

Алена Владимировна Сумина¹, Вадим Игоревич Полонский²

¹Хакасский государственный университет им. Н.Ф. Катанова, Абакан, Республика Хакасия, Россия

²Красноярский государственный аграрный университет, Красноярск, Россия

¹alenasumina@list.ru;

²vadim.polonskiy@mail.ru

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ СТАБИЛЬНОСТЬ ОБРАЗЦОВ ЯЧМЕНЯ ДВУХ ПОДВИДОВ И ГРУПП СПЕЛОСТИ ПО ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИМ ПОКАЗАТЕЛЯМ ЗЕРНА

Цель исследования – анализ параметров экологической стабильности образцов шестирядного и двурядного ярового ячменя различных групп спелости по физическим и химическим показателям зерна. Объекты исследования: 5 среднеранних, 8 среднеспелых образцов двурядного ячменя и 5 образцов многорядного среднераннего ячменя. Растения выращивали в 2016–2018 гг. в лесостепной зоне Красноярского края. Определяли: массу 1000 зерен, натуру, содержание белка и β -глюканов. Вычисляли 5 параметров экологической стабильности образцов: показатель уровня и стабильности сорта ПУСС, фактор стабильности SF, параметр гомеостатичности Нот, показатель селекционной ценности сорта Cs и комплексный показатель качества сорта КПК. Найдено, что двурядные образцы ячменя по сравнению с шестирядными характеризовались существенно более высокими значениями физических и химических показателей зерна. Большинство параметров стабильности у образцов шестирядного ячменя по натуре зерна, содержанию в нем белка и β -глюканов характеризовалось более высокой величиной, чем таковые у двурядной формы. Отмечена тенденция роста уровня стабильности среднеспелых образцов по содержанию белка и β -глюканов в зерне по сравнению с таковыми из группы среднеранних образцов. По большинству статистических параметров стабильности шестирядные образцы ячменя в отличие от двурядных продемонстрировали положительную корреляционную связь между средним показателем натуры зерна, содержанием в нем белка с одной стороны и уровнем стабильности по этим признакам с другой. В условиях Красноярской лесостепи перспективными для селекции ярового ячменя являются среднеспелые формы двурядного его подвида, обладающие, во-первых, повышенными абсолютными значениями основных физико-химических характеристик зерна по сравнению с шестирядным ячменем, и, во-вторых, проявляющие тенденцию роста уровня стабильности по натуре зерна, содержанию в нем белка и β -глюканов по сравнению со среднеранними двурядными ячменями.

Ключевые слова: *Hordeum vulgare* L., ячмень двурядный и шестирядный, ячмень среднеранний и среднеспелый, масса 1000 зерен, натура, белок, бета-глюканы

Для цитирования: Сумина А.В., Полонский В.И. Экологическая стабильность образцов ячменя двух подвидов и групп спелости по физико-химическим показателям зерна // Вестник КрасГАУ. 2026. № 6. С. 37–49. DOI: 10.36718/1819-4036-2026-6-37-49.

Alena Vladimirovna Sumina¹, Vadim Igorevich Polonsky²

¹Khakassia State University named after N.F. Katanov, Abakan, Republic of Khakassia, Russia

²Krasnoyarsk State Agrarian University, Krasnoyarsk, Russia

¹alenasumina@list.ru;

²vadim.polonskiy@mail.ru

ENVIRONMENTAL STABILITY OF BARLEY SAMPLES OF TWO SUBSPECIES AND MATURITY GROUPS BASED ON PHYSICOCHEMICAL GRAIN PARAMETERS

The aim of the study is to analyze the environmental stability parameters of six-row and two-row spring barley samples of different maturity groups based on physical and chemical grain parameters. The objects of the study were 5 mid-early, 8 mid-season two-row barley samples, and 5 multi-row mid-early barley samples. The plants were grown in 2016–2018 in the forest-steppe zone of the Krasnoyarsk Region. The following parameters were determined: thousand-kernel weight, natural weight, protein content, and β -glucan content. Five parameters of environmental stability of the samples were calculated: the level and stability indicator of the variety PUSS, the stability factor SF, the homeostatic parameter Hom, the selection value indicator of the variety Cs, and the comprehensive quality indicator of the variety KPK. It was found that two-row barley samples, compared with six-row ones, were characterized by significantly higher values of the physical and chemical grain parameters. Most stability parameters for six-row barley samples, including grain weight, protein content, and β -glucan content, were higher than those for two-row barley. A trend toward increased stability for mid-season barley samples, based on grain protein and β -glucan content, was observed compared to those for mid-early samples. For most statistical stability parameters, six-row barley samples, unlike two-row barley samples, demonstrated a positive correlation between the average grain unit weight and protein content, on the one hand, and the level of stability for these traits, on the other. In the Krasnoyarsk forest-steppe, mid-season forms of the two-row subspecies are promising for spring barley breeding. They possess, firstly, higher absolute values of the main physicochemical grain characteristics compared to six-row barley, and, secondly, show a tendency toward increasing stability in terms of grain unit weight, protein content, and β -glucans compared to mid-early two-row barley.

Keywords: *Hordeum vulgare* L., two-row and six-row barley, mid-early and mid-season barley, 1000-kernel weight, unit weight, protein, β -glucans

For citation: Sumina AV, Polonsky VI. Environmental stability of barley samples of two subspecies and maturity groups based on physicochemical grain parameters. *Bulletin of KSAU*. 2026;(6):37-49. (In Russ.). DOI: 10.36718/1819-4036-2026-6-37-49.

Введение. Зерновые культуры традиционно являются фундаментом продовольственной безопасности, занимая ключевое место в мировом сельскохозяйственном производстве. Среди них ячмень (*Hordeum vulgare* L.) играет важную роль как источник углеводов, растительного белка, витаминов, минералов и биологически активных веществ, определяющих функциональные свойства продуктов на основе зерна [1]. Особое значение придается его использованию в пищевой индустрии, производстве кормов, а также в разработке продуктов здорового питания, что связано с повышенным вниманием населения к качеству рациона и профилактике заболеваний, связанных с метаболическими нарушениями [2, 3].

В условиях роста мирового населения и одновременного увеличения антропогенной нагрузки на агроландшафты возникает острая необходимость создания сортов зерновых культур, обладающих высокими уровнями адаптивности, стабильными характеристиками продуктивности и количества ценных химических веществ в зерне [1, 4, 5]. При этом исследователи

отмечают, что биохимический состав последнего, как правило, заметно реагирует на изменения условий среды, что делает проблему стабильности селекционно-ценных признаков особенно актуальной [6]. В целом современные исследования указывают на необходимость комплексного подхода к оценке генотипов, включающего одновременно изучение как абсолютных значений хозяйственно ценных признаков, так и характеристик их экологической стабильности, что позволяет выявить наиболее перспективные для селекции образцы [7]. В последние годы были сделаны определенные шаги в направлении определения уровней стабильности образцов ячменя по ряду ценных признаков (кроме урожайности): по массе 1000 зерен [8–10], содержанию в нем белка [11, 12], β -глюканов [13–15], масла [16, 17], антиоксидантов [9] и минеральных элементов [18]. Недавно был опубликован обзор научных работ по данной теме [19]. В свете наблюдаемого сегодня изменения климата планеты, в частности реально происходящего его потепления на территории Сибири, по-видимому, в недалекой перспективе

становится актуальным вопрос перехода от возделывания скороспелых сортов ряда сельскохозяйственных культур к выращиванию средне- и даже позднеспелых форм. Однако до сих пор в литературе практически не уделялось внимания оценке экологической стабильности образцов основных зерновых культур, имеющих различную продолжительность вегетационного периода, по большинству хозяйственно ценных признаков. В этом плане можно отметить лишь единичные работы, посвященные влиянию групп спелости образцов яровой пшеницы на их стабильность по массе 1000 зерен [20, 21] и урожайности зерна [22].

Цель исследования – анализ параметров экологической стабильности образцов шестирядного и двурядного ячменя различных групп спелости по физическим и химическим показателям зерна.

Задачи: провести сравнительный анализ массы 1000 зерен, натуры, содержания белка и β -глюканов в зерне образцов двурядного и шестирядного ячменя двух групп спелости, выращиваемых в условиях лесостепной зоны Красноярского края; оценить параметры экологической стабильности образцов ячменя по изучаемым физико-химическим признакам зерна и выявить закономерности их проявления у разных подвидов (двурядный/шестирядный) и групп спелости (среднеранние/среднеспелые); на основе комплексной оценки (средние значения признаков, параметры стабильности и корреляционные связи) определить перспективные образцы ячменя для селекционной работы на высокое качество зерна и экологическую стабильность.

Объекты и методы. В качестве объекта исследования были взяты пленчатые образцы ярового ячменя, принадлежащие к двум подвидам и группам спелости. У двурядного ячменя первую группу представляли 5 среднеранних образцов (ДР): Абалак, Биом, Княжич, Золотник, Омский 96, а вторую – 8 среднеспелых образцов (ДС): Ача, Красноярский 80, Салаир, Талан, Танай, Зерноградец 770, Ворсинский 2, Маяк. Средняя продолжительность вегетации у образцов ячменя из группы спелости ДР за 3 года изучения составила 72,6 сут, а для таковых из группы ДС – 76,0 сут. Многорядные среднеранние образцы ячменя (ДМ) состояли из 5 образцов: Емеля, АС Albright, Тарский 3, Колчан, Соболек. Исследования проводили на опытных полях Красноярского научно-исследовательского ин-

ститута сельского хозяйства (КрасНИИСХ ФИЦ КНЦ СО РАН), расположенных в лесостепной зоне Восточной Сибири (ОПХ Минино). Почва опытного участка представлена черноземом обыкновенным маломощным. Предшественник – чистый пар. Площадь делянки – 1,8 м², повторность трехкратная. Посев проведен в оптимальные для культуры сроки, – во вторую декаду мая, уборку образцов осуществляли по мере их созревания. В полевых условиях отмечали длину вегетационного периода растений. Ячмень изучали в 2016–2018 гг. Погодные условия в годы исследования были контрастными: 2018 г. характеризовался повышенной засушливостью, 2016 и 2017 гг. – большей влажностью. Более подробная характеристика образцов и условия их выращивания описаны нами ранее [23, 24].

После уборки в каждом образце определяли физические и химические характеристики зерна. Массу 1000 зерен и натуру (определяемую микрометодом и выражаемую в г/л) оценивали по методике, применяемой для анализа качества зерна в исследованиях В.И. Полонского с соавторами [25]. Содержание белка определяли по Къельдалю (ГОСТ 10846-91, 2009), содержание β -глюканов – на автоматическом зерновом анализаторе Infratec Analyzer 1241 [28] с использованием 50 мл кюветы. Стандартная ошибка измерения на данном приборе составляла 0,3 %. Повторность определения всех показателей зерна двукратная.

По указанным выше хозяйственно ценным признакам образцов ячменя вычисляли пять параметров их экологической стабильности в соответствии с методологией, примененной в работе [25]: показатель уровня и стабильности сорта (ПУСС), фактор стабильности (SF), параметр гомеостатичности (Hom), показатель селекционной ценности сорта (Sc), а также коэффициент вариации (Cv), а также комплексный показатель качества сорта (КПК) [26].

Статистическую обработку данных проводили с помощью MS Excel. Достоверность результатов оценивали при $p \leq 0,05$.

Результаты и их обсуждение. Масса 1000 зерен является интегральным показателем, отражающим условия формирования урожая, эффективность процесса налива зерновки, степень обеспечения растения водой и питательными веществами. Как известно, эта характеристика зерна традиционно считается одной из наиболее важных при оценке продуктивности

растений и широко используется в селекции в качестве индикатора хозяйственной полезности сортов [7, 27].

Согласно результатам, приведенным в таблице 1, двурядные образцы ячменя из обеих групп спелости характеризовались существенно более высокими значениями и физических, и химических показателей зерна по сравнению с шестьюрядными среднеранными образцами. Зарегистрированный эффект делает первые более ценным исходным зерновым сырьем в технологическом, а также питательном и функциональном продовольственном аспектах. Подчеркнем, что различия между двурядными и многорядными подвидами ячменя были статистически значимыми для всех изучаемых характеристик зерна. По-видимому, существенно меньшее количество зерен в колосе двурядных образцов позволяет им сформировать более ценное по физико-химическим характеристикам зерно.

Экспериментальные данные показали, что у двурядного ячменя среднеспелые образцы (ДС) характеризовались менее высокой массой 1000 зерен (46,8 г), чем образцы из среднеранней группы спелости (ДР, 48,1 г). По всей вероятности, конечный результат накопления биомассы зерновкой (при условно равной его скорости у образцов из разных групп спелости) определяется большей длительностью физиолого-биохимического процесса дыхания, сопровож-

дающегося, как известно, расходом сухого вещества. Поскольку указанные различия между группами спелости статистически несущественны, полученные результаты свидетельствуют о слабом влиянии продолжительности вегетации на показатель крупности зерна.

Натура зерна в основном обусловлена величиной его удельной плотности, кроме того, она зависит от геометрической формы зерновки. Указанная физическая характеристика зерна имеет ключевое значение для перерабатывающей промышленности, особенно в производстве круп, муки и комбикормов, а также тесно связана с качеством солода у ячменя [28]. Как следует из данных, приведенных в таблице 1, различия между группами спелости образцов по абсолютной величине у двурядного ячменя несущественны, но у среднеспелых форм все же регистрировалась тенденция роста значений натуры зерна. Последнее может быть обусловлено тем, что ранние формы зерновых, по-видимому, имеют менее плотный эндосперм и более рыхло упакованные внешние пленки вследствие менее длительного периода налива зерна. От продолжительности последнего, возможно, зависит конечный результат не только физиологического процесса формирования зерновки, но и физического ее высыхания, что сопровождается у среднеспелых образцов повышением величины натуры зерна.

Таблица 1

Средние значения изучаемых селекционных признаков образцов шестьюрядного и двурядного ячменя двух групп спелости
Average values of the studied selection traits of six-row and two-row barley samples of two maturity groups

Подвид и группа спелости	Продолжительность вегетации, сут	Масса 1000 зерен, г	Натура, г/л	Содержание, %	
				белка	β-глюканов
Д	74,7±0,2а	47,2±0,7а	680,8±7,0а	14,2±0,2а	4,1±0,1а
ДР	72,6±0,5б	48,1±1,0а	674±10,5а	14,6±0,3а	4,1±0,1а
ДС	76,0±0,5в	46,8±1,0а	684,2±9,6а	14,0±0,2а	4,0±0,1а
МР	71,1±1,0б	36,3±1,2б	625,2±13,7б	13,2±0,3б	3,6±0,1б

Здесь и далее: Д – группа двурядных образцов ячменя обеих групп спелости; ДР – группа среднеранних двурядных образцов ячменя; ДС – группа среднеспелых двурядных образцов ячменя; МР – группа среднеранних шестьюрядных образцов ячменя; различия в строках в пределах каждой колонки с разными буквами являются существенными при $p \leq 0,05$.

Что касается химических показателей зерна ячменя, то из представленных в таблице 1 результатов можно видеть тенденцию к снижению абсолютных значений содержания белка и β-глю-

канов в зерне двурядных среднеспелых образцов по сравнению с таковыми из группы среднеранних. При этом характерно отсутствие значимых различий между образцами из разных групп

спелости ячменя. Можно предположить, что, несмотря на существенность различий в продолжительности вегетационного периода между контрастными группами спелости (см. табл. 1), дополнительное время формирования зерна у среднеспелых образцов все же не является достаточным для статистически значимого изменения в нем содержания белка и β -глюканов относительно среднеранних образцов. В отношении белка можно предположить, что накопление этого химического вещества в зерне в большей степени зависит от условий светового и минерального питания растений, в первую очередь их обеспеченности азотом и интенсивности ФАР в синей области спектра, чем от длительности периода вегетации.

Аналогичная закономерность для образцов яровой пшеницы разных групп спелости по химическим характеристикам зерна «содержание белка» и «содержание клейковины» была недавно описана в литературе [29].

Наряду с оценкой абсолютных значений физических и химических показателей зерна генотипов учет уровня экологической стабильности последних по ценным количественным признакам по разным годам (или географическим пунктам) выращивания является ключевой задачей современной селекции. Именно такой системный и комплексный подход позволяет определить способность образцов демонстрировать предсказуемое проявление хозяйственно полезных характеристик в условиях изменчивой внешней среды. Согласно концепции экологической пластичности и гомеостатичности растений, предложенной рядом исследователей [7, 30, 31], использование комплекса статистических параметров адаптивности дает возможность всесторонне и надежно оценить экологическую стабильность генотипа по тому или иному селекционному признаку.

Средние значения показателей стабильности образцов двух групп спелости, а также обоих подвидов ячменя по изучаемым показателям представлены в таблице 2. Рассматривая в этом аспекте физические характеристики зерна, можно говорить о наличии тенденции заметного падения уровня экологической стабильности образцов по массе 1000 зерен при переходе от среднеранних форм к среднеспелым. Это продемонстрировано для всех статистических параметров у двурядного ячменя. Зафиксированная тенденция падения уровня экологической

стабильности образцов среднеспелой группы по массе 1000 зерен, по-видимому, связана с двумя обстоятельствами. Во-первых, в изменяющихся условиях внешней среды, сопровождающихся иногда падением темпов налива зерна, постоянство последних путем некоторого снижения негативного влияния после воздействия стресс-фактора (или даже возврата в исходное состояние) не может эффективнее поддерживать формы, обладающие для этого большим временем, т. е. с более продолжительным периодом вегетации. Во-вторых, среднеспелые формы более длительное время расходуют фотосинтетические ассимилянты на процесс дыхания, что может сопровождаться у них уменьшением конечной массы зерновки.

Полученные результаты, приведенные в таблице 2, свидетельствуют, что отмеченная тенденция падения уровня экологической стабильности образцов ячменя, обладающих большей продолжительностью вегетационного периода, по массе 1000 зерен не сохраняется у них по другому физическому признаку – натуре зерна, для которой получены противоречивые результаты. Зафиксированный эффект, вероятно, говорит о разнонаправленной реакции образцов разных групп спелости, проявляющейся в изменении плотности упаковки и геометрической формы зерна в ответ на действие стресс-факторов.

Можно видеть, что изучаемые образцы обоих подвидов ячменя по признаку «масса 1000 зерен» в сравнении с признаком «натура зерна» являются более экологически стабильными, особенно у двурядного ячменя. Об этом свидетельствуют повышенные значения безразмерных статистических параметров стабильности Nom , SF , $ПУСС$ и $КПК$, позволяющих сопоставлять уровни стабильности образцов по разным селекционным признакам. Объяснить зарегистрированный результат можно со следующих позиций. В первом приближении величина массы 1000 зерен обусловлена, главным образом, лишь одним физическим свойством – их размером, крупностью, тогда как признак «натура зерна» определяется по меньшей мере двумя физическими его параметрами: плотностью упаковки эндосперма и внешних пленок зерна, а также его геометрической формой. Поэтому при изменении внешних условий выращивания величина натуре зерна будет в большей степени варьировать по сравнению с его крупностью (массой), а значит, маловероятно, что уровень экологической ста-

бильности образцов по признаку «натура зерна» будет выше, чем таковой по массе 1000 зерен. Кроме того, показатель «натура зерна» является морфологически более сложным признаком по сравнению с массой зерна, а, значит, он потенциально менее стабилен.

Что касается реакции на условия выращивания разных подвидов ячменя, то у шестирядной его формы все сопоставляемые параметры стабильности по массе 1000 зерен были меньшими, чем у двурядной. Следует отметить, что статистически значимые различия между подвидами зарегистрированы лишь по одному показателю селекционной ценности сорта Cs. По второй физической характеристике зерна, его натуре, найдена противоположная тенден-

ция: все параметры стабильности шестирядных образцов превышали таковые у двурядных. При этом достоверные отличия между подвидами зафиксированы только по параметру гомеостатичности Hom.

Итак, у среднеранней двурядной формы ячменя уровень стабильности по массе 1000 зерен превышает таковой у среднераннего шестирядного ячменя и среднеспелой двурядной формы, в то время как по признаку «натура зерна», наоборот, он выше у образцов шестирядного ячменя по сравнению с двурядным. Полученный эффект, вероятно, может объясняться качественно разной природой данных физических характеристик зерна.

Таблица 2

Средние значения показателей стабильности по изучаемым селекционным признакам образцов ячменя двух подвидов и групп спелости
Average values of stability indicators for the studied selection traits of barley samples of two subspecies and maturity groups

Признак	Подвиды и группы спелости	Показатель стабильности по признаку				
		Hom	ПУСС	SF	КПК	Cs
Масса 1000 зерен	Д	6,0±3,7a	173,0±52,1a	0,89±0,03a	13,6±3,3a	42,0±1,0a
	ДР	11,4±9,7a	253,3±126,8a	0,91±0,02a	17,7±8,1a	43,9±1,7a
	ДС	2,6±1,2a	122,8±32,4a	0,88±0,02a	11,0±2,4a	40,9±1,2a
	МР	3,3±2,8a	75,1±33,7a	0,86±0,03a	10,2±4,6a	31,3±1,5b
Натура	Д	0,6±0,1a	99,2±7,3a	0,82±0,01a	6,0±0,6a	557,9±8,8a
	ДР	0,7±0,2a	97,5±14,1a	0,82±0,02a	5,6±1,0a	552,4±10,1a
	ДС	0,6±0,1a	100,2±8,9a	0,82±0,02a	6,2±0,9a	561,4±13,3a
	МР	1,4±0,3b	129,4±19,3a	0,86±0,03a	8,4±1,0a	553,0±19,3a
Содержание Белка	Д	4,1±2,2a	62,8±17,2a	0,85±0,03a	11,0±2,4a	12,1±0,4a
	ДР	0,7±0,1a	31,7±3,7a	0,78±0,04a	6,6±0,2ab	11,4±0,5a
	ДС	6,1±3,4a	82,3±26,3a	0,90±0,03a	13,8±3,6a	12,6±0,5a
	МР	0,8±0,2a	33,7±6,2a	0,89±0,04a	5,4±0,8b	11,8±0,6a
Содержание β-глю-канов	Д	0,9±0,3a	101,3±14,8a	0,82±0,02ab	6,3±0,9a	3,3±0,1a
	ДР	0,5±0,2a	74,4±12,3a	0,79±0,02a	4,7±0,9a	3,2±0,1a
	ДС	1,2±0,4a	118,2±21,5a	0,84±0,03ab	7,3±1,2a	4,0±0,1b
	МР	0,9±0,2a	83,4±10,1a	0,86±0,01b	6,6±0,6a	3,6±0,1b

Примечание: различия в строках в пределах каждого признака и каждой колонки с разными буквами являются существенными при $p \leq 0,05$.

Рассматривая результаты, представленные в таблице 2 и посвященные химическим характеристикам зерна, можно говорить, во-первых, о заметном превышении уровней экологической стабильности изучаемых образцов (за исключением параметра ПУСС) по содержанию белка по сравнению с таковыми по содержанию β-глю-

канов. Аналогично изложенной выше возможной причине меньшей стабильности образцов по натуре зерна, заключающейся в этом более сложном морфологическом признаке, можно здесь указать на более высокую сложность биохимического показателя «содержание β-глюканов», чем показателя «содержание белка». Как

известно, последний признак связан в основном с клеточным содержимым, протопластом, тогда как рассматриваемые полисахариды структурно включены в состав клеточных стенок эндосперма. Кроме того, накопление β -глюканов происходит в течение короткого срока, связанного с построением клеточных стенок, тогда как накопление белка в зерне происходит более длительное время при формировании зародыша, алейронового слоя и заполнения эндосперма.

Во-вторых, следует отметить найденную тенденцию роста уровня стабильности двурядных среднеспелых образцов как по содержанию белка, так и β -глюканов в зерне по сравнению с таковыми из группы среднеранних образцов. Подчеркнем, что статистическую значимость различий между группами спелости образцов ячменя по содержанию изучаемых химических веществ в зерне по всем параметрам стабильности доказать не удалось. Исключение составляет показатель Cs, для которого показана значимость различий между среднеранными и среднеспелыми образцами по содержанию β -глюканов в зерне. Зафиксированная тенденция роста уровня экологической стабильности среднеспелых образцов по химическим характеристикам зерна, вероятно, связана с тем, что в изменяющихся условиях внешней среды, сопровождающихся иногда падением темпов синтеза изучаемых ценных веществ, постоянство последних (за счет некоторого снижения негативного эффекта после воздействия стресс-фактора) легче поддерживать формам с более продолжительным периодом вегетации. Предполагается, что более продолжительная вегетация позволяет среднеспелым образцам сгладить провалы в значениях химических показателей зерна, которые отмечаются в неблагоприятные годы или экстремальных почвенно-климатических условиях выращивания.

В-третьих, по содержанию как белка, так и β -глюканов в зерне большинство параметров стабильности у среднеранних образцов шестирядного ячменя характеризовалось более высокой величиной, чем таковая у двурядной формы. Существенные отличия между подвидами для последнего селекционного признака зарегистрированы по показателю селекционной ценности Cs и фактору стабильности SF. Предполагается, что большее количество зерен в колосе шестирядного ячменя позволяет в целом ему сглаживать провалы в синтезе указанных ценных ве-

ществ, которые отмечаются в неблагоприятные годы выращивания.

В таблице 3 представлены экспериментальные результаты, свидетельствующие о силе корреляционной связи и ее направленности между абсолютными значениями изучаемых селекционных признаков и уровнями экологической стабильности образцов шестирядного и двурядного ячменя двух групп спелости. Полученные данные, за отдельными исключениями, выявили в основном несущественные средние и слабые корреляционные связи.

Представляется, что наличие положительной корреляционной связи между абсолютным значением какого-либо признака и уровнем экологической стабильности образцов по нему может свидетельствовать, что отбор образцов на повышенную величину такого селекционного признака не будет сопровождаться снижением степени проявления его в разных экологических условиях (по годам и/или пунктам выращивания), т.е. уровня стабильности образцов по этому признаку. В случае регистрации отрицательной корреляции, вероятно, будет наблюдаться противоположный эффект, а именно: селекция образцов на повышенную величину признака станет сопровождаться снижением степени проявления его в разных экологических условиях.

Из данных, приведенных в таблице 3, можно видеть, что шестирядные и двурядные образцы ячменя обеих групп спелости по всем статистическим параметрам продемонстрировали положительную корреляционную связь между средним показателем массы 1000 зерен и уровнем стабильности по этому селекционному признаку. Зарегистрированный факт свидетельствует в пользу того, что при отборе ячменя на повышенную стабильность по массе 1000 зерен крупность зерна снижаться не будет, более того, у раннеспелых форм ячменя она может иметь тенденцию к росту.

Полученный результат, во-первых, подтвердил найденный нами ранее эффект для образцов пленчатого ячменя и других зерновых культур [8], во-вторых, в этом плане удалось уточнить влияние группы спелости образцов. Кроме того, на основании информации, приведенной в работе П.Н. Николаева с соавторами [10], посвященной изучению ярового пленчатого ячменя, также найдена слабая положительная связь между массой 1000 зерен с одной стороны и показателем стабильности (гомеостатичности) – с другой.

Аналогичный факт наличия положительной корреляции для всех статистических показателей стабильности образцов по другой физической характеристике зерна, его натуре, был отмечен лишь у шестирядного ячменя. При этом у образцов двурядного ячменя наблюдался противоположный эффект – отрицательная корреляционная связь для большинства статистических показателей стабильности. У двурядных среднеранних образцов установлена более

сильная корреляция по сравнению со средне-спелыми.

Зарегистрированные результаты могут говорить о высокой вероятности получения экологически стабильных среднеранних форм шестирядного ячменя по признаку «натура зерна» при отборе на повышенную величину последнего, в отличие от двурядной формы, в случае которой результат будет противоположным.

Таблица 3

Корреляционная связь между средними значениями признаков и показателями стабильности по ним образцов ячменя двух подвидов и групп спелости
Correlation between the average values of the traits and the stability indicators of barley samples of two subspecies and maturity groups

Признак	Подвид и группа спелости	Значения коэффициентов корреляции				
		Ном	ПУСС	SF	КПК	Cs
Масса 1000 зерен	Д	0,316	0,403	0,075	0,254	0,665
	ДР	0,388	0,454	0,605	0,434	0,889*
	ДС	0,322	0,379	-0,220	-0,022	0,516
	МР	0,162	0,254	0,240	0,799	0,168
Натура	Д	-0,704	-0,505	-0,538	-0,437	0,050
	ДР	-0,828	-0,820	-0,887*	-0,838	-0,614
	ДС	-0,668	-0,425	-0,388	-0,312	0,207
	МР	0,855	0,923*	0,864	0,890*	0,991*
Содержание белка	Д	-0,192	-0,147	-0,424	-0,510	-0,050
	ДР	-0,314	-0,324	-0,702	0,868	-0,390
	ДС	-0,057	0,078	0,057	0,193	0,448
	МР	0,564	0,501	-0,089	0,685	0,377
Содержание β-глюканов	Д	-0,169	0,127	-0,261	-0,192	0,509
	ДР	-0,413	-0,206	-0,370	-0,411	0,336
	ДС	-0,081	0,272	-0,199	-0,095	0,591
	МР	-0,220	0,371	-0,371	-0,300	0,898

Примечание: (*) – значения коэффициентов корреляции существенны при $p \leq 0,05$.

Как видно из данных таблицы 3, по химическим характеристикам зерна у шестирядных и двурядных образцов ячменя обеих групп спелости сильных связей с уровнем стабильности по ним выявлено почти не было. Наличие положительной корреляции для большинства статистических показателей стабильности образцов по содержанию белка в зерне отмечено у шестирядного ячменя, а также у его двурядной среднеспелой формы. При этом у образцов двурядного среднераннего ячменя в основном наблюдался противоположный эффект – отрицательная корреляционная связь для большинства статистических показателей стабильности.

Отметим, что корреляционный анализ связи между содержанием β-глюканов в зерне ячменя

и уровнем стабильности по этому признаку показал противоречивые результаты: связь была как положительная, так и отрицательная.

Заключение. Итак, проведенное комплексное исследование основных физико-химических характеристик зерна шестирядных и двурядных образцов ячменя двух групп спелости, выращенных в условиях Красноярской лесостепи, позволило выявить различия в формировании ключевых показателей его качества.

Найдено, что двурядные образцы ячменя из обеих групп спелости характеризовались существенно более высокими значениями как физических, так и химических показателей зерна по сравнению с шестирядными образцами. Между среднеранними и среднеспелыми образцами

двурядного ячменя достоверных различий в абсолютной величине изучаемых характеристик зерна выявлено не было, но отмечена тенденция их роста (за исключением натуры зерна) у представителей среднеранней группы спелости. По абсолютной величине параметров качества зерна двурядные ячмени по сравнению с шестирядными можно считать потенциально более ценным функциональным продовольственным сырьем.

Продemonстрировано, что уровни экологической стабильности образцов ячменя разных подвидов и групп спелости по массе 1000 зерен, с одной стороны, и по натуре зерна, содержанию белка и β -глюканов – с другой, имеют противоположную направленность. Показано, что все параметры стабильности шестирядного ячменя по массе 1000 зерен были меньшими, чем у двурядного подвида. При этом большинство параметров стабильности у образцов шестирядного ячменя по натуре зерна, содержанию в нем как белка, так и β -глюканов, характеризовалось более высокой величиной, чем таковые у двурядной формы. Отмечена тенденция роста уровня стабильности среднеспелых двурядных образцов по содержанию и белка, и β -глюканов в зерне по сравнению с таковыми из группы среднеранних образцов. Предполагается, что более продолжительная вегетация у среднеспелых образцов или большее количество зерен в колосе шестирядного ячменя позволяет им сгладить провалы в синтезе указанных ценных химических веществ, которые отмечаются в неблагоприятные годы выращивания.

Образцы ячменя по признаку «масса 1000 зерен» в сравнении с признаком «натура зерна» и по признаку «содержание белка» в зерне по сравнению с таковым по содержанию в нем β -глюканов являются более экологически стабильными, что, вероятно, может объясняться качественно более сложной природой вторых характеристик зерна.

Практически по всем статистическим параметрам стабильности образцы ячменя обоих подвидов и групп спелости показали положительную корреляцию между средним значением массы 1000 зерен, с одной стороны, и уровнем стабильности по данному селекционному признаку – с другой. По большинству статистических параметров стабильности шестирядные образцы ячменя, в отличие от двурядных, продемонстрировали положительную корреляционную связь между средним показателем натуры зерна, содержанием в нем белка, с одной стороны, и уровнем стабильности по данным селекционным признакам – с другой. Зарегистрированный факт может свидетельствовать в пользу того, что при отборе ячменя на повышенную стабильность по массе 1000 зерен, а также при отборе шестирядного подвида по указанным трем признакам, абсолютные значения последних снижаться не будут.

Таким образом, в условиях Красноярской лесостепи перспективными для селекции ярового ячменя являются среднеспелые формы двурядного его подвида, обладающие, во-первых, повышенными абсолютными значениями основных физико-химических характеристик зерна по сравнению с шестирядным ячменем и, во-вторых, проявляющие тенденцию роста уровня стабильности по натуре зерна, содержанию в нем белка и β -глюканов по сравнению со среднеранними двурядными ячменями. При этом шестирядный подвид по сравнению с двурядным, имеющий повышенные уровни экологической стабильности по большинству изученных характеристик зерна и проявляющий положительную корреляционную связь между средними значениями натуры зерна, содержания в нем белка, с одной стороны, и уровнями стабильности по ним – с другой, может рассматриваться как потенциально полезный селекционный материал.

Список источников

1. Тохетова Л.А., Ахмедова, Г.Б., Баимбетова, и др. Создание исходного материала голозерного ячменя для селекции на адаптивность к стрессовым факторам среды // Наука и образование. 2022. Т. 2, № 1. С. 21–33. DOI: 10.52578/2305-9397-2022-1-2-21-33.
2. Shewry P.R. Improving the nutritional quality of cereals by conventional and novel approaches. In: Technology of Functional Cereal Products. Woodhead Publishing, 2008. P. 159–183. DOI: 10.1533/9781845693886.2.159.
3. Hughes J., Grafenauer S. Oat and barley in the food supply and use of beta-glucan health claims // Nutrients. 2021. Vol. 13, N 8. Art. 2556.

4. Herrera M.P., Gao J., Vasanthan T., et al. β -Glucan content, viscosity, and solubility of Canadian grown oat as influenced by cultivar and growing location // Canadian Journal of Plant Science. 2016. Vol. 96, N 2. P. 183–196.
5. Mäkinen O.E., Ercili-Cura D., Poutanen K., et al. Protein from oat: structure, processes, functionality, and nutrition. In: Sustainable protein sources. Elsevier, 2016. P. 105–119. DOI: 10.1016/B978-0-12-802778-3.00006-8.
6. Yadav S.K., Singh A.K., Pandey P., et al. Genetic variability and direct selection criterion for seed yield in segregating generations of barley (*Hordeum vulgare* L.) // American Journal of Plant Sciences. 2015. Vol. 6, N 9. Art. 1543.
7. Shewry P.R., Koksel H., Taylor J., editors. ICC handbook of 21st century cereal science and technology. Elsevier, 2023.
8. Полонский В.И., Сумина А.В., Герасимов С.А., и др. Повышенная стабильность образцов овса, ячменя и пшеницы по массе 1000 зерен не связана с меньшей крупностью зерна // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2023. Вып. 184. С. 52–65. DOI: 10.30901/2227-8834-2023-2-52-65.
9. Полонский В.И., Сумина А.В. Оценка образцов ячменя по содержанию антиоксидантов в зерне в условиях Восточной Сибири // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. 2022. № 2. С. 162–169. DOI: 10.20914/2310-1202-2022-2-162-169.
10. Nikolaev P.N., Yusova O.A., Aniskov N.I., et al. Assessment of Varieties of Spring Barley of Selection of Omsk Agrarian Research Center for Adaptivity of Mass of 1000 Grains. In: International scientific and practical conference “AgroSMART – Smart solutions for agriculture”. KnE Life Sciences, 2019. P. 1232–1241.
11. Юсова О.А., Николаев П.Н., Аниськов Н.И., и др. Адаптивность сортов ячменя по признаку «масса 1000 зерен» в условиях лесостепи Омской области // Достижения науки и техники АПК. 2020. Т. 34, № 2. С. 24–28.
12. Зайцева И.Ю., Щенникова И.Н., Панихина Л.В., и др. Адаптивность высокобелковых генотипов ячменя в условиях Волго-Вятского региона // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2022. Т. 183, вып. 4. С. 30–38.
13. Полонский В.И., Герасимов С.А., Сумина А.В. Пластичность и стабильность образцов пленчатого ячменя по содержанию β -глюканов в зерне и его крупности в условиях Красноярской лесостепи // Вестник КрасГАУ. 2022. № 4. С. 53–61.
14. Polonskiy V.I., Gerasimov S.A., Sumina A.V., et al. Adaptability of Naked Barley Accessions in Terms of the Content of β -Glucans in Grain and Its Size in the Conditions of Eastern Siberia // Russian Agricultural Sciences. 2022. Vol. 48, N 5. P. 328–333.
15. Choi H., Esser A., Murphy K.M. Genotype $\times$ environment interaction and stability of β -glucan content in barley in the Palouse Region of Eastern Washington // Crop Science. 2020. Vol. 60, N 9. P. 2500–2510.
16. Полонский В.И., Сумина А.В., Герасимов С.А. Адаптивность образцов ячменя по содержанию жира в зерне в условиях Красноярской лесостепи // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство. 2023. Т. 18. № 2. С. 153–162. DOI: 10.22363/2312-797X-2023-18-2-153-162.
17. Полонский В.И., Сумина А.В., Герасимов С.А. Оценка образцов ячменя на адаптивность по содержанию масла в зерне в условиях Хакасии // Вестник КрасГАУ. 2022. № 6. С. 148–155.
18. Полонский В.И., Сумина А.В. Адаптивность ячменя и овса по содержанию кальция и фосфора в зерне в условиях Восточной Сибири // Проблемы развития АПК региона. 2023. № 2. С. 85–91.
19. Полонский В.И., Сумина А.В. Оценка образцов зерновых культур на экологическую стабильность по ценным селекционным признакам // Вестник КрасГАУ. 2024. № 2. С. 111–122. DOI: 10.36718/1819-4036-2024-2-111-122.
20. Пискарев В.В., Бойко Н.И., Кондратьева И.В. Источники хозяйственно ценных признаков для селекции пшеницы мягкой яровой (*Triticum aestivum* L.) в условиях лесостепи Приобья Новосибирской области // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2016. Т. 20, вып. 3. С. 277–285. DOI: 10.18699/VJ16.166.

21. Полонский В.И., Сумина А.В., Количенко А.А. Адаптивность образцов яровой пшеницы различных групп спелости в условиях Восточной Сибири // Проблемы развития АПК региона, 2022. Вып. 3. С. 94–100.
22. Полонский В.И., Сумина А.В., Количенко А.А. Адаптивность образцов яровой пшеницы по элементам продуктивности в условиях Приенисейской Сибири // Вестник КрасГАУ. 2022. № 3. С. 30–37. DOI: 10.36718/1819-4036-2022-3-30-37.
23. Полонский В.И., Герасимов С.А., Сумина А.В. Пластичность и стабильность образцов пленчатого ячменя по содержанию β -глюканов в зерне и его крупности в условиях Красноярской лесостепи // Вестник КрасГАУ. 2022. № 4. С. 53–61. DOI: 10.36718/1819-4036-2022-4-53-61.
24. Полонский В.И., Сурин Н.А., Герасимов С.А., и др. Оценка образцов ячменя на содержание β -глюканов в зерне и другие ценные признаки в условиях Восточной Сибири // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2021. Т. 182, вып 1. С. 48–58.
25. Полонский В.И., Сурин Н.А., Герасимов С.А., и др. Изучение сортов овса (*Avena sativa* L.) различного географического происхождения по качеству зерна и продуктивности // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2019. Т. 23, № 6. С. 53–60.
26. Сумина А.В., Полонский В.И. Комплексный показатель качества сорта по одному или нескольким признакам // Успехи современного естествознания. 2024. № 3. С. 14–19.
27. Сотник А.Я. Оценка адаптивных свойств сортов ячменя по урожайности в Приобской лесостепи // Письма в Вавиловский журнал генетики и селекции. 2025. Т. 11, № 2. С. 73–79.
28. Юсова О.А., Николаев П.Н., Аниськов Н.И., и др. Новый перспективный сорт ярового ячменя Омский голозерный 4 // Земледелие. 2020. № 2. С. 31–35.
29. Никитина В.И., Количенко А.А. Качество зерна сортов яровой мягкой пшеницы разных групп спелости в разных почвенно-климатических зонах Красноярского края // Вестник КрасГАУ. 2025. № 1. С. 57–65.
30. Гребенникова И.Г., Чешкова А.Ф., Степочкин П.И., и др. Методика оценки экологической пластичности сортов злаковых культур // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2020. Т. 50, № 2. С. 100–108.
31. Сафин Р.И., Валиев А.Р., Нуруллин Э.Г., и др. Научные основы системы управления генетическими ресурсами зерновых культур. Казань: Казанский государственный аграрный университет, 2025. 520 с.

References

1. Toxetova LA, Axmedova GB, Baimbetova GZ, et al. Creation of the raw material of naked barley for selection for adaptability to environmental stress factors. *Science and Education*. 2022;2(1):21-33. DOI: 10.52578/2305-9397-2022-1-2-21-33.
2. Shewry PR. Improving the nutritional quality of cereals by conventional and novel approaches. In: *Technology of Functional Cereal Products*. Woodhead Publishing, 2008. P. 159–183. DOI: 10.1533/9781845693886.2.159.
3. Hughes J, Grafenauer S. Oat and barley in the food supply and use of beta-glucan health claims. *Nutrients*. 2021;13(8):2556.
4. Herrera MP, Gao J, Vasanthan T, et al. β -Glucan content, viscosity, and solubility of Canadian grown oat as influenced by cultivar and growing location. *Canadian Journal of Plant Science*. 2016;96(2):183-196.
5. Mäkinen OE, Ercili-Cura D, Poutanen K, et al. Protein from oat: structure, processes, functionality, and nutrition. In: *Sustainable protein sources*. Elsevier; 2016. P. 105–119. DOI: 10.1016/B978-0-12-802778-3.00006-8.
6. Yadav SK, Singh AK, Pandey P. Genetic variability and direct selection criterion for seed yield in segregating generations of barley (*Hordeum vulgare* L.). *American Journal of Plant Sciences*. 2015;6(9):1543.
7. Shewry PR, Koksel H, Taylor J, editors. *ICC handbook of 21st century cereal science and technology*. Elsevier; 2023.

8. Polonskij VI, Sumina AV, Gerasimov SA, et al. Higher stability of oat, barley and wheat accessions in their 1000 grain weight is not associated with a smaller grain size. *Proceedings on applied botany, genetics and breeding*. 2023;184(2):52-65. (In Russ.). DOI: 10.30901/2227-8834-2023-2-52-65.
9. Polonskij VI, Sumina AV. Evaluation of barley accessions on the content of antioxidants in grain in the conditions of Eastern Siberia. *Proceedings of the Voronezh State University of Engineering Technologies*. 2022;84(2):162-169. (In Russ.). DOI: 10.20914/2310-1202-2022-2-162-169.
10. Nikolaev PN, Yusova OA, Aniskov NI, et al. Assessment of Varieties of Spring Barley of Selection of Omsk Agrarian Research Center for Adaptivity of Mass of 1000 Grains. In: *International scientific and practical conference "AgroSMART – Smart solutions for agriculture"*. KnE Life Sciences; 2019. P. 1232–1241. (In Russ.).
11. Yusova OA, Nikolaev PN, Anis`kov NI, et al. Adaptability of barley varieties by the weight of 1000 grains under forest-steppe conditions of the Omsk Region. *Achievements of science and technology in agro-industrial complex*. 2020;34(2):24-28. (In Russ.). DOI: 10.24411/0235-2451-2020-10205.
12. Zajceva IYu, Shhennikova IN, Panixina LV, et al. Adaptability of high-protein barley genotypes under the conditions of the Volga-Vyatka Region. *Proceedings on applied botany, genetics and breeding*. 2022;183(4):30-38. (In Russ.).
13. Polonskij VI, Gerasimov SA, Sumina AV. Hulled barley samples plasticity and stability by the content of β -glucans in the grain and its size under the Krasnoyarsk forest-steppe conditions. *Bulletin of KSAU*. 2022;4:53-61. (In Russ.).
14. Polonskiy VI, Gerasimov SA, Sumina AV, et al. Adaptability of Naked Barley Accessions in Terms of the Content of β -Glucans in Grain and Its Size in the Conditions of Eastern Siberia. *Russian Agricultural Sciences*. 2022;48(5):328-333. (In Russ.).
15. Choi H, Esser A, Murphy KM. Genotype $\times$ environment interaction and stability of β -glucan content in barley in the Palouse Region of Eastern Washington. *Crop Science*. 2020;60(9):2500-2510.
16. Polonskij VI, Sumina AV, Gerasimov SA. Adaptability of barley varieties in terms of fat content in grain under conditions of Krasnoyarsk forest-steppe. *RUDN Journal of Agronomy and Animal industries*. 2023;18(2):153-162. (In Russ.). DOI: 10.22363/2312-797X-2023-18-2-153-162. (In Russ.).
17. Polonskij VI, Sumina AV, Gerasimov SA. Grain crops samples assessment for ecological stability according to valuable breeding traits. *Bulletin of KSAU*. 2022;6:148-155. (In Russ.).
18. Polonskij VI, Sumina AV. Adaptability of spring wheat samples of different ripeness groups in conditions of Eastern Siberia. *Development problems of regional agro-industrial complex*. 2023;2(54):85-91.
19. Polonskij VI, Sumina AV. Grain crops samples assessment for ecological stability according to valuable breeding traits. *Bulletin of KSAU*. 2024;2:111-122. (In Russ.). DOI: 10.36718/1819-4036-2024-2-111-122.
20. Piskarev VV, Bojko NI, Kondrat`eva IV. Sources of agronomically important traits for breeding of soft spring wheat (*Triticum aestivum* L.) in the forest steppe of Novosibirsk Region. *Vavilov journal of genetics and breeding*. 2016;20(3):277-285. (In Russ.). DOI: 10.18699/VJ16.166.
21. Polonskij VI, Sumina AV, Kolichenko AA. Adaptability of spring wheat samples of different ripeness groups in conditions of Eastern Siberia. *Development problems of regional agro-industrial complex*. 2022;3:94-100. (In Russ.).
22. Polonskij VI, Sumina AV, Kolichenko AA. Spring wheat accessions adaptability by productivity elements under the Yenisei Siberia conditions. *Bulletin of KSAU*. 2022;3:30-37. (In Russ.). DOI: 10.36718/1819-4036-2022-3-30-37.
23. Polonskij VI, Gerasimov SA, Sumina AV. Hulled barley samples plasticity and stability by the content of β -glucans in the grain and its size under the Krasnoyarsk forest-steppe conditions. *Bulletin of KSAU*. 2022;4:53-61. (In Russ.). DOI: 10.36718/1819-4036-2022-4-53-61.
24. Polonskij VI, Surin NA, Gerasimov SA, et al. Evaluation of barley genotypes for the content of β -glucans in grain and other valuable features in Eastern Siberia. *Proceedings on applied botany, genetics and breeding*. 2021;182(1):48-58. (In Russ.).
25. Polonskij VI, Surin NA, Gerasimov SA, et al. The study of oat varieties (*Avena sativa* L) of various geographical origin for grain quality and productivity. *Vavilov journal of genetics and breeding*. 2019;23(6):53-60. (In Russ.).

26. Sumina AV, Polonskij VI. A complex indicator of the quality of a variety according to one or more characteristics. *Advances in current natural sciences*. 2024;3:14-19. (In Russ.).
27. Sotnik AY. Evaluation of barley varieties adaptive properties by productivity in the Priobskaya forest-steppe zone. *Letters to Vavilov journal of genetics and breeding*. 2025;11(2):73-79. (In Russ.).
28. Yusova OA, Nikolaev PN, Anis'kov NI, et al. New promising variety of spring barley Omskii golozernyi 4. *Zemledelie*. 2020;2:31-35. (In Russ.).
29. Nikitina VI, Kolichenko AA. Grain quality of spring soft wheat varieties of different ripeness groups in different soil and climatic zones of the Krasnoyarsk Region. *Bulletin of KSAU*. 2025;1:57-65. (In Russ.).
30. Grebennikova IG, Cheshkova AF, Stepochkin PI, et al. Method of assessment ecological plasticity of cereal crop varieties. *Siberian herald of agricultural science*. 2020;50(2):100-108. (In Russ.).
31. Safin RI, Valiev AR, Nurullin EG, et al. *Nauchnye osnovy sistemy` upravleniya geneticheskimi resursami zernovyh kul'tur*. Kazan`: Kazanskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet; 2025. 520 p. (In Russ.).

Статья принята к публикации 25.03.2026 / The article accepted for publication 25.03.2026

Информация об авторах:

Алена Владимировна Сумина, доцент кафедры химии и геоэкологии, кандидат сельскохозяйственных наук

Вадим Игоревич Полонский, профессор-консультант кафедры ландшафтной архитектуры и ботаники, доктор биологических наук

Information about the authors:

Alena Vladimirovna Sumina, Associate Professor, Department of Chemistry and Geoecology, Candidate of Agricultural Sciences

Vadim Igorevich Polonsky, Consulting Professor, Department of Landscape Architecture and Botany, Doctor of Biological Sciences

