточного возраста в виварии ФНЦ «ВНИТИП» РАН, где условия кормления и содержания соответствовали требованиям для этого кросса птицы. Эксперименты выполняли в соответствии с требованиями Европейской конвенции о защите позвоночных животных, используемых для экспериментов

или в иных научных целях (ETS №123, Страсбург, 1986) [3]. Материал для исследования получали от цыплят в 1, 7, 14, 21, 28 и 35-суточном возрасте. Все исследования проводили натощак, после 10-часового голодания, при неограниченном доступе к воде. Убой выполняли методом декапитации, вскрывали брюшную полость, извлекали петлю 12-перстной кишки, отпрепаровывали поджелудочную железу, взвешивали ее на аналитических весах HR-100AZ (AND, Япония). С использованием гомогенизатора В. Braun Melsungen AG (Германия) (1500 об/мин в течение одной минуты) создавали однородную смесь, которую центрифугировали при 6000 об/мин в течение 3 мин. на центрифуге EBA-200 (Hettich LAB TECHNOLOGY, Германия). Для определения активности ферментов брали надосадочную жидкость.

Определение амилазы выполняли по Smith-Roy в модификации для определения высокой активности фермента [4, 5], протеаз — по гидролизу казеина, очищенного по Гаммерстену, при калориметрическом контроле (длина волны 450 нм) [4,5], липазы — на полуавтоматическом биохимическом анализаторе SINNOWA BS-3000P (КНР) с набором ветеринарных диагностических реагентов для определения концентрации липазы в крови животных компании «ДИАКОН-ВЕТ» (РФ). Активность трипсина в плазме крови изучали, используя в качестве субстрата нитроанилид бензоил DL-аргинина (BAPNA), на полуавтоматическом биохимическом анализаторе BS3000P (КНР) кинетическим методом [6].

Для статистической обработки результатов использовали программу Excel, в которой выполняли расчет среднего значения (M), среднееквадратичное отклонение (\pm SD), корреляцию, а также проводили дисперсионный анализ с применением пакета Microsoft office. Достоверность различий устанавливали по t-критерию Стьюдента, различия считали статистически значимыми при $p < 0,05$.

Результаты и обсуждение. Деятельность поджелудочной железы не ограничивается секрецией ферментов, которые гидролизуют белки, жиры и углеводы. Эндокринная часть железы вырабатывает гормоны, которые регулируют углеводный обмен и метаболизм, наряду с трипсином [7, 8]. Поэтому развитие организма в постэмбриональный период определяет состояние поджелудочной железы и кишечника.

Результаты наших исследований показали, что живая масса цыплят-бройлеров к 35 сут. увеличивается в 50,4 раза (табл. 1), при этом масса поджелудочной железы возрастает в 68,7 раза, 12-перстной кишки – в 23,7

Табл. 1. Показатели массы поджелудочной железы и 12-перстной кишки у цыплят-бройлеров кросса Смена 9 в онтогенезе ($M \pm SD$, $n=20$)

Показатель	Возраст цыплят, сут					
	1	7	14	21	28	35
Живая масса, г	44,0 \pm 0,3	152,0 \pm 1,1*	431,0 \pm 7,3*	888,0 \pm 7,5*	1748,0 \pm 0,3*	2217,0 \pm 50,5*
Масса pancreas, г	0,060 \pm 0,007	0,800 \pm 0,020*	1,900 \pm 0,100*	2,930 \pm 0,170*	3,660 \pm 0,200*	4,120 \pm 0,100*
в % от живой массы	0,140 \pm 0,015	0,530 \pm 0,010*	0,460 \pm 0,020*	0,330 \pm 0,019*	0,200 \pm 0,018*	0,190 \pm 0,050*
Масса duodenum, г	0,47 \pm 0,06	3,79 \pm 0,14*	6,07 \pm 0,28*	7,72 \pm 0,20*	11,15 \pm 0,61*	9,94 \pm 0,34*
в % от живой массы	1,06 \pm 0,14	2,48 \pm 0,08*	1,41 \pm 0,08	0,87 \pm 0,02	0,64 \pm 0,03*	0,45 \pm 0,02*

*различия с показателем суточных цыплят достоверны при $p < 0,05$

Табл. 2. Активность ферментов поджелудочной железы у цыплят-бройлеров разного возраста (M±SD, n=20)

Возраст, сут	Активность фермента				
	амилаза, мг/г·мин	липаза, мкмоль/г·мин	протеазы, мг/г·мин	трипсин, мкмоль/г·мин	ЩФ, ед/л
1	6360,0±893,2	89,0±3,1	245,0±39,6	6,4±0,4	30785,0±2149,5
7	5540,0±280,9	64,5±8,4*	143,0±10,9	1,9±0,1*	18107,0±1899,0*
14	5640,0±556,0	66,5±6,7	230,0±9,2	2,1±0,1*	9125,0±593,5*
21	15860±460,0	94,47±5,398	478±40,9*	2,05±0,214*	22028±1668,3*
28	16175,0±433,3	102,8±5,2	330,0±17,9*	4,5±0,8	33516,0±6806,0
35	16550,0±526,2	94,6±2,0	520,0±6,5*	4,6±0,3*	37323,0±6143,0

*различия с показателем суточных цыплят достоверны при p<0,05

раза. Наиболее интенсивно органы пищеварения растут в первые 7 суток: относительная масса поджелудочной железы достигает 0,53 %, 12-перстной кишки – 2,48 % от живой массы птицы. К 35 сут. относительная масса поджелудочной железы снижается до 0,19 %, 12-перстной кишки – до 0,45 %.

Для оценки пищеварительной функции важно знать активность ферментов в ткани поджелудочной железы и кишечника. В наших исследованиях ткань поджелудочной железы в суточном возрасте обладала относительно высокой активностью пищеварительных ферментов, то есть цыплята вылупляются из яйца с активно действующим пищеварительным аппаратом. В 7-суточном возрасте активность амилазы оставалась без существенных изменений, липолитическая активность снижалась, по сравнению с показателями суточного возраста, на 27,5 %, трипсина – на 69,5 %, щелочной фосфатазы – на 41,2 %, общих протеаз – на 41,6 %. В 14-суточном возрасте цыплят-бройлеров отмечено достоверное уменьшение активности трипсина на 67,7 % (p<0,05) и щелочной фосфатазы – на 70,4 % (p<0,05). В 21-суточном возрасте наблюдали подъем активности амилазы на 149,4 %, липазы – на 6,0 %, протеаз – на 95,1 %, одновременно активность трипсина снижается на 67,8 % щелочной фосфатазы – на 28,5 %, по сравнению с показателями в суточном возрасте. Повышение ферментативной активности связано с окончанием периода становления функции пищеварения у цыплят-бройлеров. С 14-суточного возраста они способны переваривать значительный объем корма, поскольку поджелудочная железа может секретировать адекватное количество ферментов. К этому сроку заканчивается становление нервной системы, что позволяет четко регулировать функцию поджелудочной железы с участием нервных и гуморальных механизмов, что позволяет адаптироваться к ингредиентам рациона. К 28 сут. наблюдается снижение активности общих протеаз, по сравнению с предыдущим возрастом, при этом активность трипсина остается ниже, чем у суточных цыплят, на 29,4 %. В 35 суток происходит увеличение активности общих протеаз

до 520 мг/мл·мин, что превышает уровень суточных цыплят в 2,1 раза, активность трипсина остается ниже, чем у суточных особей, на 27,0 %.

Таким образом, в активности ферментов поджелудочной железы можно выделить два периода в постэмбриогенезе: первый (1...14 сут.) характеризуется становлением функции поджелудочной железы, адаптацией её к внешнему питанию, второй (15...35 сут.) – высоким уровнем панкреатических ферментов, способных гидролизовать возрастающее количество корма при повышении активности щелочной фосфатазы, которая взаимосвязана с костной тканью, испытывающей на заключительном этапе выращивания бройлеров большое напряжение.

Функция поджелудочной железы тесно связана с 12-перстной кишкой, куда открываются протоки главных пищеварительных желез и непрерывно в течение суток поступает их секрет. Активность дуоденальных ферментов имеет отличия от возрастных изменений панкреатических ферментов. Связано это, прежде всего, с наличием в дуоденальном химусе пищеварительных ферментов и субстрата для них. Однако, поскольку алгоритм сбора химуса был всегда одинаков, этот фактор снижения активности пищеварительных ферментов можно не учитывать. Наибольшую активность амилазы отмечали в суточном возрасте цыплят. В 7 и 14 сут. наблюдали ее снижение на 62,8 % и 45,7 % (p<0,05) соответственно (табл. 3). В остальной период выращивания активность амилазы находилась на уровне суточных цыплят. Динамика активности липазы носила волнообразный характер: в первую неделю постэмбриогенеза следовал подъем в 4,2 раза, затем (14 сут.) – спад на 37,7 %, по сравнению с величиной этого показателя в суточном возрасте. В 21-суточном возрасте происходило пятикратное повышение активности липазы, в 28-суточном спад, но уровень оставался выше постинкубационного на 193,9 % (p<0,05), а в 35 сут. – на 162,7 %. Протеолитическая активность в 12-перстной кишке с возрастом повышалась, постепенно достигая максимума для общих протеаз в 28-суточном возрасте (в 11,5 раз), для трипсина – в

Табл. 3. Активность дуоденальных ферментов цыплят-бройлеров кросса Смена-9 разного возраста (M±SD, n=20)

Возраст, сут	Активность фермента				
	амилаза, мг/г·мин	липаза, мкмоль/г·мин	протеазы, мг/мл·мин	трипсин, мкмоль/г·мин	ЩФ, ед/л
1	223,0±18,1	0,5±0,1	2,6±0,5	4,0±0,4	279394,0±26263,2
7	83,0±8,5*	1,2±0,2*	17,5±0,9*	4,0±0,5	560498,0±15723,9*
14	121,0±12,9*	4,2±0,6*	13,5±1,2*	3,1±0,3	400830,0±59949,3*
21	199,0±8,8	1,3±0,3*	18,0±0,8*	1,8±0,1*	357858,0±23795,8*
28	190,0±9,1	0,7±0,1*	30,1±1,4*	2,8±0,1	373535,0±37332,0*
35	187,0±7,8	0,6±0,1*	19,6±0,8*	4,5±0,8	374864,0±34651,0*

*различия с показателем суточных цыплят достоверны при p<0,05

35-суточном возрасте (в 6,4 раза). Щелочная фосфатаза (ЩФ) – это фермент, который образуется при разрушении клеток костной ткани, кишечника, печени и других органов, а в дальнейшем поступает в кровь. В кишечнике его активность значительно выше, чем в поджелудочной железе. В период онтогенеза наблюдали ее снижение в 14 сут. на 46,2 % ($p < 0,05$), по сравнению с суточным возрастом. В дальнейшем (21...35 сут.) отмечали резкий подъем активности ЩФ в 8,5; 8,9; 8,9 раз, по сравнению с суточным возрастом, что можно объяснить поступлением фермента из костной ткани, которая испытывает в этот возрастной период высокую нагрузку.

Таким образом, интенсивное развитие 12-перстной кишки в начальный постэмбриональный период цыплят-бройлеров накладывает отпечаток на активность дуоденальных ферментов, которые преимущественно поступают с соком поджелудочной железы, но не повторяют возрастную динамику панкреатической активности по причине действия многих факторов дуоденального химуса, влияющих на их активность.

Известно, что пищеварительные ферменты поступают в кровь и вновь возвращаются в кишечник с панкреатическим соком [9]. Результаты исследований крови нового кросса бройлеров Смена 9 свидетельствуют, что активность трипсина в крови имеет тенденцию снижаться с возрастом (табл.4). Так, в 7 сут. она ниже, чем в суточном возрасте, в 2 раза, в 14 сут. – в 2,2 раза, в 21 сут. – в 2,7 раза, в 28 сут. – в 2,5 раза, в 35 сут. – в 5,5 раза. Активность липазы при вылуплении цыпленка из яйца в крови невысокая, наибольшей величина она достигала в 7 сут, увеличиваясь за неделю постэмбриогенеза в 16 раз. Далее наблюдали волнообразные изменения активности фермента с наименьшими значениями в 14- и 28-суточном возрасте.

Табл. 4. Активность ферментов в плазме крови цыплят-бройлеров кросса Смена 9 ($M \pm SD$, $n=20$)

Возраст, сут.	Активность фермента			Содержание холестерина, ммоль/л
	трипсин, мкмоль/мл-мин	липаза, мкмоль/мл-мин	ЩФ, ед./л	
1	0,94±0,02	0,004±0,001	5174,0±182,1	12,4±1,2
7	0,48±0,06	0,064±0,001	26993,0±4687,3	3,8±0,2
14	0,42±0,07	0,005±0,001	9524,0±1419,0	4,1±0,2
21	0,35±0,05	0,045±0,007	4636,0±710,8	3,6±0,1
28	0,38±0,04	0,018±0,002	3995,0±608,0	3,7±0,1
35	0,17±0,02	0,030±0,006	2062,0±275,8	3,4±0,2

Сведения о массе желудочно-кишечного канала птиц содержатся в работе Батоева Ц.Ж. (2001) [4]. Согласно этим данным, масса пищеварительного канала птиц имеет незначительную величину относительно общей массы: у уток на неё приходится 10,0 %, у гусей – 8,0 %, у кур – 6,6 %. Относительная масса поджелудочной железы, по данным Батоевой (1974), составляет: у уток – 0,36 %, у гусей – 0,18 %, у кур – 0,18 %, двенадцатиперстной кишки – соответственно 0,37; 0,27 и 0,46 %. Результаты исследований на цыплятах-бройлерах кросса Бройлер-6 показали, что относительная масса поджелудочной железы увеличивается в первые 10 сут. жизни с 0,16 до 0,49 %, а затем постепенно снижается и в 56 сут. составляет 0,28 %. Корреляция между абсолютной массой поджелудочной железы и живой массой цыплят в суточном возрасте очень непрочная и имеет отрицательное значение, а с возрастом птицы переходит в устойчивую положительную [1]. Данные

по новому кроссу Смена 9 указывают на то, что у бройлеров относительная масса поджелудочной железы от живой массы значительно выше, чем у кур-несушек, у которых особенно заметное ее увеличение наблюдается также с суточного до 14-суточного возраста, что соответствует фазе адаптации организма цыплят к внешним условиям среды обитания [10]. Сравнительный анализ с данными кросса Бройлер-6 дает основание полагать, что современный кросс отличается более интенсивным ростом поджелудочной железы, особенно в ранний постэмбриональный период.

Общие закономерности возрастной динамики активности панкреатических ферментов нового кросса Смена 9 с бройлерами более ранней селекции (Бройлер 6) выражаются в высокой активности в суточном возрасте, в первые недели следует ее снижение с последующим повышением в 21-суточном возрасте и сохранением на высоком уровне до конца выращивания птицы. Для современной птицы критические периоды приходятся на первые 7 сут. постэмбриогенеза и 21-суточный возраст, когда заканчивается становление пищеварительной функции и осуществляется переход на потребление большого количества корма. Это находит подтверждение в динамике содержания общего холестерина в крови: с суточного до 14-суточного возраста его количество снижается с 12,4±1,17 ммоль/л до 4,1±0,21 ммоль/л. В дальнейшем наблюдается снижение холестерина до 3,37±0,18 ммоль/л в 35 сут., что подтверждает результаты исследований [11], согласно которым при росте и развитии цыплят изменяется скорость использования холестерина для биосинтеза стероидных гормонов, определяющих адаптацию организма к промышленным стрессам.

Известно, что наиболее интенсивно в первый постэмбриональный период развивается тонкий кишечник, особенно двенадцатиперстная кишка [2]. В первые дни после вылупления цыпленка из яйца интенсивно развиваются энтероциты, которые в течение 24 ч удлиняются и проявляют более типичную морфологию. При вылуплении крипты зачаточны, а к 48 ч постэмбриогенеза инвагинация завершается и их количество увеличивается в результате ветвления и деления, причем количество крипт на ворсинку достигает плато через 72 ч после вылупления [12]. С 1-суточного до 7-суточного возраста цыплят проксимальный, средний и дистальный сегменты тонкой кишки содержат одинаковые пропорции бокаловидных клеток, продуцирующих кислые и нейтральные муцины. Наблюдается градиент плотности бокаловидных клеток, увеличивающийся вдоль оси двенадцатиперстной кишки к подвздошной. Пролиферация энтероцитов локализуется в криптах в ранний постэмбриональный период, хотя в тощей кишке примерно 20 % энтероцитов все еще пролиферируют через 7 дней после вылупления из яйца. Местонахождение стволовых клеток для этой пролиферации до сих пор не выяснено. После вылупления доля бокаловидных клеток увеличивается с возрастом в постоянной пропорции к энтероцитам по всему тонкому кишечнику [13]. Исследования, проведенные на цыплятах-бройлерах кросса Ross 308 [14], показали, что масса кишечника цыплят-бройлеров в возрасте 5...38 сут. увеличивается в 22 раза, что согласуется с результатами, полученными на цыплятах кросса Смена 9.

Таким образом, в онтогенезе цыплят-бройлеров можно выделить два периода в становлении пищеварительной системы: с суточного до 14 сут. и с 15 до 35 сут. Критическими фазами, исходя из этого, можно считать следующие:

1...7-суточный возраст (связанный с переходом на самостоятельное питание), который характеризуется интенсивным ростом поджелудочной железы и кишечника, снижением активности липазы, протеаз, трипсина и щелочной фосфатазы на единицу ткани поджелудочной железы и, наоборот, увеличением активности ферментов, за исключением амилазы, в единице дуоденального химуса;

15...21-суточный возраст (окончание периода становления пищеварительной системы) характеризуется постепенным снижением массы поджелудочной железы и 12-перстной кишки относительно живой массы птицы, увеличением активности панкреатических ферментов в единице ткани поджелудочной железы и протеолитических ферментов в единице дуоденального химуса.

Каждая критическая фаза предопределяет становление функций организма и его систем на последующий этап развития [15]. Ранее установлена зависимость снижения активности трипсина в крови бройлеров в онтогенезе, которая коррелирует с ухудшением усвоения питательных веществ [16]. Роль трипсина, который секретирует поджелудочная железа выходит далеко за рамки пищеварительной функции. Установлено, что он участвует в активировании калликрейна, который обеспечивает регуляцию артериального давления крови [17,18]. Именно поэтому наблюдается эффективное усвоение протеина рациона в первые дни постэмбриогенеза и способность птицы усваивать богатый протеином корм [19, 20]. Кроме того, трипсин активирует PAR-рецепторы, обеспечивающие передачу информации в клетку при воспалительных процессах и иммунологических реакциях [21, 22, 23]. Показано, что активаторы PAR2 оказывают влияние на состояние поджелудочной железы, регулируют секреторную функцию панкреас, желудка и слюнных желез. Получены данные, что PAR-рецепторы связаны с патогенезом нейродегенеративных заболеваний головного мозга [24, 25]. Следовательно, новые знания о развитии пищеварительной системы и возрастной динамики трипсина в крови бройлеров кросса Смена 9 являются фундаментальными в разработке концепции рационального питания птицы в разные периоды онтогенеза.

Таким образом, развитие органов пищеварения в постэмбриональный период происходит неравномерно. Относительная масса поджелудочной железы бройлеров растет наиболее интенсивно в первую неделю постэмбриональной жизни, увеличиваясь с 0,14 % до 0,53 % в дальнейшем наблюдается постепенный спад и к 35 сут. она достигает 0,19 %. Развитие 12-перстной кишки в первую неделю постэмбриогенеза совпадает с изменениями массы поджелудочной железы, увеличиваясь с 1,06 % до 2,48 %, в дальнейшем наблюдается постепенный спад и к 35 сут. она снижается до 0,45 %. Следовательно, первый период эмбриогенеза характеризуется интенсивным ростом поджелудочной железы и 12-перстной кишки, который продолжается до 14 сут. В дальнейшем отмечается более плавное изменение относительной массы органов, что свидетельствует о начале второго периода в развитии пищеварительной системы бройлеров.

Цыплята-бройлеры при вылупления из яйца обладают хорошо развитым пищеварительным аппаратом. В первую неделю постэмбриогенеза отмечается эффективное усвоение протеина рациона благодаря высокому уровню трипсина в поджелудочной железе и крови. В становлении активности пищеварительных ферментов также можно выделить два основных периода: в первый (1...14 сут.) период наблюдается снижение активности липазы, трипсина и ЩФ в ткани поджелудочной железы,

во второй (15...35 сут.) – активность ферментов увеличивается в единице ткани органа и в валовом количестве, что указывает на окончание становления пищеварительной системы и способность её эффективно переваривать поступающий корм в возрастающих количествах. Активность дуоденальных ферментов характеризуется своими особенностями и имеет относительно высокую активность в первый период (1...14 сут), что можно объяснить мембранным пищеварением и накоплением активных пищеварительных ферментов на щеточной кайме энтероцитов.

Благодарность. Авторы выражают благодарность и глубокую признательность лаборанту-исследователю лаборатории физиологии ФГБНУ Федерального научного центра «Всероссийский научно-исследовательский и технологический институт птицеводства» Российской академии наук Коцеевой Марии Валентиновне за проведение биохимических анализов.

Литература

1. *Возрастные изменения панкреатических ферментов в организме цыплят-бройлеров/ И.А. Егоров, В.Г. Вертинпрахов, Т.Н. Ленкова и др.// Птицеводство. 2017. № 2. С. 23-29.*
2. *Sklan D. Development of the digestive tract of poultry // World's Poultry Science Journal. 2001. Vol. 57. No. 4. P.415-428. doi: 10.1079/WPS20010030*
3. *Европейская конвенция о защите позвоночных животных, используемых для экспериментов или в иных научных целях (ETS № 123) [рус., англ.] (Страсбург 18.03.1986). URL: http://www.conventions.ru/view_base.php?id=19432 (дата обращения 17.03. 2022).*
4. *Батоев Ц.Ж. Физиология пищеварения птиц. Улан-Удэ: из-во Бурятского госуниверситета, 2001. С.67.*
5. *Vertiprakhov V.G., Egorov I.A. The influence of feed intake and conditioned reflex on exocrine pancreatic function in broiler chicks// Open Journal of Animal Sciences. 2016. Vol. 6. No. 4. P. 298-303. doi: 10.4236/Ojas.2016.64034.*
6. *Вертинпрахов В.Г., Грозина А.А. Оценка состояния поджелудочной железы методом определения активности трипсина в крови птицы// Ветеринария. 2018. №6. С. 51-54. doi: 10.30896/0042-4846.2018.21.12.51-54.*
7. *Mohammed B., Cheng Q., Matafonov A., Dickeson S. K., Joseph K., Kaplan A.K., Gailani D. Protease activity in single-chain prekallikrein /I. Ivanov, I.M. Verhamme, M. Sun et al. // Blood. 2020. Vol.135 No. 8. P.558-567. doi: 10.1182/blood.2019002224.*
8. *Замолодчикова Т.С. Сериновые протеазы слизистой тонкого кишечника – локализация, функциональные свойства, физиологическая роль. Обзор// Биохимия, 2012, т. 77, вып.8. С. 989-1001.*
9. *Rothman S.S., Liebow C., Isenman L. Couservation of digestive enzymes// Physiological Reviews. 2002. Vol. 82. No. 1. P. 1-18.*
10. *Стрельцов В.А., Ткачева Н.С. Постинкубационный онтогенез поджелудочной железы у кур финального гибрида яичного кросса иза-браун //Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2015. № 6 (56). С. 258-261.*
11. *Колесник Е.А., Дерхо М.А. Об участии холестерина, прогестерона, кортизола и липопротеинов в возрастных изменениях обмена веществ у цыплят-бройлеров промышленного кросса // Сельскохозяй-*

- ственная биология, 2017, том 52, №4. С. 749-756. doi: 10.15389/agrobiology.2017/4.749rus.
12. Geyra A. , Uni Z., Sklan D. Enterocyte Dynamics and Mucosal Development in the Posthatch Chick // *Poultry Science*. 2001. Vol. 80. No. 6. P. 776-782. doi: 10.1093/ps/80.6.776.
 13. Enrichment of the amnion with threonine in chicken embryos affects the small intestine development, ileal gene expression and performance of broilers between 1 and 21 days of age / A. L. B. Moreira Filho, P.R. Ferket, R.D. Malheiros, et al. // *Poultry Science*. 2019. Vol. 98. No. 3. P.1363-1370. doi: 10.3382/ps/pey461
 14. Матвеев О.А., Жамбулов М.М. Морфометрические показатели органов пищеварения цыплят-бройлеров кросса Ross 308 // *Известия Оренбургского государственного аграрного университета*. 2017. №1 (63). С.119-122.
 15. Тельцов Л.П., Семченко В.В., Зайцева Е.В. Закономерности индивидуального развития человека и животных // *Морфология*. 2014. Т. 145. № 3. С. 192-193.
 16. Возрастные изменения биохимических показателей крови у мясных цыплят (GALLUS GALLUSL.) / И.А. Егоров, А.А. Грозина, В.Г. Вертинрахов и др. // *Сельскохозяйственная биология*. 2018. Т. 53. № 4. С. 820-830. doi: 10.15389/agrobiology.2018.4.820rus.
 17. Proteinase-activated receptor-2 (PAR2) on blood pressure and electrolyte handling in the late pregnant rat / D.A. West Jr, S.D. Beck, A.M. de Souza, et al. // *Experimental Physiology*. 2021. Vol. 106 No.6. P.1373-1379. doi: 10.1113/EP088170.
 18. Яровая Г.А., Нешикова А.Е. Калликреин-кининовая система. Прошлое и настоящее (к 90-летию открытия системы) // *Биоорганическая химия*. 2015. Т. 41. № 3. С. 275-291.
 19. Результативность выращивания бройлеров в зависимости от уровней обменной энергии и протеина в престартерных рационах / В.И. Фисинин, И.А. Егоров, А.К. Османян и др. // *Птица и птицепродукты*. 2017. №6. С.30-33.
 20. Age dynamics of the exocrine pancreatic function in broilers as affected by the level of dietary crude protein / V. Vertiprakhov, A. Grozina, I. Kislova, et al. // *Lecture Notes in Networks and Systems*. 2022. Vol. 354 LNNS. С. 992-1000.
 21. Vergnolle N. Review article: proteinase-activated receptors – novel signals for gastrointestinal pathophysiology // *Alimentary Pharmacology & Therapeutics*. 2000. Vol.14. No. 3. P.257-266. doi: 10.1046/j.1365-2036.2000.00690.x.
 22. Protease activated receptors (PAR)-1 and -2 mediate cellular effects of factor VII activating protease (FSAP) / K. Byskov, S.M. Le Gall, B. Thiede et al. // *FASEB Journal*. 2020. Vol.34. No.1. P.1079-1090. doi: 10.1096/fj.201801986RR.
 23. Byskov K., Etscheid M., Kanse S.M. Cellular effects of factor VII activating protease (FSAP) // *Thrombosis Research*. 2020. Vol. 188. No. 4. P.74-78. doi: 10.1016/j.thromres.2020.02.010.
 24. Deficiency of Factor VII activating protease alters the outcome of ischemic stroke in mice / A.U. Joshi, C. Orset, B. Engelhardt, et al. // *European Journal of Neuroscience*. 2015. Vol. 41.No. 7. P.965-975. doi: 10.1111/ejn.12830.
 25. Protease-activated receptor-1 modulates hippocampal memory formation and synaptic plasticity / A.G. Almonte, L.H. Qadri, F.A. Sultan et al. // *Journal of Neurochemistry*. 2013. Vol. 124. No. 1. P. 109-122. doi: 10.1111/jnc.12075.

Поступила в редакцию 06.04.2022

После доработки 28.04.2022

Принята к публикации 12.05.2022

ЗНАЧЕНИЕ БИОХИМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КРОВИ В РАННЮЮ ЛАКТАЦИЮ В ПРОГНОЗИРОВАНИИ ВОСПРОИЗВОДИТЕЛЬНОЙ СПОСОБНОСТИ У МОЛОЧНЫХ КОЗ В ПОСЛЕДУЮЩЕМ СЕЗОНЕ РАЗВЕДЕНИЯ*

В.Б. Лейбова, кандидат биологических наук,
М.В. Позовникова, кандидат биологических наук

*Всероссийский научно-исследовательский институт генетики и разведения сельскохозяйственных животных – филиал
Федерального исследовательского центра животноводства – ВИЖ имени академика Л. К. Эрнста,
196601, Санкт-Петербург, Пушкин, Московское ш., 55А
E-mail: leib1406@yandex.ru*

У молочных коз в период ранней лактации большая часть метаболических потоков направлена на производство молока в ущерб энергетическим резервам организма. Как и у коров, нарушение эффективной координации обменных процессов может приводить к метаболическим заболеваниям и негативно отражаться на репродуктивной функции животных. Цель исследования – изучение динамики биохимических показателей крови в первые два месяца лактации у коз зааненской породы после первого окота в связи с разным репродуктивным исходом в последующем сезоне разведения. Кровь для проведения исследований отбирали на 20...30 сут. и 50...60 сут. лактации. По итогам 2-го случного сезона наблюдаемые животные были разделены на 2 группы: I группа (n=19) – особи, принесшие жизнеспособное потомство, II группа (n=6) – козы, не принесшие потомства. В конце первого месяца лактации содержание глюкозы у коз группы I было на 3 % выше (p<0,05), а активность АСТ во втором месяце лактации на 9,6 % ниже (p<0,01) по сравнению с самками группы II. Особи группы I отличались более короткой продолжительностью интервала от окота до первого осеменения в случном сезоне, по сравнению с животными группы II (p<0,05). Корреляционный анализ у коз с отрицательным репродуктивным результатом показал негативную связь между активностью АЛТ на 20...30 сутки после окота и интервалом между окотом и первым осеменением (p<0,05). Можно предположить, что адаптивные возможности коз в ранний период лактации, в том числе обусловленные интеграцией белково-углеводного обмена, могут влиять на репродуктивный успех в последующем сезоне разведения.

THE VALUE OF BLOOD BIOCHEMICAL PARAMETERS IN EARLY LACTATION IN PREDICTING THE REPRODUCTIVE ABILITY OF DAIRY GOATS IN THE SUBSEQUENT BREEDING SEASON

Leibova V.B., Pozovnikova M.V.

*Russian Research Institute of Farm Animal Genetics and Breeding – Branch of the L. K. Ernst Federal Science Center
for Animal Husbandry,
196601, Sankt-Peterburg, Pushkin, Moskovskoe sh., 55A
E-mail: leib1406@yandex.ru*

In dairy goats during early lactation, most of the metabolic flows are directed towards milk production to the detriment of the body's energy reserves. As in cows, a violation of the effective coordination of metabolic processes can lead to metabolic diseases and adversely affect the reproductive function of animals. The purpose of the study was to study the dynamics of blood biochemical parameters in the first two months of lactation in goats of the Saanen breed after the first lambing due to different reproductive outcomes in the subsequent breeding season. Blood for research was taken at 20-30 days, and 50-60 days, lactation. According to the results of the 2nd breeding season, the observed animals were divided into 2 groups: group I (n=19) - individuals that brought viable offspring, group II (n=6) - goats that did not bring offspring. It was found that at the end of the first month of lactation, the glucose content in goats of group I was 3 % higher (p<0.05), and AST activity in the second month of lactation was 9.6 % lower (p<0.01) compared with the same indicators in females of group II. Individuals from group I had a shorter interval from lambing to the first insemination in the breeding season compared to animals of group II (p<0.05). Correlation analysis in goats with a negative reproductive result showed a negative relationship between ALT activity on days 20-30 after lambing and the interval between lambing and the first insemination (p<0.05). We assume that the adaptive capabilities of goats in the early lactation period, including those due to the integration of protein-carbohydrate metabolism, can affect reproductive success in the subsequent breeding season.

Ключевые слова: козы молочного направления, биохимические показатели крови, репродукция.

Key words: dairy goats, biochemical parameters of blood, reproduction.

Успешный переход от предродового периода к началу лактации включает в себя иницирование и координацию изменений во многих тканях организма [1]. После родов они связаны с перераспределением метаболических потоков, в первую очередь, на производство молока. Как и у молочных коров, неспособность эффективно регулировать происходящие процессы приводит к дезадаптации переходного периода у коз, что сопровождается возникновением метаболических заболеваний [2]. В дальнейшем, несмотря на сезонность размножения коз, это может негативно отразиться на репродуктивной функции, поскольку реинициация активности яичников будет происходить в раннем периоде лактации на фоне нарушений обмена веществ

[3]. Это особенно актуально для самок, приносящих потомство во вторую половину сезона окотов, так как сокращается временной интервал между родами и началом периода размножения. Результаты исследований свидетельствуют, что особенности метаболизма у коз в период сезонного анэструса могут влиять на способность к плодотворному осеменению и вынашиванию плода в последующую беременность [4, 5].

Определение метаболического профиля, под которым подразумевают анализ биохимических параметров крови, полезных для оценки и предотвращения нарушений обмена веществ и питания в молочных стадах [6], позволяет выявить нежелательные изменения, происходящие в организме самки до начала периода размножения.

*исследование выполнено в рамках ГЗ № 121052600354-7

Цель исследования – определение связи между динамикой биохимических параметров крови у первородящих коз зааненской породы в предслучной период (1...2 мес лактации) и последующей воспроизводительной способностью самок.

Методика. Исследование проводили в одном из племенных хозяйств Ленинградской области (2020 г.). Объектом исследования служили 25 коз после первого окота (апрель–май), не проявлявших клинических признаков заболеваний. Животные находились на беспривязном содержании, рацион соответствовал зоотехническим нормам для этого физиологического периода. Кровь для биохимических исследований отбирали через 2 ч после утреннего кормления: в конце первого месяца лактации (20...30 сут.) и второго месяца лактации (50...60 сут.). Сыворотку получали через 1 ч после отбора проб крови, центрифугируя образцы в течение 15 мин. при 3000 g. В сыворотке крови определяли концентрацию общего белка, альбумина, мочевины, креатинина, глюкозы, общего холестерина, триглицеридов, общего билирубина, а также активность ферментов аспартатаминотрансфераза (АСТ), аланинаминотрансфераза (АЛТ) и щелочная фосфатаза (ЩФ). Лабораторные исследования проводили на автоматическом анализаторе «PKL 125» (Pegamedical, Италия) с использованием реагентов фирмы «Витал Девелопмент Корпорэйшн» (Россия).

По итогам 2-го случного сезона, который начался через три месяца после окота (август) наблюдаемых животных разделили на 2 группы: I группа (n=19) – особи, принесшие жизнеспособное потомство (завершённый репродуктивный цикл) II группа (n=6) – козы, не принесшие потомства (незавершённый репродуктивный цикл).

Результаты исследований обрабатывали методом однофакторного дисперсионного анализа (one-way ANOVA) и однофакторного дисперсионного анализа с повторными измерениями (One Way Repeated Measures Analysis of Variance) с использованием программы SigmaPlot 12,5 (SystatSoftware, Inc., США). В случае нормального распределения сравниваемых показателей применяли критерий Холма – Сидака, при его

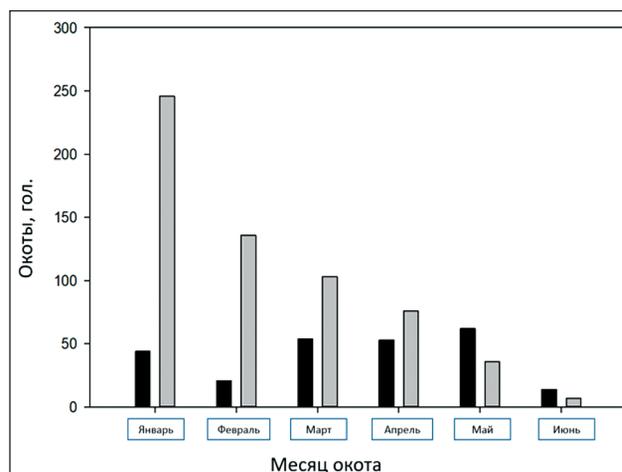


Рис. 1. Динамика окотов у первородящих и повторородящих коз: ■ – козы 1-го окота; ■ – козы 2-х и более окотов.

отсутствии – критерий Данна. Был принят уровень значимости $p < 0,05$, а тенденции рассмотрены при $0,05 < p < 0,10$. Корреляционный анализ проводили с использованием коэффициента Пирсона.

Результаты и обсуждение. Период окотов у коз в Северо-Западном регионе длится с января по май, сезон разведения начинается, в зависимости от погодных условий, в августе–сентябре и заканчивается в декабре. В 2020 г. у животных с двумя и более лактациями большая часть окотов (40,7 %) проходила в январе (рис. 1), у первородящих самок они были распределены равномернее, но наибольшее их число пришлось на апрель–май (21,4 % и 25 %). Таким образом, более молодые животные имели значительно меньше времени на восстановление и подготовку репродуктивной системы к началу случного сезона.

Ранний послеотельный период характеризуется повышенной активностью обменных процессов. Однако в нашем исследовании достоверное увеличение концен-

Табл. 1. Биохимические показатели крови в первые два месяца лактации у коз с разным репродуктивным результатом после окончания сезона размножения

Показатель	Группа			
	I (n=19)		II (n=6)	
	20...30 сут.	50...60 сут.	20...30 сут.	50...60 сут.
Креатинин, мкмоль/л	59,4 ± 1,9	65,7 ± 1,7**	62,6 ± 2,4	68,9 ± 2,2*
Триглицериды, ммоль/л	0,102 ± 0,010	0,154 ± 0,018 **	0,098 ± 0,018	0,297 ± 0,099
Общий белок, г/л	64,1 ± 1,0	68,7 ± 0,8***	68,9 ± 1,5	71,5 ± 1,1
Общий холестерин, ммоль/л	2,01 ± 0,07	2,15 ± 0,05***	2,03 ± 0,15	2,15 ± 0,11
Мочевина, ммоль/л	6,97 ± 0,30	6,31 ± 0,42*	6,21 ± 0,48	7,01 ± 0,59
Общий билирубин, мкмоль/л	8,31 ± 0,56	6,55 ± 0,49***	7,87 ± 1,1	7,60 ± 0,9
Глюкоза, ммоль/л	3,27 ± 0,07 ^a	3,18 ± 0,08	3,04 ± 0,05 ^b	3,21 ± 0,07
АСТ, ед/л	94,8 ± 2,7	91,4 ± 3,6 ^c	103 ± 6	114 ± 6 ^d
Альбумин, г/л	31,3 ± 0,4	32,0 ± 0,3	32,8 ± 0,7	32,4 ± 0,3
АЛТ, ед/л	15,5 ± 1,0	18,9 ± 1,9	16,1 ± 1,5	18,4 ± 1,2
ЩФ, ед/л	125 ± 31	140 ± 40	97,2 ± 19,9	99,6 ± 17,8

достоверные различия по месяцам лактации внутри групп – * $p < 0,05$, ** $p < 0,01$, *** $p < 0,001$ (One Way Repeated Measures Analysis of Variance); достоверные различия по месяцам лактации между группами – ^a $p < 0,05$; ^c $d < 0,01$ (One Way Analysis of Variance).

трации в сыворотке крови к 50...60 сут. после окота, как в группе I, так и в группе II, отмечали только для креатинина ($p < 0,01$ и $p < 0,05$ соответственно). Содержание этого метаболита в крови у особей, не имеющих патологии почек, положительно связана с мышечной массой тела. Повышенная потребность в глюконеогенезе и синтезе молочного белка после родов приводит к высвобождению аминокислот из мышечной ткани [7].

По данным некоторых исследователей [8], липомобилизация у первородящих коз протекает менее интенсивно, в отличие от особей, имевших несколько окотов, так как у молодых животных в предродовом периоде больше мышечных резервов, по сравнению с жировой тканью [9]. При этом пик мобилизации мышечных резервов в большей степени происходит в первую-вторую неделю после родов и заканчивается к 4-ой неделе лактации [10]. Таким образом, более низкие показатели концентрации креатинина у самок в конце первого месяца лактации, вероятно, можно объяснить отрицательным энергетическим балансом и связанным с ним снижением мышечной массы, что обусловлено использованием мышечного белка в качестве источника энергии.

У коз группы I к окончанию второго месяца лактации увеличилась концентрация в крови триглицеридов ($p < 0,01$), общего белка и холестерина ($p < 0,001$), но установлена отрицательная динамика по содержанию мочевины ($p < 0,05$) и общего билирубина ($p < 0,001$). У особей группы II между первым и вторым месяцами лактации статистически значимых различий между величинами этих показателей не выявлено, при этом у них, в отличие от животных первой группы, активность АСТ имела тенденцию к росту ($p = 0,08$).

Уровни большинства биохимических показателей находились в пределах референтных диапазонов, содержание креатинина в крови на 20...30 сут. была несколько ниже этих значений, а концентрация общего билирубина в обеих группах выходила за границы величин, указанных в справочном пособии [11] по крайней мере в 1,5...1,8 раза, но совпадала с результатами Radin et al. 2017, полученными на козах в раннюю лактацию [3]. Информация об активности АСТ и содержании общего билирубина в крови, наряду с некоторыми другими метаболитами и ферментами, даёт представление о состоянии печени у коз [12]. Незначительное, но статистически достоверное увеличение активности АСТ, на фоне повышенного и не снижающегося уровня общего билирубина у коз группы II в первые месяцы лактации, могло быть обусловлено наличием субклинического воспалительного или дегенеративного заболевания печени [13]. Известно, что функциональное состояние печени в послеродовой период влияет на овариальную функцию молочного скота, в том числе на качество ооцитов и потенциал их развития [14].

Результаты сравнительного анализа свидетельствуют, что биохимические профили на 20...30 сут. и 50...60 сут. лактации (май-июнь) у коз с различным репродуктивным исходом в последующем сезоне размножения несколько различаются (табл. 1). В конце первого месяца лактации содержание глюкозы в крови у коз группы I, по сравнению с группой II, было выше на 3 % ($p < 0,05$). Первые 30 дней после родов могут иметь решающее значение с точки зрения влияния метаболитов и метаболических гормонов на репродуктивную функцию молочного скота, как известно, глюкоза – основной энергетический источник для репродуктивных органов, кроме того концентрация этого метаболита в крови связана с продукцией инсулина и ИФР I, которые служат важными модуляторами овариальной функции [15].

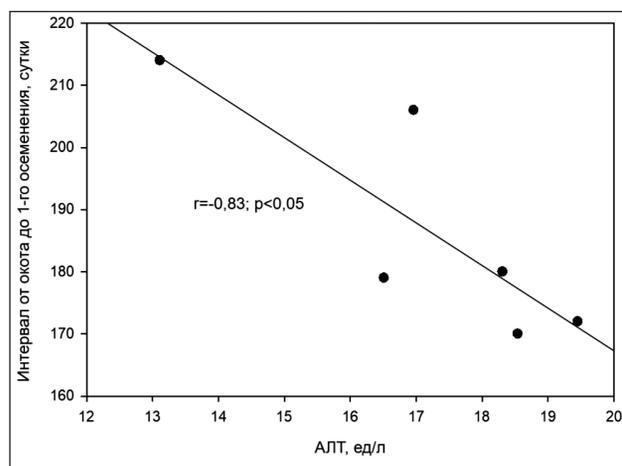


Рис. 2. Корреляционная связь между активностью АЛТ в первый месяц лактации и интервалом от окота до 1-го осеменения в сезон разведения у коз группы II.

Другой показатель, величина которого различалась у групп с разным репродуктивным потенциалом – активность АСТ. Во втором месяце лактации у особей группы I она была на 9,6 % ниже ($p < 0,01$), чем у животных группы II. Изменения биохимических компонентов сыворотки крови, обусловленные физиологическими или патологическими изменениями в организме самки, влияют на состав фолликулярной жидкости [16], что с учётом продолжительного развития овариальных фолликулов (4...6 месяцев от примордиальной до преовуляторной стадии), может предопределять развитие ооцита и стероидогенез фолликула у самок до начала сезона разведения [17, 18, 19]. Показано, что повышение активности АСТ в фолликулярной жидкости может быть сопряжено со снижением качества ооцитов у молочного скота [20].

Особь из группы I отличались более коротким ($p < 0,05$) интервалом от окота до первого осеменения в случном сезоне, по сравнению с животными группы II (табл. 2). При проведении корреляционного анализа у коз группы II была обнаружена отрицательная линейная зависимость ($p < 0,05$) между активностью АЛТ на 20...30 сутки после окота и интервалом между окотом и первым осеменением (рис. 2), хотя сами значения активности у животных обеих групп были сходными. В наших предыдущих работах на молочных коровах подобная связь этого фермента с продолжительностью сервис-периодом также была установлена, однако уровень его

Табл. 2. Показатели воспроизводства и молочной продуктивности

Показатель	Группа	
	I (n=19)	II (n=6)
Интервал от окота до первого осеменения, дн.	157 ± 7	187 ± 8*
Возраст первого окота, дн.	430 ± 6	412 ± 10
Число козлят при 1-м окоте, гол.	1,58 ± 0,12	1,57 ± 0,20
Индекс осеменения	1,25 ± 0,10	1,33 ± 0,21
Удой за 100 дней лактации, кг	243 ± 15	288 ± 15
МДЖ, %	3,56 ± 0,17	3,58 ± 0,04
МДБ, %	3,23 ± 0,02	3,25 ± 0,03
* $p < 0,05$		

активности между группами животных с разным репродуктивным потенциалом различался [21]. Поскольку метаболиты сыворотки крови участвуют в регуляции ферментативной активности на клеточном уровне, предполагаем, что отрицательная связь АЛТ с интервалом от охота до первого осеменения обусловлена его ролью в работе глюкозо-аланинового цикла на фоне более низкой концентрации глюкозы в первый месяц лактации у коз группы II ($p < 0,05$). Известно, что содержание глюкозы в крови жвачных животных зависит от интенсивности эндогенного синтеза [22].

Такие показатели репродукции, как возраст первого охота, число козлят в помёте и индекс осеменения у коз первой и второй групп были сходными, молочная продуктивность также не имела статистически достоверных различий (см. табл. 2).

Таким образом, у коз с завершённым репродуктивным циклом в последующем сезоне разведения концентрация глюкозы в крови на 20...30 сутки лактации была выше ($p < 0,05$), а активность АСТ на 50...60 сутки лактации ниже, по сравнению с животными, не принёсшими потомство ($p < 0,01$). Кроме того, у коз с незавершённым репродуктивным циклом установлена отрицательная корреляционная связь между активностью АЛТ в первый месяц лактации и интервалом от охота до 1-го осеменения, что предполагает более высокую потребность в интеграции белково-углеводного обмена.

Результаты исследования свидетельствуют о том, что при одинаковых условиях кормления и содержания козы проявляют разную адаптационную способность к метаболической нагрузке в первые месяцы лактации, что, в свою очередь, может оказывать влияние на репродуктивный успех в последующем сезоне разведения.

Литература.

1. Боголюбова Н.В., Романов В.Н., Багиров В.А. Метаболический профиль коров при коррекции питания в конце сухостойного периода и начале лактации // *Российская сельскохозяйственная наука*. 2021. № 1. С. 47–50. doi: 10.31857/S2500262721010117.
2. Simoes J., Gutierrez C. *Nutritional and Metabolic Disorders in Dairy Goats // In Sustainable Goat Production in Adverse Environments*. Berlin: Springer, 2017. Vol. 1. P. 177–194. doi: 10.1007/978-3-319-71855-2.
3. *Blood metabolites of extensively reared Croatian multi-colored goats during early lactation and early gravidity* / L. Radin, A. Shek Vugrovecki, J. Pejakovic Hlede, et al. // *Veterinarski arhiv*. 2017. Vol. 87(3). P. 273–280.
4. Лейбова В.Б., Шапиев И.Ш., Лебедева И.Ю. Ферментативная активность крови у коз зааненской породы в разные периоды репродуктивного цикла и в связи с завершением беременности // *Сельскохозяйственная биология*. 2016. Т. 51. № 2. С. 238–246.
5. Лейбова В.Б., Позовникова М.В. Биохимические показатели обмена веществ у молочных коз с разным репродуктивным потенциалом // *Молочное и мясное скотоводство*. 2020. № 8. С. 35–37.
6. Puppel K., Kuczynska B. *Metabolic profiles of cow's blood; a review* // *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 2016. Vol. 96(13). P. 4321–8. doi:10.1002/jsfa.7779.
7. *Insulin signaling and skeletal muscle atrophy and autophagy in transition dairy cows either overfed energy or fed a controlled energy diet prepartum* / S. Mann, A. Abuelo, D.V. Nydam, et al. // *Journal of Comparative Physiology B*. 2016. Vol. 186. P. 513–525. doi: 10.1007/s00360-016-0969-1.
8. *Endocrine and metabolic status of commercial dairy goats during the transition period* / F. Zamuner, K. DiGiacomo, A. Cameron, et al. // *Journal of Dairy Science*. 2020. Vol. 103(6). P. 5616–5628. doi: 10.3168/jds.2019-18040.
9. Siachos N., Panousis N., Oikonomou G., Valergakis G. *Role of fat and muscle mass and mobilization of transition dairy cows on milk yield and reproduction* // *EAAAP – 69th Annual Meeting*. Dubrovnik, 2018. P. 364. doi: 10.13140/RG.2.2.32266.72648. URL: https://www.researchgate.net/publication/328342687_Role_of_fat_and_muscle_mass_and_mobilization_of_transition_dairy_cows_on_milk_yield_and_reproduction?channel=doi&linkId=5bc752aea6fdcc03c789a88c&showFulltext=true (дата обращения 18.05.2022).
10. *Protein and fat mobilization and associations with serum β -hydroxybutyrate concentrations in dairy cows* / S.G.A. Van der Drift, M. Houweling, J.T. Schonewille, et al. // *Journal of dairy science*. 2012. Vol. 95(9). P. 4911–4920. doi: 10.3168/jds.2011-4771
11. Аксенова П.В., Ермаков А.М. *Биология репродукции коз*. СПб.: Издательство «Лань», 2015. 272 с.
12. Castillo C., Abuelo A., Hernandez J. *Usefulness of metabolic profiling in the assessment of the flock's health status and productive performance* // *Small Ruminant Research*. 2016. Vol. 142. P. 28–30 doi:10.1016/j.smallrumres.2016.02.019.
13. Davoudi S.M. *Study of hepatic problems in livestock* // *European Journal of Zoological Research*. 2013. Vol. 2 (4). P. 124–132.
14. Соломахин А.А., Смекалова А.А., Лебедева И.Ю. Показатели работы печени в послеродовый период у коров с депрессией овариальной функции в первую и последующие лактации // *Зоотехния*. 2020. № 12. С. 20–25. doi: 10.25708/ZT.2020.83.72.006.
15. Lucy M.C., Butler S.T., Garverick H.A. *Endocrine and metabolic mechanisms linking postpartum glucose with early embryonic and foetal development in dairy cows* // *Animal*. 2014. Vol. 8(s1). P. 82–90.
16. Rodgers R.J., Irving-Rodgers H.F. *Formation of the ovarian follicular antrum and follicular fluid* // *Biology of reproduction*. 2010. Vol. 82(6). P. 1021–1029. doi: 10.1095/biolreprod.109.082941.
17. Cahill L.P., Mauleon P.J. *Influences of season, cycle and breed on follicular growth rates in sheep* // *Reproduction*. 1980. Vol. 58(2). P. 321–328.
18. Lussier J.G., Matton P., Dufour J.J. *Growth rates of follicles in the ovary of the cow* // *Reproduction*. 1987. Vol. 81. P. 301–307.
19. *Mechanisms regulating follicular development and selection of the dominant follicle* / R. Webb, B. Nicholas, J.G. Gong, et al. // *Reproduction-Cambridge-Supplement*. 2003. Vol. 61. P.71–90.
20. Ротарь Л.Н., Шапиев И.Ш. АСТ, триглицериды и холестерин в жидкости овариальных фолликулов, и их связь с морфологией ооцит-кумулюсных комплексов коров // *Международный вестник ветеринарии*. 2019. № 2. С.156–161.
21. Лейбова В.Б., Шапиев И.Ш., Лебедева И.Ю. Метаболическое состояние в конце периода раздоя у высокопродуктивных молочных коров с разной воспроизводительной способностью // *Сельскохозяйственная биология*. 2011. Т. 6. С. 103–109.
22. Галочкина В.П., Агафонова А.В., Дудин В.И. Оценка обеспеченности тиамином и фолатом и направленности обмена пировиноградной кислоты у коров в связи с уровнем продуктивности // *Проблемы биологии продуктивных животных*. 2016. № 1. С. 65–75.

Поступила в редакцию 15.03.2022
После доработки 19.04.2022
Принята к публикации 05.05.2022

Правила для авторов

1. Редакция помещает не более двух статей одного автора в год. Это правило не распространяется на академиков и членов-корреспондентов РАН и других академий.

2. Объем статьи не менее **12 стр.**, включая таблицы (не более 4), рисунки (не более 4), библиографию (до 25 названий). Статья, набранная **крупным шрифтом через 1,5 интервала, пересылается по E-mail: nsm2308@yandex.ru.** В ней должны быть указаны **УДК, название статьи, инициалы и фамилии авторов, степени, полное название учреждения с адресом, E-mail, реферат** объемом 200-250 слов с указанием цели опытов, объекта исследований, анализа полученных данных), **ключевые слова и все продублировано на английском языке. Таблицы и рисунки в одном файле с текстом. В тексте выделить «Методика» и «Результаты и обсуждение».** Повторение одних и тех же данных в тексте, таблицах, графиках недопустимо. В конце статьи указать номер телефона (служебный, домашний, мобильный) каждого соавтора.

3. Рисунки (графический материал) должны быть выполнены **четко, представлены на отдельном листе в формате, обеспечивающем ясность передачи всех деталей, и/или на электронном носителе** (программы «Adobe PhotoShop», «Adobe Illustrator»).

4. **Статья с большим количеством формул (не более 10) представляется на электронном носителе** – (программа «MS Equation» или подобная).

5. При описании методики исследования следует ограничиваться оригинальной ее частью, при элементном анализе приводить только усредненные данные.

6. Используемая литература приводится в порядке очередности упоминания, в тексте – цифровые ссылки в квадратных скобках. Список литературы оформляется в соответствии с ГОСТ Р 7.0.5-2008. Доля ссылок на источники старше 10 лет не должна превышать 30 % списка литературы, доля ссылок на публикации в журналах из ядра РИНЦ за последние 8 лет должна составлять не менее 50 % списка литературы. Желательны ссылки на журналы, входящие в базу данных Scopus и Web of Science. **Цитируемость своих работы не более 15%.**

7. При получении статьи редакция рассматривает ее соответствие тематике журнала и посылает на рецензию ведущим специалистам. Возвращение рукописи автору на доработку с копией рецензии не означает, что статья принята к печати. Датой поступления считается день получения редакцией окончательного варианта статьи.

8. Редакция посылает авторам на визу подготовленный к печати экземпляр статьи, который должен быть выслан обратно в течение суток с момента его получения.

Авторам высылается журнал в электронном виде.

С аспирантов плата за публикацию не взимается.

Для получения гонорара за публикацию в англоязычном издании авторы могут обратиться в Российское авторское общество по адресу: 123995, Москва, Б. Бронная, д. 6, стр. 1, тел.: +7 (495) 697-3335; и на сайте РАО: www.rao.ru (подвести курсор на «Правообладатели», далее на «Авторам научных статей». Здесь находятся документы для получения авторского гонорара.

Журнал рассылается только по подписке, в розничную продажу не поступает.